

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**



**IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED CELULAR  
POR ACCESO MÚLTIPLE EN LA CIUDAD DE  
AREQUIPA**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO ELECTRÓNICO**

**PRESENTADO POR:**

**VLADIMIR OMAR MURRUGARRA ANGULO**

**PROMOCIÓN  
1995-I**

**LIMA – PERÚ  
2003**

**A mis, hijas que son el motivo de mi superación,  
a mis padres y esposa por su constante apoyo.**

**IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED CELULAR POR  
ACCESO MÚLTIPLE EN LA CIUDAD DE AREQUIPA**

## **SUMARIO**

El presente informe ofrece una visión general, no extensiva ni profunda, de las principales características de los servicios por acceso múltiple ofrecidos en el mercado actual de telecomunicaciones; así como también, una descripción breve de cada una de ellas, pero centrándonos principalmente en los beneficios y ventajas que brinda la tecnología CDMA así como también parámetros para el diseño y planificación básico de una red que pueda satisfacer los requerimientos de capacidad y calidad, abarcando una descripción técnica y un análisis económico del sistema.

# ÍNDICE

<b>PRÓLOGO</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>2</b>
1.1. INTRODUCCIÓN A LAS COMUNICACIONES MOVILES	2
1.2. VISION GENERAL DE COMUNICACIONES MOVILES	2
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>NECESIDAD DE UN SISTEMA DIGITAL CELULAR</b>	<b>4</b>
2.1 VENTAJAS DEL SISTEMA DIGITAL	4
2.1.1. Calidad de Servicio	4
2.1.2. Incremento de Capacidad	6
2.1.3. Privacidad	6
2.2 BENEFICIOS DEL SISTEMA DIGITAL	6
<b>CAPÍTULO III</b>	
<b>TECNOLOGÍA Y ESTÁNDARES DE ACCESO MÚLTIPLE</b>	<b>8</b>
3.1. MÉTODOS DE ACCESO MÚLTIPLE	8
3.1.1. Acceso Múltiple por División de Frecuencia (FDMA)	9
3.1.2. Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA)	10
3.1.3. Acceso Múltiple por División de Códigos (CDMA)	11
3.2. ESTÁNDARES CELULARES ACTUALES	12
3.2.1. Estándar IS-54	12
3.2.2. Estándar IS-36	13
3.2.3. Global System for Mobile (GSM)	14

3.2.4. Estándar TIA IS 95	14
---------------------------	----

## **CAPÍTULO IV**

<b>PROPUESTA TECNOLÓGICA DE LA RED DIGITAL CELULAR</b>	<b>16</b>
--	-----------

4.1. TECNOLOGÍA CDMA	16
----------------------	----

4.1.1. Spread Spectrum	17
------------------------	----

4.1.2. Sincronización	18
-----------------------	----

4.2. BENEFICIOS DE LA TECNOLOGÍA CDMA	18
---------------------------------------	----

4.2.1. Incremento de Capacidad y Eficiencia Espectral	18
---	----

4.2.2. Eliminación de Planificación de Frecuencia	19
---	----

4.2.3. Calidad de llamada mejorada	20
------------------------------------	----

4.2.4. Privacidad Mejorada	21
----------------------------	----

4.2.5. Mejor Cobertura	22
------------------------	----

4.2.6. Incremento del tiempo de conversación del subscriber	22
---	----

4.2.7. Ancho de banda por demanda	22
-----------------------------------	----

4.3. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA CELULAR CDMA	22
---	----

4.3.1. Descripción del estándar IS-95	22
---------------------------------------	----

4.3.2. Procesamiento de Llamada (Call Processing)	32
---	----

4.3.3. Registración	36
---------------------	----

4.3.4. Estrategias de Handoff en Sistema CDMA IS-95	37
---	----

4.3.5. Arquitectura del Sistema Celular CDMA	42
--	----

4.4. PLANIFICACIÓN DEL SISTEMA CDMA	44
-------------------------------------	----

4.4.1. Planificación del Espectro CDMA	45
--	----

4.4.2. Planificación de Capacidad CDMA	51
--	----

4.4.3. Planificación de Los PN Offset	75
---------------------------------------	----

4.5.	DISEÑO DE LA RED CDMA	93
4.5.1.	Parámetros requerido para el diseño del Sistema	94
4.5.2.	Consideraciones y Cálculos de Diseño	95
4.5.3.	Características del Hardware	99
4.5.4.	Inversiones y Financiamiento	100
<b>CAPITULO V</b>		
<b>APLICACIONES Y NUEVOS SERVICIOS OFRECIDOS</b>		<b>102</b>
5.1.	SHORT MESSAGES SERVICE	102
5.2.	WIRELESS APLICATION PROTOCOLO	102
5.3.	SERVICIO DE TRANSMISIÓN D DATOS.	103
<b>CONCLUSIONES</b>		<b>104</b>
<b>ANEXO A1 : ACRÓNIMOS</b>		<b>106</b>
<b>ANEXO A2 : PARÁMETROS Y TABLAS DE DISEÑO</b>		<b>107</b>
<b>ANEXO A3 : CÁLCULOS <math>E_b / N_0</math></b>		<b>113</b>
<b><i>BIBLIOGRAFÍA</i></b>		

## **PRÓLOGO**

El siguiente informe presenta un enfoque sobre la tecnología digital por Acceso Múltiple, donde se describe todas las características de cada una de ellas con sus respectivas ventajas. Además hablaremos sobre la tecnología Code División Múltiple Access (CDMA) donde se explica las recomendaciones del uso de la banda de frecuencia, asignación de los PN offset, como cálculos de capacidad y reuso de los PN offset para el diseño de una red celular CDMA, para satisfacer el problema de crecimiento de usuarios. Así como también de los servicios ofrecidos por este Sistema.

Una breve descripción del crecimiento del sistema celular CDMA de 3G, de redes basados en paquetes permitiendo servicios de datos a altas velocidades de hasta 144 Kbps y como también con una alta capacidad de tráfico de voz.

## **CAPÍTULO I**

### **1.1. INTRODUCCIÓN A LAS COMUNICACIONES MÓVILES**

Los sistemas de comunicaciones móviles son aquellos que permiten la comunicación entre usuarios que se desplazan libremente en lugares geográficos diferentes. Estos sistemas constituyen grandes redes de comunicaciones (redes publicas) o redes pequeñas (redes privadas). Las redes de comunicaciones móviles permiten cursar diferentes servicios, entre ellos envío de mensajes cortos y largos, comunicaciones grupales, servicio de fax, correo electrónico, etc.

### **1.2. VISIÓN GENERAL DE LA COMUNICACIONES MÓVILES**

El crecimiento de las telecomunicaciones móviles celulares ha sido realmente sorprendente, durante fines de la década del los 90's había mas de 48 millones de abonados en todo el mundo comparados con los escasos 11 millones correspondientes a 1990. Actualmente la telefonía móvil celular representa mas de un tercio del total de las conexiones telefónicas. Es probable que antes del año 2005 el numero de abonados del servicio móvil celular sobrepase al de abonados de las líneas tradicionales.

El auge de las comunicaciones móviles celulares ha revolucionado el concepto de telefonía. Sobretudo por la movilidad de los usuarios que ya no llaman a un sitio, sino a una persona específica. Cuando se introdujeron por primera vez a principios de los años ochenta, estos teléfonos estaban circunscritos a automóviles y limitados por su peso y potencia, pero poco a poco se fueron fabricando aparatos más pequeños y de menor peso, más baratos, y abandonaron el automóvil y se trasladaron al portafolio o al bolsillo. Un teléfono portátil moderno pesa uno cientos cuantos de gramos, tiene una pequeña pantalla y puede ofrecer gran cantidad de servicios, tales como identificador de llamadas, envío y recepción de texto, Internet, agenda electrónica, entre otros. En estos días el uso de un teléfono celular se puede decir que es imprescindible, ya que el dinamismo en que nuestra sociedad vive nos induce a considerar el equipo celular como una herramienta mas de trabajo o como la forma mas cómoda y rápida de estar comunicado en todo momento y a cualquier hora. Esta es una de las causas por las cuales el uso de un móvil celular se ha convertido en un artículo de uso masivo, dando como resultado la búsqueda y desarrollo de nuevas tecnologías que soporten una mayor carga y un aumento abrupto de usuarios, teniendo muy en cuenta la posibilidad de utilizar mas y nuevos servicios de valor agregado.

## **CAPÍTULO II**

### **NECESIDAD DE UN SISTEMA DIGITAL CELULAR**

Como la industria de comunicaciones personal inalámbricas ha experimentado un crecimiento fenomenal desde su introducción en 1983, donde las tasas de crecimiento anual de usuarios son altas y para poder satisfacer a esta creciente demanda nos obliga a la necesidad de migrar a nuevos sistemas de telefonía digital celular tales como TDMA, GSM y CDMA, ofreciendo mayores ventajas para la transmisión de voz, mejor flexibilidad para nuevos servicios adicionales.

#### **2.1.VENTAJAS DEL SISTEMA DIGITAL**

##### **2.1.1. Calidad de servicio**

Los sistemas de comunicaciones digital, como se manifiesta en diferentes tecnologías, tienen el potencial de ofrecer un alto nivel de calidad de servicio. Este servicio mejorado es hecho posible por la habilidad interna de un sistema digital para regenerar de señal. La figura 2.1 muestra un sistema digital simplificado, donde un pulso positivo es enviado del transmisor. Como el pulso viaja al receptor, este sufre deterioro en amplitud y forma. La amplitud del pulso se deteriora debido a la

perdida de propagación, el cual es una función de la distancia. La forma del pulso es también distorsionado, en parte debido al filtro pasabajos natural del canal.

En el punto A de la figura 2.1, la señal ha sufrido mucha degradación que si este fuera una señal analógica, la relación señal a ruido resultaría pobre en calidad de señal. Sin embargo, los sistemas de comunicación digital tienen un receptor que contiene un threshold detector. El detector es programado en la salida a 1 si la energía acumulativa sobre un periodo de bit especificado es mayor que 0, y la salida a  $-1$  si la energía acumulativa sobre el periodo es menor que 0. En este caso la energía acumulativa es mayor que 0, pero el detector hace una decisión de 1 y perfectamente regenera el pulso transmitido. En este caso la información esta contenido en la amplitud de la señal, en otros sistemas de comunicación digital, tal como el sistema CDMA, usa phase shift keying (PSK), donde la información es contenida en la fase de la señal.

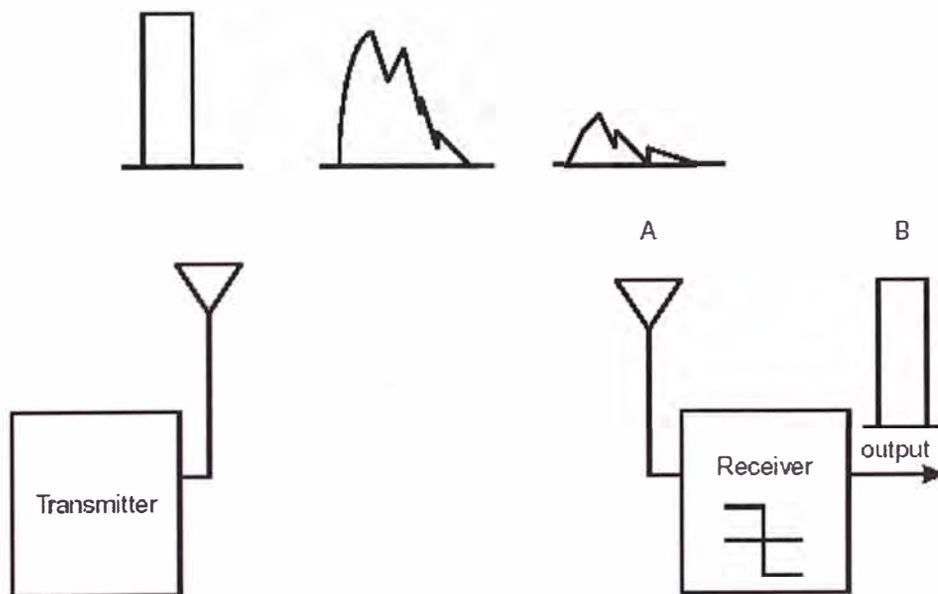


Figura 2.1: Sistema Digital Simplificado

### 2.1.2. Incremento de Capacidad

Porque los sistemas de comunicación digital transmiten su información en forma discreta, particularmente 1 y  $-1$  ( 1 o 0 ). En un sistema de comunicación de voz, la fuente de información es la voz humana; voz es inherentemente analógica y debe ser convertido a una forma digital antes que pueda ser transmitido vía el sistema digital. Esta codificación de la fuente de información, o source coding, puede usar compresión de voz para reducir el numero de bits necesario para representar la voz. Por ejemplo, la tecnología Advanced Mobile Phone System (AMPS) transmite la voz usando un ancho de banda de 30 kHz.. El sistema IS-95 CDMA usa un vocoder, o un codificador de voz, para convertir la voz humana a 9.6 Kbps (Rate Set 1).

### 2.1.3. Privacidad

La privacidad es un asunto importante en cualquier sistema de comunicación. En el sistema convencional análogo FM, cualquier persona, quien pueda tener un scanner FM puede escuchar una conversación. Un sistema de comunicación digital proporciona una plataforma disponible donde la técnica de encriptación puede ser usada para asegurar la información transmitida sobre el aire.

## 2.2. BENEFICIOS DEL SISTEMA DIGITAL

- Mayor capacidad dentro del espectro asignado existente y fácil despliegue de cualquier tecnología que se requiera para obtener este incremento de capacidad.
- Capacidad mas alta y costos más bajos de diseño del sistema, lo cual redundara en costos más bajos por subscribers.
- Menor costo por subscriber, combinado con nuevas facilidades para el subscriber, les ayudaran al operador a incrementar la penetración del mercado.

- Mayor penetración de mercado, la cual redundara un incremento del numero de subscribers y un sistema que ofrece soporte para esta capacidad adicional.
- Alta calidad de llamada; la cual debe ser mantenida y mejorada durante el cambio o migración a cualquier nueva tecnología digital.
- Terminal de usuario; en general son más pequeños que los analógicos, el cual hace esto más fácil de llevarlo a cualquier lado, además consume menos potencia, por lo que baterías más pequeña son requeridas.

## **CAPÍTULO III**

### **TECNOLOGÍAS Y ESTÁNDARES DE ACCESO MÚLTIPLE**

Uno de los conceptos más importantes para cualquier sistema de telefonía celular es el “Múltiple Acceso”, entendiéndose por múltiple, usuarios simultáneos que pueden ser soportados, en otras palabras, un gran número de usuarios comparten un grupo común de radio canales y cualquier usuario puede obtener acceso a cualquier canal (un usuario no siempre es asignado a un mismo canal). Un canal puede ser concebido como una porción de limitado recurso de espectro el cual es temporalmente reservado para un propósito específico, como la llamada de cualquier usuario. Un método de acceso múltiple es una definición de cómo el espectro de radio es dividido en canales y como esos canales son asignados a los muchos usuarios del sistema.

#### **3.1. MÉTODOS DE ACCESO MÚLTIPLE**

Los esquemas de acceso múltiple que utilizan los sistemas celulares hacen uso simultáneamente de varias técnicas básicas, aprovechando las ventajas de cada una de ellas y tratando de minimizar sus inconvenientes.

Los principales métodos de técnicas de acceso múltiple son:

### 3.1.1. Acceso Múltiple por División de Frecuencia (FDMA)

Atiende a las llamadas en diferentes frecuencias. Cada usuario es asignado a una porción discreta del espectro de RF. FDMA permite solamente un usuario por canal no hay otro usuario que pueda acceder a este canal hasta que la llamada del subscriber este finalizado o hasta que la llamada original haga un handoff a un canal diferente. En este tipo de sistemas cada portadora puede emplear modulación analógica tal como modulación de frecuencia, o modulación digital tal como la modulación PSK (Phase Shift Keying). Por ser más sencillo este tipo de acceso múltiple es ampliamente utilizado en los sistemas de comunicaciones móviles celulares analógicos (AMPS, NAPMS, TACS), y en sistemas de telefonía multicanal por microondas y en las comunicaciones satelitales.

En sistemas AMPS cada canal tiene 30kHz de ancho. En sistemas NAMPS cada canal tiene 10kHz de ancho y en sistemas TACS cada canal tiene 25kHz de ancho. Es útil tanto en sistemas analógicos de primera generación como en los sistemas digitales de segunda generación.

El mayor problema en una operación FDMA es la presencia de componentes de intermodulación en el ancho de banda de trabajo, generado por la no-linealidad de amplitud y fase en el uso de un amplificador común.

En la figura 3.1 se muestra el esquema de acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA), para el sistema celular AMPS.

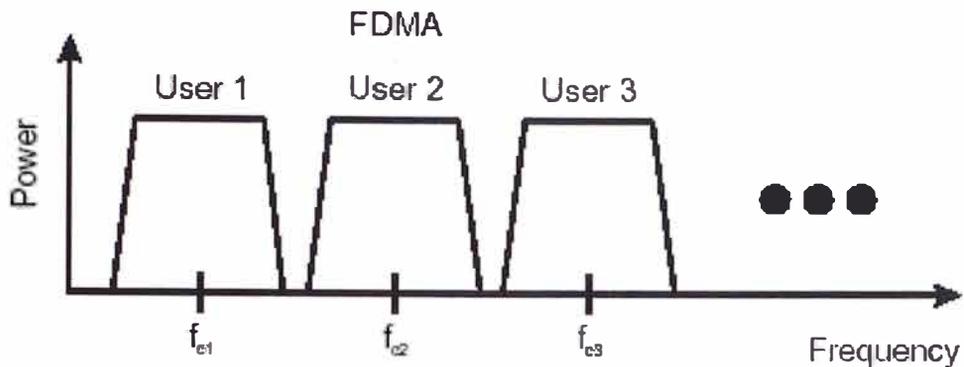


Figura 3.1: Acceso Múltiple por División de Frecuencia

### 3.1.2. Acceso Múltiple Por División de Tiempo (TDMA)

Esta tecnología atiende las llamadas en diferentes intervalos de tiempo (“time slot”) dentro de una misma frecuencia. El punto importante acerca de TDMA es que todos los usuarios están aun asignados a una porción discreta del espectro de RF, pero ahora múltiples usuarios comparten el mismo portador RF en una base de periodos de tiempo. Cada uno de los usuarios alterna su uso del canal de RF. La división de frecuencia todavía es empleada, pero estos portadores son de ahora en adelante subdivididos en algún numero de periodos de tiempo por portador.

Un usuario es asignado a un periodo particular de tiempo y puede solamente enviar y recibir información de esos tiempos. Esto es cierto ya sea que los otros periodos de tiempo estén o no estén utilizados. El flujo de información no es continuo para cualquier usuario, sino que es enviado y recibido en “fracciones”, las fracciones son re-ensambladas al final de la recepción. No hay otro usuario que puede acceder a ese time slot hasta que la llamada original este finalizada, o hasta que la llamada haga un handoff a una frecuencia diferente. El TDMA divide la extensión de la trama o cuadro (frame), en un numero igual de time slots, por ejemplo para el estándar IS-54

del TDMA usa una extensión de trama de 40ms dividido en 6 time slots de 6.66 ms cada uno.

A cada usuario se le asigna un time slot para recepción o transmisión de la señal, se usa la técnica FDD (Frequency División Duplexing), que es similar a la usada en los sistemas analógicos, un canal en la transmisión directa y otro en la transmisión reversa.

Sistema GSM divide una portadora de 200 kHz en 8 times slots o canales. PDC divide portadoras de 25kHz en 3 canales y North American TDMA divide una portadora de 30 kHz en 3 canales. Solo es aplicable en comunicaciones digitales y en los sistemas actuales se usa una combinación con el FDMA.

En la figura 3.2 se muestra el esquema de acceso múltiple por división de tiempo (TDMA).

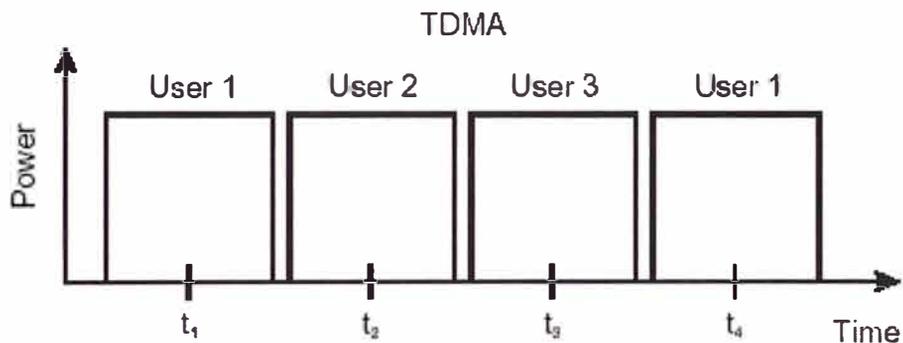


Figura 3.2: Acceso Múltiple por División de Tiempo

### 3.1.3. Acceso Múltiple Por División de Código (CDMA)

Los usuarios comparten todo el espectro pero usan diferentes secuencias de códigos, para separar las comunicaciones, usan códigos digitales únicos (secuencia de códigos pseudo aleatorios). CDMA es una tecnología el cual el espectro de radio es dividido

en portadoras de aproximadamente 1,25MHz de ancho de banda. Cada usuario es asignado a un código binario, de secuencia directa durante la llamada, el código de secuencia directa es una señal generada por modulación lineal con secuencias de Ruido Seudo aleatorias (PN). Como resultado, el CDMA de secuencia directa usa señales mucho más anchas que las usadas por otras tecnologías. La señales de banda ancha reducen interferencias y permiten reuso de frecuencia en cada celda ( $N=1$ ). No hay división de tiempo, y todos los usuarios usan la portadora completa, todo el tiempo.

En la figura 3.3 se muestra el esquema de acceso múltiple por división de códigos (CDMA).

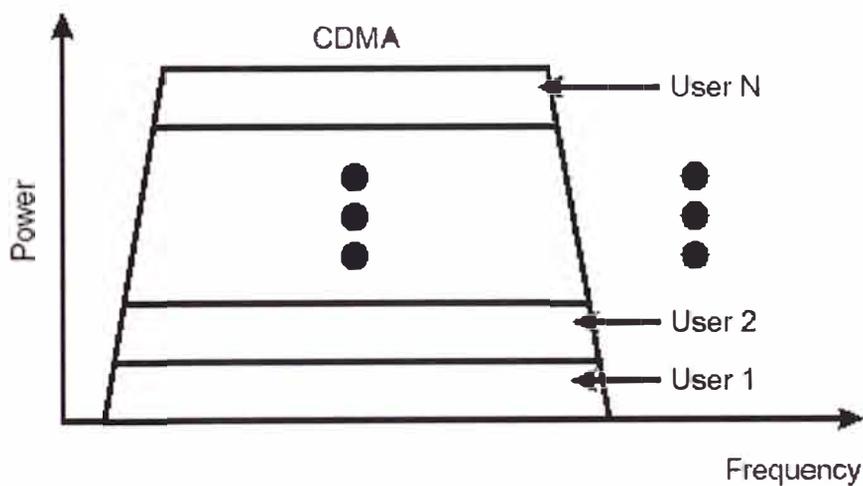


Figura 3.3: Acceso Múltiple por División de Códigos

## 3.2. ESTÁNDARES CELULARES ACTUALES

### 3.2.1. Estándar IS-54

Este sistema digital fue introducido a nivel comercial en 1992 en Calgary Canadá, fue diseñado para permitir una migración progresiva de los sistemas analógicos

AMPS en el modo FDMA a los sistemas digitales TDMA. Dispone de un modo dual de funcionamiento, el cual es compatible con el sistema AMPS. Las ventajas de este sistema son:

- El incremento en tres veces la capacidad de usuarios comparado con el sistema AMPS
- La mejor calidad de las comunicaciones debido a la digitalización de las señales.
- La posibilidad de evolucionar hacia sistemas avanzados de comunicaciones.

Características del IS-54 tenemos:

- Fácil transición del analógico al digital.
- Adopción de handover asistido por el móvil (MAHO).
- Flexibilidad para manejar distintos caudales binarios de usuario

### 3.2.2. Estándar I 136

Es una evolución de la norma IS-54, la que incluye canales de control digital, lo que permitirá que un proveedor celular añada nuevas facilidades y mayor seguridad al usuario final. Esta norma es también referida como TDMA DCC, las principales diferencias con la norma IS-54 son:

- Empleo de canal de control digital, permitirá transmitir datos y fax, la identificación de sistemas privados y sistemas residenciales, así como modos de inactividad que hará posible una mayor duración de las baterías.
- Servicio de mensajes cortos, proveerá el servicio de aviso alfanumérico y posteriores revisiones harán posible la programación aérea.
- Operación jerárquica, permitirá la operación de diversos sistemas dentro de la misma plataforma de comunicaciones.

### 3.2.3. Global System for Mobile (GSM)

El sistema GSM es un sistema celular digital que fue creado para constituir un estándar Pan-Europeo. Inicio su desarrollo en 1982 y la primera versión comercial estuvo listo en 1991. Debido a que fue diseñado por representantes de diferentes países es considerada como un estándar en más de 60 países

Las principales características del sistema GSM son las siguientes:

- Comunicación vocal de buena calidad (comparable a los sistemas analógicos del momento).
- Servicio de bajo coste, por debajo del umbral de aceptabilidad
- Facilidad de introducción de nuevos servicios
- Disponibilidad de unidades “*hand-held*” (200 cc y 200 g)
- Terminal de bajo coste.
- El sistema dispone de 124 pares de portadoras.
- Bandas de frecuencia:
  - 890 - 915 MHz en el sentido MS-BS (Uplink)
  - 935 - 960 MHz en el sentido BS-MS (Downlink)
- La separación entre portadoras es de 200 kHz.
- Estructura TDMA con 8 intervalos de tiempo por trama en cada portadora.

Mecanismo de dispersión espectral Slow Frequency Hopping (SFH: 217 saltos/segundo)

### 3.2.4. Estándar TIA IS-95

El estándar IS-95 A cubre ambos formatos de señalización análogos y digital, proporciona especificaciones de modo de operación para ambos. El estándar IS-95A emplea Direct Sequence y opera en la misma banda de frecuencia como el Advance

Mobile Phone System (AMPS) usando Frecuency División Duplex (FDD) con 25 MHz en cada dirección. La banda Uplink (móvil a estación base) y downlink (estación base a móvil) usa frecuencias desde 869 a 894 MHz y desde 824 a 849 MHz, respectivamente. La estación móvil soporta operación CDMA sobre un numero de canales AMPS 1013 - 1023, 1 - 311, 356 - 644, 684 - 694 y 739 - 777 inclusive. Los canales CDMA son definidos en términos de una frecuencia RF y secuencias de códigos. 64 funciones Walsh son usadas para identificar los canales downlink, mientras un código long PN con diferente time shifts es usado para identificar los canales uplink.

## **CAPÍTULO IV**

### **PROPUESTA TECNOLÓGICA DE LA RED DIGITAL CELULAR**

Dentro de las propuestas tecnológicas digital celular, se implementara el sistema de telefonía celular digital CDMA, debido a que esta tecnología CDMA ofrece a los operadores una respuesta a la demanda de capacidad en sus redes.

#### **4.1. TECNOLOGÍA CDMA**

CDMA es una tecnología por la cual múltiples usuarios son asignados a usar recurso de radio usando la técnica DS-SS. Aunque todos los usuarios están transmitiendo en la misma banda de frecuencia RF, los usuarios se encuentran separados cada de ellos usando códigos ortogonales. El estándar IS-95 (North American CDMA standard), especifica que cada usuario transmita información en banda base a 9.6 Kbps (Rate Set 1), el cual es la velocidad de la salida del vocoder. La velocidad final de la señal expandida es 1.2288 Mcps, resultando un ancho de banda RF aproximadamente 1.25 MHz.

#### 4.1.1. Spread Spectrum

CDMA es una tecnología Spread Spectrum, la cual significa que dispersa la información contenida en una señal de interés particular sobre un ancho de banda mucho mas grande que la señal original.

La velocidad de datos estándar de una llamada CDMA es 9600 bps. Estos datos iniciales son dispersos, incluyendo la aplicación de códigos digitales a los bits de datos, hasta una velocidad transmitida cerca de 1.23 mega bits por segundo. Los bits de datos de cada llamada son luego transmitidos en combinación con los bits de datos de todas las llamadas de la celda. En extremo receptor, los códigos receptores son retirados, dejando solo la información original que fue originalmente transmitida. En ese punto, cada llamada es de nuevo un flujo de datos único con una velocidad de 9600 bps.

Los usos tradicionales de Spread Spectrum son en aplicaciones militares. Debido al amplio ancho de banda de la señal Spread Spectrum, es muy difícil de interferir, bloquear, e identificar. Esto representa en contraste con las señales que usan anchos de banda más estrechos. Debido a que la señal de Spread Spectrum de banda ancha es muy difícil de detectar, esta aparece como nada diferente a un leve pico en el piso de ruido o nivel de interferencia. En otra tecnología, la potencia de la señal esta concentrada en una banda mas estrecha, lo cual la hace más fácil de detectar.

Una mejora en la privacidad es inherente a la tecnología CDMA. Las llamadas CDMA estarán aseguradas de sistemas radioescuchas casuales ya que, a diferencia de las conversaciones analógicas, un receptor de radio simple no será capaz de captar conversaciones digitales individuales en la radiación de RF en esta banda de frecuencia.

#### 4.1.2. Sincronización

En las etapas finales de la codificación del enlace de radio desde la estación base al móvil, CDMA añade un código “seudo aleatorio” especial a la señal que se repite a sí mismo luego de un numero finito de tiempo. Las estaciones base del sistema se distinguen de las demás transmitiendo diferentes porciones de este código en un momento dado. En otras palabras, las estaciones base transmiten el mismo código pseudo aleatorio pero con diferente offset de tiempo. Para asegurar, que los offset de tiempo usados permanezca único y diferente de los otros, las estaciones CDMA deben permanecer sincronizadas a una base de tiempo común.

La fuente principal de estas señales muy precisas de sincronización requerida por sistema CDMA es el Sistema de Posicionamiento Global (GPS). GPS es un sistema de navegación basado en una constelación de satélite orbitales. Debido a que el sistema GPS cubre la entera superficie de la tierra, provee un método confiable para determinar la posición y tiempo de tantos receptores como se quiera.

### **4.2. BENEFICIOS DE LA TECNOLOGÍA CDMA**

La tecnología CDMA ofrece numerosos beneficios a los operadores celulares y sus subscribers. A continuación se describirá los beneficios de CDMA comparado con otras tecnologías:

#### 4.2.1. Incremento de Capacidad y Eficiencia Espectral

El incremento de capacidad y eficiencia espectral puede ser logrado por los siguientes métodos:

- Consiguiendo mas canales por MHz del espectro.
- Consiguiendo mas reutilización de canales por unidad de área geográfica.

El sistema NAMPS es una tecnología de sistema que logra la más alta capacidad a través del primer caso (mas canales por MHz de espectro). En lugar de un canal en 30 kHz, como en AMPS, NAMPS obtiene tres canales en 30 kHz, mientras proporciona tres veces mas la capacidad de AMPS.

GSM es un ejemplo de un sistema basado en TDMA que usa el segundo método (mas reutilización de canales por unidad de área geográfica). GSM permite un CAI de 9dB (razón portador a interferencia) en lugar de los 17 dB tradicionales utilizados en sistemas TACS y AMPS (Tecnología analógica FDMA en la banda de 900 MHz.). Esto permite a GSM poner mas juntas las celdas e interpretar alrededor de dos veces mas la capacidad de TACS y AMPS. Un grado medio del sistema GSM, utilizando ambos métodos produciría aproximadamente de unas 4 a 5 veces, la capacidad ganada sobre el analógico TACS.

CDMA ofrece una mayor capacidad y eficiencia espectral que lo ofrecido en los sistemas celulares analógicos y sistemas basado en TDMA usando el segundo método. Una red CDMA utiliza el reuso de frecuencia universal. Este permite la reutilización de la misma frecuencia en cada sector de cada celda.

Sistemas Móviles CDMA han sido capaz de lograr incrementar la capacidad de 8 a 10 veces sobre unos sistemas analógicos. Es importante notar que los cálculos de capacidad de CDMA están basados en promedio de sistemas. La capacidad real puede variar de una celda a otra y de sector a sector, dependiendo del terreno, niveles de interferencias, características de propagación, y un numero de otros factores.

#### 4.2.2. Eliminación de Planificación de Frecuencias

Unas de los principios básicos de la telecomunicación celular son la habilidad de reuso de frecuencia, una y otra vez sobre un área particular geográfica. Cada

frecuencia no puede ser usada en cada celda de un sistema análogo y TDMA por que tal uso crea una interferencia imaginable. Así, de esta manera la frecuencia debería ser dispersada sobre un numero de celdas y cuidadosamente coordinado para evitar interferencia con cada otra, cuando ellos son reusados.

En tecnologías analógicas y TDMA es necesario planear cual frecuencia será usada en cada celda para minimizar la interferencia. Este requerimiento ha llevado a un “patrón de reu o de frecuencia”. Un sistema análogo a menudo usa una configuración de tres sectores y son diseñado con un patrón de reuso de siete celdas. En CDMA, todos los usuarios usan una portadora CDMA, comparten el mismo espectro de RF. La misma portadora de frecuencia RF es usada en cada celda y en cada sector de una celda sectorizada. Este mismo resulta en el reuso de una misma frecuencia universal. Esta frecuencia de reuso universal es la que da un gran incremento de capacidad sobre tecnologías analógicas y TDMA, elimina la necesidad de planificación de frecuencia.

#### 4.2.3. Calidad de Llamada mejorada

Los sistemas telefónico celulares que usan CDMA son capaces de proporcionar alta calidad de sonido y menos caídas de llamadas que sistemas TDMA y analógicas. Un numero de características que son inherentes en redes CDMA que produce esta alta calidad son:

A) Detección y Corrección de errores

B) Vocoder que ofrecen codificación de alta velocidad y reducen el ruido de fondo.

C) CDMA toma ventajas de varios tipos de diversidad para mejorar la calidad de la voz:

1.- Diversidad de Frecuencia (protección contra el desvanecimiento selectivo de frecuencia).

2.- Diversidad de Espacio ( dos antenas de recepción).

3.- Diversidad de Caminos (el receptor rake mejora la recepción de una señal que experimenta interferencia de multitrayectoria, y de echo mejora la calidad de sonido).

4.- Diversidad de tiempo (Codificación e Interpolación)

D) Soft-Handoffs contribuyen a la alta calidad de voz proporcionando una conexión “make before break”. Los Softer Handoffs entre sectores de la misma celda proveen los mismo beneficios.

E) Control de Potencia precisa asegura que todos los móviles estén muy cerca del nivel optimo de potencia para proveer los mismos beneficios.

La calidad de voz CDMA ha sido evaluada de manera muy alta por pruebas de “Mean Opinion Score” en comparación con otras tecnologías.

#### 4.2.4. Privacidad Mejorada

La privacidad en comparación con otros sistemas celulares, tanto analógicos como digitales, es inherente de la tecnología CDMA. Es extremadamente difícil que alguien intercepte una señal CDMA. Adicionalmente, debido a que los frames de información digitalizados están esparcidos a través de un pedazo muy ancho del espectro, es poco probable que un radioescucha casual sea capaz de escuchar una conversación. Finalmente, existen planes futuros para ofrecer encriptación digital para proporcionar a unos mayores niveles de seguridad y privacidad.

#### 4.2.5. Mejora de Cobertura

Una celda CDMA generalmente tiene un rango mayor que una celda análoga o TDMA. Este rango mayor es debido a que usa un receptor más sensitivo comparado con otras tecnologías. Por lo tanto pocas celdas CDMA son requeridas para cubrir la misma área. Dependiendo de la carga del sistema e interferencia, la reducción en celdas podría ser tanto como el 50% cuando comparamos al GSM.

#### 4.2.6. Incremento del tiempo de conversación del subscriber

Debido al control de potencia preciso y otras características del sistema CDMA, las unidades de subscriber CDMA normalmente transmiten a una única fracción de potencia comparadas con teléfonos análogos y TDMA. Esto habilita tener un mayor tiempo de conversación y standby.

#### 4.2.7. Ancho de Banda por Demanda

Un canal de banda ancha de CDMA proporciona un recurso común a todos los móviles en el sistema, utilizando en base a sus requerimientos específicos, dependiendo de si están transmitiendo datos, voz, facsímil u otras aplicaciones. En un momento dado, la porción de este “recurso de ancho de banda” que no es usado por un móvil dado estará disponible para el uso por parte de otro móvil. Esto proporciona una flexibilidad tremenda que puede ser explotada para proveer nuevas y poderosas facilidades, como servicios de transmisión de datos a velocidades más altas.

### **4.3. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA CELULAR CDMA**

#### 4.3.1. Descripción del Estándar IS-95

- Enlace Forward

El canal forward CDMA consiste de canal piloto, canal de sincronismo, canal paging y un numero de canales de trafico forward (figura 4.1). Cada uno de estos canales esta ortogonalmente expandido por la función ortogonal apropiado y es entonces expandido por un par en cuadrantura de secuencia PN. Todos los canales son agregados juntamente y enviados al modulador.

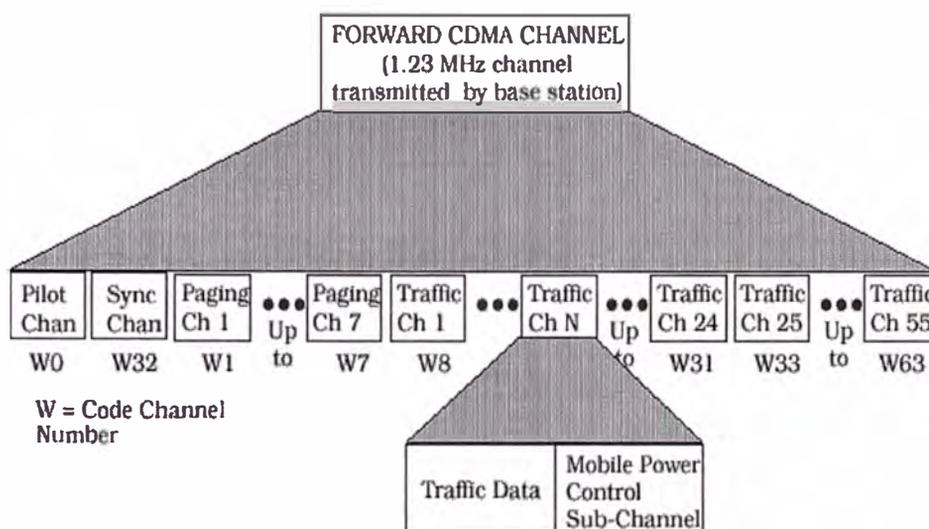


Figura 4.1: Canal Forward CDMA transmitido por la Estación Base

#### A) Canal Piloto

El canal piloto es una señal de espectro expandido de secuencia directa no modulada transmitido todo el tiempo por la estación base CDMA. La estación móvil monitorea el canal piloto para adquirir la sincronización del canal forward CDMA y proporcionar una referencia de fase para una demodulación coherente. La medida de la relación de señal a ruido ( $E_c/I_o$ ) del móvil del canal piloto da una indicación del sector de la celda. La señal piloto consiste de todos ceros y es asignado al Walsh 0 (W0). El canal piloto envía todo 0's a 19.2 kbps.

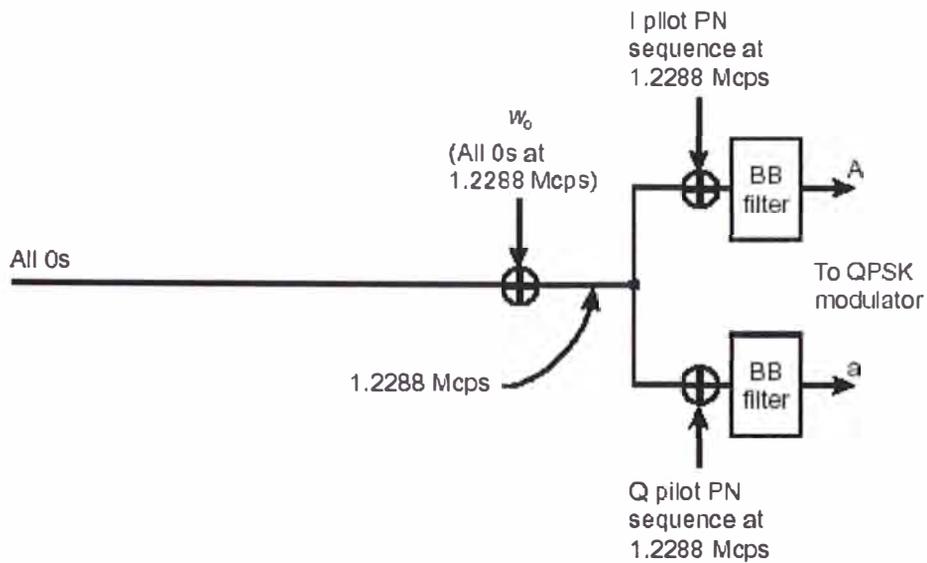


Figura 4.2: Canal Piloto

#### B) Canal de Sincronismo

El canal de sincronismo es transmitido por la estación base para habilitar al móvil y obtener una trama de sincronización de la señal CDMA. El canal de sincronismo es una señal de espectro expandido modulado, codificado, expandido e interpolado que es usado por la estación móvil para adquirir el tiempo de sincronización inicial. En la figura 4.3 se muestra un diagrama de bloques del canal de sincronismo.

El canal de sincronismo opera a una velocidad de 1200 bps, los mensajes del canal de sincronismo tiene un mensaje de cabecera de 8bits de longitud, y un mensaje cuerpo de un mínimo de 2 bits y un máximo de 1146 bits, y un código de chequeo de redundancia cíclica de 30 bits (CRC). Si los mensajes de sincronismos son menores que un múltiple entero de 93 bits, ellos pueden ser rellenos con 0's bits al final del mensaje. La longitud incluye la cabecera, el cuerpo y el CRC.

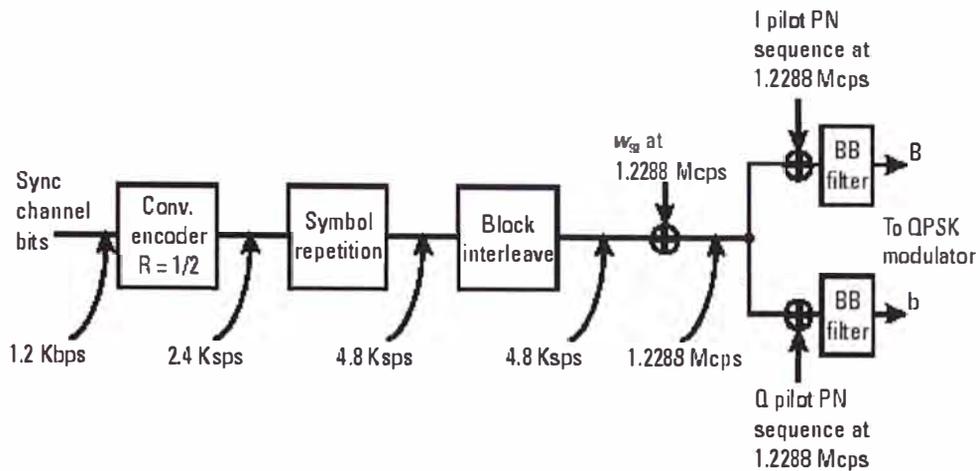


Figura 4.3: Canal de Sincronismo

### C) Canal Paging

El canal paging es también una señal de espectro expandido modulado, codificado y interpolado; usado para la transmisión de información de control y pages desde la estación base hacia la estación móvil (ver figura 4.4). Los canales paging son asignados a los canales lógicos Walsh Code del 1 al 7 (W1 –W7). El canal paging opera a una velocidades de 4800 o 9600 bps, y los mensajes del canal son similares al del sincronismo y tiene un mensaje de cabecera de 8 bits de longitud, y un mensaje cuerpo con un mínimo de 2 bits y 1146 bits como máximo y un código CRC de 30 bits. El canal paging envía diferentes tipos de mensajes, algunos de estos mensajes son:

- 1.- System Parameters Messages: Estos mensajes son enviados a todos los móviles en el área para especificar la característica de servicio.
- 2.- Access Parameters Messages: Este mensaje es enviado a todos los móviles en el área para especificar la característica del mensaje enviado en el canal de acceso.

3.- Order Message: Este mensaje indica al móvil ejecutar una operación y confirmar un requerimiento desde el móvil.

4.- Channel Assignment Message: Este mensaje informa al MS del canal de tráfico correcto para usar para voz o data.

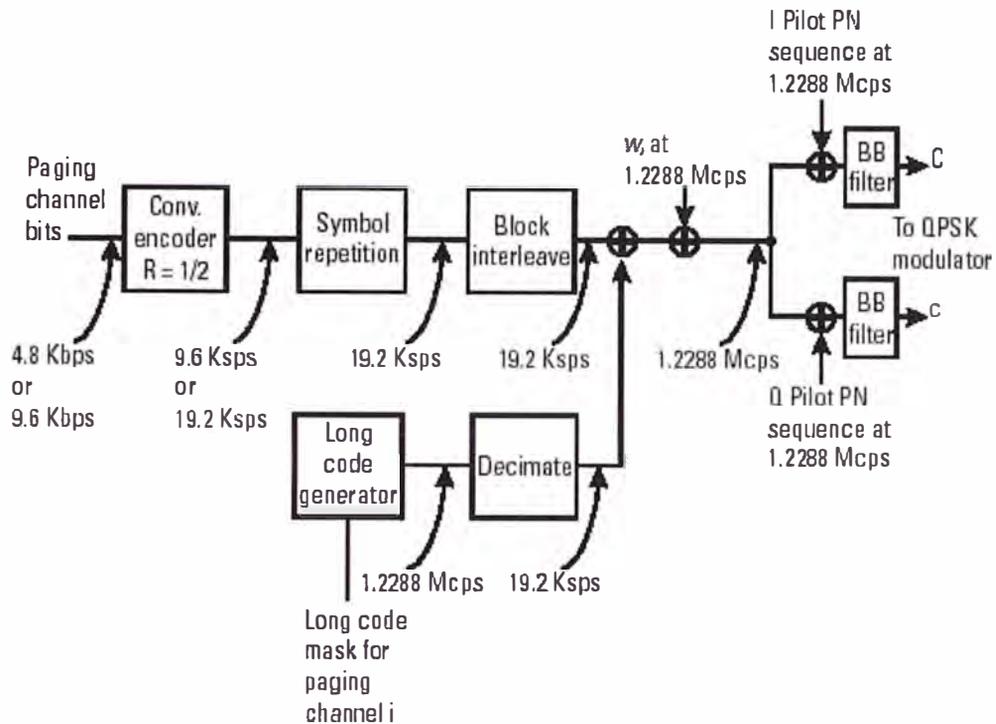


Figura 4.4: Canal Paging

#### D) Canal de Tráfico Forward

El canal de tráfico forward es usado para la transmisión de usuarios y señalización de tráfico desde la estación base hacia la estación móvil durante una llamada. El número máximo de canales de tráfico forward es igual a 63 menos el número de canales paging y sincronismo operando en el mismo canal forward CDMA. Los canales de tráfico forward soportan velocidades variables de 9600, 4800, 2400, o 1200 bps.

La información en un canal de tráfico consiste de un tráfico primario (voz y data), tráfico secundario (data), y señalización en tramas de longitud de 20ms. Cada trama del canal de tráfico forward enviado a:

A una velocidad de datos a 9600 bps consiste de 192 bits, el cual esta compuesto de 172 bits de información seguido por 12 bits para el indicador de calidad de trama (CRC) y 8 bits finales codificador.

A una velocidad de datos a 4800 bps consiste de 96 bits, el cual esta compuesto de 80 bits de información seguido por 8 bits para el indicador de calidad de trama (CRC) y 8 bits finales codificador.

A una velocidad de datos a 2400 bps consiste de 48 bits, el cual esta compuesto de 40 bits de información seguido por 8 bits codificador finales. Los 8 bits de CRC no son usados.

A una velocidad de datos a 1200 bps consiste de 24 bits, el cual esta compuesto de 16 bits de información seguido por 8 bits codificador finales. Los 8 bits de CRC no son usados.

Cuando el canal de tráfico forward es usado para señalización, algunos mensajes típicos pueden ser enviados:

- 1.- Order message: Este es similar a los mensajes enviado en el canal paging.
- 2.- Authentication Challenge Message: Cuando la estación Base desconfía de la validación del móvil, este puede requerir al móvil probar su identidad.
- 3.- Extended Handoff Direction Message: Este mensaje es uno de los múltiples mensajes de handoff enviado por la estación base.

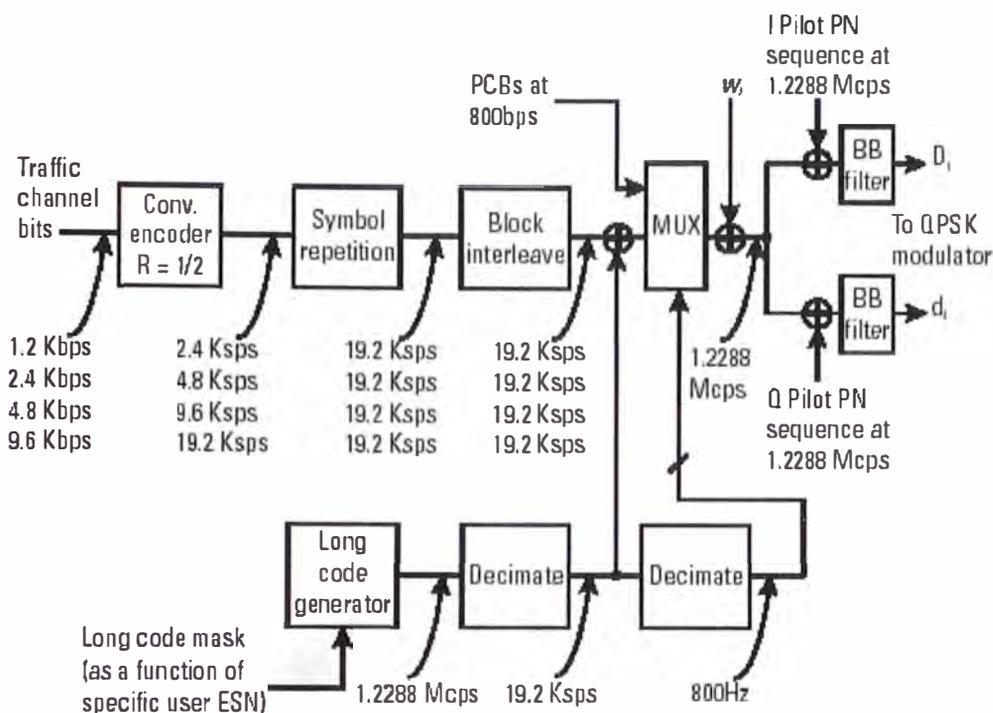


Figura 4.5: Canal de trafico Forward

- Enlace Reverse

El canal reverse CDMA es compuesto del canal de acceso y canales de trafico. La data transmitida en el canal reverse CDMA es agrupada en tramas de 20 ms. Toda la data transmitida en el canal reverse CDMA es convolucionalmente codificada para la corrección de errores aleatorios, el bloque de interpolación es para protección de ráfagas de errores, modulado por el arreglo de los 64 códigos Walsh, consistiendo de 64 chips largo, y una expansión de secuencia directa por el código largo de periodo  $2^{42}-1$  chips antes de la transmisión.

La ráfaga de datos aleatorios no es usada cuando la estación móvil transmite en el canal de acceso. Pero en el canal de trafico reverse la ráfaga de data aleatoria genera un patrón de mascara de 0's u 1's que aleatoriamente enmascara la data redundante

generada por la repetición de código. El canal de tráfico reverse y el canal de acceso son secuencia directa expandido por el código largo. Esta operación de expansión envuelve el modulo-2 de adición del flujo de salida de la ráfaga de data aleatorio y el código largo.

Siguiendo la expansión de secuencia directa, el canal de tráfico reverse y el canal de acceso son expandida en cuadratura. Una trama es definida como un intervalo de tiempo básico en el sistema. Para el canal de acceso, paging y canales de tráfico reverse y forward, una trama es de 20ms de longitud. Para el canal de sincronismo, una trama tiene una longitud de 26.666ms.

El indicador de calidad de trama es el CRC aplicado a 9600 bps y 4800 bps en las tramas de canales de tráfico. El código de redundancia cíclico (CRC) es una clase de error lineal detector de códigos el cual genera parida de check bits para encontrar el resto de una división polinomial. El indicador de calidad de trama CRC soporta dos funciones en el receptor. La primera función es determinar la velocidad de transmisión de la trama., la segundad es determinar si la trama es un error.

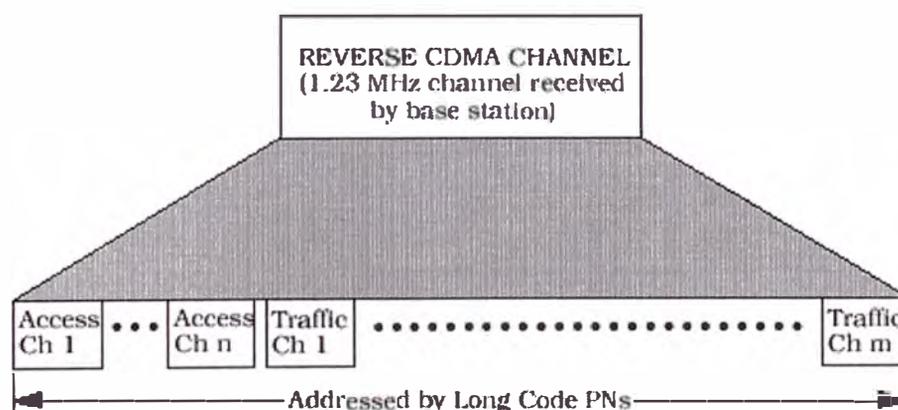


Figura 4.6: Canal Reverse CDMA transmitido por la Estación Móvil

### A) Canal de Acceso

El canal de acceso es un canal lógico reverse CDMA usado por la estación móvil para iniciar comunicación con la estación base y responder a los mensajes de del canal paging (ver figura 4.7). Uno o más canales de acceso son emparejados con cada canal paging. La velocidad de data del canal de acceso es fijada a 4800 bps. Una trama del canal de acceso es de 20 ms en duración y empieza solo cuando el system time es un múltiplo de los 20ms. Un canal de acceso consiste de un canal de acceso preámbulo y un canal de acceso de message capsule. Cada canal es distinguido por un código PN largo.

Cada trama del canal de acceso consiste de 96 bits (tramas de 20ms a 4.8 kbps). Cada formato de la trama del canal de acceso consiste de 88 bits de información y 8 bits encoder tail.

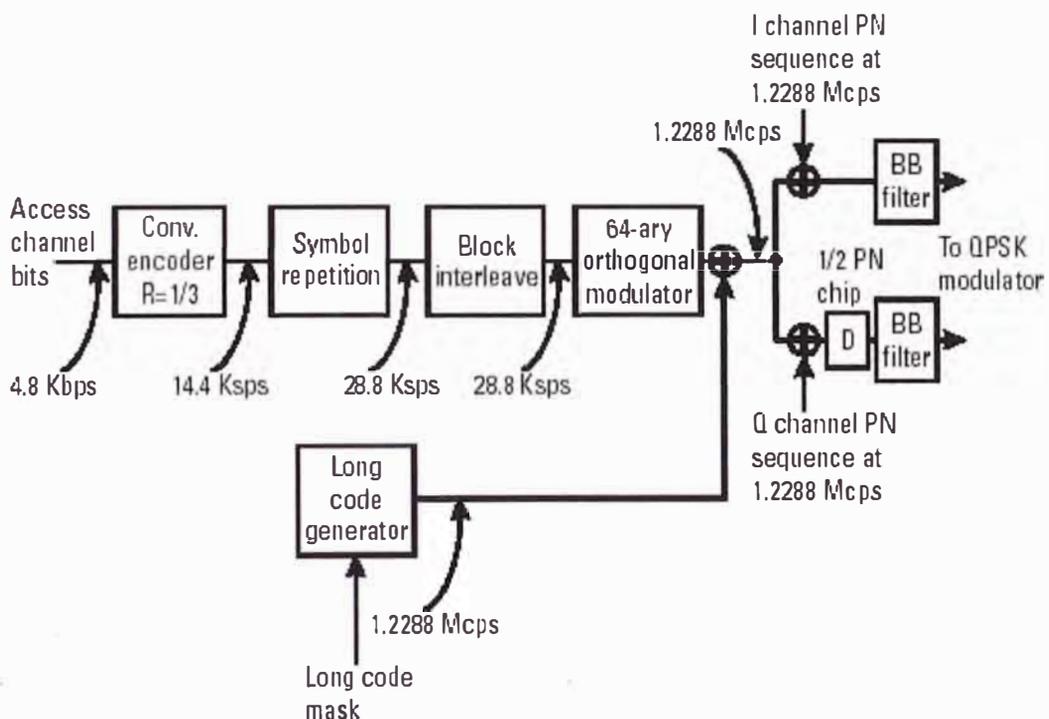


Figura 4.7: Canal de Acceso

## B) Canal de Trafico Reverse

El canal de trafico reverse consiste de un trafico primario (voz o data), o trafico secundario (data), y señalización usando tramas de longitud de 20 ms. El canal de trafico reverse es usado para la transmisión de información de usuario y señalización a la estación base durante una llamada. El canal de trafico reverse puede usar velocidad de transmisión variable de 9.6, 4.8, 2.4, o 1.2 kbps.

El formato del mensaje es idéntico al formato del canal de trafico forward. Cuando el canal de trafico reverse usado para señalización algunos de los siguientes mensajes puede ser enviado:

- 1.- Order: este mensaje puede ser una respuesta a una estación base o un requerimiento de servicio desde el móvil.
- 2.- Authentication Challenge Response: este mensaje es enviado en respuesta al challenge por la estacion móvil.
- 3.- Handoff Completion: cuando la estación móvil completa el proceso de handoff, el envía este mensaje.

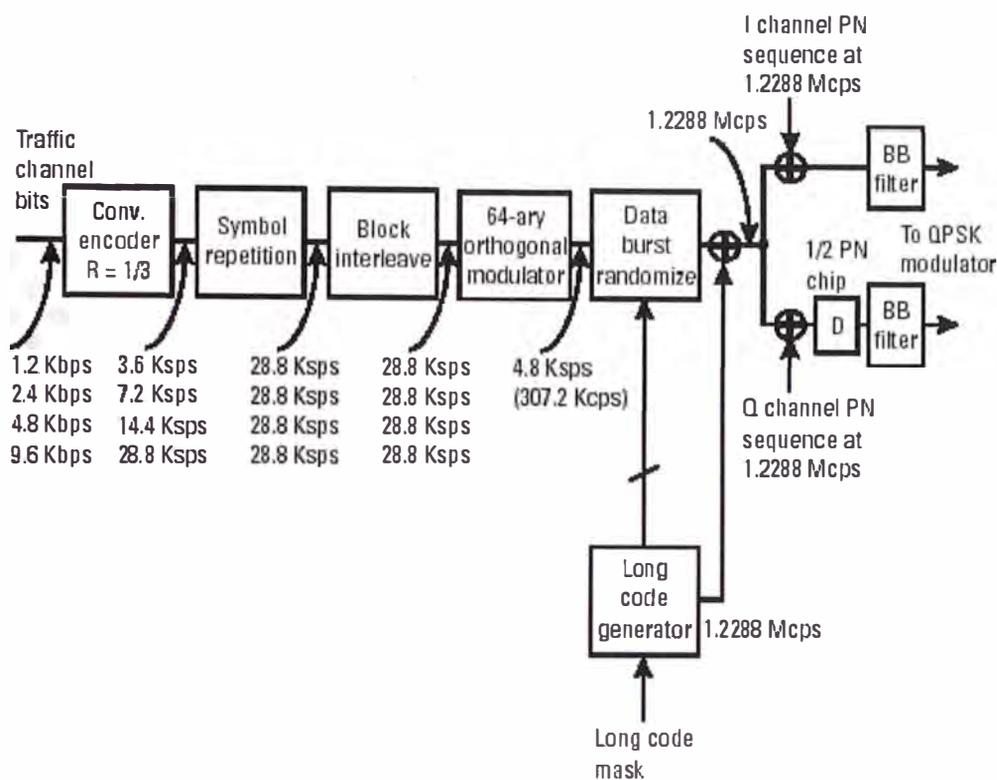


Figura 4.8: Canal de Trafico Reverso

#### 4.3.2. Procesamiento de Llamada (Call Processing)

El call processing se refiere a todas las funciones necesarias que el sistema necesita para llevar a cabo una orden para establecer, y cortar una llamada entre un móvil y la parte remota. Existen dos tipos de conexiones posibles: una llamada mobile-to-land y una llamada mobile-to-mobile. En el caso de mobile to land, la llamada es establecida entre el móvil y una línea fija, el cual la llamada es enrutada a través de la red pública (PSTN). El sistema CDMA IS-95 adopta la descripción de call processing. Donde el móvil es el elemento común en los dos tipos de conexiones. Consecuentemente, call processing debe ser capaz de establecer una llamada desde un móvil CDMA al destino, el cual puede ser un teléfono conectado a la PSTN, o otra estación móvil (análogo, CDMA, TDMA, GSM). Adicionalmente el sistema

celular debe ser capaz de transferir los paquetes correctamente cuando la estación móvil se mueve desde una estación base a otra durante la llamada.

El call processing de IS-95-A separado en dos partes, el procesamiento de llamada de la estación móvil y el procesamiento de llamada de la estación base. El procesamiento de llamada se refiere a la técnica de flujo de protocolo de mensajes entre la estación base y la estación móvil

- Procesamiento de llamada de la estación móvil

En la figura 4.9 se muestra las cuatro etapas que consisten el procesamiento de llamada de la estación móvil:

A) Etapa de inicialización de la Estación Móvil.- En esta etapa la estación móvil debe:

- 1.- Seleccionar cual sistema a usar (operación Análoga o CDMA).
- 2.- Adquirir el canal piloto del sistema CDMA seleccionado dentro de los 20 ms.
- 3.- Recibir y procesar los mensajes del canal de sincronismo para obtener la configuración del sistema (NID, SID, PILOT\_PN etc) e información de sincronización.
- 4.- La subetapa final es el cambio de sincronización, el cual esta preparando para recibir el canal paging, determina el canal paging principal, e inicializa el proceso de registración.

B) Etapa Libre de la estación móvil .- En esta etapa, la estación móvil monitorea mensajes en el canal paging. La estación móvil puede recibir mensajes, recibir una llamada entrante, iniciar una originación de llamada, iniciar una registración, o iniciar una transmisión de mensaje.

C) Etapa de sistema de Acceso.- En esta etapa, la estación móvil envía a la estación base sobre el canal de acceso y recibe mensajes desde la estación base sobre el canal paging. La etapa de sistema de acceso consiste de las siguientes subetapas y la estación móvil debe:

1.- Monitorear el canal paging hasta haber recibido un conjunto de mensajes de configuración.

2.- Envía un mensaje de originacion a la estación base.

3.- Envía un mensaje de respuesta paging a la estación base.

4.- Envía una respuesta a un mensaje recibido desde la estación base.

5.- Envía un mensaje de registración a la estación base.

6.- Enviar un mensaje de datos burts al estación base

7.- La estación móvil transmite sobre el canal de acceso usando un procedimiento de acceso aleatorio. El proceso de enviar un mensaje y recibir un reconocimiento para ese mensaje es llamado un intento de acceso. Cada transmisión en el intento de acceso es llamado una prueba de acceso. La estación móvil transmite el mismo mensaje a cada prueba de acceso en intento de acceso. Cada prueba de acceso consiste de un preámbulo del canal de acceso y un mensaje cápsula del canal de acceso.

D) Etapa de control de la estación móvil en el canal de trafico.- En esta etapa, la estación móvil comunica con la estación base usando los canales de trafico forward y reverse. Esta etapa consiste de la siguientes subetapas y la estación móvil debe:

1.- Verificar que este puede recibir el canal de trafico forward y empezar la transmisión sobre el canal de trafico reverse.

2.- Esperar una orden o alerta con mensaje de información.

3. - Esperar al usuario responder la llamada.

4.- Intercambiar paquetes de trafico primarios con la estación base bajo su principal aplicación de service option.

5.- Desconectar la llamada en la subetapa de liberación.

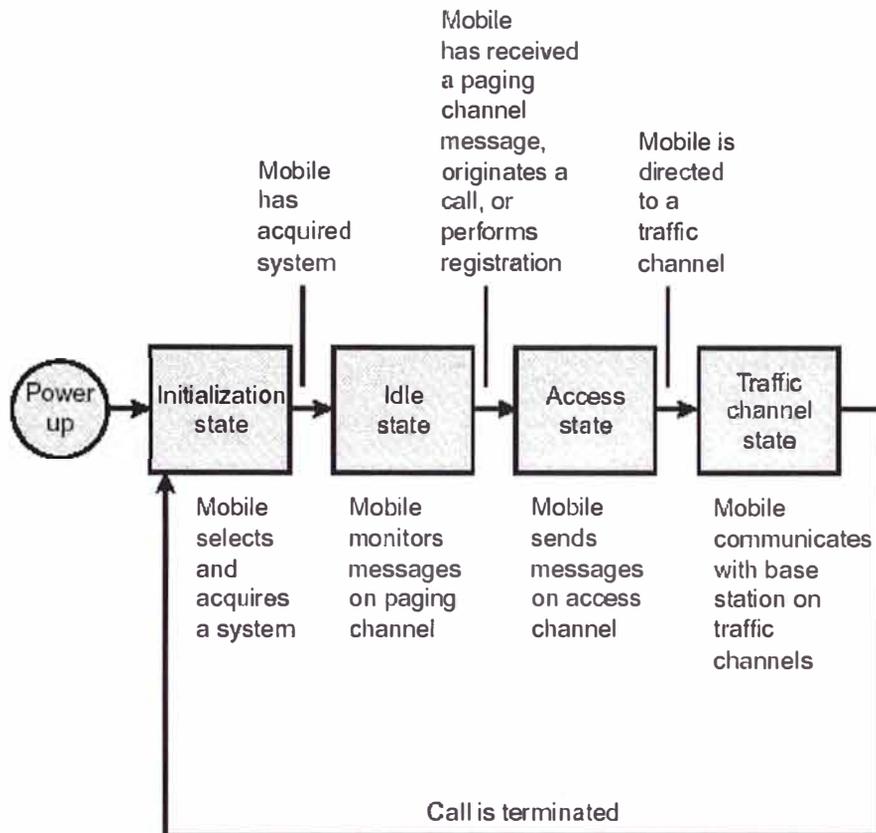


Figura 4.9: Procesamiento de llamada de la Estación Móvil

- Procesamiento de llamada de la estación base

El procesamiento de llamada de la estación base se refiere al método relativo al flujo de mensaje entre la estación base y la estación móvil. El procesamiento de llamada de estación base consiste de los siguientes tipos de procesamiento:

A) Procesamiento de canal de Sincronismo y piloto.- Durante el procesamiento del canal de sincronismo y canal piloto, la estación base transmite el canal piloto y el

canal de sincronismo el cual la estación móvil usa para adquirir y sincronizar al sistema CDMA mientras la estación móvil esta en la etapa de inicialización.

B) Procesamiento del Canal Paging.- Durante el procesamiento del canal paging, la estación base transmite el canal paging el cual la estación móvil monitorea para recibir mensajes mientras la estación móvil esta en la etapa libre o la etapa de acceso al sistema.

C) Procesamiento del Canal de Acceso.- Durante el procesamiento del canal de acceso, la estación base monitorea el canal de acceso para recibir mensajes el cual la estación móvil envía mientras esta en la etapa de acceso al sistema.

D) Procesamiento de canal de trafico.- Durante el procesamiento del canal de trafico, la estación base usa los canales de trafico forward y reverse para comunicar con la estación móvil mientras la estación móvil esta en la etapa de control en el canal de trafico.

#### 4.3.3. Registración

Registración es un proceso por el cual la estación móvil informa a la red acerca del estatus de los parámetros pertinente. Los parámetros de registración son el estatus de localización, tiempo y activación. Cuando una estación móvil se registra, la estación móvil envía un conjunto de mensajes a la estación móvil.

TIA-IS95-A soporta registración autónoma, registración ordenada, y registración por cambio de parámetros.

- Registración Implícita

TIA-IS95-A usa el termino de registración implícita, cuando una estación móvil envía satisfactoriamente un mensaje de originación o un mensaje de respuesta a un page, y la estación base puede detectar la localización del móvil.

- Registración por cambio de parámetros

Es cuando los parámetros de una estación móvil específico son modificado y el PARAMETER\_REG es igual a 1 en el System Parameters Message. Los parámetros mas relevantes son slot cycle index (SLOT\_CYCLE\_INDEX), station class mark (SCM) y call termination indicators.

- Registración Ordenada

La estación móvil responde a una orden de registración si la estación base ordena con un Registración Request Order en el canal paging

- Registración Autónoma

El TIA-IS-95-A soporta los siguientes tipos de registración autónoma:

Power Up

Timed-Based

Zone-Based

#### 4.3.4. Estrategias de Handoff en Sistema CDMA IS-95

Para CDMA la característica de la comunicación de spread spectrum permite al sistema recibir las transmisiones del móvil en una o más estaciones base simultáneamente, por consiguiente, la estación móvil puede simultáneamente recibir transmisiones de una o más estaciones bases, con esta característica es posible procesar una forma de handoff desde una estación base a otra o de un sector a otro sector, sin ninguna interrupción en la comunicación de voz o data. CDMA define diferentes tipos de Handoff:

- Soft Handoff.

Ocurre cuando la nueva estación base empieza comunicarse con la estación móvil mientras la estación móvil esta aún comunicándose con la estación anterior. El

sistema (BSC) combina las señales recibidas de ambas estaciones bases para luego ser procesadas. Las estaciones móviles recibirán las transmisiones de las dos estaciones base como señales multirutas en el receptor RAKE y procesaran ellos como una señal. Ver figura 4.6

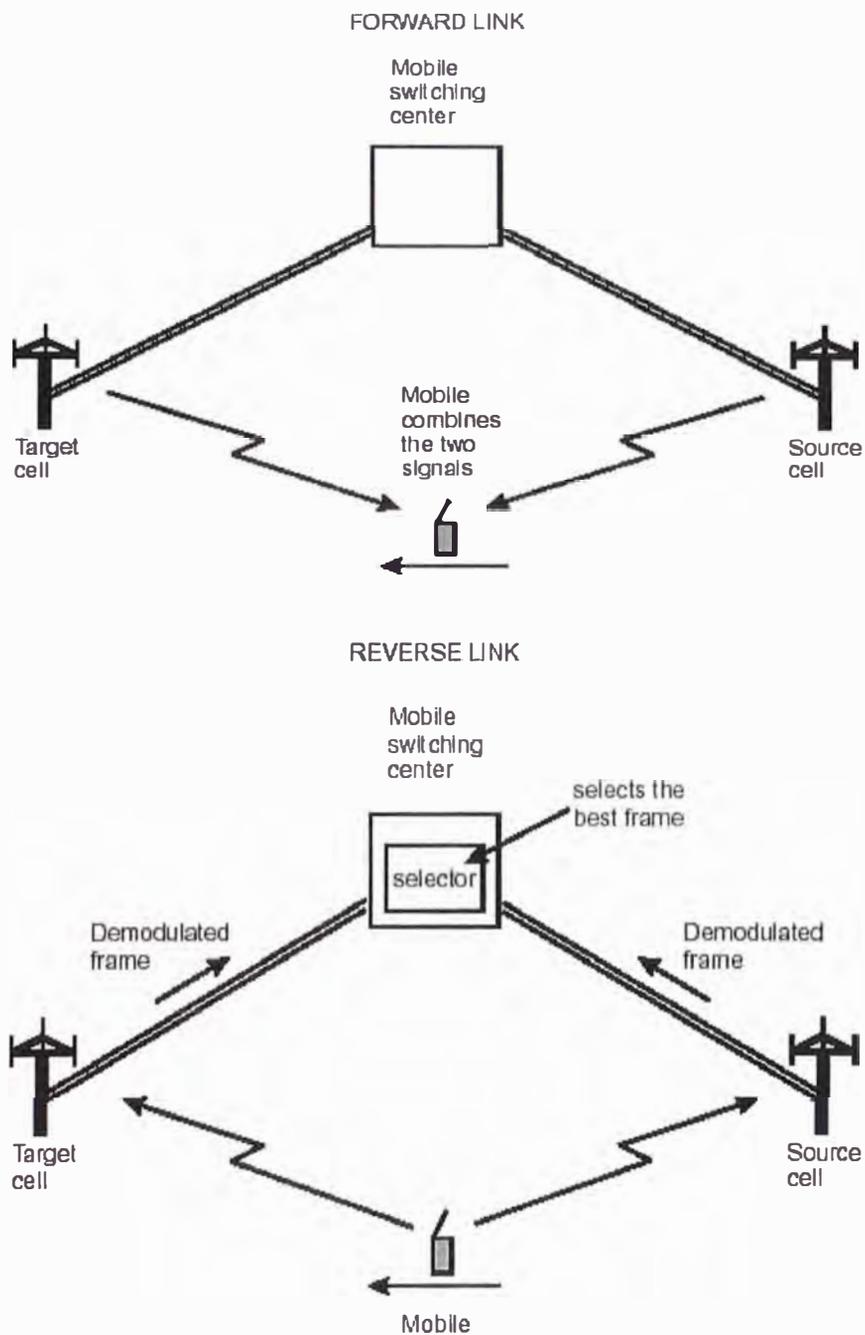


Figura 4.10: Esquemas de soft handoff

- Softer Handoff

Ocurre cuando la estación móvil esta en Handoff entre dos sectores diferentes en la misma estación base.

- Hard Handoff

Ocurre cuando dos estaciones base no están sincronizada o no están a la misma frecuencia y una interrupción de comunicación de voz ocurre. Otro tipo de Hard handoff ocurre cuando no hay servicio CDMA disponible y la estación móvil debe dirigirse a una canal celular análogo

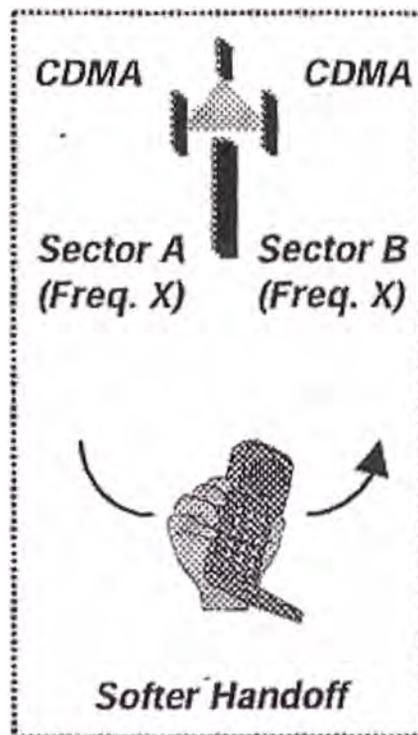


Figura 4.11: Softer Handoff

- Handoff Messages

A) Pilot Strength Measurement.- La estación móvil asiste al servicio de la estación base en el proceso de handoff midiendo y reportando la intensidad recibida de los pilotos ( via el searcher element del receptor RAKE).

Una vez que la medida es ejecutada, el móvil enviara un Pilot Strength Measurement Message a la estación base actual bajo las siguientes condiciones:

Un Pilot en el Active Set cae por debajo del Pilot Drop Threshold (T-drop), y el Handoff Drop Timer (T-Tdrop) ha expirado.

La intensidad de un piloto en el Candidate Set excede de un piloto del Active Set por  $T\text{-Comp} * 0.5 \text{ db}$

La intensidad de un piloto Neighbor o Remaining Set excede al Pilot Detection Threshold (T-Add).

La Signal Strength Measurement Message contiene el piloto medido PN offset y su intensidad de señal Eb/No y el estatus de su Handoff Drop Timer.

B) Handoff Direction Message (HDM).- Después de examinar el Pilot Measurement Message, la estación base actual puede decidir para dirigir al móvil al nuevo piloto (mientras mantiene la comunicación con el piloto actual). En este caso, la estación base actual, envía un Handoff Direction Message a la estación móvil. El Handoff Direction Message es un mensaje del enlace forward desde la estación base al móvil, y contiene:

- 1.- Número de secuencia del Handoff Direction Message.
- 2.- El número de canal de frecuencia CDMA.
- 3.- El conjunto activo el cual ahora incluye el antiguo y actual piloto (PN Offset)
- 4.- El canal lógico (Walsh Code) asociado con cada piloto en el conjunto activo
- 5.- El Window Search Size para el Active Set y Candidate Set.
- 6.- El Pilot Detection Threshold (T-Add)
- 7.- El Pilot Drop Threshold (T-Drop)
- 8.- El valor del Handoff Drop Timer (T-Tdrop)

### 9.- El umbral de comparación de Active Set vs el Candidate Set (T-Comp)

C) Handoff Completion Message (HCM).- Una vez que la estación móvil ha recibido el Handoff Direction Message desde la estación base anterior (actual), este adquiere la nueva estación base mientras mantiene comunicación con la actual estación base. El Active Set ahora contiene al actual también como la nueva estación base.

Después de adquirir la nueva estación base y el nuevo canal de tráfico, la unidad móvil envía un Handoff Completion Message a ambas estaciones bases. En este punto, la unidad móvil está en un Soft handoff o modo de transición.

El Handoff Completion Message contiene el nuevo Active Set (el nuevo y anterior PN offsets) Este mensaje es un mensaje en el enlace reverse el cual es enviado desde el móvil a la estación base. Ver figura 4.12

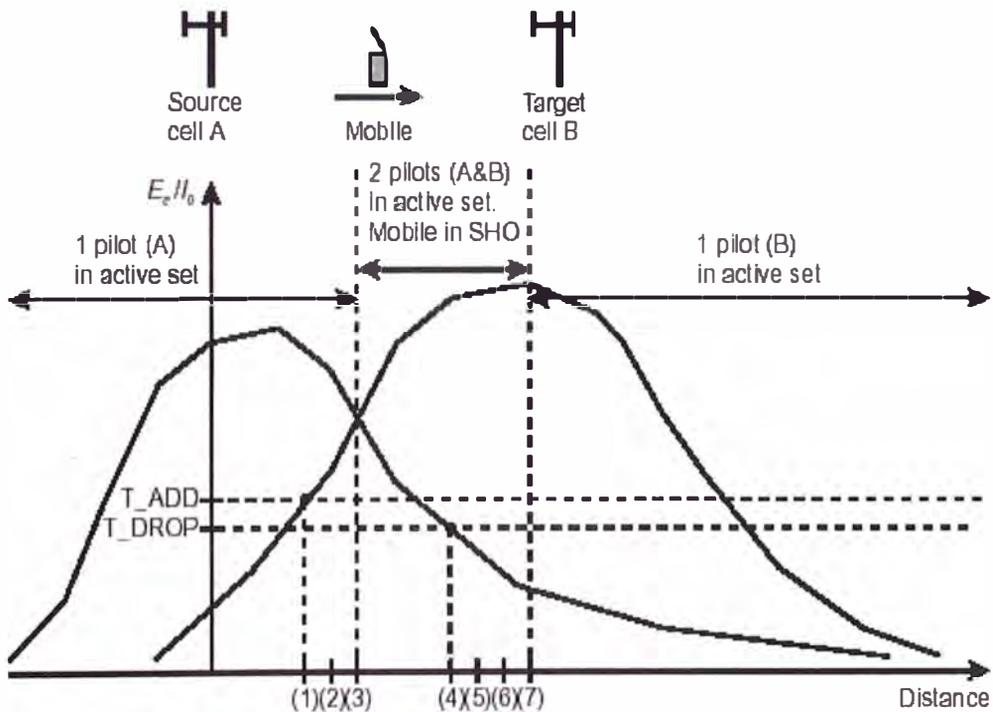


Figura 4.12: Handoff Messages

#### 4.3.5. Arquitectura del Sistema Celular CDMA

El diagrama siguiente (figura 4.13) muestra los elementos del Sistema CDMA, la función de cada uno ellos son descritos a continuación:

- Public Service Telephone Network (PSTN)

Proporciona una interface de conmutación entre los subscriber terrestre (land) y el centro de conmutación móvil (MSC). Los sistemas de señalización están basados en el sistema de señalización CCITT N° 7 (señalización por canal común).

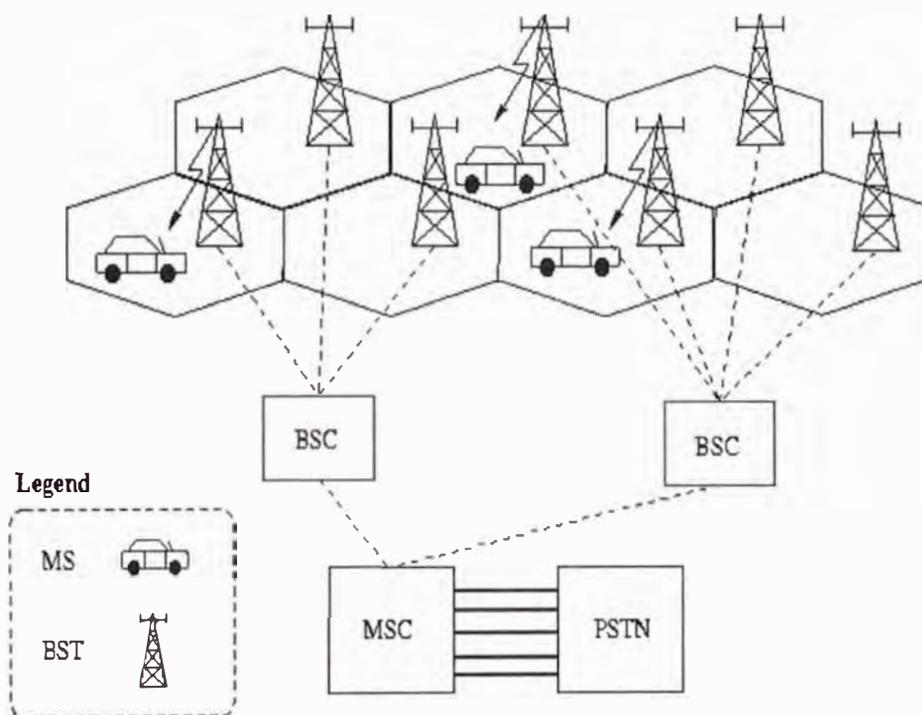


Figura 4.13: Arquitectura del Sistema CDMA

- Mobile Switching Center (MSC)

Este sistema realiza todas las funciones normales en telefonía, como la gestión de llamadas, control de tráfico, análisis de numeración, enrutamientos, tarificación y estadísticas de llamadas.

- Base Station Controller (BSC)

El sistema de estación base es la responsable de las funciones de radio en el sistema CDMA; gestión de comunicación de radio, manejo de los handoff, entre celdas en el área bajo su control, control de nivel de potencia. El sistema de estación base incluye las siguientes unidades funcionales:

A) Controlador de Estación Base (CBSC).- Esta es responsable de administración y asignación de canales, administración de handoff.

B) Transcoder (XC).- Ejecuta la transcodificación de la data digital desde formato PCM a CDMA y viceversa.

- Estaciones Base (BS)

Esta entidad proporciona la interface de RF a la unidad móvil, además proporciona enlaces de comunicación que incluye:

A) Enlace de control de datos para los móviles, el cual necesita dos conversiones:

Data < - > CDMA (baseband encode/decode)

CDMA < - > RF (QPSK modulación/demodulación)

B) Canales de tráfico de voz .- necesita tres conversiones:

PCM < - > QCELP (baseband encode/decode)

QCELP < - > CDMA (baseband vocode/decode)

CDMA < - > RF (QPSK modulación/demodulación)

- Mobile Subscriber

Es el usuario final hace interface con el sistema celular. La interface consiste de dos áreas como sigue:

A) Interface al operador

1.- keypad de control

## 2.- audio y visión

### B) Interface de radio al CBSC

#### 1.- Enlace de control y datos:

DATA  $\diamond$  CDMA (banda base encode / decode)

CDMA  $\diamond$  RF (QPSK modulación / demodulación)

#### 2.- Canales de tráfico de voz:

VOZ  $\diamond$  QCELP (banda base encode / decode)

QCELP  $\diamond$  CDMA (banda base encode / decode)

CDMA  $\diamond$  RF (QPSK modulación / demodulación)

- Centro de Operación y Mantenimiento (OMCR)

Responsable de estadísticas y colección de datos, además proporciona gestión de la red tanto por parte de la conmutación como por parte de radio.

## 4.4. PLANIFICACIÓN DEL SISTEMA CDMA

El propósito de esta sección será proporcionar la información y conceptos necesarios para poder hacer un plan de ingeniería, con un conjunto básico de requerimientos para proporcionar el diseño de un sistema RF Code Division Multiple Access (CDMA). La figura 4.14 representa el área de una red inalámbrica CDMA.

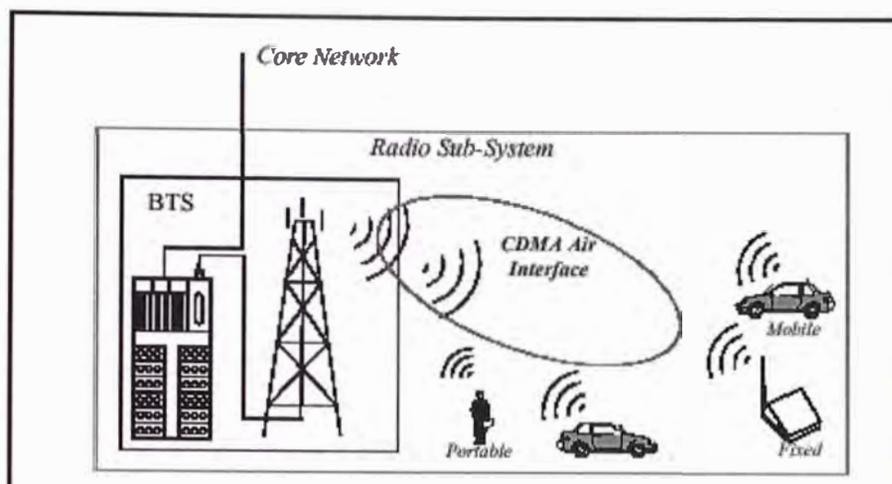


Figura 4.14: Sub-Sistema de Radio

#### 4.4.1. Planificación del Espectro CDMA

En esta sección se detallara un conjunto de pautas generales que puede ser usadas para asignar el espectro apropiadamente para sistemas CDMA de 1.23 MHz (IS-95A) incluyendo como relacionar la co-localacion de sistemas CDMA y AMPS. La información es especifica a la asignación del espectro basado en U.S. and International Standard.

- Espacio entre canales CDMA

CDMA (IS-95A) es una tecnología de banda ancha el cual utiliza 1.2288 MHz de ancho de banda por canal CDMA ( Esto a menudo se redondea a 1.23 MHz) . Para desplegar un canal inicial CDMA, el espectro debe ser asignado para el canal CDMA y las bandas de guardas que son requeridas en cada lado del canal. Para desplegar un segundo canal CDMA, el espacio entre canales CDMA deberá ser determinado. Antes de desarrollar el primer canal CDMA, deberá hacerse una planificación del espectro para maximizar la capacidad de bloque de espectro de múltiples portadoras CDMA.

Aquí “canal” es definido como cada portadora de 1.2288MHz y no como una ruta de conversación. Para AMPS, cada frecuencia (portadora) corresponde a una ruta de conversación. Sin embargo, un canal podría ser usado para discutir rutas convencionales o el número de portadoras. Para CDMA, cada portadora puede soportar muchas rutas de conversaciones y sin embargo el término de canal puede tomar un significado diferente.

- Espacio Mínimo entre Portadoras CDMA

Si el número de suscriptores del sistema CDMA incrementa, será una necesidad de agregar más portadoras de frecuencias CDMA al sistema. Si la primera y segunda portadora son adyacentes una a la otra, entonces el espacio entre portadoras CDMA (centro a centro) necesitará ser determinado. Para los sistemas basados en 800 MHz IS-95 A, con un incremento de canal de 30 KHz, el espacio mínimo de separación recomendado entre canales CDMA es 1.23 MHz. Como se observa en la figura 4.15:

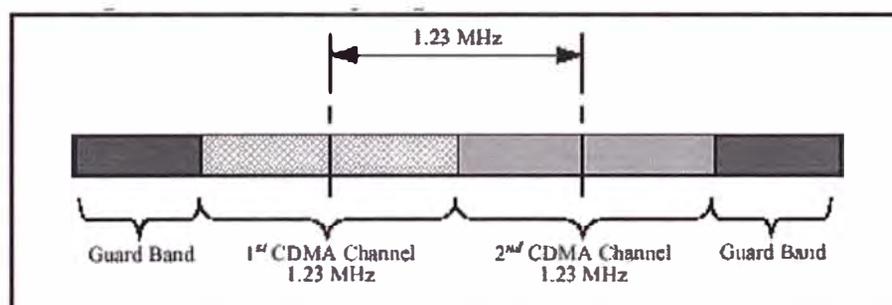


Figura 4.15: Espacio mínimo entre canales CDMA a 800MHz

Para sistemas basados en 1900 MHz IS-95A con un incremento de canal de 50 KHz, el espacio de canal mínimo recomendado de separación entre canales CDMA es 1.25 MHz. Vea la figura 4.16:

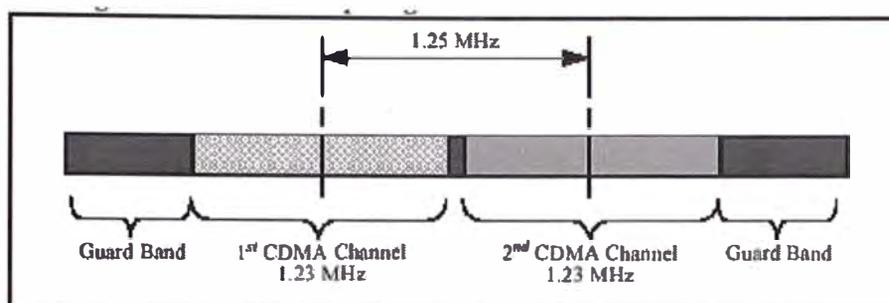


Figura 4.16: Espacio mínimo entre canales CDMA a 1900MHz

El espacio mínimo de canal localizado entre las portadoras de banda ancha adyacente de una a otra y seguidos de bandas de lados para cada uno para introducir dentro de la otra banda. La interferencia de canal adyacente para la mínima separación de canal reducirá ligeramente la capacidad de ambas portadoras CDMA. Un canal CDMA con canales adyacente CDMA en ambos lados tendrá a un una mayor reducción en capacidad. Si el ruido del sistema, la no linealidad, u otras imperfecciones incrementa la energía de la portadora, entonces incrementa la reducción capacidad que puede ser experimentado.

- Consideraciones de la Banda de Guarda

La planificación del espectro requiere el uso de la banda de guarda entre espectro adyacente siendo usado para diferentes sistemas de operador o para diferentes tecnologías de interface aérea. La banda de Guarda es requerida para minimizar la interferencia intra banda e inter banda hacia y desde el espectro adyacente. La determinación de una banda de guarda propia envuelve a un análisis detallado de los enlaces forward y reverse para ambos sistemas analizados. La planificación de la banda de guarda puede tomar en cuenta del espectro adyacente, el cual geográficamente por el borde del sistema, además del cual es geográficamente co-localizado con el sistema. La cooperación entre operadores de sistemas vecinos es

esencial para minimizar el problema de interferencia. Todos los escenarios posibles de interferencia desde ambos sistemas deberán ser considerados en el análisis. Los escenarios de interferencias mas comunes entre dos sistemas son listados:

Subscriber del Sistema A interfiere con Estación Base del Sistema B

Estación Base del Sistema A interfiere con subscriber del Sistema B

Subscriber del Sistema B interfiere con Estación Base del Sistema A

Estación Base del Sistema B interfiere con subscriber del Sistema A

- Recomendación de la banda de guarda AMPS

Para un sistema de 800 MHz con un espacio de canal de 30 kHz, ha sido determinado a través de un análisis de banda de guarda, que la mínima banda de guarda recomendada entre un canal CDMA y un canal AMPS es 0.27 MHz. La introducción inicial de CDMA requerirá un segmento de banda de 1.77 MHz. El segmento de banda consiste de un ancho de banda de 1.23 MHz para la portadora CDMA mas 0.27 MHz de banda de guarda AMPS en ambos lados de la portadora CDMA. La mínima frecuencia de separación requerida entre cualquier portadora CDMA y la portadora más cercana AMPS es 900 kHz (centro a centro).

El ancho de la portadora CDMA (1.23 MHz ) es el resultado del chip rate encontrado para la secuencia expandida de ruido aleatorio PN. La banda de guarda entre el sistema CDMA y Analógico es definida como la mínima frecuencia de separación requerida tal que el nivel de interferencia causado por un subscriber FM es menor que el threshold predeterminado. El threshold es tomado para ser el nivel de ruido térmico en cada receptor.

CDMA Channel =	1.23 MHz =	$1.23\text{MHz} / 30\text{kHz}^a =$	41 AMPS Channels
<u>CDMA Guard =</u>	<u>0.27 MHz/side =</u>	<u><math>0.54\text{MHz} / 30\text{kHz}^a =</math></u>	<u>18 AMPS Channels</u>
<b>Totals</b>		<b>1.77 MHz</b>	<b>59 AMPS Channels</b>

a. One AMPS Channel = 30 kHz

Tabla 4.1: Cálculos del Espectro Requerido para una Portadora CDMA

- Banda de Guarda AMPS con 2da portadora CDMA

El siguiente cuadro resume el numero total y adicional de canales AMPS removido al espectro libre para el segundo portador CDMA para un sistema de 800 MHz con 30 kHz de canal de espacio.

CDMA Spacing=	1.23 MHz =	$1.23\text{MHz} / 30\text{kHz}^a =$	41 AMPS Channels
CDMA Channel =	1.23 MHz =	$1.23\text{MHz} / 30\text{kHz}^a =$	41 AMPS Channels
<u>CDMA Guard =</u>	<u>0.27 MHz/side =</u>	<u><math>0.54\text{MHz} / 30\text{kHz}^a =</math></u>	<u>18 AMPS Channels</u>
<b>Totals</b>		<b>3.00 MHz</b>	<b>101 AMPS Channels</b>

a. One AMPS Channel = 30 kHz

Tabla 4.2: Calculo del espectro mínimo requerido para dos canales CDMA

La diferencia entre la primera y segunda portadora CDMA es igual al canal de espacio. El espacio de canal mínimo es 1.23 MHz (41 canales AMPS)

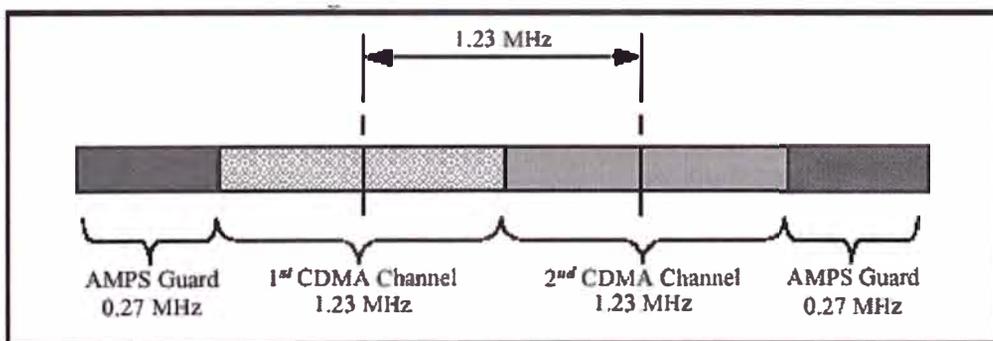


Figura 4.17: Segunda Portadora CDMA

- Espacio y Designación de Canal para 800 MHz

El canal primario y secundario CDMA serán asignados como se indica en la siguiente tabla:

	"A" Band	"B" Band
Primary	283	384
Secondary	691	777 <sup>a</sup>

a. In the United States due to proximity of 800 MHz Air-Ground Radiotelephone Service, channel 777 has interference considerations associated with it. Use of this channel should require determination of sufficient isolation prior to implementation.

Tabla 4.3: Espacio y Designación del Canal CDMA

La tabla 4.4 es tomada del estándar IS-95 A que indica las asignaciones de canales compartidos entre la tecnología CDMA y AMPS.

System Designator	CDMA Channel Validity	Analog Channel Count	CDMA Channel Number	Transmitter Frequency Band (MHz)	
				Subscriber	Base
A" (1 MHz)	Not Valid	22	991 - 1012	824.040-824.670	869.040-869.670
	Valid <sup>a</sup>	11	1013 - 1023	824.700-825.000	869.700-870.000
A (10 MHz)	Valid <sup>a</sup>	311	1 - 311	825.030-834.330	870.030-879.330
	Not Valid	22	312 - 333	834.360-834.990	879.360-879.990
B (10 MHz)	Not Valid	22	334 - 355	835.020-835.650	880.020-880.650
	Valid <sup>a</sup>	289	356 - 644	835.680-844.320	880.680-889.320
	Not Valid	22	645 - 666	844.350-844.980	889.350-889.980
A' (1.5 MHz)	Not Valid	22	667 - 688	845.010-845.640	890.010-890.640
	Valid <sup>b</sup>	6	689 - 694	845.670-845.820	890.670-890.820
	Not Valid	22	695 - 716	845.850-846.480	890.850-891.480
B' (2.5 MHz)	Not Valid	22	717 - 738	846.510-847.140	891.510-892.140
	Valid <sup>a</sup>	39	739 - 777	847.170-848.310	892.170-893.310
	Not Valid	22	778 - 799	848.340-848.970	893.340-893.970

a. The valid channel numbers provided in this table were taken directly from the IS-95 standard. Before using a valid channel number that is near the band edge, an analysis is required to verify proper guard band and FCC emission compliance with the adjacent band.

b. The spectrum allocated to the A' band is not sufficient for a CDMA carrier.

Tabla 4.4: Frecuencias y Números de Canales para la Band Class 0

En la tabla 4.4 , la frecuencia central (en MHz) correspondiente al numero de canal es calculado como se muestra en la siguiente tabla, donde N representa el numero de canal.

Transmitter	CDMA Channel Number	Center Frequency (MHz)
Subscriber Station	$1 \leq N \leq 799$	$0.030 * N + 825.000$
	$991 \leq N \leq 1023$	$0.030 * (N-1023) + 825.000$
Base Station	$1 \leq N \leq 799$	$0.030 * N + 870.000$
	$991 \leq N \leq 1023$	$0.030 * (N-1023) + 870.000$

Tabla 4.5: Asignación de Frecuencia correspondiente al numero de canal CDMA

#### 4.4.2. Planificación de Capacidad CDMA

En sistema CDMA, todos los usuarios en el sistema comparten un espectro de ancho de banda común sobre el tiempo que ellos están activos. La capacidad de un sistema CDMA depende de la cantidad de interferencia en el sistema. Adicionalmente el acceso de usuarios al sistema incrementara el nivel de interferencia del sistema. Para maximizar la capacidad, los pasos que se necesitan es minimizar la potencia total transmitida para poder reducir la interferencia total en el sistema. Un ajuste a esta potencia también hará un ajuste a la capacidad. El bloqueo en CDMA es definido ha ocurrir cuando la densidad total de interferencia alcanza un nivel predeterminado por encima de la densidad de piso de ruido. Este es una condición de soft bloqueo. La probabilidad de bloqueo puede ser relativo siguiendo el nivel máximo de interferencia tolerable a incrementar. La capacidad de un sistema CDMA es dependiente del ambiente RF ( pérdida de ruta, retardo de expansión, celda, etc).

- Estimación de Capacidad Máxima del Enlace Reverse

En sistemas digitales CDMA IS-95 A, los cálculos de la capacidad máxima que soporta el enlace reverse esta dada por la ecuación 4.1:

$$ReversePoleCapacity = N = \frac{W/R}{\left[ \frac{E_b}{N_o + I_o} \right]_{adjust}} \cdot F \cdot \left( \frac{1}{\rho} \right) \cdot G_s \dots\dots\dots(4.1)$$

Donde:

$I_o$  Densidad Espectral de ruido y señal total recibida

$N_o$  Densidad Espectral de ruido térmico

$E_b$  Energía por bit

$[E_b/(N_o+I_o)]_{adjust}$  Relación señal a interferencia mas ruido, para un control de potencia imperfecto.

$W$  Ancho de Banda

$R$  Velocidad de datos

$W/R$  Procesamiento de ganancia

$f$  relación de potencia de interferencia intercelda a intracelda

$F = 1 / (1 + f)$

Asumiendo las valores para los siguientes parámetros, la capacidad máxima del enlace reverse para IS-95 Rate Set 2 (Asumiendo un modelo de la tabla Erlang B con un grado de servicio de 2%) para una celda de tres sectores:

$W$	Ancho de banda del canal (CDMA)	1228800 Hz
$R$	Velocidad de datos	14400bps
$f$	Relación de interferencia de intra cell a inter cell	0.7
$\rho$	Factor de actividad de datos o promedio de voz	0.4
$G_s$	Ganancia de sectorización por sector (3 sectores)	2.4/3

$[E_b/(N_o+I_o)]$  Relación señal a interferencia mas ruido, bajo un control de potencia perfecto 6.5 dB

$\beta$  Valor Constante  $\ln(10)/10$

Reemplazando los valores en la ecuación 4.1:

$$[E_b / (N_o + I_o)]_{adjust} = 7.22 \text{ dB}$$

Finalmente calculamos la capacidad del enlace reverse:

$$\text{Capacidad Máxima Reverse} = N = 19$$

- Consideraciones en el calculo de la capacidad máxima del enlace reverse

El parámetro de perfomance  $E_b/(N_o+I_o)$ , usado como una entrada a la ecuaci3n proporcionada arriba. Es usualmente especificada para una velocidad de datos particular. Para diseñar un sistema CDMA, el diseñador de sistema no podra asumir que la capacidad máxima será logrado. El diseñador de sistema debera planear que la capacidad del enlace reverse no excedera de 75% de la capacidad máxima, del ejemplo anterior, este correspondera alrededor de 14 usuarios o 8.2 Erlangs.

#### A) Velocidad de Datos

La capacidad de una portadora CDMA es dependiente de la velocidad de la data que esta siendo usada. De la ecuaci3n 4.1 puede ser visto que  $R$  (data rate) tiene una relaci3n inverso a la capacidad máximo reverse. La siguiente figura mostrara una curva para ambas velocidades Rate Set 1 a 9600 bps (vocoder de 8kbps) y Rate Set 2 a 14400 bps (vocoder de 13kbps).

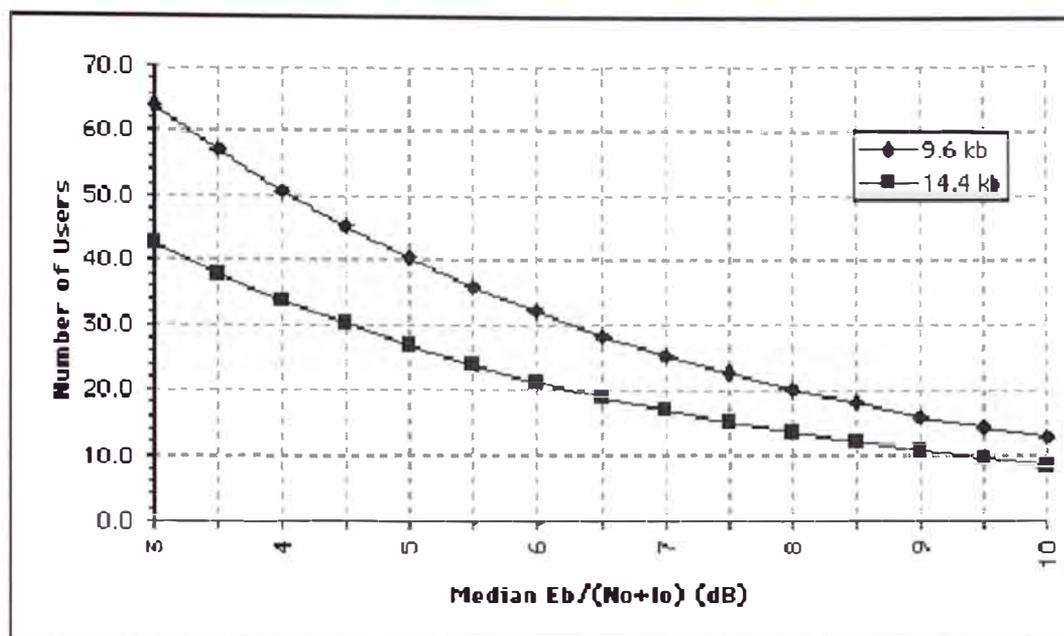


Figura 4.18: Impacto del  $E_b/(N_o+I_o)$  en el numero de usuarios

#### B) Mediana $E_b/(N_o+I_o)$

La figura 4.18 muestra que para valores mas bajos de  $E_b/(N_o+I_o)$  resulta en mas usuarios soportado. El incremento de mas infraestructura de celdas decrementara el valor de  $E_b/(N_o+I_o)$  en un área, buscando mejorar la capacidad del enlace reverse. Para un subscriber móvil, un valor 7 a 7.5 dB de  $E_b/(N_o+I_o)$  es considerado aceptable. Para un sistema fijo, el  $E_b/(N_o+I_o)$  requerido puede ser tan bajo como 3 a 4 dB para algunas situaciones.

#### C) Actividad de Voz o Data

Como un medio para minimizar la interferencia, la velocidad de transmisión y potencia deberá ser reducida, cuando la actividad de voz o data es ausente o disminuido. Esta reducción en velocidad de transmisión o potencia reduce la potencia de señal promedio de todos los usuarios y por ello reduce la interferencia vista por cada usuario. En la figura 4.19 se observa que con el incremento de

actividad de voz o data , disminuye el numero de usuarios soportados. El factor típico de actividad de voz es 40%

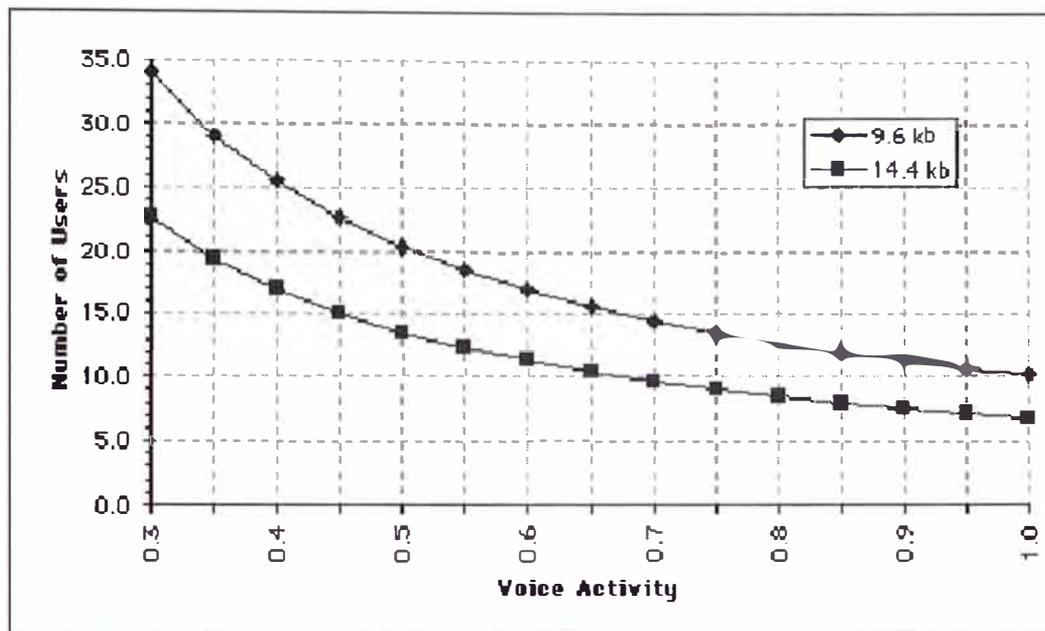


Figura 4.19: Impacto de actividad de voz o datos sobre el numero de usuarios

#### D) Interferencia de Celdas

La capacidad de una celda depende del total de interferencia que esta recibe de otras celdas. El nivel de potencia que es recibida en la estación base de diferentes fuentes es dependiente de las leyes de propagación. La figura 4.20 muestra que cuando la interferencia externa a la celda es incrementado con respecto a la interferencia interna a la celda, la capacidad se degradara.

$$f = \text{OutCell} / \text{InCell}$$

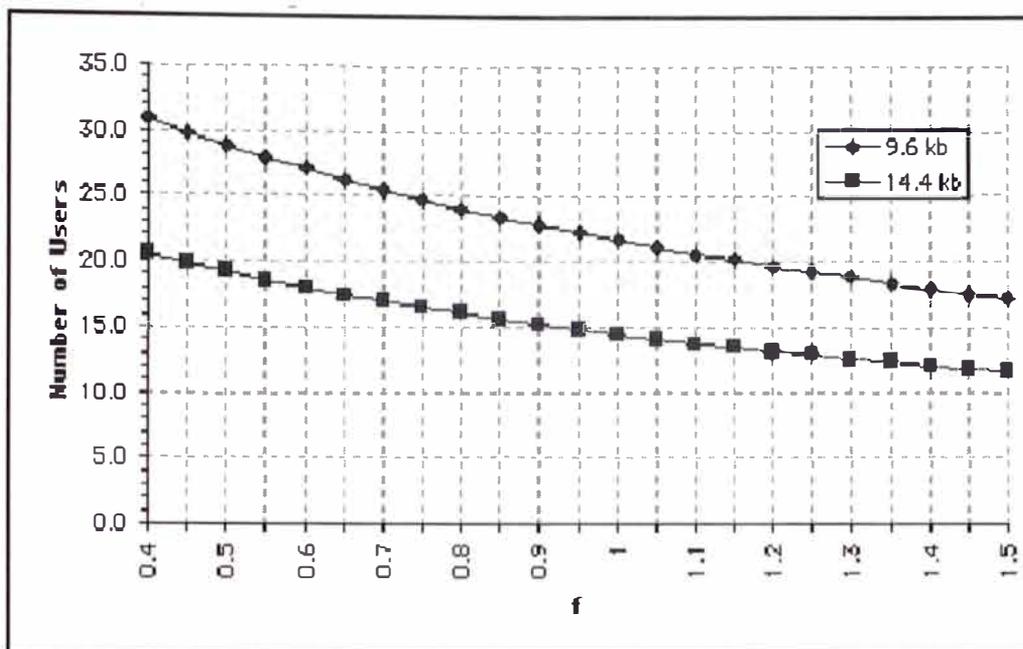


Figura 4.20: Impacto de Interferencia de otras celdas sobre el numero de usuarios

La tabla 4.6 muestra diferentes valores de  $f$  que fueron obtenidos de simulaciones asumiendo un modelo de propagación específico.

Path loss slope	Standard Deviation	Correlation	$f$ Factor
4.0	6.5	0.9	0.43
4.0	8.0	0.5	0.55
3.5	6.5	0.5	0.69
3.5	8.0	0.5	0.76
3.5	10	0.1	1.68

Note: path loss slope converts to path loss dB/decade by multiplying the slope by a factor of 10

Tabla 4.6: Muestras diferentes del factor  $f$

#### E) Ganancia de Sectorización

La ganancia de sectorización es de hecho un factor mas de reducción. Para una celda omni, la ganancia de sectorización es uno. Para un celda sectorial, una aproximación puede ser multiplicar el resultado de capacidad de una celda omni por el numero de

sectores de la celda sectorial. La ganancia de sectorización puede ser mejorado seleccionando antenas el cual tenga una buena relación front to back .

El valor de ganancia de sectorización el cual es comúnmente usado es 08 por sector o 2.4 por 3 sectores de una celda. Este 0.8 de ganancia de sectorización puede ser alguna forma de cómo 1 dB impacta a la capacidad del site debido a la interferencia de los otros sectores.

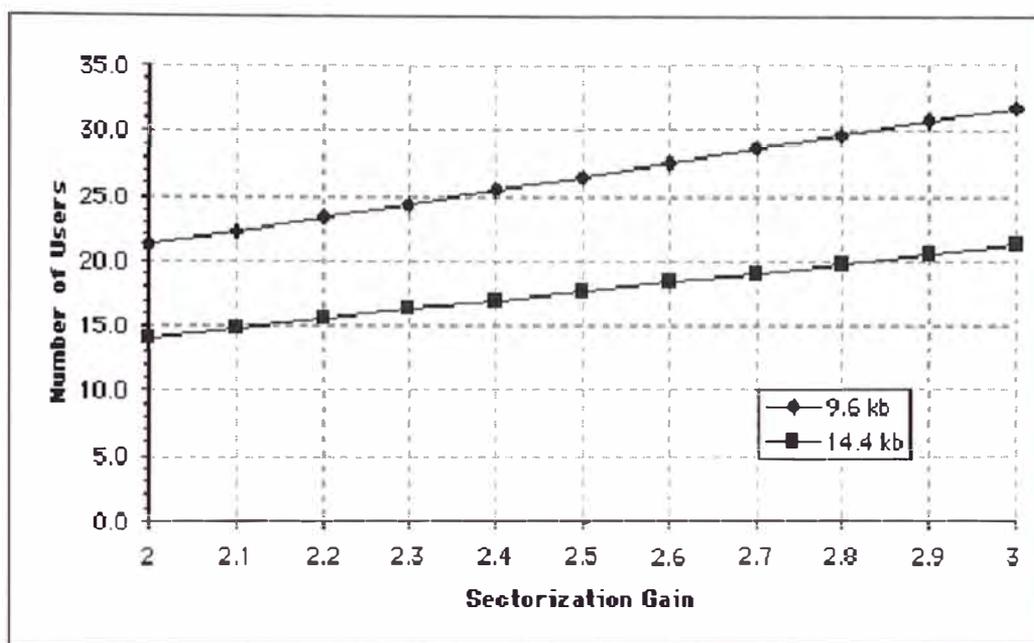


Figura 4.21: Impacto de Ganancia de sectorización sobre el numero de usuarios

#### F) Control de Potencia

La capacidad de trafico de un sistema CDMA es incrementado implementando un apropiado esquema de control de potencia para ecualizar la perfomance de todos los subscriber en el sistema. El esquema de control de potencia apropiado reduce la interferencia a las otras celdas adyacentes. La reducción de interferencia en el espectro genera mas usuarios en sistema CDMA. Como mencionamos previamente,

la imprecisión en el control de potencia es aproximadamente una función distribuida log-normal.

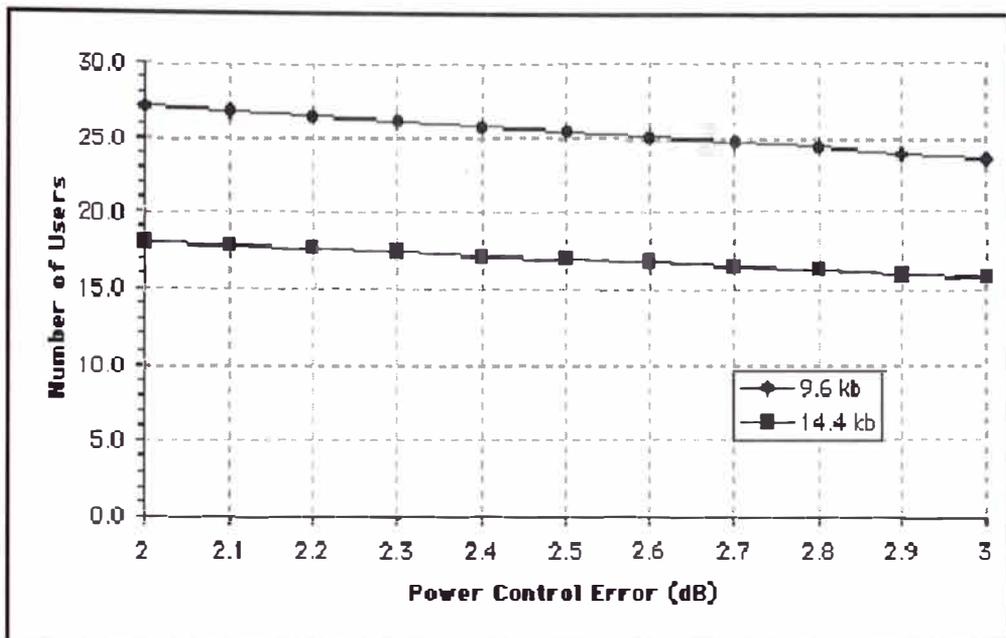


Figura 4.22: Impacto de Control de Potencia imperfecto sobre el numero de usuarios

- Capacidad Bloqueo del Enlace Reverse

El bloqueo en sistemas CDMA es definido a ocurrir cuando el total de colección de usuarios ambos dentro del servicio de celda/sector y en otras celdas vecinas introduce una cantidad de densidad de interferencia tan grande que excede la densidad espectral de piso de ruido para un determinada cantidad. Bajo la suposición que el sistema no esta limitado por hardware, el siguiente análisis aplicado a este concepto de soft blocking para calcular la capacidad de Erlang de un sistema CDMA. La ecuación 4.4 define la probabilidad de bloqueo

$$P_{blocking} = Probability \left\{ z = \sum_{l=1}^k v_l \epsilon_l + \sum_j \sum_{l=1}^k v_l(j) \epsilon_l(j) > (1 - \eta) \cdot \frac{W}{R} \right\} \dots\dots(4.4)$$

Note que la probabilidad de bloqueo para CDMA es determinada por la performance del sistema Eb/Io, factor de actividad de voz o data, ancho de banda del espectro expandido, velocidad de data, y el máximo nivel de interferencia permitido. La probabilidad de bloqueo puede ser relacionado por el máximo nivel de interferencia tolerable permitido (Io/No) a incrementar. En este caso, el sistema es forzado para acomodar mas usuarios simultaneo por degradación de servicio de calidad. Este fenómeno es llamado soft-blocking.

A) Probabilidad de bloqueo para el caso de una sola celda

Para el caso de una sola celda, la probabilidad de bloqueo puede ser definido como:

$$Probability\ of\ Blocking = Q \left( \frac{\frac{W/R}{exp(\beta m)} \cdot (1 - \eta) - \left( \left( \frac{\lambda}{\mu} \right) \cdot \rho \cdot exp\left( \frac{(\beta\sigma)^2}{2} \right) \right)}{\sqrt{\left( \frac{\lambda}{\mu} \right) \cdot \rho \cdot exp[2(\beta\sigma)^2]}} \right) \dots\dots(4.5)$$

Donde:

$\lambda / \mu$     *Trafico ofrecido*

$\beta$         = ln (10) / 10

B) Probabilidad de bloqueo para un sistema con Múltiple celdas

En un sistema con múltiple celdas se necesita considerar la interferencia creada por los usuarios servidos por una celda dada, como por los usuarios de las celdas vecinas.

Además se tiene que considerar las perdidas de ruta y la capacidad de cabecera de soft handoff.

Algunos de los valores tabulados en diferentes zonas, son mostrados en la tabla 4.7

Propagation Area	1 Mile Intercept Point (P <sub>0</sub> ) in dBm	Path Loss Slope (γ) dB/decade
Free Space	-45.0	20.0
Open Area	-49.0	43.5
Suburban	-61.7	38.4

Tabla 4.7: Propagación de Path Loss en diferentes Areas

La probabilidad de bloqueo para un sistema CDMA múltiple puede ser formulado como sigue:

$$Probability\ of\ Blocking = Q \left( \frac{\frac{W}{R} \cdot (1 - \gamma) \left( \left( \frac{\lambda}{\mu} \right) \rho \cdot \exp\left(\frac{(\beta\sigma)^2}{2}\right) |1 + I(\alpha, \delta, r)| \right)}{\sqrt{\left( \frac{\lambda}{\mu} \right) \rho \cdot \exp\left[2(\beta\sigma)^2\right] |1 + I(2\alpha, \delta, r)|}} \right) \dots(4.6)$$

Usando la ecuación 4.5 y 4.6, la probabilidad de bloqueo es plotado contra la capacidad por sector CDMA es diferentes situaciones como se muestra en la figura 4.23:

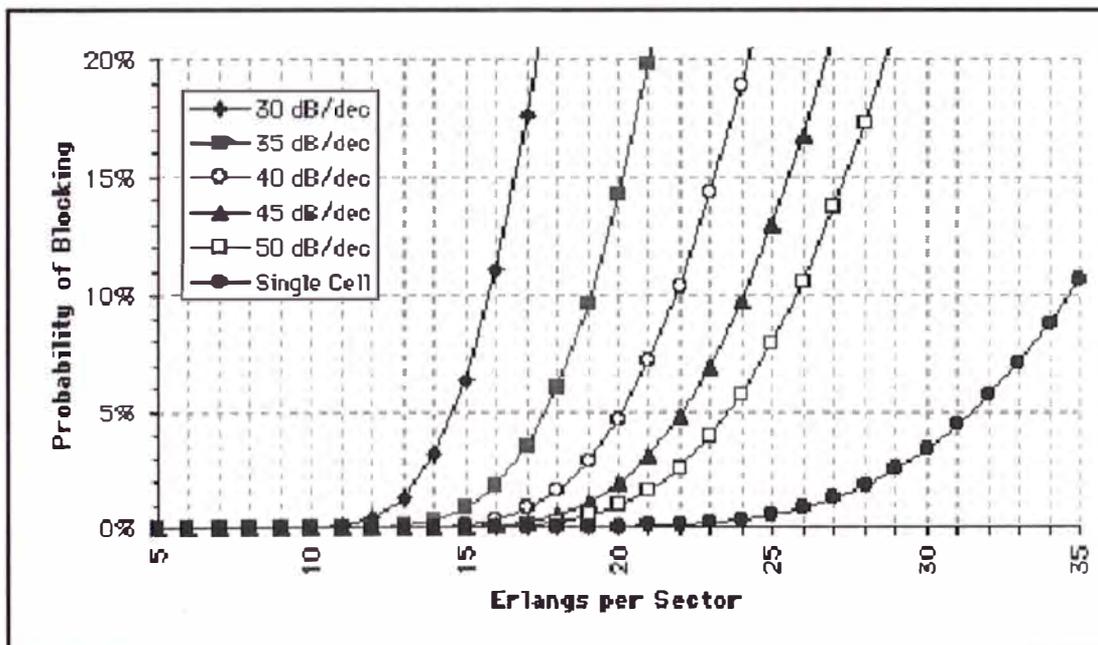


Figura 4.23 Probabilidad de bloqueo & Erlangs por sector

- Estimación de Capacidad de crecimiento de ruido del enlace reverse CDMA

La cantidad de crecimiento de ruido (interferencia) que puede ser tolerado por una estación base localizando un límite en cuantos usuarios pueden ser soportado por el enlace reverse. Como el número de usuarios servido por el enlace reverse es incrementado, el nivel de crecimiento de ruido aumentará en la estación base. La capacidad de celda es determinado para calcular el número de usuarios requerido para producir un máximo número de crecimiento de ruido aceptado.

#### A) Límite de capacidad de Crecimiento de Ruido en el enlace reverse

La capacidad máxima del enlace reverse es considerado ser el punto donde un usuario adicional causará el crecimiento de ruido dentro de la celda al incrementar exponencialmente. Esto creará una situación inestable donde las conexiones de usuarios pueden ser perdidas y el grado de servicio de red será severamente degradado. La capacidad extrema de crecimiento de ruido en el enlace reverse puede ser representado por la siguiente ecuación:

$$Z = 10 \times \text{Log}_{10}\left(\frac{1}{1-X}\right) = -10 \times \text{Log}_{10}(1-X) \dots\dots\dots(4.7)$$

Donde:

$X$       *Porcentaje de capacidad del enlace reverse extremo, factor de carga de tráfico.*

$Z$       *Crecimiento de ruido (Noise Rise) (dB)*

El gráfico 4.24 muestra muestra la capacidad máxima del crecimiento de ruido del enlace reverse.

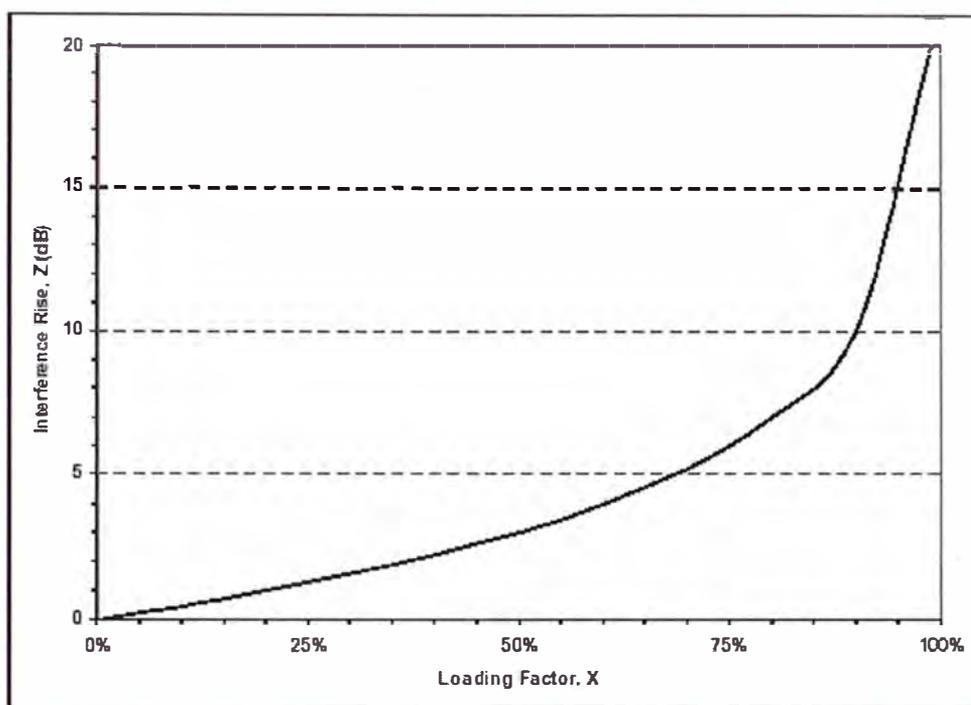


Figura 4.24: Crecimiento de Interferencia vs porcentaje Capacidad Máxima

Para estimar la perspectiva de capacidad de un número de usuarios, un límite de capacidad de crecimiento de ruido reverse debe ser seleccionado. Para el diseño de un sistema CDMA RF, un pico de crecimiento de ruido de 10 dB es recomendado ser el máximo que un sistema podría tolerar. El crecimiento de ruido promedio sería múltiple dB por debajo de este valor de pico. Es importante notar que 10 dB límite de crecimiento de ruido es un valor pico el cual está asociado con un cierto factor de probabilidad. Los factores de probabilidad recomendados asociados con el 10 dB pico de crecimiento de ruido son como sigue:

10 dB noise rise con 90% factor de probabilidad ( Para una capacidad agresiva )

10 dB noise rise con 95% factor de probabilidad ( Para una capacidad moderada )

10 dB noise rise con 98% factor de probabilidad ( Para una capacidad conservativa )

El valor recomendado es el factor de 95% de factor de probabilidad.

## B) Estimación de Capacidad de crecimiento de ruido reverse CDMA

Para aproximar el numero de usuarios que podría ser soportada por una celda mientras esta por debajo del limite de crecimiento de ruido, la ecuación 4.7 de capacidad de enlace reverse será utilizado.

Un factor de carga de múltiple usuario, X puede ser expresado como sigue:

$$X = \sum_{m=1}^M L_{(m)} \times \frac{V_{(m)}}{F \times P_{G(m)}} \times \frac{E_{b(m)}}{N_T} \dots\dots\dots(4.8)$$

El valor medio para el factor de trafico de múltiple servicio, X es expresado como sigue:

$$E[X] = \sum_{m=1}^M L_{(m)} \times \frac{V_{(m)}}{F \times P_{G(m)}} \times \exp\left[\beta \epsilon_{(m)} + \frac{(\beta \sigma_{(m)})^2}{2}\right] \dots\dots\dots(4.9)$$

La varianza para el factor de trafico de múltiple servicio, X es expresado como:

$$Var(X) = \sum_{m=1}^M L_{(m)} \times \frac{\Psi_{(m)} + (V_{(m)})^2}{F \times (P_{G(m)})^2} \times \exp[2\beta \epsilon_{(m)} + 2(\beta \sigma_{(m)})^2] \dots\dots\dots(4.10)$$

La siguiente ecuación proporciona la distribución de crecimiento de ruido, Z para un factor de trafico de múltiple servicio, X:

$$Z = -10 \times \text{Log}_{10}(1 - Pa \times \sqrt{Var(X)} - E[X]) \dots\dots\dots(4.11)$$

Donde :

$M$  Numero de diferentes tipos de servicios

$L_{(m)}$  Carga de trafico del tipo de servicio  $m$  (en Erlangs)

$E_{b(m)}/N_T$	<i>Energía por bit a densidad de interferencia total destino para un tipo de servicio m</i>
$\beta$	$LN(10) / 10$
$\varepsilon_{(m)}$	<i>Promedio <math>E_b / N_o</math> del tipo de servicio m</i>
$\sigma_{(m)}$	<i>desviación estándar <math>E_b / N_o</math>, en dB del tipo de servicio m</i>
$\nu_{(m)}$	<i>factor de actividad del tipo de servicio m</i>
$\nu_{(m)}$	<i>Factor de actividad promedio del tipo de servicio m (varianza=0.1 )</i>
$F$	<i>Densidad de interferencia total</i>
$P_{G(m)}$	<i>Procesamiento de ganancia de servicio m</i>
$Z$	<i>crecimiento de interferencia (expresado en dB)</i>
$P_a$	<i>Factor de probabilidad con una desviación estándar de 1</i>

### C) Cálculos de Estimación de Crecimiento de ruido del Enlace Reverse

El siguiente calculo proporciona como usar para estimar los cálculos de crecimiento de ruido del enlace reverse. Los calculo estima el crecimiento de ruido para un tipo de servicio de carga de trafico de solo usuario de voz.

- Carga de Trafico

20 = usuarios de voz a 9600 bps

0.45 = Factor F (celda de 3 sectores)

1.64 = factor de probabilidad para 95% ( $P_a$ )

0.25 = valor beta

21.1dB= Procesamiento de ganancia ( $P_{G(m)}$ )

3.6dB = Promedio de  $E_b/N_o$  para 1% de FER con desvanecimiento vehicular a 30 kmph

2.5dB = desviación estándar  $E_b/N_o$

0.713 = Factor de actividad

0.1 = Factor de actividad promedio

El primer paso es calcular el valor promedio del factor de carga de tráfico,  $X$ , para el promedio de usuario de voz 20, usando la ecuación:

$$E[X] = 0.669351$$

El siguiente paso es calcular la varianza para el factor de tráfico,  $X$ , usando la ecuación :

$$\text{Var}(X) = 0.016803$$

El paso final es calcular el crecimiento de ruido,  $Z$ , usando la ecuación 3-48 :

$$Z = 9.30 \text{ dB}$$

- Estimación de capacidad máxima del enlace forward

Los cálculos de capacidad del enlace forward (downlink) son similares a los cálculos que el enlace reverse en que la relación de energía por bit a la densidad de interferencia por cada subscriber necesita ser calculado. La naturaleza de la interferencia son ligeramente diferente en estos canales pilotos, pages, y sincronización necesita ser considerado como interferencia. Sin embargo la interferencia es dependiente en la intensidad de estos canales. Otro factor que debe ser considerado en los cálculos de capacidad del enlace forward es la cantidad total de potencia de transmisión de estación base requerida. Para usar una apropiada entrada de parámetros, la siguiente aproximación debe ser aplicado hacia los sistemas IS-95.

#### A) Estimación del Factor de Carga de Enlace Forward

Un factor de carga de enlace forward,  $\eta_{FL}$ , debe ser definido para una aproximación similar como la ecuación de máxima capacidad del enlace reverse, aunque algunos de los parámetros son casi diferentes. La siguiente ecuación puede ser usado para representar el factor de carga:

$$\eta_{FL} = \sum_{j=1}^N v_j \cdot \frac{(E_b/N_o)_j}{W/R_j} \cdot [(1 - \alpha_j) + i_j] \dots\dots\dots (4.12)$$

Donde:

$\eta_{FL}$	<i>factor de carga del enlace forward</i>
$N$	<i>Numero de conexiones por celda</i>
$v_j$	<i>Factor de actividad de usuario j</i>
$(E_b/N_o)_j$	<i>Señal de energía por bit entre densidad espectral de ruido de usuario j</i>
$W$	<i>Ancho de banda del canal</i>
$R_j$	<i>Velocidad de data de usuario j</i>
$\alpha_j$	<i>Ortogonalidad del usuario j</i>
$i_j$	<i>relación de potencia recibida de outcell a incell por usuario j</i>

Cuando comparamos la ecuación del enlace reverse, el nuevo parámetro principal es  $\alpha_j$ , el cual representa el factor de ortogonalidad para los usuarios del enlace forward. Donde el enlace forward emplea códigos ortogonales (Códigos Walsh) para separar a los usuarios, propagación de multiruta puede causar suficiente retardo, expansión en el canal de radio, el cual produce interferencia. El factor de ortogonalidad es usado para estimar la cantidad de interferencia creada por la propagación multiruta, donde el valor de 1 corresponde usuarios perfectamente ortogonales y el valor de cero corresponde sin ortogonalidad. Típicamente el factor de ortogonalidad esta entre 0.4 y 0.9 para canales de multirutas.

#### B) Estimación de Capacidad máxima de enlace forward

Cuando el factor de carga del enlace forward se aproxima a la unidad, el sistema alcanza su capacidad máxima y el crecimiento de ruido sobre térmico va hacia el

infinito. La capacidad máxima de crecimiento de ruido puede ser representado por la siguiente ecuación:

$$Z = -10 \log_{10}(1 - \eta_{FL}) \dots\dots\dots(4.13)$$

Donde:

$Z$       *Crecimiento de ruido (dB)*

$\eta_{FL}$     *Factor de Carga de enlace forward*

La capacidad máxima de crecimiento de ruido de enlace forward puede ser usada para estimar el crecimiento de ruido sobre el ruido térmico debido a múltiple acceso de interferencia. Este es similar a la ecuación de enlace reverse.

Para dimensionar el enlace forward, es importante tomar en cuenta la cantidad total de potencia de transmisión de estaciones bases requeridas. La potencia estimada estaría basada en la potencia de transmisión promedio por el usuario y no a la máxima potencia por usuario en la celda adjunta el cual es típicamente mostrada por el enlace presupuestal. La potencia de transmisión total de estación base por usuario en una localización promedio dentro de la celda puede ser expresada por la siguiente ecuación:

$$BS\_Tx\_Power = \frac{N_{rf} \cdot W \cdot \bar{L} \cdot \sum_{j=1}^N v_j \cdot \frac{(E_b/N_o)_j}{W/R_j}}{1 - \eta_{FL}} \dots\dots\dots(4.14)$$

Donde:

$N_{rf}$     *Densidad espectral de ruido del subscriber receptor front-end.*

$L$       *Atenuación promedio entre el transmisor de la estación base y el receptor del subscriber.*

$\eta_{FL}$     *Factor de carga promedio con valores promedios  $\alpha_j$  y  $i_j$*

### C) Estimación de capacidad de Potencia Fraccional de enlace forward

Para el enlace forward de una celda CDMA, hay una cantidad fija de potencia que es asignada para una portadora CDMA en base a una celda o sector. Puesto que este es un recurso fijo, un método alternativo para estimar la capacidad de enlace forward es normalizar este recurso de potencia fijo y estimar la cantidad fraccional de potencia requerida para el promedio de usuarios llevando múltiples factores (distribución de usuarios 1-way, 2-way, 3-way, interferencia de otras celdas, potencia de canal de cabeceras,  $E_b/N_T$  requerido, etc).

La siguiente ecuación representa la aproximación de primer orden de la capacidad del enlace forward usando una potencia fraccional aproximado:

$$N < \frac{(1 - \zeta_{pps})}{V_{eff}(3S_{3way}\zeta_{3way} + 2S_{2way}\zeta_{2way} + S_{1way}\zeta_{1way})} \dots\dots\dots(4.15)$$

Donde:

$N$  Carga de trafico soportado (en Erlang)

$V_{eff}$  Actividad de voz o data efectivo

$\zeta_{pps}$  Fracción de potencia total por piloto, page y sincronismo

$S_{iway}$  Fracción de usuarios en i-way handoff

$\zeta_{iway}$  Fracción de potencia de celda asignada por cada enlace iway

El siguiente paso es proporcionar un estimado más detallado para la fracción de potencia celda asignada por cada enlace i-way.

$$\zeta_{i-way} = \frac{(I_{on(t)} - \lambda_{(t)}) \cdot 10^{\left(\frac{E_b}{N_{iway}} + FPC_{error}\right)/10}}{i \cdot \lambda_{(t)} \cdot \frac{W}{R}} \dots\dots\dots(4.16)$$

Donde:

- $I_{on(i)}$                       *Interferencia normalizada total vista por usuario i-way*
- $\lambda_{(i)}$                         *Fracción de potencia recuperada por conexión i-way*
- $E_b/Nt_{iway}$                 *Energía por bit por densidad de potencia espectral de ruido térmico para i-way conexiones*
- $FPC_{error}$                     *Control de potencia forward en dB*
- $W$                                 *Ancho de banda de canal*
- $R$                                 *Velocidad de data*

El paso final es proporcionar un estimado más detallado para la interferencia total normalizado como ven por cada i-way usuario.

$$I_{on(i)} = i + \delta \cdot I_{ocn(i)} \dots\dots\dots(4.17)$$

Donde:

- $\delta$                                 *Factor de ruido para portadoras adyacentes*
- $I_{ocn(i)}$                         *Interferencia normalizada de otras celdas*

La tabla 4.8 son valores calculados a partir de las ecuaciones anteriores para estimar la capacidad de enlace forward para un sistema Rate Set 1 y Rate Set 2:

<b>Parameter</b>	<b>1-way</b>	<b>2-way</b>	<b>3-way</b>
$S_{iway}$	0.40	0.35	0.25
$I_{ocn(i)}$	0.134	0.30	0.30
$\lambda_{(i)}$	0.92	0.92	0.80
$E_b/Nt_{iway}$ for 13 kb	15.5 dB	9 dB	7 dB
$E_b/Nt_{iway}$ for 8 kb	13 dB	7 dB	5 dB
$FPC_{error}$	1.2 dB (for 13 kb) or 1.5 dB (for 8 kb)		
$\zeta_{pps}$	0.37		
$W/R$	85.33 (for 13 kb) or 128 (for 8 kb)		
$V_{eff}$	0.48 (for 13 kb) or 0.56 (for 8 kb)		
$\delta$ (assume 2% per carrier)	1.00 (for 0 adjacent carrier), 1.02 (for 1 adjacent carrier), 1.04 (for 2 adjacent carriers)		

Tabla 4.8: Parámetros para calculo de capacidad

Los siguientes ejemplos asume para portadoras no adyacentes ( $\delta = 1.00$ )

### Rate Set 1

1.- Estimar para la interferencia total normalizada como se ve para cada usuario i-way

$$I_{on(1)} = 1 + 1 \cdot 0.134 = 1.134$$

$$I_{on(2)} = 2 + 1 \cdot 0.3 = 2.3$$

$$I_{on(3)} = 3 + 1 \cdot 0.3 = 3.3$$

2.- Estimar la fracción de potencia de celda asignada por cada enlace i-way

$$\zeta_{1-way} = \frac{(1.134 - 0.92) \cdot 10^{(13+15)/10}}{1 \cdot 0.92 \cdot 128} = 0.0512$$

$$\zeta_{2-way} = \frac{(2.3 - 0.92) \cdot 10^{(7+15)/10}}{2 \cdot 0.92 \cdot 128} = 0.0415$$

$$\zeta_{3-way} = \frac{(3.3 - 0.8) \cdot 10^{(5+15)/10}}{2 \cdot 0.8 \cdot 128} = 0.0364$$

3.- Estimar la aproximación de primer orden de capacidad del enlace forward usando la potencia fraccional aproximada:

$$N < \frac{(1 - 0.37)}{0.56 \cdot (3 \cdot 0.25 \cdot 0.0364 + 2 \cdot 0.25 \cdot 0.0415 + 0.40 \cdot 0.0512)} = 14.6 \text{ Erlangs}$$

### Rate Set 2

1.- Estimar para la interferencia total normalizada como se ve para cada usuario i-way

$$I_{on(1)} = 1 + 1 \cdot 0.134 = 1.134$$

$$I_{on(2)} = 2 + 1 \cdot 0.3 = 2.3$$

$$I_{on(3)} = 3 + 1 \cdot 0.3 = 3.3$$

2.- Estimar la fracción de potencia de celda asignada por cada enlace i-way

$$\zeta_{1-\text{wuy}} = \frac{(1,134 - 0,92) \cdot 10^{(15,5 + 1,2)/10}}{1 \cdot 0,92 \cdot 85,33} = 0,1275$$

$$\zeta_{2-\text{wuy}} = \frac{(2,3 - 0,92) \cdot 10^{(9 + 1,2)/10}}{2 \cdot 0,92 \cdot 85,33} = 0,0920$$

$$\zeta_{3-\text{wuy}} = \frac{(3,3 - 0,8) \cdot 10^{(7 + 1,2)/10}}{2 \cdot 0,8 \cdot 85,33} = 0,0807$$

3.- Estimar la aproximación de primer orden de capacidad del enlace forward usando la potencia fraccional aproximada:

$$N < \frac{(1 - 0,37)}{0,48 \cdot (3 \cdot 0,25 \cdot 0,0807 + 2 \cdot 0,35 \cdot 0,0920 + 0,40 \cdot 0,1275)} = 7,5 \text{ Erlangs}$$

- Estimación de Capacidad de crecimiento de ruido del enlace forward

La cantidad de crecimiento de ruido (interferencia) que puede ser tolerado por los subscribers CDMA pondrá un límite en cuantos usuarios pueden ser soportados por el enlace forward. Como el número de usuarios atendido por el enlace forward es incrementado, el nivel de crecimiento de ruido visto por todos los subscribers será incrementado debido a la energía adicional existente transmitido por la celda para soportar por todos los subscribers. la capacidad de la celdas es determinado calculando el número de usuarios requerido para producir el máximo crecimiento de ruido aceptado que a continuación se describe:

#### A) Limite de Capacidad de crecimiento de ruido de enlace forward

La capacidad máxima de enlace forward es considerado ser el punto donde la potencia adicional desde las BTS's para soportar un usuario adicional que causara el crecimiento de ruido dentro del crecimiento exponencial de la unidad de subscriber. Esto creara una situación inestable donde las conexiones de usuarios pueden ser perdida y el grado de servicio de la red será severamente degradado.

La capacidad máxima de crecimiento de ruido del enlace forward puede ser representado por la misma formula que es proporcionada en la ecuación 3.50 .

Para estimar la capacidad desde la perspectiva del numero de usuarios, un limite de capacidad de crecimiento de ruido debe ser seleccionado. Para diseño de sistemas CDMA RF (para IS-95), un crecimiento de ruido de 10 dB es recomendado ser el máximo que el sistema podría tolerar( el cual es el mismo limite para el enlace reverse). Para contar el crecimiento de ruido generado por el canal piloto, page, cabeceras y sincronismo para el enlace forward, un de-rating del limite de crecimiento de ruido es recomendado como sigue:

Piloto = 20% de potencia total en la máxima capacidad

Page = 75% de la potencia piloto

Sync = 10% de la potencia piloto

$PPS_{total} = 20\%(\text{para piloto}) + 20\%*75\%(\text{para paging}) + 20\%*10\%(\text{para sincronismo})$

$PPS_{total} = 37\%$  de la potencia total en la máxima capacidad

Capacidad de usuario total =  $100\% - 37\% = 63\%$  de la potencia total en la máxima capacidad.

10 dB limite de crecimiento de ruido =  $10 (10/10) = 10$  unidades lineales

Limite de crecimiento de ruido de-rated :  $10*63\% = 6.3$  lineal =  $10\log(6.3) = 8.0\text{dB}$

Así, de esta manera el limite de crecimiento de ruido pico de-rated recomendado es 8.0 dB. EL crecimiento de ruido promedio seria muchos dB por debajo de este valor pico. Es importante notar que los 8 dB de limite de creciente de ruido es un valor pico y esta asociado con un cierto factor de probabilidad.

Los factores de probabilidad recomendado asociados con los 8 dB de crecimiento de ruido pico son :

- 8dB crecimiento de ruido con 90% factor de probabilidad (para una capacidad agresiva)
- 8dB crecimiento de ruido con 95% factor de probabilidad (para una capacidad moderada)
- 8dB crecimiento de ruido con 98% factor de probabilidad (para una capacidad conservativa)

El factor de probabilidad de 95 % con 8 dB de crecimiento de ruido es el limite típico que normalmente es recomendado.

#### B) Estimación de Capacidad de crecimiento de ruido forward

Para aproximar el numero de usuarios que podría ser soportado por un site de una celda mientras esta por debajo de un limite de crecimiento de ruido, la siguiente ecuación de capacidad de enlace forward puede ser utilizado:

Para un factor de trafico multi-servicio,  $X$  puede ser expresado como sigue:

$$X = \sum_{m=1}^M L_{(m)} \times \frac{v_{(m)}}{P_{G(m)}} \times \frac{E_{b(m)}}{N_T} \times [(1 - \alpha_{(m)}) + i_{(m)}] \quad \dots\dots\dots(4.17)$$

El valor medio para el factor de trafico de multi-servicio,  $X$  es expresado como:

$$E[X] = \sum_{m=1}^M L_{(m)} \times \frac{v_{(m)}}{P_{G(m)}} \times \exp\left[\beta \epsilon_{(m)} + \frac{(\beta \sigma_{(m)})^2}{2}\right] \times [(1 - \alpha_{(m)}) + i_{(m)}] \quad \dots\dots\dots(4.18)$$

La varianza para el factor de trafico multi-servicio,  $X$  es expresado como:

$$Var(X) = \sum_{m=1}^M L_{(m)} \times \frac{\Psi_{(m)} + (v_{(m)})^2}{(P_{G(m)})^2} \times \exp[2\beta \epsilon_{(m)} + 2(\beta \sigma_{(m)})^2] \times [(1 - \alpha_{(m)}) + i_{(m)}] \quad \dots\dots(4.19)$$

La siguiente ecuación proporciona la distribución del crecimiento de ruido,  $Z$ , para un factor de tráfico multiservicio,  $X$  :

$$Z = -10 \times \log_{10}(1 - Pa \times \sqrt{\text{Var}(X)} - E[X]) \dots\dots\dots(4.20)$$

Donde :

$M$	<i>Numero de diferentes tipos de servicios</i>
$L(m)$	<i>Carga de trafico del tipo de servicio m.</i>
$E_{b(m)}/N_T$	<i>La energía por bit a densidad total de interferencia del tipo de servicio m</i>
$\beta$	<i><math>\ln(10)/10</math></i>
$\bar{E}_{(m)}$	<i><math>E_b/N_o</math> (dB) promedio del tipo de servicio m</i>
$\sigma_{(m)}$	<i>desviación estándar <math>E_b / N_o</math>, en dB del tipo de servicio m</i>
$v_{(m)}$	<i>factor de actividad del tipo de servicio m</i>
$\bar{v}_{(m)}$	<i>Factor de actividad promedio del tipo de servicio m (varianza=0.1 )</i>
$i_{(m)}$	<i>Relación de potencia recibida out-cell a in cell para el tipo de servicio m</i>
$P_{G(m)}$	<i>Procesamiento de ganancia de servicio m</i>
$Z$	<i>crecimiento de interferencia (expresado en dB)</i>
$Pa$	<i>Factor de probabilidad con una desviación estándar de 1</i>

### C) Cálculos de Estimación de Capacidad de crecimiento de ruido del enlace forward

El siguiente calculo proporciona los cálculos de crecimiento de ruido, para un promedio de usuarios de voz 16.3 a 9600 bps, en un sistema con celdas de 3 sectores y con un factor de probabilidad 95%.

- Carga de Trafico

16.3 = usuarios de voz a 9600 bps

0.45 = Factor I (celda de 3 sectores), donde  $i_{(m)} = (1/I) - 1 = (1/0.45) - 1$

1.64 = factor de probabilidad para 95% ( $P_a$ )

0.25 = valor beta

21.1dB= Procesamiento de ganancia ( $P_{G(m)}$ )

6.34dB=Promedio de  $E_b/N_0$  para 1% de FER con desvanecimiento vehicular a 30 kmph

2.5dB = Desviación estándar  $E_b/N_0$

0.56 = Factor de actividad de voz

0.1 = Factor de actividad promedio

0.6 = Factor de ortogonalidad

El primer paso es calcular el valor promedio del factor de carga de trafico,  $X$ , para el promedio de usuarios de voz 16.3, usando la ecuación

$$E[X] = 0.587805$$

El siguiente paso es calcular la varianza para el factor de trafico,  $X$ , usando la ecuación :

$$Var(X) = 0.024004$$

EL paso final es calcular el crecimiento de ruido,  $Z$ , usando la ecuación

$$Z = 8.03 \text{ dB}$$

#### 4.4.3. Planificación de los PN Offset

En esta sección discutiremos sobre la planificación de los PN offset, pero antes se proporcionara una descripción de los parámetros que involucran en la planificación del PN offset

- Términos y Parámetros del PN offset

Existen varios parámetros y términos el cual involucra cuando discutimos los PN offsets y su función en CDMA.

A) System Time.- Todas las transmisiones digitales de estaciones base son referenciadas a un sistema de tiempo de escala común CDMA que usa el tiempo de escala Global Positioning System (GPS), el cual es traceable y sincroniza con el Universal Coordinated Time (UTC).

B) Time reference.- Los subscriber establece un tiempo de referencia, el cual es usado para obtener el tiempo de sistema (system time). Este tiempo de referencia será la componente de ruta mas reciente que llega, siendo usada para la demodulación. Este refleja la suposición que el problema del subscriber en el tiempo de sistema es siempre corregido por un retardo asociado con el enlace activo más corto.

C) PILOT\_PN.- La secuencia offset del piloto PN (índice), en unidades de 64 PN chips. El rango es desde 0 a 511. Cada sector transmisor tendrá un offset asignado a este.

D) Active Set.- Los pilotos asociados con el canal de trafico Forward asignado al subscriber. La estación base es la que asigna todo el conjunto de pilotos activos al subscribers.

E) Candidate Set.- Los pilotos que no están actualmente en el conjunto activo (active set) pero que ha sido recibida por el subscriber con suficiente intensidad para indicar que los canales de trafico Forward asociados que podría ser demodulado satisfactoriamente. Como una propiedad del Mobile Assited Handoff (MAHO), el subscriber promueve un conjunto de vecinos o remaining (Neighbor Set o Remaining Set ) al conjunto de pilotos candidatos (Candidate Set) cuando cierto criterio de intensidad de pilotos son reunidos, y entonces recomendarlos los pilotos a la estación base para la inclusión al conjunto activo (Active Set).

F) Neighbor Set.- Los pilotos que no están actualmente en el conjunto activo (Active Set) o en el conjunto candidato (Candidate Set), son probablemente candidatos para en handoff. Los pilotos Neighbor Set son identificados por la estación base vía los mensajes Neighbor List y Neighbor List Update.

G) Remaining Set.- El conjunto de todos los pilotos posibles en el sistema actual en la frecuencia actual CDMA asignada, excluyendo los pilotos de otros conjuntos. Estos pilotos deben ser múltiples enteros de  $PILT\_INC$ .

H)  $SRCH\_WIN\_N$ ,  $SRCH\_WIN\_R$ .- Estos parámetros representan el tamaño de la ventanas de búsqueda asociadas con los pilotos vecinos y restantes (Neighbor Set y Remaining Set). El subscriber centra la ventana de búsqueda para cada piloto alrededor de la secuencia de los pilotos PN offset usando la sincronización definido por tiempo de referencia del subscriber.

En general, una ventana de búsqueda de vecinos,  $SRCH\_WIN\_N$  será evaluado tanto como abarcar el área geográfica en el cual los vecinos pueden ser agregados (una zona de soft handoff "add " o "área detección inicial"). La ventanas de búsquedas vecinas más grandes necesitan ser tal que sea suficiente cubrir la distancia entre los vecinos,  $(3R)^{1/2}$ , mas un alojamiento del retardo del tiempo de vuelo (aprox. 3chips).

I)  $SRCH\_WIN\_A$  .- Este parámetro representa el tamaño de la ventana de búsqueda asociado con los pilotos activos y candidatos (pilot Active Set, Candidate Set). El subscriber centrara la ventana de búsqueda a cada piloto que llega mas temprano, usando las componentes del piloto multiruta. Note que al contrario a la ventana de búsqueda neighbor o remaining set, la ventana de búsqueda active flota con la señal deseada, esto quiere decir que el centro de posición de la ventana de búsqueda es

actualizado cada vez que se escanea o traquea la nueva localización del arribo de la componente multiruta mas reciente.

J) PILOT\_ARRIVAL.- El Pilot Arrival time es el tiempo de ocurrencia de llegada mas temprano usado en la componente multi-ruta de un piloto relativo al tiempo de referencia del subscriber.

K) PILOT\_PN\_PHASE.- Los subscriber reportan la medida de fase e intensidad del piloto, en el Pilot Measurement Message cuando se recomienda un cambio en los estados de handoff. Los subscriber evalúan el PILOT\_PN\_PHASE reportado, como una función del PILOT\_ARRIVAL y el PILOT\_PN. La componente pilot arrival representa el tiempo de retardo del piloto relativo al tiempo de referencia. Ambos el PILOT\_ARRIVAL y el PILOT\_PN\_PHASE son medidos en chips (15 bits, 0 a 32,767), mientras el PILOT\_PN es en offset (9 bits, 0 a 511). La diferencia (6 bits) corresponde al intervalo de 64 chip entre sucesivos PN offsets.

L) PILOT\_INC.- El incremento del índice de secuencia del piloto PN offset es el intervalo entre pilotos, en incrementos de 64 chips. Su rango valido es desde 1 a 15. El subscriber usa este parámetro como una manera, de determinar cual pilotos escanea entre el Remaining set. Solo los pilotos validos serán escaneados. Para el subscribers, PILOT\_INC impacta solo a la velocidad de escaneo aplicado a los pilotos Remaining. Esto logra la reducción del numero de pilotos remainig que necesita ser escaneado.

Para la estación base, el efecto del PILOT\_INC es diferente. En la estación base, esto es usado en la traslación de retorno de fase del piloto adecuadamente al índice del piloto offset. La consecuencia es que el operador puede artificialmente incrementar la separación entre los offset de tiempo valido. Para seleccionar un PILOT\_INC de 2,

para una instancia, un operador buscara el limite del numero de offset validos a 256 (ejem, 0,2,4,.....,508,510) en vez de 512. El incremento de separación significa que el pilot arrival debe ser tan grande antes la ambigüedad del offset adyacente es posible y consecuentemente la probabilidad de un interferente adyacente fuerte sea reducida.

- PN corto Sequence

Cada secuencia PN corto es generada usando un registro conmutador con 15 elementos de retardo. La longitud de una secuencia PN es alrededor de  $2^{15}$ , o 32,768 chips. Si conmutamos una secuencia PN por un chip, entonces generaríamos una secuencia PN diferente. Por consiguiente, dado que la secuencia PN es 32,768 chips en longitud, teóricamente usaríamos alrededor de 32768 secuencias PN diferentes disponibles para asignar a diferentes estaciones base.

Un problema es que una diferencia de un chip entre diferentes secuencias PN proporciona muy poco aislamiento en una comunicación de un móvil. Dado que la velocidad de transmisión es 1.2288 Mcps, la duración de cada chip es:

$$\frac{1 \text{ sec}}{1.2288 \times 10^6 \text{ chips}} = 0.81380 \times 10^{-6} \text{ sec} = 0.81380 \mu \text{ sec}$$

Un tiempo de duración de 0,81380 microsegundo corresponde a una distancia de propagación de 244.14m; que es:

$$(0.81380 \times 10^{-6} \text{ sec}) \left( 3 \times 10^8 \frac{\text{meters}}{\text{sec}} \right) = 244.14 \text{ meters}$$

Donde:

$3 \times 10^8 \text{ m/sec}$  velocidad de la luz.

Supongamos que hay 2 estaciones bases: estación base 1 y estación base 2. La secuencia PN de la estación base 1 difiere de la estación base 2 por un chip. Un

móvil esta 488m de la estación base 1 y 244 m de la estación base 2 (vea la figura 4.24)

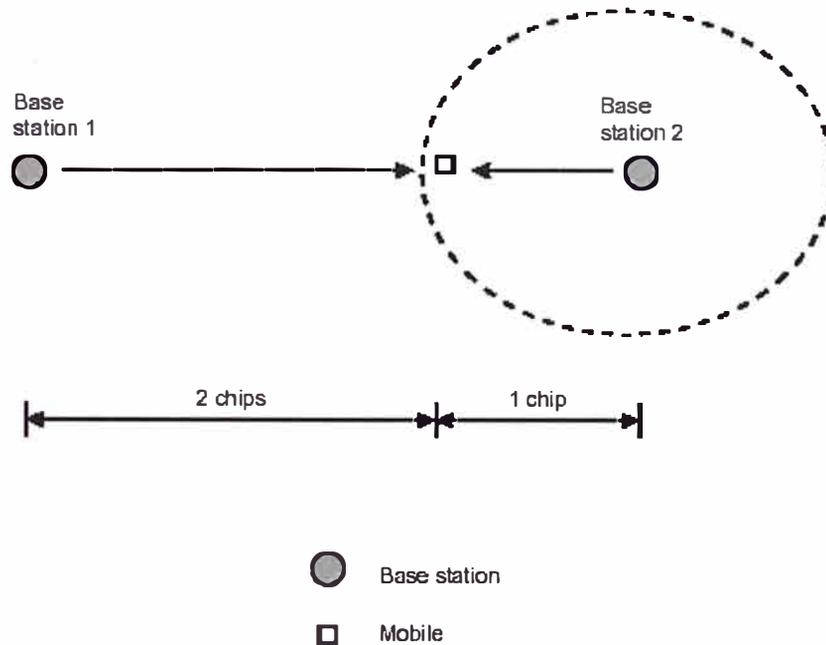


Figura 4.25: Secuencias de PN offset

Una distancia de 488m corresponde a un retardo de 2 chips, mientras una distancia de 244m corresponde a un retardo de 1 chip. Por consiguiente, el arribo de la secuencia PN de la estación base 1 al móvil aparecería como una secuencia PN con un cambio de dos chips, y el arribo de la secuencia PN de la estación base 2 al móvil aparecería como una secuencia PN con un cambio de un chip. Estas dos secuencias PN recibida no pueden ser distinguidas de una a la otra. En otras palabras, el móvil no reconocería que secuencia PN viene de la estación base.

- Numero de Pilot Offsets por Frecuencia CDMA

Para proporcionar mas aislamiento entre las secuencias PN que puede ser asignada, el estándar IS-95 especifica que la secuencia PN utilizable necesita tener un mínimo

de separación de 64 chips entre cada una. Cada secuencia PN utilizable es definida por su PN offset. Por ejemplo, una secuencia PN con un PN offset 1 es diferente de una secuencia PN con un offset 0 de 64 chips, mientras una secuencia con PN offset 4 son diferente de una secuencia con un PN offset 0 de  $4 \times 64$  chips = 256 chips. Para especificar una mínima separación de 64 chips, el numero total de secuencias PN utilizable llega ser:

$$\frac{32,768 \text{ chips}}{64 \text{ chips}} = 512$$

Por consiguiente, dado que hay un mínimo de separación de 64 chips, el máximo numero de secuencia PN utilizable es 512. La separación puede ser incrementada mas usando el parámetro PILOT\_INC especificado por el estándar. Si PILOT\_INC = 1, entonces la mínima separación es  $1 \times 64$  chips = 64 chips. Si PILOT\_INC = 2, entonces la mínima separación llega a ser  $2 \times 64$  chips = 128 chips. Tomando en cuenta el PILOT\_INC, el numero total de secuencia PN utilizable es:

$$\frac{32,768 \text{ chips}}{\text{PILOT\_INC} \times (64 \text{ chips})}$$

Supongamos que PILOT\_INC = 4; entonces, hay solo 128 secuencias PN útil disponible para asignar. Con un numero limitado de secuencias PN útil disponible, la planificación de secuencia PN es semejante como la planificación de frecuencias en AMPS, la meta es asignar PN offset disponible a diferentes sectores tal que haga una mínima confusión entre la variedad de secuencia PN en el móvil.

- Planificación del co-PN Offset

Si dos estaciones bases están usando el mismo PN offset (secuencias PN con la misma PN offset). Entonces calcularemos la mínima distancia entre las dos estaciones bases. La figura 4.xx muestra el siguiente evento:

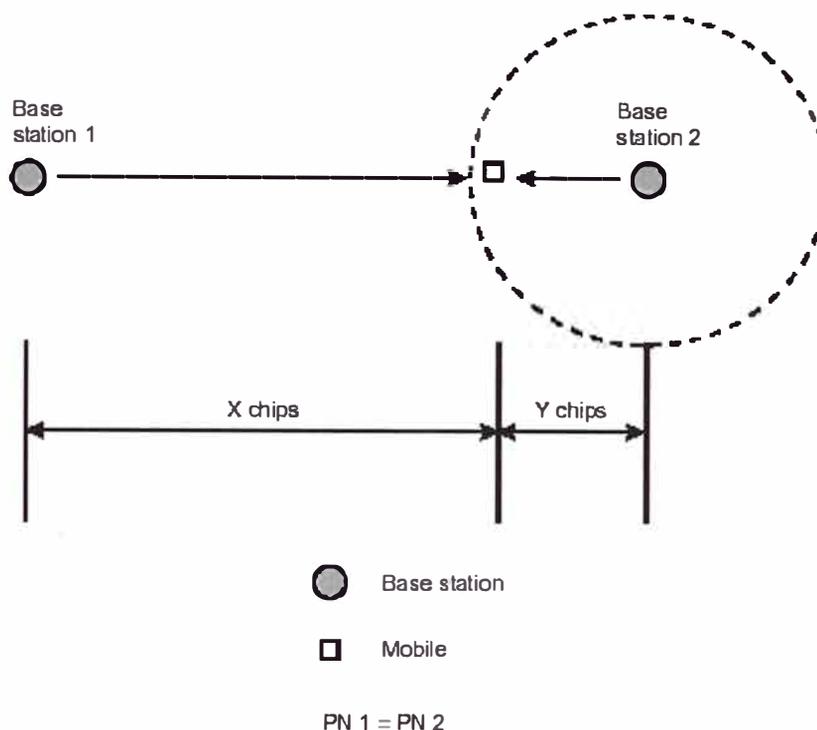


Figura 4.26: Planificación del co- PN Offset

El móvil está localizado en la frontera de la estación base 2 (estación de servicio al móvil), la distancia entre el móvil y la estación base 2 es tal que el retardo de propagación es  $Y$  chips. La distancia entre el móvil y la estación base 1 es tal que el retardo de propagación es  $X$  chips. La estación base 1 es identificada por la secuencia PN 1, y la estación base 2 es identificada por la secuencia PN 2. En este ejemplo, ambas secuencias PN tienen la misma PILOT\_PN, o la misma PN offset.

La figura 4.27 ilustra la secuencia PN en el dominio del tiempo. Las secuencias PN 1 (PN 1) y PN 2 (PN 2) están alineadas cuando ellos son transmitidos desde su

respectiva estaciones bases. Esto es porque ellos tienen el mismo PN offset. Sin embargo, la secuencia PN 1 sufre un retardo  $X$  antes de ser recibido por el móvil, y la secuencia PN 2 sufre un retardo  $Y$  antes de ser recibido por el móvil. El móvil usa el search window  $SRCH\_WIN\_A$  para interceptar y recibir la señal del móvil sufriendo retardos de propagación. Note que el  $SRCH\_WIN\_A$  es siempre centrado por el piloto de arribo más reciente.

El móvil está actualmente atendido por la estación base 2, si la secuencia PN 1 recibida cae dentro del  $SRCH\_WIN\_A$  del móvil, la señal será interpretada por el móvil como una multicarrier de secuencia PN 2. El móvil intentará entonces de demodular ambas señales pilotos dentro del  $SRCH\_WIN\_A$  e intenta coherentemente combinarlos a ellos. Como resultado, ocurre una interferencia porque estas dos señales no tienen la misma información.

Para evitar el aliasing de la secuencia PN, el retardo  $X$  tiene que ser lo suficientemente largo para que el PN 1 caiga fuera del  $SRCH\_WIN\_A$ . En otras palabras,  $X$  debe ser más largo que la suma de  $Y$  y  $W/2$ , donde  $W$  es el tamaño de la ventana de  $SRCH\_WIN\_A$  (ver la figura 4.27) en chips. Por consiguiente, la condición necesaria para evitar el aliasing del PN offset es:

$$X > Y + \frac{W}{2}$$

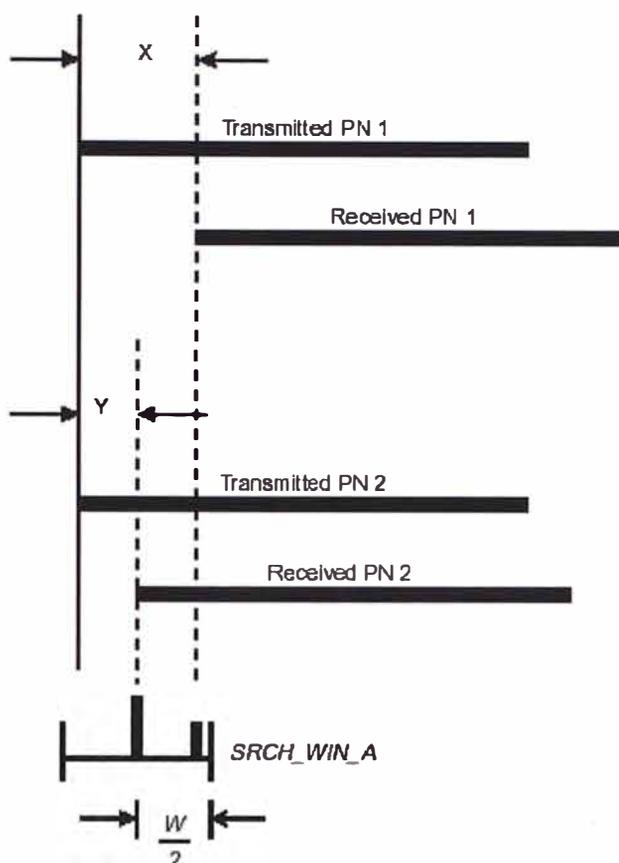


Figura 4.27: Esquema del co-PN Offset

Si asumimos a Y como la cobertura de radio R ( en chips ) de la celda 2 y  $( X + Y ) = D$  como la distancia ( en chips ) entre las dos estaciones base entonces :

$$D > \frac{W}{2} + 2R$$

Donde un chip corresponde a una distancia de 244 m, la condición de la distancia física d entre las dos estaciones bases que usa el mismo PN offset es:

$$d > 244 \left( \frac{W}{2} + 2R \right)$$

o

$$d > 122W + 2r$$

Donde  $d$  esta en metros,  $r$  es la cobertura de radio de la estación base 2 en metro, y  $W$  es el tamaño del SRCH\_WIN\_A en chips.

- Planificación del PN Offset adyacente

Si dos estaciones bases están usando secuencias PN adyacentes (Secuencias PN que están separado por  $(\text{PILOT\_INC} \cdot 64)$  chips), que es la condición necesaria para evitar el aliasing). En la figura 4.28 se ilustra la secuencias PN en el dominio del tiempo, donde  $I = \text{PILOT\_INC} \cdot 64$  chips.

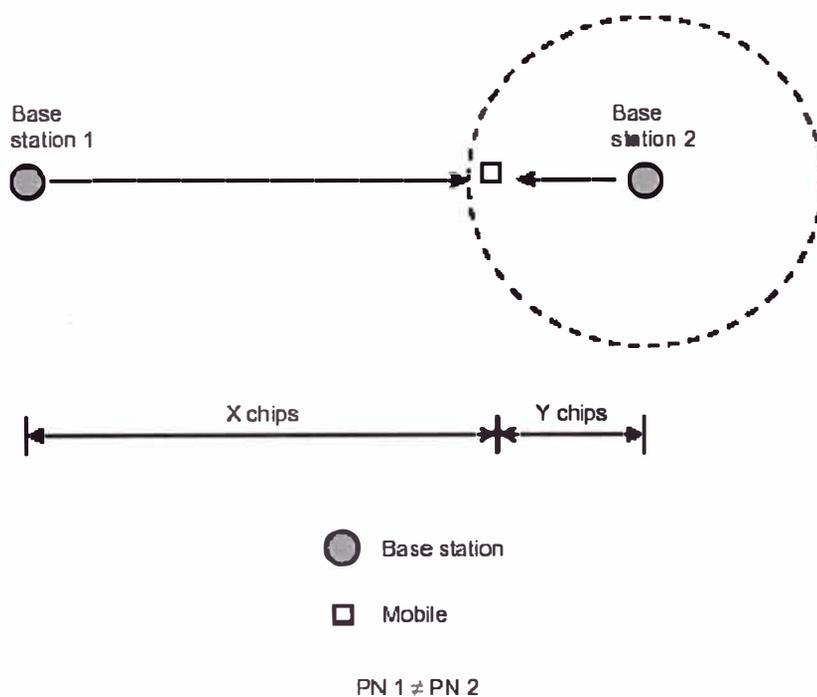


Figura 4.28: Planificación del PN adyacente

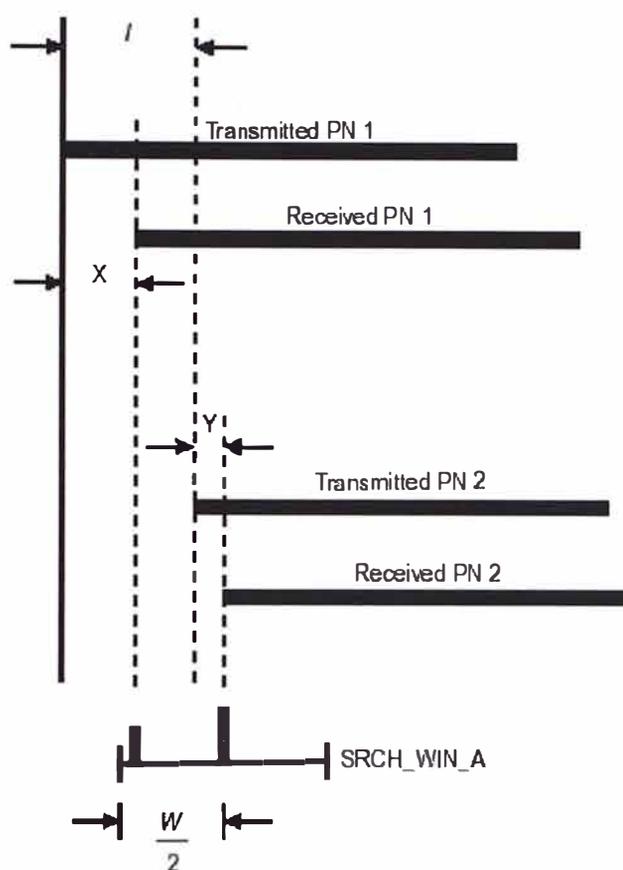


Figura 4.29: Esquema de PN Adyacente

Las secuencias PN 1 (PN1) y PN 2 (PN2) no están alineado en el tiempo cuando ellos transmiten desde su respectiva estación base; en cambio, hay un cambio de  $I$  chips entre las dos secuencias. La secuencia PN 1 sufre un retardo  $X$  antes de ser recibido por el móvil, mientras la secuencia PN 2 sufre un retardo  $Y$  antes de ser recibido por el móvil.

Donde el móvil esta siendo servido por la estación base 2,  $SRCH\_WIN\_A$  es normalmente centrado en la secuencia PN 2 (asumiendo que esta componente del piloto es la más rápida en arribar), si la secuencia PN 1 recibido cae dentro del  $SRCH\_WIN\_A$  del móvil, la señal será interpretada por el móvil ser un multiruta de la secuencia PN 2, el móvil cambiaría su  $SRCH\_WIN\_A$  a centrarse en la secuencia

PN 1 e intentar demodular y combinar ambas señales pilotos. El resultado es interferencia, y usualmente la llamada cae. Otra vez, el móvil erróneamente piensa que la secuencia PN 1 es un componente multiruta de la secuencia PN 2. Para evitar el PN offset aliasing, la siguiente condición debe cumplirse:

$$X < I + Y - \frac{W}{2}$$

$$X + Y < I - \frac{W}{2} + 2Y$$

$$D < I - \frac{W}{2} + 2R$$

Donde un chip corresponde a una distancia de 244 m, la condición de la distancia física  $d$  entre las dos estaciones bases que PN offset adyacentes es:

$$d < 244 \left( I - \frac{W}{2} + 2R \right)$$

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

Donde  $d$  está en metros,  $r$  es el radio de cobertura de la estación base 2 en metros, y  $W$  es el tamaño de SRCH\_WIN\_A en chips

SrchWin	0	1	2	3	4	5	6	7
Window Size (chips)	4	6	8	10	14	20	28	40
Delay ( $\mu$ s)	1.6	3.3	4.9	6.5	9.8	14.6	21.2	30.9
Neighbor Separation (mi)	0.2	0.3	0.5	0.6	0.9	1.4	2.0	2.9
SrchWin	8	9	10	11	12	13	14	15
Window Size (chips)	60	80	100	130	160	226	320	452
Delay ( $\mu$ s)	47.2	63.5	79.8	104.2	128.6	182.3	258.8	366.2
Neighbor Separation (mi)	4.4	5.9	7.5	9.7	12.0	17.0	24.2	34.2

Tabla 4.9: Search Window Size & Neighbor Separation

- Soluciones de Planificación de PN Offset

La planificación de PN offset, generalmente se centra en encontrar un valor apropiado para el PILOT\_INC. Un valor grande proporcionaría buena protección contra interferencia del offset adyacente donde los pilotos necesitaran viajar una distancia más grande antes falsear potencialmente (donde la atenuación de señal es altamente correlacionado con la distancia de propagación). Si embargo, un valor tan grande implica también muy poco PN offset validos, y una distancia de reuso muy pequeño, de este modo incrementa la probabilidad de interferencia co-offset. Lo contrario, un valor pequeño de PILOT\_INC delibera un gran conjunto de PN offsets, un gran reuso de patrón y reuso de distancia, de este modo reduce la probabilidad de cualquier interferencia de co-offset. Sin embargo, un valor pequeño no proporcionaría un buen aislamiento contra interferencia o ambigüedad del offset adyacente.

#### A) Atenuación de Interferencia del Offset Adyacente

Define los limites de interferencia del offset adyacente basado en sincronización y consideraciones de intensidad de señal, este caso no es impactado por la configuración de la antena ( omni, o sectoriales).

1.- Protección basado en sincronización de interferencia del Offset adyacente.- Para un offset adyacente tenga un potencial de falseo, este debe reunir un criterio de sincronización. Esto quiere decir que debe caer dentro de la ventana de búsqueda, como describe a continuación:

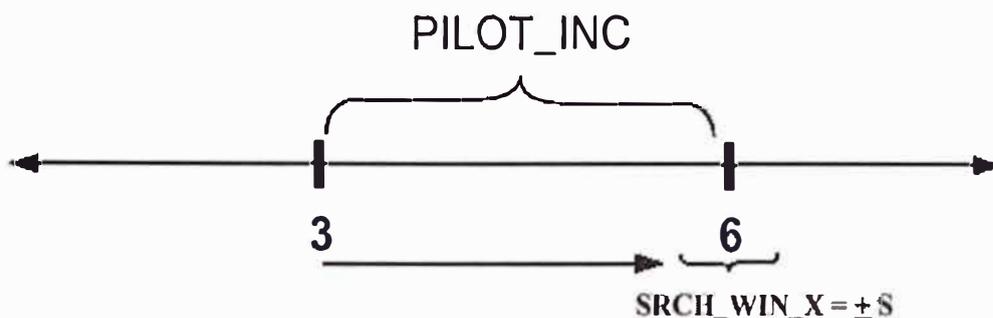


Figura 4.30: Mínimo distancia

Una señal de un potencial interferente adyacente debe cruzar una distancia mínima para ser capaz de caer dentro de la ventana de búsqueda del offset adyacente.

$$\text{Minimum Distance} = \text{PILOT\_INC} - S$$

En esta ecuación,  $S$  es la mitad del tamaño de la ventana de búsqueda. Por ejemplo, con  $\text{PILOT\_INC} = 3$  y  $\text{SRCH\_WIN\_N} = \pm 30$  chips, esta mínima distancia corresponde a  $3 \times 64 - 30 = 162$  chips = 39.5 km. = 24.6 millas. Un gran  $\text{PILOT\_INC}$  proporciona gran aislamiento; contrariamente, un valor grande de  $\text{SRCH\_WIN\_N}$  atenúa el aislamiento.

PILOT_INC (offsets)	PILOT_INC (chips)	Minimum Distance (chips)	Minimum Distance (km)	Minimum Distance (miles)
1	64	34	8.3	5.2
2	128	98	23.9	14.9
3	192	162	39.5	24.6
4	256	226	55.1	34.3
5	320	290	70.8	44.0
6	384	354	86.4	53.7

a. For ease of performing mental math, note that each offset of 64 chips contributes a little less than ~10 miles (9.7) or a little more than ~15 km (15.6). The 30 chip search window accounts for a 7.3 km or 4.5 mile reduction.

Tabla 4.10: PILOT\_INC

2.- Protección de interferencia de Offset adyacente basado en señal fuerte.- La discusión de sincronización puede ser expandida para llevar la cuenta de consideraciones de fuerza de señal. El límite mas bajo en PILOT\_INC es identificado y correlacionara a un umbral aceptable C/I. Considerar la ecuación el cual, garantiza una interferencia limite entre pilotos correlacionados, efectivamente flexible al PILOT\_INC.

$$m \geq (10^{a/(law \times 10)} - 1) \times R + S = k \times R + S$$

En esta ecuación, R es el radio de la celda en chips, S es ½ del tamaño de la ventana de búsqueda, “a” es la relación C/I deseado en dB, y law representa el exponente de propagación. El resultado m, representa el offset requerido, en chips, entre dos pilotos cualquiera tal que el C/I deseado pueda ser logrado. La relación puede ser interpretada como una recomendación que para cada chip de R, debería haber k chips de separación para un offset adyacente tal que un mínimo umbral C/I sea logrado. En esta, ecuación la presencia de S, refleja el hecho que la correlación no necesita ser perfecta para que exista la interferencia. La señal adyacente necesita solo caer dentro de la ventana de búsqueda. La siguiente tabla muestra los diferentes cálculos :

R (km)	R (miles)	R (chips)	S (chips)	m (chips)	PILOT_INC (offsets)	Number of Valid Offsets	Cluster Size (3-sector)
24.9	15.5	102	80	384	6	85	28
20.9	13.0	85.5	65	320	5	102	34
16.9	10.5	69.1	50	256	4	128	42
12.4	7.7	51.0	40	192	3	170	57
8.0	5.0	32.9	30	128	2	256	85
4.1	2.5	16.8	14	64	1	512	170

Tabla 4.11: Asignamiento del índice de la secuencia del Pilot offset

Un exponente de propagación conservativa fue seleccionado para compensar la simplicidad de la aproximación. El umbral C/I fue seteado a 18.0 dB para corresponder a umbral 12 dB C/I para un sistema de 2 celdas.

B) Recomendaciones para Planificación PN offset :

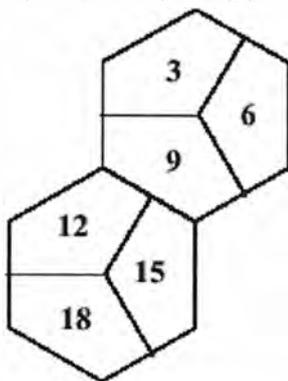
Las consideraciones para sistema sectorizado en el tamaño de PILOT INC son:

- 1.- Mínimo tamaño de cluster es de 19 para sistemas de 3 sectores o 6 sectores.
- 2.- Máximo PILOT\_INC es 8 para 3 sectores y 4 para 6 sectores. Esto correlación al mínimo tamaño de cluster.
- 3.- Para ambiente suburbano a 800 MHz, el mínimo PILOT\_INC es 3 (basado en un mínimo umbral C/I de 18.5 dB y portadoras cargadas) Esto servirá las áreas de densidad urbana también.
- 4.- Múltiples portadoras en un sector son todos asignado al mismo PN offset.

- Procedimiento para asignar offset

En la figura 4.30, la configuración de sectores adyacentes muestra sectores co-localizado conteniendo offset adyacentes. Esto representa el limite absoluto en como offsets adyacentes finales pueden ser localizados. Bajo estas condiciones, los dos tercio de todos asignamientos adyacentes (para celdas de 3 sectores) tendrá que reducir el tiempo diferencial a cero. Para mantener el tercio, el offset adyacente es localizado en un site adyacente. Esto se aproxima al beneficio de fácil reconocimiento de sectores co-localizados durante la optimización del sistema.

ADJACENT SECTORS



ADJACENT SITES

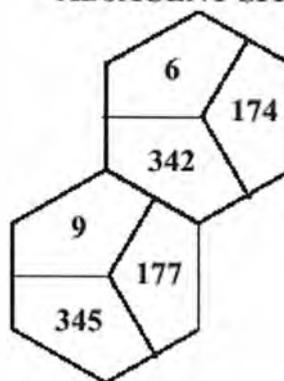


Figura 4.31: Asignación de PN\_OFFSET

Previamente, esto ha sido la única recomendación. Hay ahora una recomendación alternativa, Sites adyacentes, el cual localiza todos los offset asignados dentro de los sites adyacentes ( y no dentro de sectores adyacentes del mismo site). La aproximación de los sites adyacentes tiene grupos de offsets asociados con el que son encontrado en las tablas siguientes:

Alpha	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42
Beta	170	172	174	176	178	180	182	184	186	188	190	192	194	196	198	200	202	204	206	208	210
Gamma	338	340	342	344	346	348	350	352	354	356	358	360	362	364	366	368	370	372	374	376	378
Alpha	44	46	48	50	52	54	56	58	60	62	64	66	68	70	72	74	76	78	80	82	84
Beta	212	214	216	218	220	222	224	226	228	230	232	234	236	238	240	242	244	246	248	250	252
Gamma	380	382	384	386	388	390	392	394	396	398	400	402	404	406	408	410	412	414	416	418	420
Alpha	86	88	90	92	94	96	98	100	102	104	106	108	110	112	114	116	118	120	122	124	126
Beta	254	256	258	260	262	264	266	268	270	272	274	276	278	280	282	284	286	288	290	292	294
Gamma	422	424	426	428	430	432	434	436	438	440	442	444	446	448	450	452	454	456	458	460	462
Alpha	128	130	132	134	136	138	140	142	144	146	148	150	152	154	156	158	160	162	164	166	168
Beta	296	298	300	302	304	306	308	310	312	314	316	318	320	322	324	326	328	330	332	334	336
Gamma	464	466	468	470	472	474	476	478	480	482	484	486	488	490	492	494	496	498	500	502	504

Tabla 4.12: Grupos de Offset para PILTOT\_INC=2

Alpha	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63
Beta	171	174	177	180	183	186	189	192	195	198	201	204	207	210	213	216	219	222	225	228	231
Gamma	339	342	345	348	351	354	357	360	363	366	369	372	375	378	381	384	387	390	393	396	399
Alpha	66	69	72	75	78	81	84	87	90	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120	123	126
Beta	234	237	240	243	246	249	252	255	258	261	264	267	270	273	276	279	282	285	288	291	294
Gamma	402	405	408	411	414	417	420	423	426	429	432	435	438	441	444	447	450	453	456	459	462
Alpha	129	132	135	138	141	144	147	150	153	156	159	162	165	168							
Beta	297	300	303	306	309	312	315	318	321	324	327	330	333	336							
Gamma	465	468	471	474	477	480	483	486	489	492	495	498	501	504							

Tabla 413: Grupos de Offset para PILOT\_INC=3

Aunque esto representa un compromiso ligero con respecto al margen de sincronización de la configuración sectores adyacentes, hay múltiples características con esta aproximación que hace la peor recomendación:

- 1.- Virtualmente todos los offset adyacentes poseen la misma antena de orientación (como co-offsets normalmente hecho). Esto proporciona una medida adicional de protección de interferencia y simplifica la optimización del sistema.
- 2.- Un incremento uniforme de 168 existe entre sectores co-localizado sin tener en cuenta con el PILOT\_INC en uso. Esto ayudara la optimización a través de un reconocimiento más fácil de offsets

#### 4.5. DISEÑO DE LA RED CDMA

La siguiente sección proporciona una estimación presupuestal de los sites desde una perspectiva de capacidad para el área de Arequipa. Este proporciona un trafico simplificado para estimar el numero de celdas requeridos para un Sistema solamente de voz para el estándar IS-95. El sistema estará diseñado para proporcionar servicio a 40,000 subscribers CDMA.

#### 4.5.1. Parámetros Requerido para el diseño del Sistema.

Antes de diseñar un sistema solo de voz IS-95, los parámetros de propagación, y el perfil de subscriber deben estar disponibles (**ver anexo A2**), además se definirán los siguientes parámetro importante y el correcto camino para aplicarlos al diseño del Sistema.

A) Busy Hour Call Attemps y Completations (BHCA).- Definido como el periodo de una hora continua en el día durante el cual el promedio mas alto de densidad de trafico es experimentado por el sistema. BHCA es el numero de call setup requerido durante la hora cargada.

B) Busy Hour Call Completion (BHCC).- Es la porción de los requerimientos el cual fue logrado en hacer la conversación.

C) Average Holding Time.- El Holding Time es definido como la longitud de tiempo de un usuario activo ocupa el canal de trafico.

D) Erlangs por usuario.- Un Erlang es la intensidad de trafico de un canal de trafico, el cual esta continuamente ocupado, Erlang por subscriber es el producto del BHCA por subscriber y el Average Holding Time por acceso.

- Parámetros del Sistema

Spread Bandwidth	=	1.23MHz
Data Rate	=	9600 bps (Rate et 1)
Median ( $E_b/I_0$ )	=	7 dB
Power Control standard deviation	=	2.5 dB
Factor de actividad de voz	=	0.4
Noise Rise Threshols ( $I_0/N_0$ )	=	10

#### 4.5.2. Consideraciones y Cálculos de Diseño

A) Cada relación de energía por bit a densidad de interferencia ( $E_b/I_0$ ) es variado de acuerdo a las condiciones de propagación para lograr el FER especificado de 0.01.

B) Todos los sectores soportan el mismo numero de subscriber.

C) Todos los subscriber son uniformemente distribuido sobre cada sector.

D) No hay sobreflujo de la red CDMA a la red AMPS.

E) Hay 40000 subscriber distribuido a través del sistema

F) El Average Holding Time por acceso es 65 segundos

G) El path loss slope para una ambiente urbano denso de 32.8 dB/década es asumido con shadowing standard deviation de 7.7 dB.

H) El path loss slope para una ambiente urbano de 38.4 dB/década es asumido con shadowing standard deviation de 8 dB.

I) 40% de los subscribers harán un soft handoff entre dos o más celdas.

H) El mejoramiento de sectorización va desde un sector a 3 sectores es 2.4

La probabilidad de bloqueo versus los Erlangs por sector CDMA varia con Path Loss Slope como se muestra en la figura para el Rate Set 1 Vocoder:

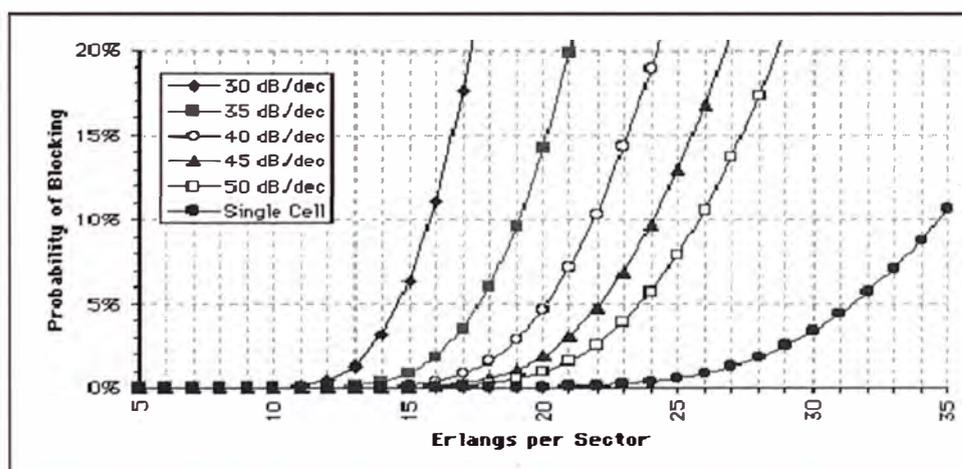


Figura 4.31: Probabilidad de bloqueo

Haciendo los cálculos en el peor caso con la celdas vecinas cargada totalmente, la máxima capacidad para 2% de probabilidad de bloqueo es aproximadamente de 15 Erlangs por sector CDMA para una área urbana densa, y 17.8 Erlangs por sector CDMA para áreas sub urbanas.

	Área	Distribución de Subscriber	Tipo de Ambiente	BHCA por subscriber
1	AREQUIPA	50%	dense urban	1.4
2	CUZCO	25%	urban	1.38
3	TACNA	15%	dense urban	1.4
4	PUNO	10%	suburban	1.2

Tabla 4.12: Distribución de Subscribers

*Para el Areal*

*Numero de subscribers en la ciudad*

$$= 40000 * 50\% = 20000$$

Capacidad de Trafico requerido

$$= \text{BHCA/sub} * \# \text{ de Subs} * \text{Hold Time por acceso(seg)}/3600$$

$$= 1.4 * 20000 * 65 / 3600$$

$$= 505.56 \text{ Erlangs}$$

Capacidad de Trafico requerido incluido Soft Handoff

$$= \text{Capacidad de Trafico requerido} * \text{factor de Soft Handoff}$$

$$= 505.56 * 1.4$$

$$= 707.78 \text{ Erlangs}$$

Numero de Sectores CDMA requerido

$$= 707.78 / 15$$

$$= 48 \text{ sectores CDMA}$$

Numero de Celdas CDMA requerido

$$= 48 / 2.4 \text{ ( 2.4 es la ganancia de sectorización)}$$

$$= 20 \text{ Celdas}$$

*Para el Área 2:*

Numero de subscribers en la ciudad

$$= 40000 * 25\% = 10000$$

Capacidad de Trafico requerido

$$= \text{BHCA/sub} * \# \text{ de Subs} * \text{Hold Time por acceso(seg)}/3600$$

$$= 1.38 * 10000 * 65 / 3600$$

$$= 249.17 \text{ Erlangs}$$

Capacidad de Trafico requerido incluido Soft Handoff

$$= \text{Capacidad de Trafico requerido} * \text{factor de Soft Handoff}$$

$$= 249.17 * 1.4$$

$$= 348.83 \text{ Erlangs}$$

Numero de Sectores CDMA requerido

$$= 348.83 / 15$$

$$= 20 \text{ sectores CDMA}$$

Numero de Celdas CDMA requerido

$$= 20 / 2.4 \text{ ( 2.4 es la ganancia de sectorización)}$$

$$= 10 \text{ Celdas}$$

*Para el Área 3:*

Numero de subscribers en la ciudad

$$= 40000 * 15\% = 6000$$

Capacidad de Trafico requerido

$$\begin{aligned}
 &= \text{BHCA/sub} * \# \text{ de Subs} * \text{Hold Time por acceso(seg)}/3600 \\
 &= 1.4 * 6000 * 65 / 3600 \\
 &= 151.67 \text{ Erlangs}
 \end{aligned}$$

Capacidad de Trafico requerido incluido Soft Handoff

$$\begin{aligned}
 &= \text{Capacidad de Trafico requerido} * \text{factor de Soft Handoff} \\
 &= 151.67 * 1.4 \\
 &= 212.33 \text{ Erlangs}
 \end{aligned}$$

Numero de Sectores CDMA requerido

$$\begin{aligned}
 &= 212.33 / 15 \\
 &= 15 \text{ sectores CDMA}
 \end{aligned}$$

Numero de Celdas CDMA requerido

$$\begin{aligned}
 &= 15 / 2.4 \text{ ( 2.4 es la ganancia de sectorización)} \\
 &= 7 \text{ Celdas}
 \end{aligned}$$

*Para el Área 4:*

Numero de subscribers en la ciudad

$$= 40000 * 10\% = 4000$$

Capacidad de Trafico requerido

$$\begin{aligned}
 &= \text{BHCA/sub} * \# \text{ de Subs} * \text{Hold Time por acceso(seg)}/3600 \\
 &= 1.2 * 4000 * 65 / 3600 \\
 &= 86.67 \text{ Erlangs}
 \end{aligned}$$

Capacidad de Trafico requerido incluido Soft Handoff

$$\begin{aligned}
 &= \text{Capacidad de Trafico requerido} * \text{factor de Soft Handoff} \\
 &= 86.67 * 1.4 \\
 &= 121.33 \text{ Erlangs}
 \end{aligned}$$

Numero de Sectores CDMA requerido

$$= 121.33 / 15$$

$$= 8.1 \text{ sectores CDMA}$$

Numero de Celdas CDMA requerido

$$= 8.1 / 2.4 \text{ ( 2.4 es la ganancia de sectorización)}$$

$$= 4 \text{ Celdas}$$

Área	BHCA por subscriber	Distribución de Subscriber	Trafico Requerido (Erlangs)	Factor SHO	Trafico Requerido con SHO ( Erlangs)	Máximo Trafico por Sector	Celdas Requerida
1	1.4	50%	505.56	1.4	707.78	15	20
2	1.38	25%	249.17	1.4	348.83	15	10
3	1.4	15%	151.67	1.4	212.33	15	7
4	1.2	10%	86.67	1.4	121.33	15	4
<b>Total</b>		<b>100%</b>	<b>993.07</b>		<b>1390.27</b>		<b>41</b>

Tabla 4.13: Numero de celdas

#### 4.5.3. Características del Hardware

##### A) Mobility Manager (MM)

Sistema PUMA 4000K COMPAQ

Diseñado para Proveer confiabilidad y reparabilidad

Provee alto nivel de disponibilidad de base de datos

Maneja base de Datos: Informix

Soporta hasta 1800 Erlangs

##### B) Transcoder (XC)

Sistema Motorola

Posee procesadores para el Call Processing

Posee los transcodificadores y vocoder

#### 4.5.4. Inversiones y Financiamiento

A continuación se mostrara la inversión requerida para la implementación del Sistema:

##### Inversión en Capital de Trabajo

ITEM	Valor (\$)
Gastos en compra e instalación de Hardware	7,000,000
Software, Licencias y Aplicaciones	2,000,000
<b>INVERSIO TOTAL</b>	<b>9,000,000</b>

##### Inversión de capital

ITEM	Valor Mensual(\$)	Valor Anual (\$)
Remuneración	1,250	15000
Consumo de Energía	300	3600
Utilización de Enlaces T1	500	20,000

Así mismo para el cálculo del Flujo de Caja se está considerando la siguiente tabla:

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Cantidad de Usuarios		40,000	80,000	100,000	120,000	160,000
tarifa por minuto		0,5	0,5	0,4	0,3	0,2
Tiempo promedio de conexión mensual		15	15	9	9	6
		3,600,000	7,200,000	4,320,000	3,888,000	2,304,000
Gastos de Soporte y Mantenimiento		40,000	40,000	40,000	40,000	40,000

## Flujo de Caja

FLUJO DE CAJA ECONÓMICO PROYECTO CDMA						
	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Inversión Inicial	9,000,000					
Ingresos por Consumo		3,600,000	7,200,000	4,320,000	3,888,000	2,304,000
Ingresos por Consumo usuario normal		3,600,000	7,200,000	4,320,000	3,888,000	2,304,000
Gastos Operativos		78,600	78,600	78,600	78,600	78,600
Remuneración		15,000	15,000	15,000	15,000	15,000
Consumo de Energía		3,600	3,600	3,600	3,600	3,600
Utilización del Enlace T1 para datos		20,000	20,000	20,000	20,000	20,000
Gastos de Soporte y Mantenimiento		40,000	40,000	40,000	40,000	40,000
Flujo Económico	-9,000,000	3,521,400	7,121,400	4,241,400	3,809,400	2,225,400

Valor Actual Neto (VAN)	6,297,050
Tasa interna de Retorno (TIR)	41%
Período de Recupero en años	2.56
Costo de Oportunidad de Capital (Tasa que paga el Banco)	12.65%

## **CAPÍTULO V**

### **APLICACIONES Y NUEVOS SEVICIOS OFRECIDOS**

Son aquellos elementos de redes que ofrecen servicios avanzados de redes que combinan funcionalidades escalables, bajos costos de adquisición y uso, y que representan nuevas oportunidades de negocios los cuales generan importantes utilidades a los operadores y que a su vez los ayudan a incrementar la lealtad de sus clientes.

#### **5.1. SISTEMAS DE MENSAJES CORTOS (SMS)**

Servicio que permite el intercambio de mensajes cortos entre una estación móvil y el sistema celular y entre el sistema celular y un dispositivo externo capaz de transmitir y opcionalmente recibir mensajes cortos.

#### **5.2. WIRELESS APLICACIÓN PROTOCOLO (WAP)**

WAP permite a dispositivos inalámbricos transferir información en forma efectiva y confiable. Las restricciones del medio inalámbrico forzaron a los desarrolladores a crear un protocolo que permitiera usar en forma efectiva el poco ancho de banda y la poca confiabilidad del medio inalámbrico. WAP tiene una pila de protocolo optimizada, y usa un lenguaje de marcación en la capa de aplicación - WML y WMLScript.

El modelo WAP interpone una Gateway WAP entre los servidores web tradicionales y los clientes WAP. El gateway traduce HTML a WML, y lo comprime a un formato binario que se usa para ahorrar ancho de banda en el vínculo de radio. El cliente tiene un navegador WAP, el cual interpreta los archivos binarios comprimidos.

### **5.3. TRANSMISIÓN DE DATOS POR PAQUETES**

Es un servicio basado en la tecnología de paquetes. Además el servicio ofrece a los subscriber acceder rápidamente a Internet, Intranet y email. La implementación de CDMA Packet Data soporta velocidades de hasta 64 Kbps, esto es logrado usando múltiples canales de tráfico al mismo móvil.

## CONCLUSIONES

1. Tomando en consideración los valores  $E_b/I_0$  para un FER recomendado por IS-95A, y tomando en consideración los parámetros geográficos del medio se implemento una red celular compuesto por 41 celdas las cuales estarán distribuidas en las ciudades de Arequipa, Tacna, Puno y Cuzco.
2. Con la implementación de la nueva red celular digital CDMA se ofrece mejores beneficios de capacidad, calidad y cobertura además nuevos servicios de datos.
3. Como CDMA es una tecnología de Acceso Múltiple por División de Códigos ofrece mayor capacidad comparada con las tecnologías analógicas e inclusive TDMA y GSM. Además una mejor calidad de voz y mayor privacidad para los subscribers.
4. Actualmente la generación es de segunda generación, en consecuencia, los nuevos avances de las redes son denominados 2.5G. Esta tecnología 2.5G ha sido desarrollada para redes de tercera generación (3G), pero se está aplicando a las redes existentes de forma incremental. Esto les permitirá a los operadores ofrecer altas

velocidades de transmisión de datos y aumentar la capacidad para voz a un costo menor al que tendrían desarrollando nuevas redes 3G. Además, pueden hacerlo usando el espectro existente.

5. Los estándares 3G, actualmente en desarrollo, son llamados CDMA-2000. Estos suponen velocidades de datos hasta 144 Kbps (velocidades de manejo), 384 Kbps para uso outdoor (o velocidades bajas), y 2 Mbps indoors.

## ANEXO A1 : ACRÓNIMOS

<i>ADC</i>	<i>America Digital Cellular</i>
<i>AMPS</i>	<i>Avanced Mobile Phone System</i>
<i>AWGN</i>	<i>Additive White Gaussian Noise</i>
<i>BER</i>	<i>Bit Error Rate</i>
<i>BHCA</i>	<i>Busy Hour Call Attempts</i>
<i>BHCT</i>	<i>Busy Hour Call Termination</i>
<i>BPS</i>	<i>Tasa de Bit por Segundo</i>
<i>BS</i>	<i>Base Station</i>
<i>BSS</i>	<i>Base Station Controller</i>
<i>BW</i>	<i>Ancho de Banda</i>
<i>CDMA</i>	<i>Code División Múltiple Access</i>
<i>CCITT</i>	<i>Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique</i>
<i>CCS</i>	<i>Señalización de Canal Común</i>
<i>CRC</i>	<i>Cyclic redundancy Code</i>
<i>dBm</i>	<i>Potencia medida con relación a un miliwatt</i>
<i>dBW</i>	<i>Potencia medida con relación a un watt</i>
<i>DAMPS</i>	<i>Digital Advanced Mobile Phone System</i>
<i>E<sub>b</sub></i>	<i>Energia de un bit de información</i>
<i>EIA</i>	<i>Electronic Industries Association, USA</i>
<i>ERP</i>	<i>Effective Radiated Power</i>
<i>ESN</i>	<i>Electronic Serial Number</i>
<i>FDD</i>	<i>Frequency Division Duplex</i>
<i>FDMA</i>	<i>Frecuencia División Múltiple Access</i>
<i>FER</i>	<i>Frame Erasure Rate</i>
<i>GPS</i>	<i>Global Position System</i>
<i>GSM</i>	<i>Global System for Mobile Communication</i>
<i>HCM</i>	<i>Handoff Completion Message</i>
<i>HDM</i>	<i>Handoff Direction Messages</i>
<i>HLR</i>	<i>Home Location Register</i>
<i>HT</i>	<i>Hold Time</i>
<i>IS-54</i>	<i>Interim Standard 54</i>
<i>IS-95</i>	<i>Interim Standard 95 (TIA/EIA Cellular Standard US)</i>
<i>MA</i>	<i>Multiple Access</i>
<i>MAHO</i>	<i>Mobile Assisted Handoff</i>
<i>MS</i>	<i>Mobile Station</i>
<i>MSC</i>	<i>Mobile Switch Center</i>
<i>NADC</i>	<i>North American Digital Cellular</i>
<i>NID</i>	<i>Network Identification</i>
<i>PSK</i>	<i>Phase Shift Keying</i>
<i>PSTN</i>	<i>Public Switch Telephone Network</i>
<i>QPSK</i>	<i>Quaternary Phase Shift Keying</i>
<i>SID</i>	<i>System Identification</i>
<i>SMS</i>	<i>Short message Services</i>
<i>SNR</i>	<i>Signal to noise rate</i>
<i>SS</i>	<i>Spread Spectrum</i>
<i>TACS</i>	<i>Total Access Communications System</i>
<i>TCH</i>	<i>Traffic Channel</i>
<i>TDMA</i>	<i>Time Division Multiple Access</i>
<i>UTC</i>	<i>Universal Time</i>
<i>WAP</i>	<i>Wireless Access Protocol</i>
<i>WC</i>	<i>Walsh Code</i>
<i>CAD</i>	<i>Diseño Asistido por Computadora</i>
<i>CAM</i>	<i>Manufactura Asistida por Computadora</i>

## ANEXO A2: PARÁMETROS Y TABLAS DE DISEÑO

- **PARÁMETROS RELACIONADO A LA PROPAGACIÓN**

*Building Loss.- Esta asociado con la degradación de la señal RF causado por la estructura de edificios. Las figura A2 muestra los siguientes casos y la tabla A2 muestra las perdidas de penetración:*

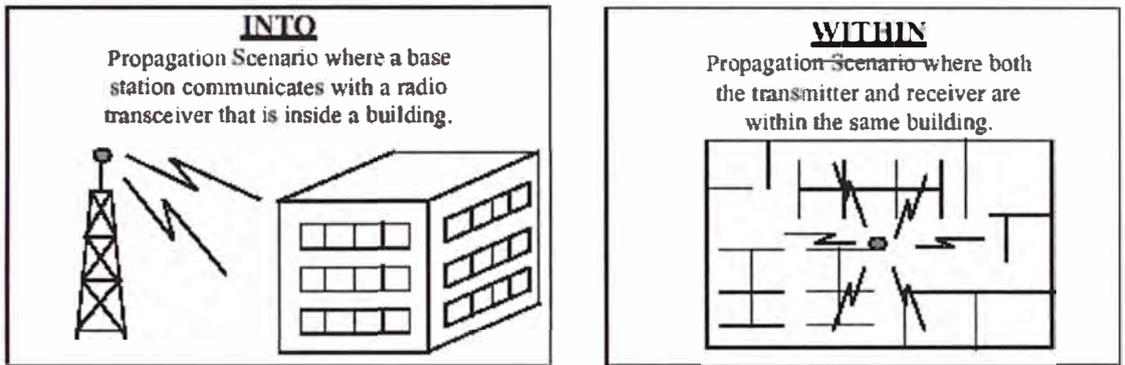


Figura A2

Environment	Penetration Loss
Dense Urban	20 dB
Urban	15 dB
Suburban	10 dB
Rural	8 dB

Tabla A2

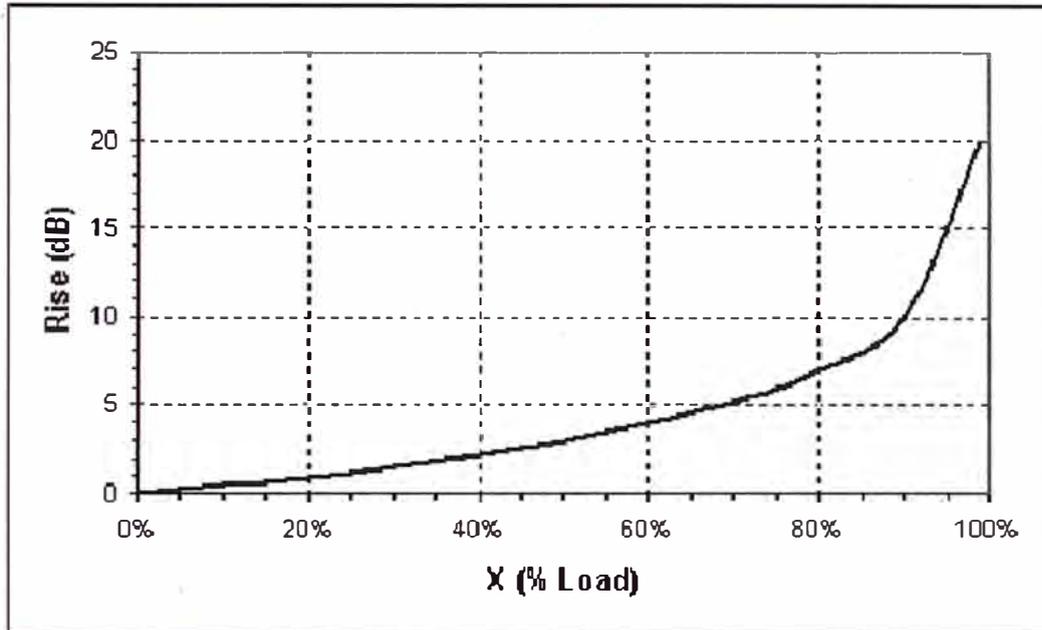
*Vehicle Loss.- Es la degradación de la señal RF causado por un recinto vehicular. Vehicle Loss esta en el rango de 5 a 12 dB.*

*Ambient Noise.- Define el ruido de ambiente que esta en exceso de  $kTB$  para el sector. Este ruido podría ser generado por maquinas, autos, fabricas, etc.*

*Perdida alimentación RF.- incluye todas las perdidas encontradas en la estación base entre el gabinete y la base de la antena.*

### PARÁMETROS ESPECIFICO CDMA

*Interferencia de Crecimiento de ruido.- Es el efecto generado de otros usuarios que esta siendo servido por la celda o otras celdas vecinas. La figura A3 muestra el factor de crecimiento de ruido vs el factor de carga*



**Figura A3**

*Ganancia de Soft handoff.- Es el termino que esta normalmente asociado con el factor que un sistema CDMA hace una conexión a una celda destino antes de liberar la celda fuente.*

*Eb/No.- Corresponde la energía por bit sobre la densidad de ruido mas interferencia para un Frame Erasure Rate destino (FER tipico 1%)*

*Parámetros específico del producto*

*La potencia de transmisión.- Es típicamente referenciada como la potencia salida del equipo antes de la línea y antenas de transmisión RF.*

*- Unidad de subscriber .- El estándar IS-95 proporciona la máxima potencia radiada efectiva (ERP) para cualquier clase de transmisor personal como se muestra en la tabla A4:*

<b>Mobile Station Class</b>	<b>ERP at Maximum Output Shall Exceed</b>	<b>ERP at Maximum Output Shall not Exceed</b>
I	1 dBW (1.25 watts)	8 dBW (6.3 watts)
II	-3 dBW (0.5 watts)	4 dBW (2.5 watts)
III	-7 dBW (0.2 watts)	0 dBW (1.0 watts)

**Tabla A4**

- Estación Base.- La salida de potencia es normalmente asumida ser la potencia de salida de la parte superior del gabinete. Esto es posible que cada vendedor tenga diferentes potencia de transmisión para cada producto. Las siguientes tablas muestra algunas capacidades de potencia del producto de la BTS:

<b>BTS Product</b>	<b>Frequency (MHz)</b>	<b>Number of PA Modules Sector</b>	<b>Average Rated Power (W) Sector/Carrier</b>	<b>High Power Alarm Rating (W) Sector/Carrier</b>	<b>High Power Alarm Rating (dB)<sup>a</sup> Sector/Carrier</b>
SC300 1X Microcell	800/1900	1	10	31.6	5
SC340 1X Picocell	Japan 800	1	0.2	N/A	N/A
SC340 1X Microcell	Japan 800	1	5	20	6

BTS Product	Frequency (MHz)	Number of PA Modules Sector	Average Rated Power (W) Sector/Carrier	High Power Alarm Rating (W) Sector/Carrier	High Power Alarm Rating (dB) <sup>a</sup> Sector/Carrier
SC611	1900	1	7 <sup>c</sup>	28	6
SC614T	1900	(4 <sup>b</sup> )	16/48	32 <sup>b</sup> /76	3 <sup>b</sup> /2
SC4812T/ ET/ET Lite	1900	(4 <sup>d</sup> )	22.5/67.5	70.8 <sup>d</sup> /107.2	5 <sup>d</sup> /2
SC4852E	1900	2	20	32	2
SC4852R	1900	4	45	71	2
SC604	1900	2	10 <sup>c</sup>	24	3.8
SC611	800	1	7 <sup>c</sup>	32	6.6
SC614	800	2	20	32	2
SC2450	800	2	20	40	2
SC4812	800	2	22.5	36	2
SC4812T/ ET/ET Lite	800	(4 <sup>d</sup> )	22.5/67.5	70.8 <sup>d</sup> /107.2	5 <sup>d</sup> /2

- a. The High Power Alarm Rating (dB) is represented here in terms of dB above the Average Rated Power. It is also a worst case specification; typical ratings are 0.5 to 1.0 dB better.
- b. This is a TrunkedPower™ BTS. It has four LPA modules serving one three-sector carrier. Its Carrier ARP is shared across all three sectors. The High Power Alarm functions on a total carrier power basis, as opposed to an individual sector basis as for non-trunked BTSs. A sector-equivalent HPA rating is shown here only for comparative purposes, and is based on a conservative trunking benefit of 1.1 dB.
- c. This product, having no fans, has its Average Rated Power thermally limited.
- d. This is a TrunkedPower™ BTS. It has four Trunked LPA modules serving one three-sector carrier. Its Carrier ARP is shared across all three sectors. (A six-sector carrier is served by two sets of Trunked LPA modules.) The High Power Alarm functions on a total carrier power basis, as opposed to an individual sector basis as for non-trunked BTSs. A sector-equivalent HPA rating is shown here only for comparative purposes, and is based on BI specifications.
- e. At the time of this revision, it is believed that the power ratings listed above will be the same for the IS-2000 1X modes.
- f. The models compatible at this time with IS-2000 1X are those in the SC4812T family, the SC300 1X, the JCDMA models, SC9640, SC4840, and SC2440, and the JCDMA microcellular SC340 1X.

*Sensibilidad del receptor.- La sensibilidad de un receptor de radio es definida como la potencia mas baja de señal disponible que el receptor pueda detectar mientras proporciona una adecuada relación de señal a ruido (SNR) en la salida del receptor para la demodulación. Para un sistema con modulación digital, el mínimo bit error rate (BER) define la mínima SNR (Eb/No) necesario para la reproducción satisfactorio de la señal deseada. La siguiente ecuación puede ser utilizada para calcular la sensibilidad de un receptor de radio:*

$$RxSensitivity = (kT)_{dBm/Hz} + W_{dB \cdot Hz} + (NF)_{dB} + (E_b/N_o)_{dB} - (W/R)_{dB}$$

donde:

$k$  constante de Boltzmann's =  $1.38 \cdot 10^{-23}$

$T$  Temperatura en grados Kelvin = 290 K

$W$  Ancho de Banda = 1.228800 MHz

$NF$  FIGURA DE RUIDO

$E_b/N_o$  Energia por bit sobre ruido

$R$  Velocidad de información de bit

$$RxSensitivity = -113_{dBm} + (NF)_{dB} + (E_b/N_o)_{dB} - PG_{dB}$$

Interface de aire	Configuración del enlace de radio reverse	Velocidad de Datos (bps)	Ganancia de Procesamiento (dB)
IS-95	Rate Set 1 - Estándar 8kbps Vocoder	9600	21.07
IS-95	Rate Set 2 - 13 kbps Vocoder	14,400	19.31

**Tabla A4: Ganancia de Procesamiento**

Figura de ruido o  $NF$ .- Es un valor usado para comparar el ruido en una red con el ruido de una red ideal. Esto es una medida de la degradación de la relación de señal a ruido (SNR) entre la entrada y salida de una red. Puede ser expresado como:

$$NF_{(dB)} = 10 \log(F)$$

Donde :

$F$  Factor de ruido

La figura de ruido para la estación base es aproximadamente 6 a 7 dB máximo, como valor típico de aproximadamente 4.5 dB. Consultar las especificaciones del vendedor.

La figura de ruido para el subscriber es aproximadamente 10 dB. El valor de  $E_b/N_o$  para proporcionar una calidad aceptable de audio para el subscriber es altamente dependiente de

*múltiples parámetros como la velocidad del móvil, parámetros de ambiente, multiruta, y soft handoff de la unidad de subscriber.*

*Confiabilidad.- (Shadow Fade Margin)*

*Shadow fade margin.- Corresponde a la variación en nivel de señal media causado por el subscriber pasando a través de sombras de edificios o cerros. En puntos cercanos a la estación base, el nivel promedio de la señal recibida y la probabilidad de cobertura será alto. En puntos cerca de la periferia de la celda, el nivel de señal recibida y la probabilidad de cobertura será bajo.*

### ANEXO 3 : CÁLCULOS $E_b / N_0$

Antes de implementar un sistema CDMA, el ingeniero de RF necesita conocer si el diseño de la celda CDMA, cluster o sistema soporta o no los enlaces de radio básicos. En otras palabras, si todos los parámetros son adecuados para mantener un enlace de radio de alta calidad entre la estación base y el móvil. . Hay tres parámetros importantes para considerar en el diseño CDMA:  $E_c/I_0$  del canal piloto, la  $E_b/N_0$  del canal de tráfico forward, y el  $E_b/N_0$  del canal de tráfico reverse.

#### Canal Forward

Para calcular la relación efectiva de relación señal a ruido los canales forward de tráfico, piloto, sincronismo, necesitamos calcular la potencia de la señal recibida y la interferencia recibida en cada canal. Las siguientes ecuaciones sirven para nuestros cálculos:

1.- Potencia radiada efectiva del canal de tráfico

$$p_t = P_t / N_t C_f$$

$$p_t = P_t - 10 \log N_t - 10 \log C_f \quad (\text{dBm})$$

Donde:

$p_t$  Potencia radiada efectiva (ERP) del canal de tráfico (dBm)

$P_t$  La ERP de todos los canales de tráfico de la antena transmisora de la BTS (dBm)

$N_t$  Numero de canales de tráfico soportado por el sector o celda

$C_f$  Factor de actividad de voz del canal (valor típico 0.4 – 0.6)

2.- Potencia por usuario

$$p_u = p_t - G_t - L_c \quad (\text{dBm})$$

Donde:

$p_u$  Potencia del canal de tráfico por usuario (dBm)

$G_t$  Ganancia de la antena transmisora de la BTS (dB)

$L_c$  Perdida de cable y filtros entre la salida del amplificador lineal (LAC) y la entrada de la antena transmisora (dB)

3.- El ERP total de la estación base (BTS)

$$P_c = 10 \log [10^{0.1 p_i} + 10^{0.1 p_s} + 10^{0.1 p_p} + 10^{0.1 p_{pg}}] \quad (\text{dBm})$$

Donde:

$P_c$  La ERP total de la estación base BTS (dBm)

$P_s$  La ERP del canal de sincronismo (dBm)

$P_p$  La ERP del canal piloto (dBm)

$P_{pg}$  La ERP del canal paging (dBm)

4.- Potencia del Amplificador de la estación base

$$P_a = P_c - G_t - L_c$$

Donde:

$P_a$  Potencia total de todos los canales de traffic, pilot, paging y sincronismo en la salida del amplificador

5.- Potencia total recibida por Móvil

$$p_m = P_c + L_p + A_l + G_m + L_m \quad (\text{dBm})$$

Donde:

$p_m$  potencia total recibida por el móvil (dBm)

$L_p$  Perdida de ruta de propagación entre la estación base y la estación móvil (dB)

$A_l$  Perdida de sombra permitida debido al terreno local para una probabilidad de cobertura dada (dBm)

$G_m$  La ganancia de la antena del recetor (móvil) (dB)

$L_m$  Perdida del cable y conector del receptor móvil (dB)

6.- Potencia del canal de trafico recibida

$$p_{tr} = p_t + L_p + A_l + G_m + L_m \quad (\text{dBm})$$

Donde:

$p_{tr}$  Potencia recibida del canal trafico por el móvil desde la celda servidora (dBm)

7.- Potencia del piloto recibido

$$p_{pr} = p_p + L_p + A_l + G_m + L_m \quad (\text{dBm})$$

donde:

$p_{pr}$  Potencia recibida del canal piloto por el móvil desde la celda servidora (dBm)

8.- Potencia del canal paging recibido

$$p_{pgr} = p_g + L_p + A_l + G_m + L_m \quad (\text{dBm})$$

donde:

$p_{pgr}$  Potencia recibida del canal paging por el móvil desde la celda servidora (dBm)

9.- Potencia del canal de sincronismo recibido

$$p_{sr} = p_s + L_p + A_l + G_m + L_m \quad (\text{dBm})$$

donde:

$p_{pr}$  Potencia recibida del canal de sincronismo por el móvil desde la celda servidora (dBm)

10.- Interferencia de otros Usuarios (en la misma estación base) en el canal de tráfico

$$I_{ut} = 10 \log [ 100 \cdot I_{pm} - 100 \cdot I_{ptr} ] - 10 \log B_w$$

Donde:

$I_{ut}$  Densidad de interferencia de otros usuarios en el canal de tráfico (dBm / Hz)

$B_w$  Ancho de banda (Hz)

11.- Interferencia de otras Estaciones Bases en el canal de tráfico

$$I_{ct} = I_{ut} + 10 \log [ 1 / f_r - 1 ]$$

Donde:

$I_{ct}$  La densidad de interferencia de otras estaciones base en el canal de tráfico (dBm)

$f_r$  factor de reuso de frecuencia (valor típico es 0.65)

12.- Densidad de interferencia para el canal de tráfico

$$I_t = 10 \log [ 10^{0.1 I_{ut}} + 10^{0.1 I_{ct}} ]$$

Donde:

$I_t$  Densidad de interferencia en el canal de tráfico (dBm / Hz)

13.- Interferencia de otros usuarios en la misma estación base al canal piloto

$$I_{up} = p_m - 10 \log B_w$$

Donde

$I_{up}$  Densidad de interferencia de otros usuarios en el canal pilot (dBm / Hz)

14.- Interferencia de otras estaciones base al canal piloto

$$I_{cp} = I_{up} + 10 \log [ 1 / f_r - 1 ]$$

Donde

$I_{cp}$  densidad de interferencia de otras estaciones base en el canal pilot (dBm / Hz)

15.- Densidad de interferencia para el canal piloto

$$I_p = 10 \log [10^{0.1I_{up}} + 10^{0.1I_{cp}}]$$

16.- Interferencia de otros usuarios en la misma estación base al canal Paging

$$I_{upg} = 10 [ \log 10^{0.1P_m} - 10^{0.1P_{gr}} ] - 10 \log B_w$$

Donde

$I_{upg}$  densidad de interferencia de otros usuarios en el canal Paging (dBm / Hz)

17.- Interferencia de otras estaciones base al canal Paging

$$I_{cpg} = I_{upg} + 10 \log [ 1 / f_r - 1 ]$$

Donde

$I_{cpg}$  densidad de interferencia de otras estaciones base en el canal Paging (dBm / Hz)

18.- Densidad de interferencia para el canal Paging

$$I_{pg} = 10 \log [10^{0.1I_{upg}} + 10^{0.1I_{cpg}}]$$

19.- Interferencia de otros usuarios en la misma estación base al canal de sincronismo

$$I_{us} = 10 [ \log 10^{0.1P_m} - 100.1P_s ] - 10 \log B_w$$

Donde

$I_{us}$  Densidad de interferencia de otros usuarios al canal de Sincronismo (dBm / Hz)

20.- Interferencia de otras estaciones base al canal piloto

$$I_{cs} = I_{us} + 10 \log [ 1 / f_r - 1 ]$$

Donde

$I_{cs}$  Densidad de interferencia de otras estaciones base al canal de Sincronismo (dBm / Hz)

21.- Densidad de interferencia para el canal de Sincronismo

$$I_s = 10 \log [10^{0.1I_{us}} + 10^{0.1I_{cs}}]$$

22.- Ruido Térmico

$$N_o = 10 \log (290 * 1.38 * 10^{-23}) + N_f + 30$$

Donde:

$N_o$  Densidad de ruido térmico (dBm) / Hz)

$N_f$  Figura de ruido del móvil receptor (dB)

23.- Relación Señal a Ruido mas Interferencia en el canal de Trafico

$$E_b / ( N_o + I_t ) = P_{tr} - 10 \log B_{rt} - 10 \log [ 10^{0.1I_t} + 10^{0.1N_o} ]$$

Donde

$brt$  velocidad de bit del canal de tráfico (bps)

24.- Relación Señal a Ruido mas Interferencia en el canal Piloto

$$Eb / (No + Ip) = ppr - 10 \log Bw - 10 \log [ 100.1Ip + 100.1No ]$$

25.- Relación Señal a Ruido mas Interferencia en el canal Paging

$$Eb / (No + Ipg) = Pprg - 10 \log brpg - 10 \log [ 10^{0.1Ipg} + 10^{0.1No} ]$$

Donde:

$brpg$  velocidad en el canal paging (bps)

26.- Relación Señal a Ruido mas Interferencia en el canal de Sincronismo

$$Eb / (No + Is) = psr - 10 \log brs - 10 \log [ 100.1Is + 100.1No ]$$

Donde:

$brs$  velocidad en el canal de Sincronismo (bps)

### **Canal Reverse**

Los cálculos para el canal reverse son similares al del canal forward:

1.- Amplificador de Potencia del Móvil

$$Pma = Pme - Lm - Gm$$

Donde

$Pma$  La potencia de salida del amplificador del móvil (dBm)

$Pme$  La ERP de la antena transmisora del móvil (dBm)

$Lm$  Perdida de cable y filtro entre la salida del amplificador y entrada de la antena del móvil (dB)

$Gm$  Ganancia de la antena transmisora del móvil (dB)

2.- Potencia recibida por la estacion base por usuario

$$Pcu = Pme + Lp + Al + Gt + Lt$$

Donde

$Pcu$  Potencia recibida por la estacion base desde un móvil (dBm)

$Lp$  Perdida de ruta del medio de propagación entre el móvil y la estacion base (dB)

*Al* Probabilidad de cobertura para un terreno dado con un desvanecimiento lognormal

*Gt* Ganancia de la antena receptora de la estación base

*Lt* Pérdida de conectores y cable en la estación base (dB)

### 3.- Densidad de Interferencia de otros móviles a la Estación Base

$$I_{urt} = P_{cu} + 10 \log (N_t - 1) + 10 \log C_a - 10 \log B_w$$

Donde:

*I<sub>utr</sub>* densidad de interferencia de otros móviles en la celda (dBm/Hz)

*C<sub>a</sub>* Factor de actividad de voz del canal (valor típico 0.4 a 0.6)

*N<sub>t</sub>* Número de canales de tráfico soportado por la Estación Base

*B<sub>w</sub>* Ancho de Banda (Hz)

### 4.- Densidad de Interferencia de los móviles en otras Estaciones Bases

$$I_{ctr} = I_{utr} + 10 \log (1/f_r - 1)$$

Donde:

*I<sub>ctr</sub>* Densidad de interferencia de los móviles en otras estaciones bases (dBm/Hz)

*f<sub>r</sub>* Factor de reuso de frecuencia (valor típico 0.6)

### 5.- Densidad de Interferencia de otros móviles en la Estación Base servidora y otras Estaciones Bases

$$I_{tr} = 10 \log [ 100.1 I_{utr} + 100.1 I_{ctr} ]$$

Donde:

*I<sub>tr</sub>* La densidad de Interferencia de otros móviles en la estación base servidora y desde otras estaciones bases (dBm/Hz)

### 6.- Densidad de Ruido Térmico

$$N_o = 10 \log (290 * 1.38 * 10^{-23}) + N_f + 30$$

Donde:

*N<sub>o</sub>* Densidad de ruido térmico a una referencia de 290 °K (dBm) / Hz)

*N<sub>f</sub>* Figura de ruido del receptor de la Estación Base (dB)

### 23.- Relación Señal a Ruido mas Interferencia en el canal de Tráfico Reverse

$$Eb / (No + Itr) = Pcu - 10 \log brr - 10 \log [ 100.1Itr + 100.1No ]$$

*Donde*

*brr*      *velocidad de bit del canal de tráfico (bps)*

## BIBLIOGRAFÍA

- 1 Joseph E. Wilkes, PhD,PE, “Applications of CDMA in Wireless/Personal Communications”, Hall Canada Inc, Toronto ,1997
- 2 Mam Young Rhee, “CDMA Cellular Mobile Communications - Network Security”, Hall Canada Inc, Toronto ,1997
- 3 Engineering RF & Wireless Product, “RF Design”, February 2001  
Serie Mundo Electronico, “Telecomunicaciones Móviles Segunda Edición”,  
alfaomega Marcomobo 2001
- 4 Frans Peralta, “Curso de Redes Inalámbricos”, Universidad Nacional de Ingeniería – Peru, Notas de Curso, 2001.
- 5 TIA/EIA/IS-95 A TITLE PAGE, “Mobile Station – Base Station Compatibility Standard for Dual-Mode Wideband Spread Spectrum Cellular System”
- 6 Entrenamientos Movistar, “General Description of IS-95 and J-STD-008 Digital CDMA Wideband Spread Spectrum Wireless System”, Revision 0, 1997

- 7 J. Guadalupe Medina Nieto, Oscar G. Ibarra Manzano,, “Telefonía Celular Digital Volumen IV, No 11”, Ingenierías, Abril 2001
- 8 William C. Y.. Lee, “Mobile Cellular Telecommunications – Analogo and Digital Systems second edition”, McGraw Hill, INC, 1995