

UNIVERSIDAD DON BOSCO
FACULTAD DE ESTUDIOS TECNOLÓGICOS



**“ ESTUDIO SOBRE LAS TECNOLOGÍAS DIGITALES UTILIZADAS
EN LA TELEFONIA MOVIL CON SOFTWARE DIDÁCTICO ”**



**TRABAJO DE GRADUACION
PREPARADO PARA LA FACULTAD
DE ESTUDIOS TECNOLOGICOS**

**PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
TECNICO EN INGENIERIA ELECTRONICA,
ESPECIALIDAD: TELECOMUNICACIONES**

**PRESENTADO POR:
JOSÉ ADALBERTO DÍAZ POCASANGRE,
MIGUEL EDUARDO FLORES GÓMEZ,
ANTONIO JOSÉ MÉNDEZ PINEDA,**

ASESOR: Edson Pintin Campos.

CIUDADELA DON BOSCO, MARZO DEL 2000.-

UNIVERSIDAD DON BOSCO


FACULTAD DE ESTUDIOS TECNOLÓGICOS

JURADO EVALUADOR

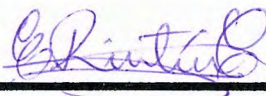
**“ESTUDIO SOBRE LAS TECNOLOGÍAS DIGITALES UTILIZADAS EN LA
TELEFONIA MOVIL CON SOFTWARE DIDÁCTICO”**



Ing. Edgardo Zeledón



Ing. Wilber Martínez



Téc. Edson Pintín

UNIVERSIDAD DON BOSCO

RECTOR

ING. FEDERICO HUGUET RIVERA

SECRETARIO GENERAL

PBRO. PEDRO GARCIA CASTRO, sdb.

DECANO DE LA FACULTAD DE ESTUDIOS TECNOLÓGICOS

ING. RICARDO SILIEZAR

ASESOR

TEC. EDSON PINTIN CAMPOS

JURADO EXAMINADOR

ING. WILBER MARTINEZ

ING. EDGARDO ZELEDON

Agradecimientos

Hemos llegado al final de un camino pero se abren otros más en la lejanía, caminos llenos de muchas oportunidades, pero nunca lo hubiésemos logrado sin la ayuda de muchas personas queridas a quienes deseamos darles las gracias.

Agradecemos ante todo a Dios Todopoderoso, a nuestros queridos Padres, por darnos su apoyo y financiar nuestros estudios; Instructores y Profesores, por compartir sus conocimientos con nosotros; y demás personas involucradas, que de alguna manera nos brindaron información necesaria para completar nuestro proyecto.

Y agradecimientos especiales a la Ing. Teresa de Barrientos y a la Ing. Cecilia Urquilla.

INDICE

	No. de Página
INTRODUCCIÓN	
OBJETIVOS	1
LIMITACIONES Y ALCANCES	2
METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	3
CAPITULO 1	
Introducción a los Sistemas Celulares.	
1.1. Definiciones Básicas.	4
1.2. Historia de la Comunicación Celular Análoga.	16
1.3. Tecnología Celular Análoga.	26
1.4. Tipos de Modulación Utilizadas para Sistemas Celulares.	34
CAPITULO 2	
Historia e Introducción a las Tecnologías Digitales Para Celulares.	
2.1. Principios del teléfono celular digital.	37
2.2. Descripción de Conceptos Propios de los Sistemas Digitales.	41
2.3. Conceptos básicos de NADC.	45
2.4. Sistemas de comunicación Personal (PCS)	61

CAPITULO 3

Tecnología TDMA.

3.1 Aspectos Generales de la Tecnología (Definiciones y principios)	83
3.2 Características Básicas del Sistema TDMA	89
3.3 Configuraciones del Sistema TDMA	95
3.4 Operación de Voz	98
3.5 Formato de cada tipo de ráfaga	100
3.6 Configuraciones Específicas de los Sistemas TDMA	107
3.7 Efecto de la reducción de código	118
3.8 Enlace por direccionamiento Discreto V/D	121

CAPITULO 4

Espectro Disperso y Tecnología CDMA.

4.1 Conceptos Básicos de CDMA	137
4.2 Espectro Disperso	137
4.3 Espectro Disperso Aplicado en el CDMA	145
4.4 Técnicas de CDMA	150
4.5 Funcionamiento general de CDMA	157

CAPITULO 5

Tecnología GSM (Afin).

5.1 Introducción al Sistema GSM	187
5.2 TDMA y FDMA en GSM	196
5.3 Conceptos Complementarios GSM	215

GLOSARIO	222
RECOMENDACIONES	235
BIBLIOGRAFÍA	236
ANEXO 1	
Guía del Software Complementario.	237
ANEXOS 2	
Reglamento y Leyes de las Telecomunicaciones; CNAF	244
ANEXOS 3	
Cuadro de las frecuencias asignadas a las distintas tecnologías	262
ANEXOS 4	
Cuadro de los diferentes estándares celulares digitales y analógicas	263
ANEXOS 5	
Presupuesto	257
ANEXOS 6	
Comparación de Cronogramas	269

INDICE DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1.1.1. Sistemas Limitados por Ruido.	5
Figura 1.1.2. Sistemas Limitados por Interferencia.	6
Figura 1.1.3. Proceso de División Celular.	7
Figura 1.1.4. Elementos Básicos para un Radioenlace Móvil.	10
Figura 1.1.5. Redes celulares con antenas omnidireccionales.	13
Figura 1.3.1. Diagrama a Bloques de un Transceptor Celular Típico.	26
Figura 1.3.2. Asignación de canales en los Sistemas Celulares Análogos.	32
Figura 1.3.3. Asignación de Canales a cada Estación Base (Ancho de Banda por Canal Vs. Tiempo).	33
Figura 1.3.4. Localización esquemática de un canal de subscriptor junto con la banda de frecuencia asignada (rango).	33
Figura 1.3.5. Esquema del espectro de frecuencia de varios canales de subscriptores.	34
Figura 2.2.1 Modulador de QPSK.	43
Figura 2.2.2 Respuesta del pulso: (a) señal de entrada NRZ; (b) salida de un filtro perfecto; (c) salida de un filtro imperfecto.	44
Figura 2.3.1. Canalización FDMA/TDMA.	47
Figura 2.3.2. Diagrama a bloques de un teléfono celular digital.	48
Figura 2.3.3. Corrección de error y Codificador de Canal.	49
Figura 2.3.4. Corrección de errores para el NADC.	50
Figura 2.3.5. Formato de las ranuras de tiempo.	51
Figura 2.3.6. Estructura de la trama NADC.	53
Figura 2.3.7. Intercalación de datos.	54
Figura 2.3.8. Diagrama de modulación QPSK.	56
Figura 2.3.9. Transición de fase para DQPSK $\pi/4$.	57
Figura 2.3.10. Comparación entre DQPSK y el DQPSK $\pi/4$.	58
Figura 2.3.11. Filtrado para reducir el ancho de banda mientras la ISI es reducida.	59

	Pag.
Figura 2.3.12. Comparación entre el filtro de Nyquist y el de raíz cuadrada de la respuesta del impulso de Nyquist.	60
Figura 2.4.1. Ambiente DCCH.	64
Figura 2.4.2. Modelo de la interfase aérea.	66
Figura 2.4.3. Mapas de las capas 1-2-3.	67
Figura 2.4.4. Configuración de los Canales Lógicos.	68
Figura 2.4.5. Consumo actual y período de sueño.	71
Figura 2.4.6. Esquema de mensajería de tele – servicio.	74
Figura 2.4.7. Esta figura muestra una microcelda del sistema privado dentro de una macrocelda pública.	76
Figura 2.4.8. Reselección basada en el tipo de celda HCS.	78
Figura 2.4.9. Configuración del sistema de redes.	79
Figura 2.4.10. Identificadores del sistema y localización ID.	82
Figura 3.1.1. Distribución de los canales TDMA en el tiempo.	84
Figura 3.1.2. Cuatro Conversaciones - Cuatro Canales.	85
Figura 3.1.3. Cuatro Conversaciones en un Canal.	85
Figura 3.1.4. Interferencia de Multi trayectoria.	88
Figura 3.2.1. Jerarquía de Tiempo en el Sistema TDMA.	90
Figura 3.2.2. Requerimientos de Tiempo para cada Ranura de 30ms.	91
Figura 3.3.1. Configuraciones del Sistema TDMA (Rango Estándar = 4 ranuras de tiempo por trama).	96
Figura 3.4.1. Operación del VOCODER en un radio enlace TDMA.	100
Figura 3.5.1. Campos del Subcanal de Ráfaga (Configuraciones del sistema de Voz Solamente).	101
Figura 3.5.2. Tipo de Ráfaga, Identificación Local de Usuario y Campos de Señal de Voz.	102
Figura 3.5.3. Inicialización del Mensaje (Configuraciones del Sistema de Voz Solamente).	105
Figura 3.5.4. Subcanal M de Enlace Terreno (Uplink) Utilizado por una Señal de Grupo de Usuario.	107

	Pag.
Figura 3.6.1. Temporización de Ráfaga para la Configuración 4V.	108
Figura 3.6.2. Modificación de la Estructura de la Trama por la Configuración del Sistema 2V2S.	111
Figura 3.6.3. Temporización de Ráfaga de Usuarios Asociados con Cada Sitio para la Configuración 2V2S.	111
Figura 3.6.4. Ejemplo del Sector y Espacio Geográfico para Dos Sectores Adyacentes en la Configuración del Sistema 2V2S.	113
Figura 3.6.5. Geometría Crítica en la Determinación de las Dimensiones de la DOC para la Configuración de Sistema 2V2S.	114
Figura 3.6.6. Sitio de Transmisiones Terrenas y Sitio del Receptor Aéreo (cambios de posición) para la Configuración 2V2S.	115
Figura 3.8.1. Campos de la Ráfaga del Subcanal (Direccionamiento Discreto V/D Configuraciones del Sistema).	124
Figura 3.8.2. Tipo de Ráfaga, Identificación del Usuario Local (Id) y Campos de la Señal de Voz.	126
Figura 3.8.3. Inicialización de Mensaje y Campos de Petición de Reservación (Direccionamiento Discreto V/D Configuraciones del Sistema).	128
Figura 3.8.4. Subcanal M de Enlace Terreno (Uplink) usado por una Señal de Grupo de Usuario.	129
Figura 4.2.1. Canal Multiplexor.	138
Figura 4.2.2. Canal Demultiplexor.	139
Figura 4.2.3. Distribución de un canal de Acceso Múltiple.	139
Figura 4.2.4. Distribución de una canal de difusión.	140
Figura 4.2.5. Técnica de desbordamiento.	142
Figura 4.2.6. Una red en forma de estrella.	144
Figura 4.2.7. Conexión completa de red en forma de Estrella.	145
Figura 4.3.1. Proceso de codificación.	146
Figura 4.3.2. Operación Básica del Transmisor y Receptor para el Espectro Disperso.	148
Figura 4.3.3. Eliminación del código PN.	149
Figura 4.4.1. Reconstrucción de la Señal.	151

	Pag.
Figura 4.4.2. Problema Cerca-Lejos.	152
Figura 4.4.3. Saltos de frecuencia.	154
Figura 4.4.4. Funcionamiento de los Sistemas MC-CDMA (usando FFT).	155
Figura 4.4.5. Transmisor de Espectro Disperso de Multi – portadoras.	156
Figura 4.4.6. Transmisor de Espectro Disperso de Multi – portadora (utilizando Secuencia directa).	157
Figura 4.5.1. Concepto de CDMA.	158
Figura 4.5.2. Diversidad Espacial durante el SoftHand off.	159
Figura 4.5.3. Diversidad de Frecuencias.	160
Figura 4.5.4. Multitrayectoria en CDMA.	161
Figura 4.5.5. Enlace hacia adelante (capa física).	165
Figura 4.5.6. Reuso de frecuencias.	175
Figura 4.5.7. Saltos de frecuencia.	178
Figura 4.5.8. Curvas para BW_{total} / r_{symbol} constante.	178
Figura 4.5.9. Efectos del filtrado.	182
Figura 4.5.10. Interferencia de Acceso Múltiple.	184
Figura 5.1.1. Red GSM.	187
Figura 5.1.2. Enlace GSM.	188
Figura 5.1.3. Célula de GSM.	189
Figura 5.1.4. Modulación 0.3 GSMK.	194
Figura 5.2.1. TDMA & FDMA.	196
Figura 5.2.2. Tramas y Multitramas en GSM.	198
Figura 5.2.3. Downlink y Uplink en GSM.	200
Figura 5.2.4. Codificador de Voz.	202

	Pag.
Figura 5.2.5. Código de corrección de Error.	204
Figura 5.2.6. Entrelazado de trama para el canal de tráfico.	205
Figura 5.2.7. Organización típica del Canal de radiodifusión.	206
Figura 5.2.8. Canal de Control Lento de Asociación (SACCH).	206
Figura 5.2.9. Canal de control Rápido de Asociación (FAC.).	207
Figura 5.2.10. Canal de Acceso Aleatorio (RACH).	208
Figura 5.2.11. Canal de Difusión (BCH).	209
Figura 5.2.12. Canal de Control Dedicado de Espera (SDCCH).	211
Figura 5.2.13. Inicio de Llamada de un Móvil.	213
Figura 5.3.1. Canales Lógicos y Físicos.	215
Figura 5.3.2. Actualización de Ubicación.	216
Figura 5.3.3. Originación de llamada del Móvil.	217
Figura 5.3.4. Midamble o Bits Intermedios.	219
Figura 5.3.5. DTX y DRX.	220
Figura 5.3.6. Encriptación.	221

OBJETIVOS

GENERAL.

Investigar y desarrollar un estudio sobre algunas de las tecnologías digitales más importantes utilizadas en la telefonía móvil en el país, con fines didácticos.

ESPECIFICOS.

1. Ofrecer a los estudiantes de la carrera Técnico en Telecomunicaciones información actualizada sobre la telefonía móvil digital.
2. Ampliar los conocimientos sobre cada una de las tecnologías digitales existentes en el país.
3. Desarrollar un software didáctico como complemento gráfico del contenido de este documento.

ALCANCES

- Dar a conocer las ventajas (en funcionamiento, capacidad, cobertura, seguridad y calidad) de las tecnologías digitales utilizadas para las transmisiones en la telefonía móvil.
- Elaborar un material didáctico completo y fácil de comprender para un nivel tecnológico, sobre el aprendizaje de las diferentes técnicas de transmisión/ recepción utilizadas en la telefonía móvil digital (NADC, PCS, TDMA, CDMA, GSM).
- Facilitar el aprendizaje proporcionando una herramienta interactiva (software) como complemento del material teórico.

LIMITACIONES

- Falta de información técnica sobre los operadores actuales existentes en el país causada por la desconfianza debido a la competencia.
- El trabajo se enfoca únicamente a las tecnologías digitales difundidas en nuestro país, dejando fuera otras tecnologías existentes a nivel mundial más recientes.
- Falta de equipo práctico a causa de su alto costo económico.
- El software no presenta simulaciones o evaluaciones de ningún tipo.

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

Estrategia seguida para la realización de este trabajo:

- Recopilación de Información: Sobre las tecnologías digitales (internet y libros de referencia, a través de contactos) y libros del Software a utilizar.
- Clasificación de Información: ésta se separa y ordena según la importancia (con referencia al desarrollo de los contenidos de algún libro técnico) o a través de parámetros como el tiempo de implementación de las tecnologías.
- Análisis de Información: Enfocar la información de acuerdo a los objetivos planteados, alcances propuestos y posibles limitaciones.
- Estructuración del documento: se comienza a desarrollar cada uno de los temas necesarios para realizar el proyecto de graduación (en base a una referencia didáctica).
- Ordenamiento adecuado de la Información: con el objetivo de proporcionar un fácil manejo de los contenidos y un mejor entendimiento.
- Revisión y depuración del documento: hacer las modificaciones necesarias de acuerdo al criterio de evaluación del asesor, jurados y otras personas; así como también, la corrección de errores y la posible implementación de algún tema que sea necesario.
- Revisión final (corregir errores) e Impresión del documento.
- Paralelo a todas estas actividades se desarrollará el software didáctico.

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS CELULARES

1.1 Definiciones Básicas

1.1.1. Concepto Celular.

La tecnología celular constituye el avance más importante dentro de la industria de las telecomunicaciones. El sistema se compone de unas estaciones base (celdas) que transmiten por medio de frecuencias las comunicaciones de los usuarios. La zona de cubrimiento de cada estación se denomina "Área de Cobertura". Las celdas están enlazadas entre sí, y cuentan con un centro inteligente (CENTRO DE CONMUTACION MOVIL o CCM), que transfiere las llamadas de celda en celda, sin que tal transferencia sea perceptible para el usuario que sostiene una comunicación. Esta transferencia se denomina HAND-OFF.

En cada celda hay una estación base que cuenta con un transmisor y un receptor de radio de baja potencia.

Las características fundamentales de las redes celulares son:

- a) La reutilización de frecuencias.
- b) La división celular.

a) La reutilización de Frecuencia.

Los abonados (teléfonos móviles) de un sistema de telefonía Móvil realizan sus comunicaciones mediante la utilización de canales de radiofrecuencia, por lo que la capacidad de abonados capaz de soportar un sistema esta relacionada de forma proporcional con el número de canales de radiofrecuencia disponibles.

Dado que la banda de frecuencia asignada a un sistema no es, ni puede ser ilimitada, el número de canales disponibles resulta limitado y siempre pequeño para una capacidad de abonados mínima aceptable.

La única solución para aumentar la capacidad, es que diferentes abonados puedan utilizar el mismo canal de radiofrecuencia al mismo tiempo. Así es como aparece el concepto de **celular**.

Si a un área geográfica ideal de extensión fija (Figura 1.1.1. Izquierda) se le proporciona servicio mediante una única estación base a la que se asignan todos los canales disponibles " N "; éste será un sistema limitado por ruido, puesto que la cobertura proporcionada por la estación base se limita a aquellos puntos donde el abonado encuentra una señal útil superior al ruido en un margen aceptable.

Por problemas técnicos una única estación no es capaz de gestionar un elevado número de canales (el número total de canales disponibles en un sistema puede oscilar entre 180, entre 1000 para el sistema ETACS (Extended Total Access Communication System), por lo que un caso más real sería repartir el número total de radio canales entre varias estaciones base igualmente distribuidas por el área geográfica de interés (Figura 1.1.1. Derecha). Aunque seguiría siendo este un sistema limitado por ruido, los dos motivos que limitan donde puede llegar un abonado conectado a una estación base dada siguen siendo, el ruido y la potencia.

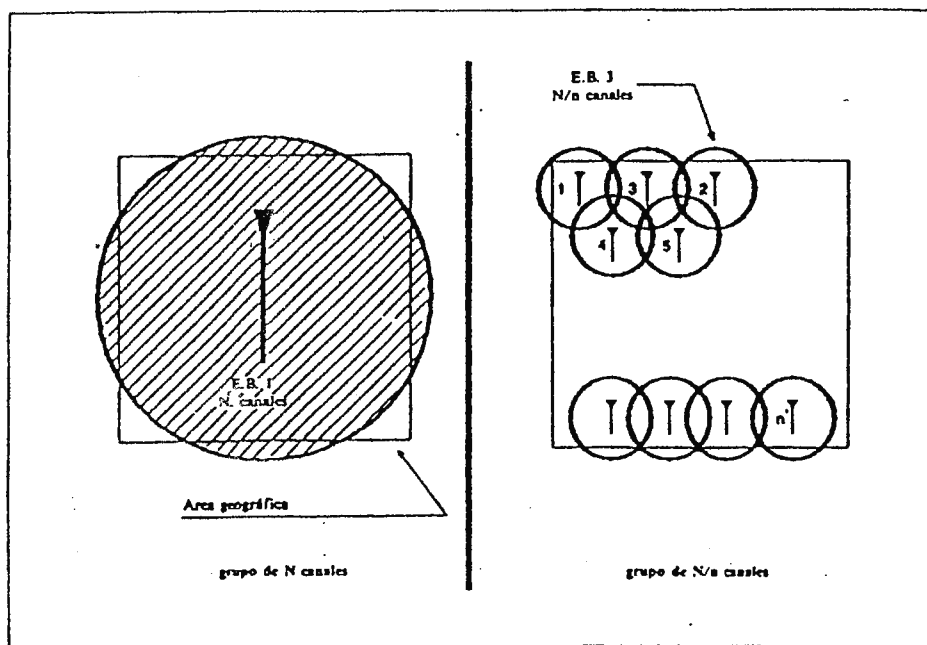


Figura 1.1.1. Sistemas Limitados por Ruido.

No obstante, la reutilización de canales es preciso realizarlo de forma controlada para evitar interferencias entre los canales reutilizados.

Cuando se repiten los mismos canales en diferentes estaciones base se está ante un sistema que sigue siendo limitado por un ruido o bien que empieza a ser limitado por interferencias, dependiendo de la distancia entre las estaciones base que tengan los mismos canales.

A medida que se quiere aumentar la capacidad en un área geográfica fija se debe aumentar el número de canales repetidos, o lo que es lo mismo reutilizar más veces los canales llegando un momento en el que el sistema será limitado por interferencia en su totalidad.

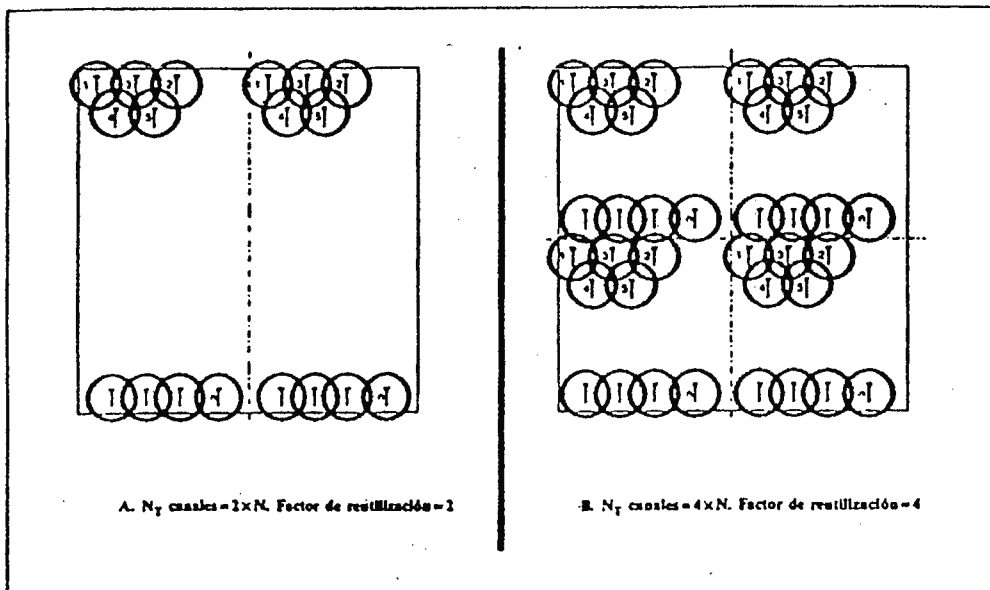


Figura 1.1.2. Sistemas Limitados por Interferencia.

Se puede resumir que la reutilización de frecuencias consiste en el uso de canales de la misma frecuencia para cubrir dentro de un área global, áreas diferentes, las cuales están separadas entre sí por una distancia tal que la interferencia entre canales adyacentes esta dentro de los límites aceptables. Mediante la reutilización de frecuencias, un sistema celular, en un área de cobertura determinada podrá soportar un número de comunicaciones mayor que el número de frecuencias utilizadas.

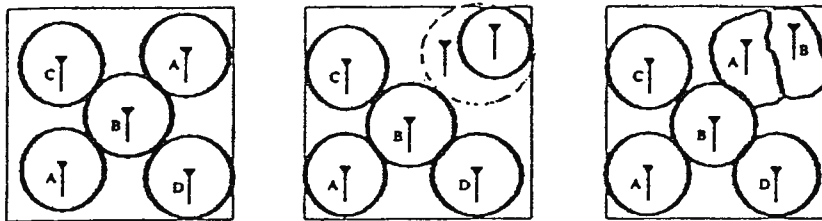
b) La División Celular.

El mecanismo de la División Celular permite adaptar la red a disposiciones futuras en la distribución de la demanda, permitiendo que la red no quede obsoleta al poco tiempo de haber sido diseñada.

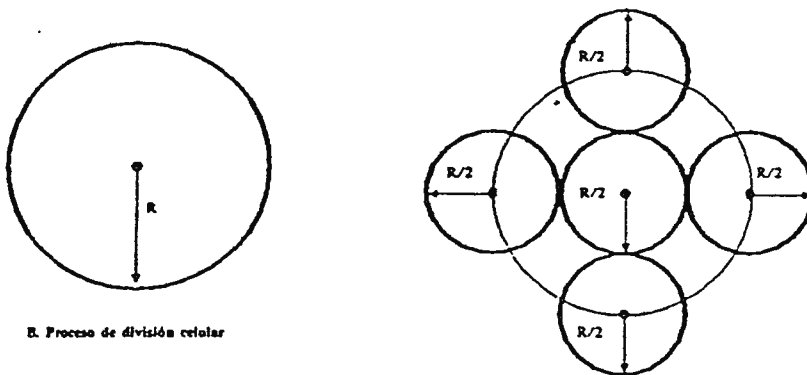
El crecimiento de tráfico de una célula requiere de la revisión de los límites de la célula de forma que una célula simple contendrá ahora varias células que, utilizando canales suplementarios se encargarán de ajustar el crecimiento espacial de la demanda de tráfico (abonados / Km²) sin ningún incremento del espectro radioeléctrico.

Desde un punto de vista ideal, cada etapa de división por dos del radio de cobertura:

- Divide por cuatro el área de la célula.
- Multiplica por cuatro el número de células.
- Multiplica por cuatro la capacidad de tráfico.



A. Proceso de división celular



B. Proceso de división celular

Figura 1.1.3. Proceso de División Celular.

Como resumen se puede decir que el concepto celular, apoyado en las técnicas de reutilización de frecuencias y división celular, permite en un sistema de Radio Telefonía Móvil:

- Servir a un gran número de usuarios en una determinada zona, utilizando un espectro Radio Eléctrico relativamente pequeño.
- Adaptar la disponibilidad de canales a la densidad espacial de demanda de tráfico.

1.1.2. DISEÑO DE REDES CELULARES.

Cuando se comienza a planificar un nuevo servicio móvil se debe pensar en los requerimientos básicos de la red, por ejemplo: qué servicio ofrecerá la nueva red y quienes serán sus usuarios.

Establecido lo anterior se puede empezar la planificación de una red real, cuyo trabajo puede dividirse en tres puntos principalmente:

- Plan básico de la red para todo el país.
- Planes de red locales.
- Planes para cada estación base.

Un plan básico de red contendrá información general sobre la propia red. Todos los detalles son omitidos en esta primera fase. La idea es proyectar la estructura de la red para lo que se debe determinar:

- Área de cobertura global.
- Número total de abonados estimado.
- Tipo de abonados.
- Tipo de estaciones móviles.
- Tipos de estaciones base.
- Banda de frecuencias utilizada.

Para los planes locales se debe considerar:

- Tráfico esperado.
- Distribución el tráfico anterior dentro de la zona considerada.
- Máxima capacidad de canales disponibles para la zona.

- Grado de servicio.
- Modelos de propagación a emplear en la zona.
- Grado admisible de interferencia.
- Comportamiento en el límite entre la zona local considerada y el resto.

Los pronósticos para el tráfico, su distribución y el grado de servicio, se usan para calcular el número total de canales a considerar tanto en el área global como en las estaciones base individuales.

Especial importancia tiene el efecto de los diagramas de radiación de las antenas elegidas en las interferencias, por lo que sus efectos se deben estudiar en cada estación base.

El principal problema de las zonas rurales no es la capacidad, sino la zona de cobertura, y por tanto se debe buscar las mayores prestaciones de las antenas utilizadas, con grandes alturas y elevadas ganancias normalmente omnidireccionales.

Los aspectos que adquieren especial importancia en la planificación de zonas locales, por ser allí donde la ingeniería de estos sistemas se hace más importante, son:

1. Estimación de la demanda de tráfico.

La demanda de tráfico, por ejemplo: que volumen de personas se abonarán al sistema y donde, y cuanto tráfico generarán constituye la base de la planificación de toda Red Celular.

La planificación estará formada por suposiciones y estimaciones. Una buena estimación inicial influirá directamente en el tiempo de vida de la red.

El volumen y la distribución geográfica de la demanda de tráfico (abonados/ Km^2) se puede calcular por ejemplo usando datos demográficos tales como distribución de población, vías de circulación de los abonados, etc. El objetivo final será pues, obtener la densidad en abonados/ Km^2 en la zona de estudio.

2. Determinación de la zona de servicio de las Estaciones Base.

Una estación base está emitiendo con una cierta potencia que distribuye a su alrededor. A medida que la estación móvil se aleja de la estación base, el nivel de la señal disminuye debido a diversos fenómenos.

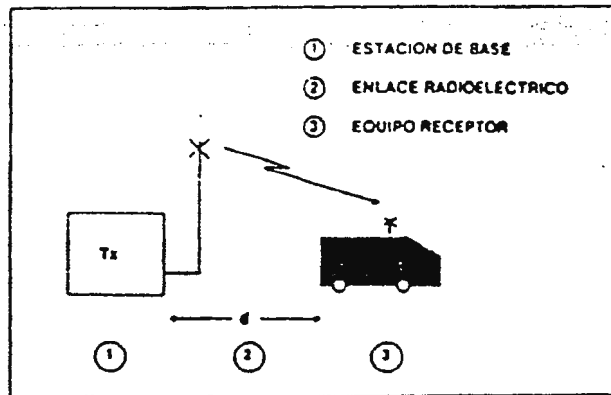


Figura 1.1.4. Elementos Básicos para un Radioenlace Móvil.

La distancia máxima a la cual podemos establecer el enlace entre estación base y equipo receptor (estación móvil) depende del umbral de funcionamiento de este último.

Lo que interesa es hallar qué valores de los parámetros de la estación base, hacen que sea de una manera deseada.

La forma que se quiere para la cobertura se fija a priori, normalmente atendiendo a la zona a considerar. Así se pueden establecer dos divisiones:

1. Zonas donde el sistema está limitado por ruido. Suelen ser zonas rurales y abiertas, donde lo que interesa es cubrir la máxima zona de servicio. Normalmente los parámetros de la Estación Base solo es necesario fijarlos una vez (por ejemplo: potencia y alturas máximas posibles).
2. Zonas donde el sistema está limitado por interferencias. Son las zonas llamadas "locales" dentro del plan general, las cuales corresponden a zonas urbanas y suburbanas normalmente. Aquí se hace necesario fijar los parámetros de varias estaciones al mismo tiempo pues se debe tener en cuenta que el resultado depende de la influencia entre ellas,

normalmente interesan zonas de influencia pequeñas por estación base para poder aumentar la capacidad del sistema.

Estación Base.

La determinación de los parámetros asociados a la Estación Base (ubicación, altura y ganancia de antenas, potencia, etc.) constituyen el principal objetivo en el diseño de toda Red Radiotelefónica Móvil.

Como parámetros relacionados con este punto y que están relacionados con el Sistema Celular se consideran los siguientes:

- a) Tolerancia en la posición de la Estación Base. Hasta ahora se ha hablado de distribución regular en las estaciones base, pero en la práctica la consecuencia de espacio y ubicación conveniente para las estaciones base constituye uno de los principales problemas de la ingeniería e instalación de los sistemas celulares.

El objetivo dominante en este caso es el de la calidad de transmisión.

Este parámetro representa la relación a la función de la distribución de la probabilidad de la relación señal/interferencia (S/I) en RF, de los canales vocales en los sistemas de gran capacidad.

Dentro del 10% de la función de distribución, la relación (S/I) en RF decrece gradualmente al desplazarse de la posición cero hasta $\frac{1}{4}$ del radio de la célula, pero decrece rápidamente a partir de este punto.

En la posición pues se permite tolerancia hasta $\frac{1}{4}$ del radio de la célula.

- b) Máximo radio de la célula. Este parámetro es importante en la etapa inicial de la implementación de un sistema celular en el que se compromete un costo bajo y una buena calidad de transmisión. Este parámetro tiene poca incidencia, o solo un efecto indirecto en la capacidad final. Otro elemento importante a considerar, es la potencia del transmisor.

En un sistema, el incremento de potencia de los transmisores (Tx) de las estación base y de los móviles, significa un aumento de calidad, traducido, a nivel de equipo, en una mejora de la relación señal a ruido (S/R), pero supone un aumento en el costo de los equipos.

Desde una perspectiva más amplia, sin embargo, el incremento de potencia puede reducir el costo del sistema, siempre que el costo de aumento de potencia quede compensado por la reducción del número de células.

Por otra parte, a medida que aumenta la constitución del sistema y comienzan a dividirse las células, una potencia alta es totalmente superflua.

Un valor típico de potencia en los móviles es de 12W (10W en antena) y de unos 40W en los transmisores de la estación base, para compensar pérdidas en cables y combinadores.

Otro factor importante es la altura y ganancia de las antenas de las Estaciones Base, estos sistemas suelen utilizar antenas entre 30 y 60 metros sobre el suelo y ganancia entre 6 y 8 dB respecto al dipolo.

Una vez se fijan los parámetros potencia, altura y ganancia de antenas, el máximo radio de la célula es un compromiso entre el costo y la calidad de transmisión. Fijando el objetivo de calidad en la relación S/R de 18 dB en RF en un 90% de ubicaciones, se obtiene un radio de célula de valor máximo de unos 15Kms (valor típico).

- c) Mínimo radio de la célula. El mínimo radio de la célula, al cual se llega por múltiples divisiones celulares, por necesidad del tráfico, tiene poco efecto en el costo por abonado o en la calidad de transmisión, pero es de vital importancia en la determinación de la capacidad final.

En principio, la división celular podría hacerse un número indefinido de veces, pero hay muchas dificultades prácticas, por lo que no se pasa de los 2 Km. Los motivos son:

- La tolerancia de ubicación.
- Las numerosas conmutaciones de llamadas en curso que consumen una fracción importante de la capacidad de proceso de la central.

Predicción de la Señal.

El cálculo de los valores que toma la señal en torno a la estación base, es un proceso matemático complejo, basado en la utilización de numerosos algoritmos, por lo que la utilización de potentes ordenadores se hace fundamental.

Señal Necesaria en las Estaciones Receptoras.

Serán los puntos alrededor de una estación base que tengan un nivel de señal mayor que el que necesita un receptor para funcionar, los que marquen la zona de cobertura de dicha estación base.

No hay que olvidar que la comunicación se establece en los sentidos, base móvil (downlink) y móvil a base (uplink), por lo que al hallar el valor de la señal necesaria que un receptor necesita se debe tomar en cuenta dos cosas:

- El receptor es móvil (el abonado móvil recibe la señal).
- El receptor está fijo en la estación base (el abonado móvil emite la señal).

Elección de la Arquitectura Celular.

El objetivo del diseño de un sistema celular es maximizar el número de abonado/Km² a los que puede prestar servicio un número fijo de canales (abonado/Km²/Mhz), manteniendo suficientemente bajos los efectos producidos por la interferencia.

Para explicar los principios de un sistema celular se utiliza a menudo una red formada por células hexagonales repartidas uniformemente. Sin embargo, es bien sabido, que en la realidad no se obtiene células semejantes.

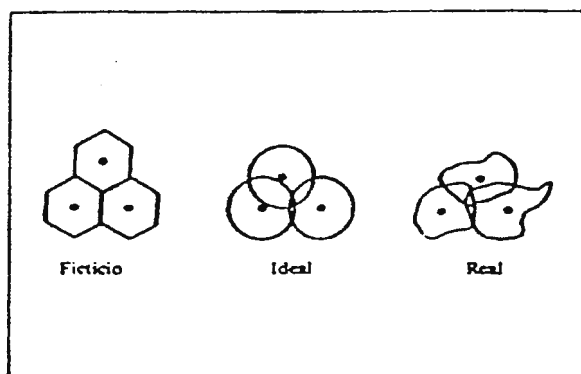


Figura 1.1.5. Redes celulares con antenas omnidireccionales.

En efecto, la forma real de las celdas difieren considerablemente del hexágono, debido a que los modelos teóricos no consideran normalmente limitaciones impuestas por la realidad, tales como:

- Densidad de tráfico irregular.
- Escasa tolerancia en la posición de la estación base.
- Topografía.
- Morfografía.
- Existencia de otras redes de radio.
- Fronteras Nacionales.

Sin embargo, tiene muchas ventajas utilizar de forma estructural este tipo de redes ficticias (hexagonales), como primer paso en la planificación de grandes Redes Celulares.

Cuando se comparan diferentes esquemas celulares es necesario, utilizar un modelo bien definido, tanto para la propagación, como para la densidad de tráfico, y en ese sentido, los modelos que se utilizan tanto para la propagación como para la densidad de tráfico son uniformes.

1.1.3. Telefonías Celulares Actuales.

En la actualidad, existen dos formas en las cuales la información puede ser transmitida por los medios de telecomunicaciones – incluyendo a la telefonía celular:

- **Transmisión análoga**
- **Transmisión digital**

Desde su inicio, la transmisión celular ha sido análoga. Este sistema genera una onda similar a aquella que produce la voz humana. En el sistema análogo, una conversación ocupa totalmente un canal y limita la capacidad de procesar llamadas simultáneamente.

En contraste, la tecnología digital convierte la transmisión análoga en códigos binarios - o datos - que representan los sonidos de la voz. El beneficio del

uso del sistema digital, para el usuario, se refleja en la facilidad para hacer y recibir la información codificada, gracias a que esta red procesa (dependiendo de la técnica de modulación que se utilice) más de tres llamadas simultáneamente. El sistema digital es más seguro porque evita la posibilidad que su llamada sea interferida. Esta tecnología es la plataforma para los nuevos y diversos sistemas y servicios de telecomunicaciones.

- **Sistema Análogo**

Hace referencia a la onda radial por la cual se transmite, es una señal frágil, transmitida a baja potencia. La llamada es convertida en impulsos eléctricos que viajan en forma de ondas de radio "Análogas" al sonido de la voz original.

Estas ondas se distorsionan fácilmente por factores naturales (lluvias), o por obstáculos (árboles, estructuras, líneas electrónicas), que ocasionan pérdida en la calidad y también llamadas perdidas.

Adicionalmente estas redes no pueden ser ampliadas, debido a que el espacio de frecuencias asignadas es limitado y solo permite a un usuario por frecuencia.

- **Sistema Digital**

Éste toma las señales análogas (sonidos), y las traduce a códigos binarios que pueden ser transmitidos a alta velocidad, para después ser reconvertidos en el sonido de la voz original en el receptor. La llamada se transmite de forma similar a los datos de computador, lo que permite que las transmisiones sean de alta capacidad (permite tres o más usuarios en un solo canal), velocidad y resistencia a los inconvenientes usuales (lluvia, obstrucciones físicas).

Este sistema de redes permite subdividirse con el objeto de ampliar los canales de comunicación.

**CUADRO 1.1.1.
CUADRO COMPARATIVO**

Sistema Digital TDMA (Acceso múltiple por división de código) DAMPS(Sistema de Telefonía Móvil Digital Avanzado)	Sistema Análogo AMPS(Sistema de Telefonía Móvil Avanzado)
Traduce los sonidos a códigos binarios	Imita la onda de la voz humana
Transporta tres llamadas simultáneas por canal	Soporta una llamada por canal
Mayor privacidad y menor riesgos de interceptación de sus llamadas	Posibilidad de interceptación de llamadas
La tecnología de hoy y del futuro	La tecnología de ayer, hoy

1.2. Historia de la Comunicación Celular.

Durante los últimos años, la telefonía móvil ha experimentando a nivel mundial un crecimiento tan espectacular que cualquier previsión sobre su futuro corre el peligro de quedarse rápidamente obsoleta . Este período de rápidos crecimientos globales está obligando a la industria y a los organismos de normalización a desarrollar nuevos sistemas capaces de satisfacer las necesidades de una demanda cada vez más exigente . En esta línea de evolución, las nuevas comunicaciones personales garantizan un nivel de servicio en función del perfil del usuario, independientemente del terminal que utilice . Y más allá, conceptos como UMTS¹ IMT-2000 prometen una tercera generación de sistemas móviles capaces de ofrecer, además de los servicios móviles actuales (voz, mensajes cortos y datos a baja velocidad) , prestaciones multimedia y de alta velocidad .

Expresado de una manera muy simple, la historia de la telefonía móvil se ha venido desarrollando en ciclos de 10 años, con una primera generación (NMT², TACS, AMPS . . .) diseñada exclusivamente para comunicaciones vocales que utilizaba señales analógicas y una técnica basada en FDMA, según la cual cada

¹ Ver Anexo 4

² Ver Anexo 4

canal vocal tiene asignada su banda de frecuencia. La segunda generación (GSM, D-AMPS y PDC¹), con cierta capacidad para transmisión de datos, utiliza señales digitales y una técnica más eficiente basada en TDMA, por la que cada canal se divide en ranuras de tiempo (timeslots). La tercera generación (UMTS/ IMT-2000), también digital y aún en fase de desarrollo, proporcionará difusión global y permitirá disponer de una amplia variedad de servicios, con capacidad multimedia y acceso a Internet. Esta tercera generación operará en la banda de 2 GHz y estará basada en WCDMA².

En la evolución de las redes de telecomunicaciones, la estrategia de actuación que siguen los distintos operadores consiste en dotar a los usuarios de "movilidad" (de tal manera que puedan establecer una comunicación independientemente del lugar donde se encuentren) y promover la "comunicación personal", en la que el perfil del usuario es el que impera, independientemente del terminal que utilice. Esto es posible gracias al empleo de la radio para establecer el enlace entre los elementos que se comunican, la interconexión entre redes, un plan de numeración, señalización y encaminamiento coherente, y la incorporación de un cierto nivel de inteligencia en los nodos de la red que permite efectuar el seguimiento del usuario y facilitarle los servicios apropiados a su perfil. Los servicios de comunicación personal UPT (Universal Personal Telecommunication) suministrarán tanto la movilidad del terminal como de los servicios en las redes fijas y móviles, aprovechando las ventajas que proporciona la convergencia fijo-móvil y las posibilidades de identificación del usuario ante la red.

Identificación en la red. Hasta hace relativamente muy poco tiempo, el concepto de movilidad se ha asociado exclusivamente al terminal, pero recientemente su aplicación se está extendiendo al mismo usuario. De esta manera se amplía el rango de servicios que pueden ofrecer los distintos operadores, bastando la identificación y autenticación del usuario y del terminal (mediante su PIN y SIM) ante la red para poder acceder a ellos.

¹ Ver Anexo 4

² Ver Anexo 4

En una red fija la identificación del usuario depende del punto de acceso a la red mediante el número telefónico que tiene asignado, y es al usuario que consta como abonado al que se asignan todos los cargos de las comunicaciones que a través de él se hayan realizado, con independencia de quién las haya efectuado . No hay necesidad de identificar al terminal y cualquiera es válido; es mas, la conexión fija incluso puede ser extendida con un terminal inalámbrico .

En el caso de que la red fija sea la RDSI¹, se puede emplear el servicio suplementario de “portabilidad del terminal”, con el cual, mientras está establecida una llamada, es posible mover un terminal de uno a otro punto de terminación de la red, en el mismo acceso, sin que se corte la comunicación: la red reconoce la identidad del terminal y reencamina la llamada hasta el nuevo punto de conexión .

Por el contrario, en una red de telefonía móvil celular, como el terminal puede moverse libremente por el área cubierta por el servicio (función de roaming) el punto de acceso puede ser distinto en cada llamada, pero la red detecta la identidad única del terminal . En este caso, si la red es analógica, todos los costes generados son asignados al terminal (es decir, a su propietario) ; si la red es digital, como en GSM, mediante el denominado SIM (Subscriber Identity Module) se gestiona la identidad de los usuarios además de la del propio terminal, lo que significa que con independencia del terminal móvil que se utilice para hacer una llamada, los costes generados por la misma se cargan al abonado del servicio asociado a un determinado SIM . Así, se puede emplear cualquier terminal y, mediante el cambio de la tarjeta SIM, identificar ante la red a uno u otro usuario .

De esta manera, los operadores de redes fijas RTB/RDSI pueden proporcionar servicios de Telecomunicación Personal Universal UPT, ya que los usuarios pueden ser identificados con independencia del punto de acceso o del terminal que utilicen, asignándoles el perfil que tienen definido para el acceso a los distintos servicios ofrecidos y adaptarlos a sus requerimientos, gracias a la combinación con la inteligencia de red (IN). En este caso, el número está asociado

¹ Red Digital de Servicios Integrados.

al usuario y no a un punto fijo de la red, de modo que el usuario puede desplazarse libremente y acceder y ser accedido por sus servicios sin más que estar localizado en ese punto de la red .

Conceptos UPT y PCS . Ligado a la movilidad sobre la red fija aparece el concepto de UTP¹ , definido por la UIT y ETSI² como una tecnología que “facilita el acceso a servicios de telecomunicación permitiendo la movilidad personal . Todos los usuarios pueden participar en una serie de servicios de abonado definidos por él mismo y realizar y recibir llamadas con un único número (SIM) , personal e independiente de la red, a través de múltiples redes en cualquier terminal fijo, movable o móvil sin tener en cuenta la localización geográfica, limitados únicamente por la capacidad del terminal y las restricciones que imponga el operador de la red” . La confluencia de redes y tecnologías que supone la combinación de UTP y movilidad del terminal lleva al concepto de PCS, que ya se está aplicando de modo práctico en varios países.

Implementar el concepto UPT requiere de una alta capacidad de proceso (red inteligente) para la coordinación de los recursos de las redes públicas fijas y móviles, así como del acceso a potentes bases de datos, en orden a localizar al destinatario de una llamada con independencia de su localización, manteniendo el adecuado nivel de seguridad para garantizar el uso de los servicios disponibles sólo a las personas autorizadas . Estas deben identificarse fehacientemente ante la red para reducir el riesgo de que se produzca una asignación incorrecta de cargos o se haga un uso fraudulento de la misma .

PCS proporciona la gestión personal del perfil de la movilidad y del servicio, asignando un número personal a un cliente en lugar de a un terminal . El término PCS abarca un amplio rango de los servicios diseñados para permitir que las personas tengan acceso a la red telefónica pública sin importar su localización física, el terminal empleado, el medio de transmisión (cableado o por radio) y la elección de tecnología . Para conseguirlo combina muchos de los servicios de inteligencia de red que emergen de las redes públicas con tecnología

¹ Cableado Telefónico estándar de par trenzado no apantallado.

² Instituto Europeo de Estándar de Telecomunicaciones.

sofisticada de acceso sin hilos y capacidades de radio relacionadas con el control de la movilidad de la red.

La comunicación personal facilita el acceso al usuario con el que se desea comunicar, reduciendo la posibilidad de que fracase el intento . Estudios recientes muestran que aproximadamente sólo el 30 por ciento de las llamadas alcanzan al destinatario, ya que el usuario la mayor parte del tiempo se encuentra fuera de la ubicación asignada .

En las comunicaciones personales cada usuario tiene asignado su número y perfil de uso (perfil de servicio personalizado, independiente del acceso y programable dinámicamente) . Este hecho facilita la movilidad de los servicios que pueden estar disponibles en diferentes puntos de acceso y horarios, sólo para los usuarios autorizados . Para ello, se necesita disponer de grandes bases de datos distribuidas, accesibles en tiempo real, que guarden los perfiles de los usuarios y los servicios .

Factores críticos para PCS . Los servicios de comunicación personal sólo pueden suministrarse mediante la combinación de diferentes tecnologías como, por ejemplo, la celular GSM y la inalámbrica DECT¹, y de éstas con las funciones de red inteligente sobre la red telefónica fija . En un futuro próximo se podrán suministrar mas económicamente mediante un sistema único, llamado UMTS, que integrará los actuales .

Como las funciones de movilidad asociadas con PCS (Sistemas de Comunicación Personal) generarán fuertes cargas de tráfico en la red telefónica conmutada, su capacidad para absorberlas sin que disminuya su rendimiento es un factor crítico para el despliegue de la arquitectura adecuada capaz de soportarla .

Hay varios factores que deben ser tomados en cuenta:

Capacidad de conmutación . Hoy en día las centrales de conmutación de la red pública conmutada procesan simultáneamente comunicaciones de la red fija y

¹ Ver Anexo 4

móvil . Para traspasar una llamada a un usuario móvil es necesario conocer cual es su posición exacta, algo que en la arquitectura de red GSM se consigue con el registro local de visitantes (VLR) y el intercambio de información entre las centrales y las estaciones base de radio, lo que requiere de potentes sistemas de señalización y un intercambio masivo de datos .

Bases de datos . Con PCS se genera un flujo enorme de transacciones con las bases de datos que mantienen los registros de los usuarios y servicios, lo que hay que tener muy en cuenta a la hora de planificar las mismas, tanto en su velocidad de acceso y tiempo de respuesta como en el tamaño necesario para mantener los perfiles actuales y los nuevos que se vayan incorporando .

Capacidad y rendimiento de la red de radio . Si se pretende obtener una buena red de acceso sin hilos, dentro de las alternativas posibles, hay que tener muy presente la capacidad para absorber tráfico y su rendimiento, el soporte de una red multicelular, aspectos de gestión de la movilidad y la manera como se propagan las señales de radio para evitar que haya zonas sin cobertura o presenten una señal deficiente .

Estándares para PCS . Los expertos de la industria predicen que PCS se convertirá en el primer medio de comunicación para millones de personas en todo el mundo . Empezó a ser operacional a principios de 1997 en los Estados Unidos y en varios países de Europa ya se ofrecen estos servicios; para el tercer operador de telefonía móvil y para los dos primeros Telefónica Móviles y Airtel .

Los sistemas DCS 1800 y PCS 1900 son dos adaptaciones del estándar GSM 900 que responden a las necesidades de dos mercados distintos, Europa y Norte América; ambos emplean la misma tecnología e infraestructura básica que GSM 900 y los tres se benefician de la economía de escala y el entorno multifabricante del mercado GSM, con algunos operadores que ofrecen terminales que operan en banda dual .

La estandarización de PCS tiene una alta prioridad tanto en los Estados Unidos como en le resto del mundo . Por ejemplo, el comité T1 (ANSI¹) está

¹ Instituto Americano de Normalización.

desarrollando estándares de PCS conjuntamente con otras organizaciones pertenecientes a la Asociación de Industrias de Telecomunicación (TIA) . Dada la amplia diversidad del potencial que los servicios PCS representan, las diferentes infraestructuras sobre las que se han de soportar y los distintos planes de negocio de los operadores interesados en suministrarlos, es altamente improbable que un único estándar sea capaz de abarcar todos estos factores, razón por la que se están considerando en paralelo varias tecnologías . La decisión final, como es lógico, dependerá de las decisiones de los suministradores del servicio y de la voluntad del mercado .

Tercera generación de móviles . No cabe duda de que la movilidad generalizada, asociada a una amplia oferta de servicios de voz y datos, presenta una serie de beneficios para los usuarios, pero, como contrapartida, también supone algunos problemas; no en vano exige una tecnología más avanzada, interconexión entre todas las redes por las que el usuario se mueve y unos sistemas de señalización muy potentes para garantizar la rapidez en el establecimiento de la comunicación, su seguridad y un importante flujo de datos, ya que se utilizan aplicaciones multimedia que demandan un gran ancho de banda .

Para resolver estas cuestiones, dentro de distintos programas de investigación avanzada lanzados hace algunos años, entre ellos RACE (Research and Technology Development in Advanced Communications Technologies in Europe) y ACT (Advanced Communications Technologies and Services) , surgieron conceptos como el de UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) y FPLMTS (Future Public Land Mobile Telecommunications System) - ahora denominado IMT-2000 (International Mobile Telecommunications 2000) por la UIT— . Todos estos nuevos sistemas dan origen a la tercera generación de sistemas móviles, capaz de soportar los servicios móviles actuales (voz, mensajes cortos y datos a baja velocidad) junto con los nuevos multimedia y de alta velocidad que puedan aparecer .

UMTS se está diseñando, básicamente en Europa, como un miembro de la familia global IMT-2000 de la UIT, que pretende ser válido para todos los sistemas

del mundo, tanto terrestres como por satélite, para que los usuarios puedan moverse por las áreas cubiertas por otros miembros de la familia . La estandarización de UMTS está siendo llevada a cabo por el ETSI (Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicación) en estrecha colaboración con otros organismos, como la TIA (Asociación de Industrias de Telecomunicación) en Estados Unidos y la ARIB (Asociación de las Empresas de Radio) en Japón . Su puesta en marcha como servicio comercial se producirá en varias fases a lo largo de los próximos 7 años .

La adopción de UMTS en los Estados Unidos, tal como ha sido aprobado por ETSI, presenta ciertas dificultades . En el WARC 92 se definió un rango de 230 MHz de espectro radioeléctrico, sin asociarlo a ninguna determinada tecnología, en las bandas 1885-2025 y 2110-2200 MHz identificadas para los servicios públicos de telecomunicaciones móviles terrestres (FPLMTS), incluyendo sus componentes basados en satélites . Como resultado de tal decisión en Europa y Japón hoy tales bandas se están considerando para su asignación a los servicios móviles de tercera generación, pero no sucede lo mismo en los Estados Unidos, que tienen un criterio algo diferente . Allí, la banda elegida alrededor de los 2 GHz ha sido asignada para los servicios PCS (GSM 1900 y D-AMPS 1900), lo que obliga a resolver esta incompatibilidad si se quiere tener un estándar único y global; de lo contrario, el mercado quedará dividido en dos zonas distintas e incompatibles .

ETSI ha definido a nivel global ciertas características para la tercera generación de terminales y redes móviles . Además, recientemente ha publicado su concepto GMM (Global Multimedia Mobility), que supone una contribución importante a la definición y lanzamiento de UMTS, cuya primera fase de introducción de servicios está planificada para el año 2002 .

UMTS evoluciona para integrar todos los servicios ofrecidos por las distintas tecnologías y redes actuales (GSM, DECT, RDSI, Internet . . .) y se podrá utilizar con casi cualquier tipo de terminal (teléfono fijo, inalámbrico, celular, terminal multimedia . . .) , tanto en ambientes profesionales como domésticos, ofreciendo una mayor calidad de los servicios y soportando la

personalización por parte del usuario y los servicios multimedia móviles en tiempo real .

La tercera generación de terminales móviles (UMTS) tendrá que convivir, al menos en sus comienzos, con todas las anteriores (AMPS, NMT, TACS, GSM, PDC . . .), de la que GSM será con toda seguridad la más extendida. Así, pues, es lógico pensar en la aparición de terminales duales que soporten la operación en modo UMTS/ GSM. Estos terminales habrán de ser de bajo costo para poder competir con los sólo GSM, al igual que está sucediendo con los terminales duales GSM/ DCS; algunos incluso soportarán además DECT, como ya estamos empezando a ver en el mercado .

La Interfaz de aire WCDMA . Entre todas las tecnologías consideradas para la interfaz de aire de UMTS, ETSI se eligió en enero de 1998 la nueva tecnología WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access), en operación FDD (Frequency Division Duplex), aunque también se ha tenido en cuenta la TD/ CDMA en operación TDD (Time Division Duplex) para uso en recintos cerrados, lo que constituye la solución llamada UTRA. Wide CDMA (con una capacidad 8 veces superior a CDMA) es una técnica de acceso múltiple por división de código que emplea canales de radio con una anchura de banda de 5 MHz frente a los 1,25 MHz de CDMA y se basa en la codificación de las tramas digitales transmitidas por el emisor, de tal manera que sólo los terminales a las que va dirigida la señal original pueden reconstruirla, aunque llegue enmascarada con otras señales.

El WCDMA, que está soportada entre otros fabricantes por Alcatel, Ericsson, Motorola, Nokia y Siemens, se presenta al menos en Europa y Asia como la alternativa principal para soportar la interfaz aire de UMTS necesaria para conectar a los usuarios con las estaciones base de radio y ofrecer servicios de conmutación de voz y datos, frente a la TDMA que utiliza GSM . El uso de esta tecnología no es incompatible con las actuales redes GSM, por lo que una gran parte de la infraestructura actual sigue siendo válida y las inversiones necesarias para el despliegue de UMTS serán en consecuencia menores que en el caso de tener que desplegar una red totalmente nueva.

Los usuarios de los próximos años necesitarán de distinta capacidad de información en función del tipo de transmisión que vayan a comunicar (voz, vídeo . . .), pero proporcionar un ancho de banda variable requiere de una nueva arquitectura para el conjunto de estaciones base de radio, en la que los canales no sean de asignación fija, sino que puedan combinarse en función de la demanda . Para ello se necesita que la red de transporte, que proporciona los enlaces entre las estaciones base y las centrales de conmutación, emplee una nueva tecnología, siendo ATM¹ un candidato perfecto, ya que al utilizar una técnica de conmutación de paquetes y celdas de datos de longitud fija, puede transportar cualquier tipo de servicio, con independencia de la naturaleza de la información que contenga . Con el nuevo protocolo AAL2 (ATM Adaptation Layer 2) , se pueden transmitir grandes cantidades de llamadas y comunicaciones de datos simultáneamente.

Cobertura global de multisistema. Una vez se consiga un acuerdo global para implantar un sistema único de comunicaciones móviles (IMT-2000) los usuarios se verán enormemente favorecidos, ya que se garantizará la compatibilidad de todos los terminalés y redes, se conseguirá una cobertura total y se podrá proporcionar cualquier tipo de servicio, todo ello con unos precios bastante atractivos. Con los terminales multibanda o multimodo, el usuario podrá despreocuparse totalmente de la red a la que esté conectado en cada momento; en función de su localización –en casa, en la oficina, en la calle, en el campo . . . –, es el propio terminal el que decide a que red conectarse, siguiendo la lógica de obtener la mayor eficiencia en el coste para el usuario, al tiempo que se mantiene un grado de calidad de la comunicación aceptable.

Si un usuario se encuentra descansando en su casa o trabajando en la oficina es de suponer que se conecte a la red fija directamente o a través de una PBX, la de tarifas más bajas, por lo que el terminal actuará como un inalámbrico; si está en la calle de una gran ciudad con cobertura GSM o DCS, se conectará a la red celular y, si se encuentra en el campo o en el mar en una zona sin cobertura de una red celular, posiblemente se conecte a uno de los servicios

¹ Modo de Transferencia Asíncrono.

móviles ofrecidos por las constelaciones de satélite de órbita baja Globalstar, Iridium o Teledesic, que empezarán a ser operativos en breve tiempo.

1.3. Tecnología Celular Análoga.

Funcionamiento de un transceptor Celular Analógico

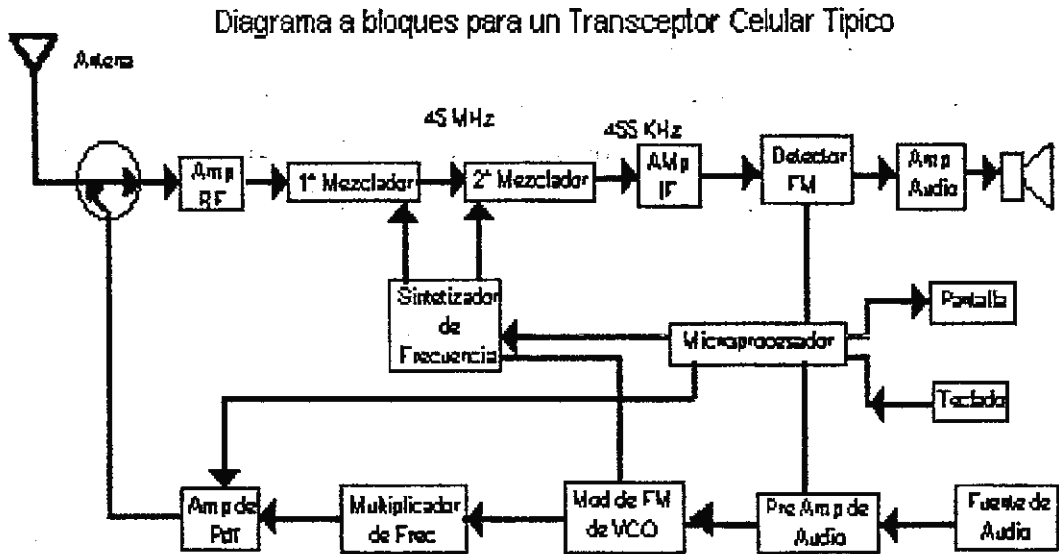


Figura 1.3.1. Diagrama a Bloques de un Transceptor Celular Típico.

La Figura 1.3.1. muestra el diagrama de bloques para un transceptor de teléfono celular típico. Se puede observar que un transceptor de radio celular es muy similar a un transceptor de FM estándar excepto por la adición de varias etapas. Debido a que un teléfono celular debe ser capaz de transmitir en Full-Duplex (en las dos direcciones al mismo tiempo). Debe diseñarse de tal manera que el transmisor y el receptor puedan estar encendidos al mismo tiempo.

El receptor mostrado en la Figura 1.3.1. es del tipo superheterodino de doble conversión. El receptor utiliza una inyección del lado alto y un circuito oscilador local que está formado por un sintetizador de frecuencia de chip sencillo con un preescaler montado y un filtro de lazo así como un VCO de 915 a 937 MHz (45 MHz arriba de la radio frecuencia que está entrando). El primer IF (45 MHz) es lo suficientemente alto para empujar la frecuencia de imagen más allá

del pasabanda del filtro pre amplificador y la segunda IF (455 KHz) es lo bastante baja para ser amplificado hasta excitar al detector de FM.

En el transmisor la señal modulante se aplica directamente al VCO de transmisión para producir una señal de portadora de FM directa de relativamente baja frecuencia y de un índice bajo que se multiplica y después se amplifica de manera significativa antes de alcanzar la antena de transmisión.

El microprocesador tiene líneas de control en todos los funcionales importantes del transceptor. El microprocesador determina la frecuencia en las salidas del sintetizador de frecuencia. También monitorea la salida del detector de FM para determinar la calidad de la señal recibida y detectar la información del arreglo recibida. El microprocesador también proporciona información del arreglo al transmisor y controla la ganancia del amplificador de potencia final.

Con el concepto celular cada área se divide en celdas (células) hexagonales que embonan juntos para formar su patrón de panal. Se eligió la forma de hexágono porque proporciona la transmisión más efectiva aproximado a un patrón circular, mientras eliminamos espacios presentes en los círculos adyacentes. Una célula se define por su tamaño físico y, lo más importante, por el tamaño de su población y patrones de tráfico.

El Conmutador de Telefonía Móvil (MSC) se conoce por diferentes nombres dependiendo del fabricante y la configuración del sistema:

MTSO (Oficina de Conmutación de telefonía móvil), fue el nombre dado por los laboratorios Bell; EMX (Intercambio Móvil Electrónico) por Motorola; AEX por Ericson, NEAX por NEC y MMC (Centro Móvil de Muestreo) por Novatel.

Cada área geográfica o célula puede acomodar hasta 70 diferentes canales de usuarios simultáneamente. Dentro de una célula cada canal puede soportar solo un usuario de telefonía móvil a la vez.

Los canales están asignados de manera dinámica y dedicados a un solo usuario, por la duración de la llamada, y cualquier usuario puede ser asignado a cualquier canal de usuario. Esto se llama **Reuso de frecuencia**, y permite que un sistema de telefonía celular, en un área sencilla, maneja cientos de canales disponibles.

Conforme se aleja un automóvil de un transceptor en le centro de una célula la intensidad de la señal recibida comienza a disminuir. La máxima

potencia de salida de un transceptor celular es de 35 dBm (3 Watts) y puede ajustarse a incrementos reductores de 4 dB hasta 7.8 dBm (0.7 Watts). La potencia de salida de las unidades móviles se controla por la estación base por la transmisión de comandos up/down lo cual depende de la intensidad de señal que esta recibiendo actualmente. Cuando la intensidad de la señal disminuye debajo de un nivel de umbral predeterminado el centro de conmutación electrónico localiza la célula en el panel que esta recibiendo la señal más fuerte de la unidad móvil y transfiere a la unidad de una célula a otra. La transferencia incluye convertir la llamada a una frecuencia disponible dentro del subconjunto de canales distribuidos en la nueva célula. Esta transferencia se llama **hand-off** (entrega) y es completamente transparente para el usuario. La transferencia toma aproximadamente 0.2 seg. lo cual es imperceptible a los usuarios de teléfonos de voz, sin embargo este retardo puede ser destructivo para las comunicaciones de datos.

1.3.1. Procesamiento de Llamadas.

Una llamada telefónica sobre una red celular requiere el uso de dos canales de voz full- duplex simultáneamente, uno se llama el canal del usuario y el otro el canal de control. Los que la estación base transmite se llaman canal de control directo y canal de voz directo y los que la unidad móvil transmite son los canales inversos.

Cuando una unidad móvil se enciende realiza una serie de procedimientos de arranque y después prueba la intensidad de la señal recibida en todos los canales de usuarios prescritos. La unidad automáticamente se sintoniza al canal con la intensidad de la señal de recepción más fuerte y se sincroniza para controlar la información transmitida por el controlador de sitio de célula (se utiliza para controlar la ubicación de las unidades móviles). La unidad móvil interpreta la información y continua monitoreando el canal de control. La unidad móvil automáticamente rastrea periódicamente para asegurarse de que esta utilizando el mejor canal de control.

Dentro de un sistema celular las llamadas se pueden realizar entre una línea compartida y un teléfono móvil o entre dos teléfonos móviles.

- **Llamada de Línea Fija a Móvil.**

El centro de conmutación de un sistema celular recibe una llamada de una línea desde la red telefónica pública. El conmutador traslada los dígitos marcados recibidos y determina si la unidad móvil a la cual la llamada está destinada esta descolgada o descolgada (ocupado o no). Si la unidad móvil esta disponible, el conmutador vocea al suscriptor móvil. Siguiendo una respuesta de voceo de la unidad móvil, el conmutador asigna un canal desocupado e instruye a la unidad móvil que se sintonice en ese canal. La unidad móvil envía una verificación de la sintonización del canal por medio del controlador en el sitio de la célula y luego envía el tono de Progreso de Llamada al teléfono móvil del suscriptor, causando que este suene. El conmutador termina los tonos de progreso cuando recibe la indicación positiva que el suscriptor ha contestado el teléfono y la conversación entre las dos personas ha comenzado.

- **Llamada de una Unidad Móvil a una Línea Fija.**

Un suscriptor móvil primero introduce el número ha llamar en la memoria de la unidad, luego oprime la tecla para enviar (send), la cual transmite el número marcado, así como el número de identificación del suscriptor móvil al conmutador. Si el número de identificación es válido, el conmutador enruta la llamada sobre una interconexión de línea terminada a la red de telefonía pública. Usando el controlador de sitio de célula el conmutador asigna a la unidad móvil un canal de usuario desocupado y le instruye a que sintonice ese canal. Después que el conmutador recibe la verificación que la unidad móvil está sintonizada al canal asignado, el suscriptor móvil recibe un tono de llamada progresiva audible (ring) del conmutador.

- **Llamada de una Unidad Móvil a otra.**

Para originar una llamada a otra unidad móvil, el que llama introduce el número a marcar en la memoria de la unidad móvil y después oprime la tecla enviar. El conmutador recibe el número de identificación del que llama y el número marcado, y luego determina si la unidad llamada esta libre para recibir la llamada. El conmutador envía un comando de voceo a todos los controladores de

sitio de célula y el que es llamado recibe una señal. Después de un voiceo positivo, el conmutador asigna a cada uno un canal de usuario desocupado y les instruye que se sintonicen a su canal respectivo. Entonces el teléfono del que esta siendo llamado recibe un tono de llamada progresiva audible.

1.3.2. Componentes de un Sistema Radiomóvil Celular.

Un sistema radio móvil se puede considerar como una red de telecomunicaciones superpuesta a la red telefónica tradicional. La estructura de la red es muy similar también para sistemas celulares de estándar diferente, y principalmente se compone de:

- La Estación Móvil (EM, Abonado, Subscriptor, Unidad Móvil, etc.).
- La Estación de Radio Base (ERB, EB, BS, etc.).
- El Centro de Conmutación dedicado al tráfico Radiomóvil (Movil Switching Control Center – MSC, MTSO, EMX, AEX, NEAX, SMC, MMC, etc.).
- La Red Telefónica Pública (Public Switched Telephone Network – PSTN).

Cada Estación de Radio Base comprende las antenas y los receptores-transmisores de RF que permiten la conexión radio, por medio de cierta cantidad de canales, con las Estaciones Móviles que se hallan en el interior de la célula; además, las Estaciones de Radio Base están conectadas al MSC, a través de conexiones de tipo numérico (para la transmisión de las señalizaciones y de los datos) y de tipo analógico (para la transmisión de señales fónicas). Las ERB relativas al MSC constituyen el *área de servicio del MSC*. El MSC constituye la interfaz entre el sistema de radio y la red telefónica pública. Todas las llamadas efectuadas desde o hacia las Estaciones Móviles se gestionan mediante el MSC, que se encarga de efectuar los procedimientos de señalización necesarios para realizar las conexiones radiotelefónicas. Los distintos MSC de la red están conectados entre sí a través de conexiones numéricas, para realizar el intercambio de señalizaciones y datos; además, están conectadas a la red telefónica pública por medio de conexiones fónicas analógicas o digitales.

Hay un conjunto de intercambio de datos entre la Estación Móvil y la Estación de Radio Base, entre el ERB y el MSC, así como también entre varios MSC. Esto permite que la red:

- Conozca la célula en la que se encuentra una Estación Móvil cualquiera.
- Gestione la transferencia (Hand off) de una EM, de una Estación de Radio Base a otra.
- Gestione la transferencia (roaming) de una EM, de un área de servicio MSC a otra.
- Gestione la asignación de las frecuencias (canales) a las EM.

1.3.3. Supervisory Audio Tone – SAT (DVCC Para Tecnologías digitales).

El SAT (ó DVCC) es un tono de supervisión que se utiliza para el monitoreo de la calidad de audio de la conexión. Siempre se transmite mediante la ERB durante la conversación y queda en lazo cerrado mediante la EM. Ya que la frecuencia del SAT es mucho más elevada que la banda fónica (300 – 3400Hz), se puede fácilmente separar de la voz mediante filtros y de esta forma no se escucha durante la conversación. Como ya se mencionó, el SAT se utiliza para el control de la calidad de la conexión a través de una medida continua (en la ERB) de la razón señal/ruido (S/N). En base a los resultados de esta medida y en base a la intensidad medida y también a la intensidad de campo recibida, la red celular puede tomar varias medidas, entre las cuales:

- Pedir un aumento o una disminución de la potencia al transmisor de la EM.
- Activar un procedimiento de hand-off (transferencia de célula).
- Cortar la comunicación en curso.
- Bloquear el canal vocal.

1.3.4. FDMA (Acceso Múltiple por División de Frecuencia)

El FDMA es un protocolo de acceso múltiple en el cual cada estación terrena en una red de satélites de comunicación se le asigna una frecuencia

diferente (portadora) para la transmisión hacia el transceptor. Esta técnica conlleva dos métodos populares que son:

La Pre-asignación de un solo canal por Portadora (SCPC-PAMA): En este método, los circuitos están colocados en un arreglo basado en ciertos usuarios, de allí que estos circuitos no estén disponibles para el uso general. Este método es muy sencillo de implementar, pero es eficiente solamente para circuitos que posean un tráfico grande de usuarios de forma continúa.

Asignación de la demanda en un solo canal por Portadora (SCPC-DAMA): Aquí, todos los circuitos están disponibles para todos los usuarios y se asignan de acuerdo a la demanda a través de una estación base principal (Central Hub). El SCPC-DAMA provee una mejor eficiencia en el uso de todos los circuitos pero su implementación es un poco más cara (costos) y complicada.

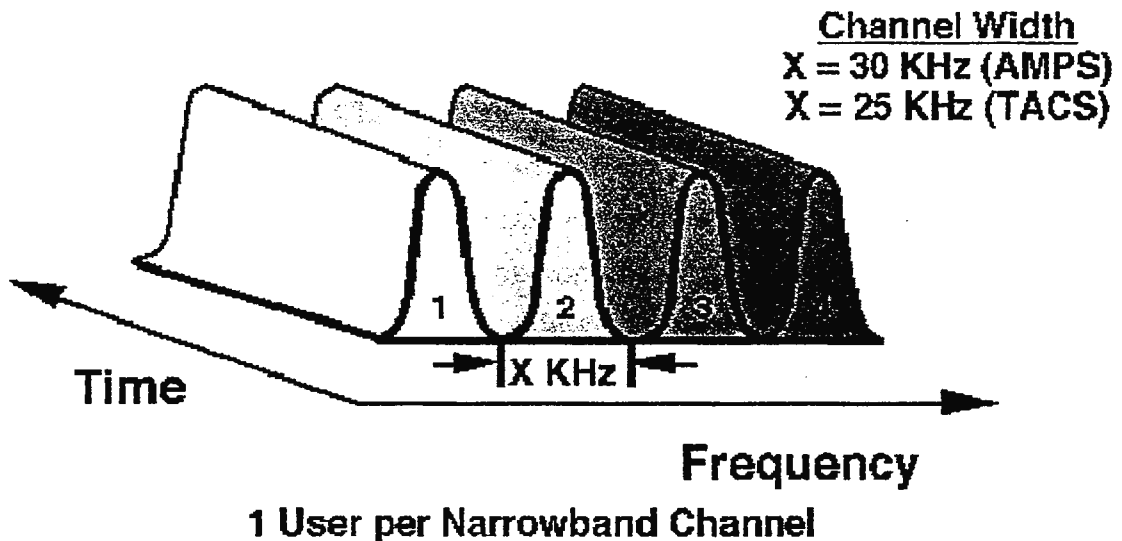


Figura 1.3.2. Asignación de canales en los Sistemas Celulares Análogos.

Con el FDMA el ancho de banda del canal es dividido entre las estaciones base. Por ejemplo, con seis estaciones base el rango de frecuencia del canal se divide por seis y así cada estación obtiene su propia frecuencia privada. De esta forma no existe algún tipo de interferencia entre usuarios.

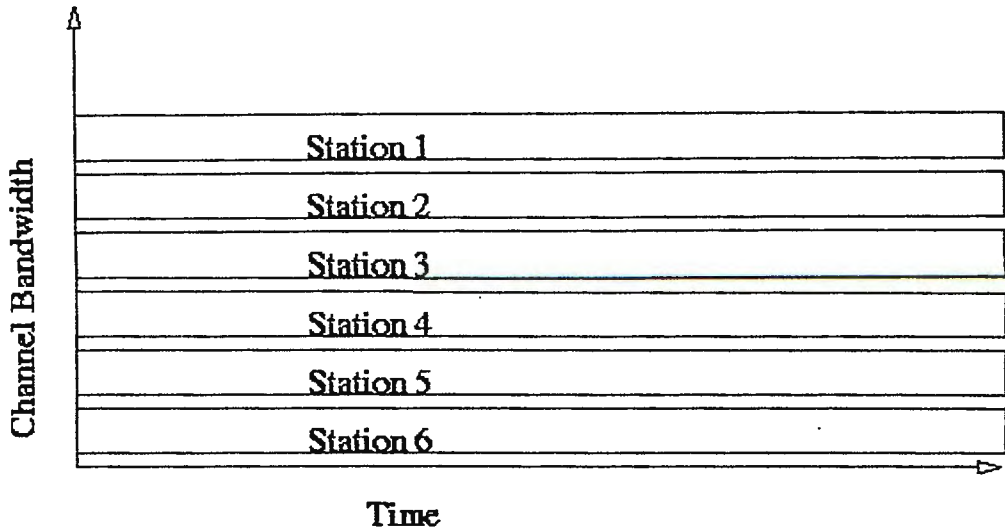


Figura 1.3.3. Asignación de Canales a cada Estación Base (Ancho de Banda por Canal Vs. Tiempo)

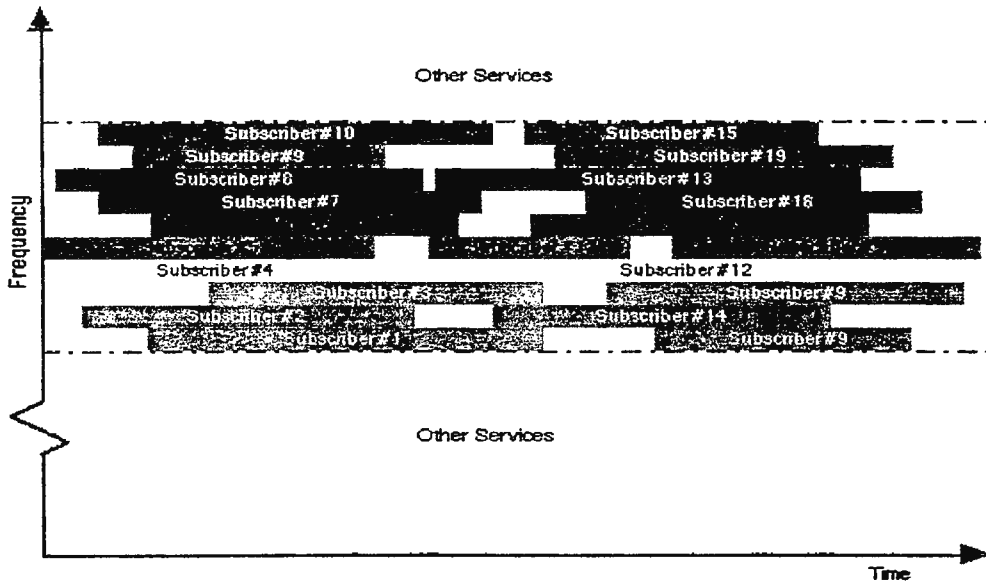


Figura 1.3.4. Localización esquemática de un canal de suscriptor junto con la banda de frecuencia asignada (rango).

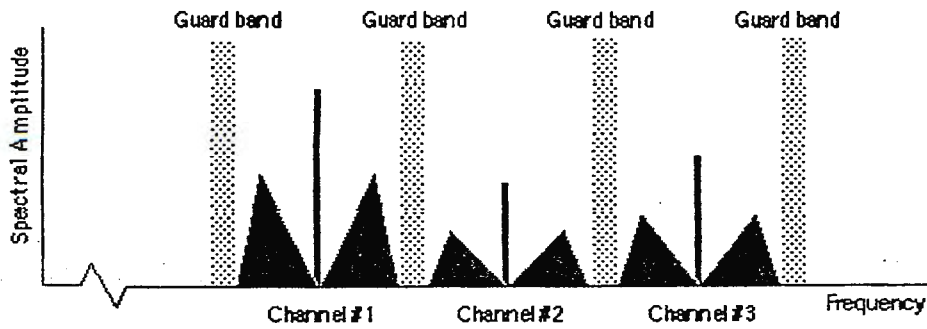


Figura 1.3.5. Esquema del espectro de frecuencia de varios canales de suscriptores.

Ventajas:

- Desde el punto de vista del Hardware sus algoritmos no son tan complicados.
- Es bastante eficiente cuando el número de estaciones base es pequeño y el tráfico de usuarios es uniformemente constante.

Desventajas:

- No maneja la variación de las estaciones base.
- Si el tráfico de usuarios es muy cambiante, el ancho de banda se desperdicia.
- Las bandas de protección entre frecuencias desperdicia el ancho de banda.
- No posee capacidades de transmisión (broadcast)

1.4. Generalidades sobre los Tipos de Modulación Utilizadas para Sistemas Celulares.

La industria de las comunicaciones personales se ha enfrentando, desde sus principios, al problema de un número cada vez mayor de usuarios que comparten las mismas bandas limitadas de frecuencia. Para ampliar la base de usuarios, la industria debe encontrar métodos que puedan aumentar la capacidad sin degradar la calidad del servicio.

El sistema celular analógico actual utiliza un sistema complejo de canalización con canales de 30 Khz. comúnmente llamado Acceso Múltiple por División de Frecuencia (FDMA). Con el fin de maximizar la capacidad, el sistema

celular de FDMA utiliza antenas direccionales (la división en sectores por celda) y la planeación compleja del reuso de frecuencias.

Para aumentar aún más la capacidad, se está implementando un método de acceso digital llamado Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA). Este sistema utiliza la misma canalización y reuso de frecuencia que el FDMA analógico y agrega un elemento de tiempo compartido. Con el fin de triplicar eficazmente la capacidad del sistema, cada canal se comparte entre tres usuarios, en lo que respecta al tiempo.

CDMA significa Acceso Múltiple por División de Código y utiliza códigos correlativos para distinguir un usuario del otro. Todavía se utilizan las divisiones de frecuencia, pero con un ancho de banda mucho mayor (1.25 MHz). En el CDMA, el canal de un solo usuario consiste de un frecuencia específica combinada con un código exclusivo. Para aumentar la capacidad, el CDMA también utiliza celdas divididas en sectores. Una de las grandes diferencias en el acceso es que en todos los sectores de todas las celdas se puede utilizar cualquier frecuencia de CDMA.

Los códigos correlativos permiten a cada usuario operar cuando hay bastante interferencia. Una analogía a esto es una fiesta con mucha gente. Muchas personas hablan al mismo tiempo, pero usted puede entender una persona a la vez. Esto se debe a que su cerebro puede clasificar las características de la voz y diferenciarlas de las otras personas que hablan. A medida que hay más gente en la fiesta, cada persona tiene que hablar en un tono más fuerte y el tamaño de la zona de conversación se vuelve más pequeña; esto sería más dramático si cada conversación fuera en un idioma diferente. El CDMA es similar, pero la confirmación se basa en el código. La interferencia es la suma de todos los otros usuarios en la misma frecuencia de CDMA, tanto de dentro como de fuera de la celda local y de las versiones retrasadas de esas señales. También incluye el ruido térmico común y las alteraciones atmosféricas. Las señales retardadas causadas por una trayectoria múltiple (multi trayectoria) se reciben por separado y se combinan en el CDMA.

Con el CDMA una de las mayores ganancias de capacidad se debe a sus patrones de reuso de frecuencia. El patrón normal de reuso para los sistemas analógicos y el Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA) emplea

únicamente una séptima parte de la frecuencia disponible en cualquier celda dada. Esto en realidad podría llamarse no reusar la frecuencia. Con el CDMA, se utilizan las mismas frecuencias en todas las celdas. Si se utilizan celdas divididas por sectores, se pueden utilizar las mismas frecuencias en todos los sectores de todas las celdas. *Esto es posible debido a que el CDMA está diseñado para descodificar la señal adecuada en presencia de una interferencia alta.*

CAPITULO 2

INTRODUCCIÓN A LAS TECNOLOGÍAS DIGITALES PARA CELULARES

2.1. El Teléfono Celular Digital (Principios).

Teléfono celular digital.

La voz que debe transmitirse entra al micrófono y entra al codificador de Excitación Predictiva por Suma de Vectores (VSELP). Este codificador digitaliza el audio y después utiliza algoritmos complejos para minimizar la cantidad de datos necesarios para representar la información que debe enviarse. Después, se coloca este flujo de datos en un codificador de canal que agrega bits adicionales necesarios para la codificación del canal. Este flujo de datos se envía después al modulador DQPSK $\pi / 4$ y se convierte a la banda de frecuencia celular. A continuación se filtra este portador de radiofrecuencia con modulación y se impulsa hacia fuera en el momento apropiado.

Del lado receptor se recibe, filtra y se convierte la portadora transmitida a una frecuencia intermedia que se filtra de nuevo. A continuación, esto se coloca en un demodulador I / Q y se recuperan los datos. Estos datos aún tienen la información de la codificación del canal por lo tanto se alimenta al decodificador del canal para quitar esta información; después, con el fin de recuperar la conversación original que se envió, se envían los datos al decodificador VSELP. Esta conversación sale a través de un amplificador de audio y después a la bocina.

El principal propósito del CODEC (codificador de la conversación de un teléfono celular digital) de voz es digitalizar la voz y minimizar la cantidad de datos necesarios para representar y reconstruir la señal de la voz original.

Cuando se enciende una unidad móvil se lleva a cabo la tarea de inicialización y se entra al modo libre. Cada vez que la unidad móvil no esté implicada activamente en procesar una llamada telefónica, se queda en el modo libre. Durante la inicialización ocurre la siguiente secuencia de eventos:

- 1) Los canales de control dedicados transmiten los datos de la configuración del sistema, incluyendo el número de identificación del sistema, el número de canales localizadores, el número de canales de acceso, etc.
- 2) La unidad móvil barre los canales de control dedicados para sus sistemas preferidos (sistema A o B), selecciona el más fuerte y lee los datos del sistema. Si no tiene éxito con su sistema preferido puede cambiar a otro.
- 3) La unidad móvil determina los números del canal localizador, los barre y se conecta al más fuerte.
- 4) Los canales localizadores transmiten la información de la configuración del sistema.
- 5) La unidad móvil toma la decisión de HOME/ ROAM basándose en el número de identificación del sistema transmitido y el número de identificación local almacenado en la unidad móvil en su Módulo de Asignación de Número (NAM).
- 6) La unidad móvil determina el número de canales de acceso.
- 7) La unidad móvil monitorea el canal localizador y según sea necesario, actualiza la información del sistema y está atento a las órdenes que se le envían. Este es el modo libre (desocupado).

El origen de una llamada es cuando el usuario de un teléfono celular intenta llamar a alguien. Los pasos que se llevan a cabo en este proceso son:

- 1) El usuario marca el número telefónico deseado y oprime la tecla SEND (Enviar) que se encuentra en el teléfono.
- 2) La unidad móvil barre los canales de acceso y determina cual es el canal más fuerte; a continuación recibe los parámetros de intento de acceso tomados de la información del sistema transmitidos en el canal de acceso y capta el canal de acceso (verificando la transición correcta del bit ocupado - desocupado).
- 3) La unidad móvil transmite un mensaje de origen y espera a que la estación base responda en el canal de acceso.

- 4) La estación base recibe el mensaje de origen, hace la conexión a la línea a tierra, activa el canal de voz (analógico o digital) y, en el canal de acceso, envía el mensaje inicial de asignación de canal de voz.
- 5) La unidad móvil se sintoniza con el canal de voz específico, ajusta su nivel de potencia de transmisión, enciende su transponedor y entra al modo de conversación para un canal analógico. Para un canal digital, la unidad móvil envía una confirmación, apaga su transmisor, ajusta su nivel de potencia, se sintoniza con el nuevo canal de radiofrecuencia, ajusta el transmisor y receptor al modo digital, ajusta la velocidad del CODEC de voz, ajusta la ranura de tiempo y establece la compensación de alineación de tiempo. Una vez que la unidad móvil esté sincronizada, se enciende el transmisor y se restablece el cronómetro de desvanecimiento, a continuación la unidad móvil ingresa al modo de conversación.

La localización de una unidad móvil se lleva a cabo cuando se hace una llamada a un teléfono celular. A continuación se describen los pasos que se llevan a cabo para este proceso:

- 1) La estación base recibe un comando de la Central de Teléfono Móvil (MTX) indicando que se ha enviado una llamada a una unidad móvil específica.
- 2) La estación base transmite el mensaje localizador en los canales localizadores.
- 3) La unidad móvil detecta el mensaje localizador en el canal localizador; a continuación barre los canales de acceso, selecciona el más fuerte, recupera de la información del sistema los parámetros de intento de acceso transmitidos por el canal de acceso y capta el canal de acceso verificando la transición correcta del bit de ocupado – desocupado.
- 4) La unidad móvil transmite un mensaje localizador de respuesta y espera a que la estación base responda en el canal de acceso.
- 5) La estación base recibe el mensaje localizador de respuesta, hace la conexión con la línea a tierra, activa el canal de voz (analógico ó digital)

y envía en el canal de acceso, un mensaje inicial de asignación de canal de voz.

- 6) La unidad móvil recibe el mensaje de asignación de canal de voz; a continuación se sintoniza con el canal de voz especificado, ajusta su nivel de potencia de transmisión, enciende su transponedor SAT para un canal analógico y espera a que responda la estación base. Para un canal digital, la unidad móvil envía una configuración, apaga su transmisor, ajusta su nivel de potencia se sintoniza con el nuevo canal de radiofrecuencia, ajusta el transmisor y receptor al modo digital, ajusta la velocidad del CODEC de voz, ajusta la ranura de tiempo, establece la compensación de la alineación del tiempo y espera la respuesta de la estación base.
- 7) Si es un canal analógico, la estación base verificará el SAT del transponedor (DVCC, si es digital) y envía un mensaje de alerta en el canal de voz.
- 8) La unidad móvil recibe el mensaje de alerta y “Alerta” al usuario (suena el teléfono).
- 9) Entonces el usuario oprime la tecla SEND (Enviar) que se encuentra en el teléfono y entra al modo de conversación.

La transferencia (Handoff) es el proceso por medio del cual una llamada vuelve a enrutarse automáticamente a la nueva estación base a medida que el teléfono sale del rango de su estación base del canal de voz inicial. A continuación se detalla el proceso de transferencia.

- 1) Si el canal es analógico, la estación base siente que el SAT del transceptor se está desvaneciendo (si es digital se monitorea la calidad de RSSI y RX) y envía la señal a la MTX.
- 2) La MTX ordena a la estación base adyacente que localice la unidad móvil (encuentre la celda que este más cercana).
- 3) La MTX ordena a la estación base anterior que envíe el mensaje de transferencia (nuevo canal de voz analógico o digital, nivel de potencia y SAT ó DVCC). La MTX ordena a la nueva estación base que activa el canal de voz.

- 4) Para un canal analógico, la estación base anterior transfiere la orden en el canal de voz utilizando la técnica de “ Blank & Burst” (Blanqueo y disparo repentino) (voz desconectada, se envía los datos, voz conectada). Para realizar una transferencia desde un canal digital se envía un mensaje utilizando un Canal Asociado de Control Rápido (FACCH) que se encuentra en el canal de tráfico actual borrando los datos de voz para transmitirse en el canal de tráfico.
- 5) La unidad móvil recibe la orden de transferencia, enciende durante 50 milisegundos, el tono de señalización se sintoniza con el nuevo canal de voz, ajusta la potencia de transmisión y verifica el nuevo SAT¹ (si se transfiere a un canal analógico). Si la transferencia es hacia un canal digital, la unidad móvil envía una confirmación, apaga el transmisor, ajusta el nivel de potencia, se sintoniza con el nuevo canal de radiofrecuencia, ajusta el transmisor y receptor a modo digital, ajusta la velocidad del CODEC de voz, ajusta la ranura del tiempo y fija la compensación de alineación de tiempo. Una vez que queda sincronizada la unidad móvil, se enciende el transmisor y se restaura el cronómetro de desvanecimiento.
- 6) Si todo funcionó, estará de nuevo en el modo de conversación.

La señalización utilizada para la transferencia cambiará cuando se adquiera el nuevo canal si es una transferencia de analógico a digital o de digital a analógico.

2.2. Descripción de Conceptos.

2.2.1. Transmisión por desplazamiento de frecuencia (FSK)

La transmisión por desplazamiento de frecuencia es una forma en alguna medida simple, de modulación digital de bajo rendimiento. El FSK binario es una forma de modulación angular de amplitud constante la señal modulante es un flujo de pulsos binarios que varía, entre dos niveles de voltaje discreto, en lugar

¹ Tono de Supervisión de Audio.

de una forma de onda analógica que cambia de manera continua. La expresión general para una señal FSK binaria es:

$$v(t) = V_c \cos [(w_c + v_m(t) \cdot \Delta w / 2)t]$$

donde :

$v(t)$ = forma de onda FSK binaria

V_c = Amplitud pico de la portadora no modulada

w_c = frecuencia de la portador en radianes

$v_m(t)$ = señal modulante digital binaria

Δw = cambio en frecuencia de salida en radianes

La frecuencia de la portadora cambia entre $w_c + \Delta w / 2$ y $w_c - \Delta w / 2$ a una velocidad igual a la frecuencia de los cambios en el nivel de entrada.

2.2.2. Transmisión de desplazamiento mínimo del FSK (MSK)

En esencia el MSK es un FSK binario excepto que las frecuencias de marca y espacio (0 y 1) están sincronizadas con la razón de bit de entrada binario. Síncrono significa tan solo que existe una relación precisa de tiempo entre los dos; no quiere decir que sean iguales. Con MSK las frecuencias de marca y espacio están seleccionadas de tal forma que están separadas de la frecuencia central por exactamente un múltiplo impar de la mitad de la razón de bit. Esto asegura que haya una transición de fase fluida, en la señal de salida analógica, cuando cambia de una frecuencia de marca a una frecuencia de espacio y viceversa, por lo que no hay discontinuidades de fase.

2.2.3. Transmisión por desplazamiento de fase cuaternaria (QPSK)

Es una modulación angular con amplitud constante. La QPSK es una técnica de codificación con cuatro posibles fases de salida, y ya que la entrada digital a un modulador de QPSK es una señal binaria, para producir cuatro condiciones de entrada se necesitan dos bits. En consecuencia los datos de entrada binario se combinan en grupos de dos bits llamados *dibits*, cada código de éstos genera una de las cuatro fases posibles.

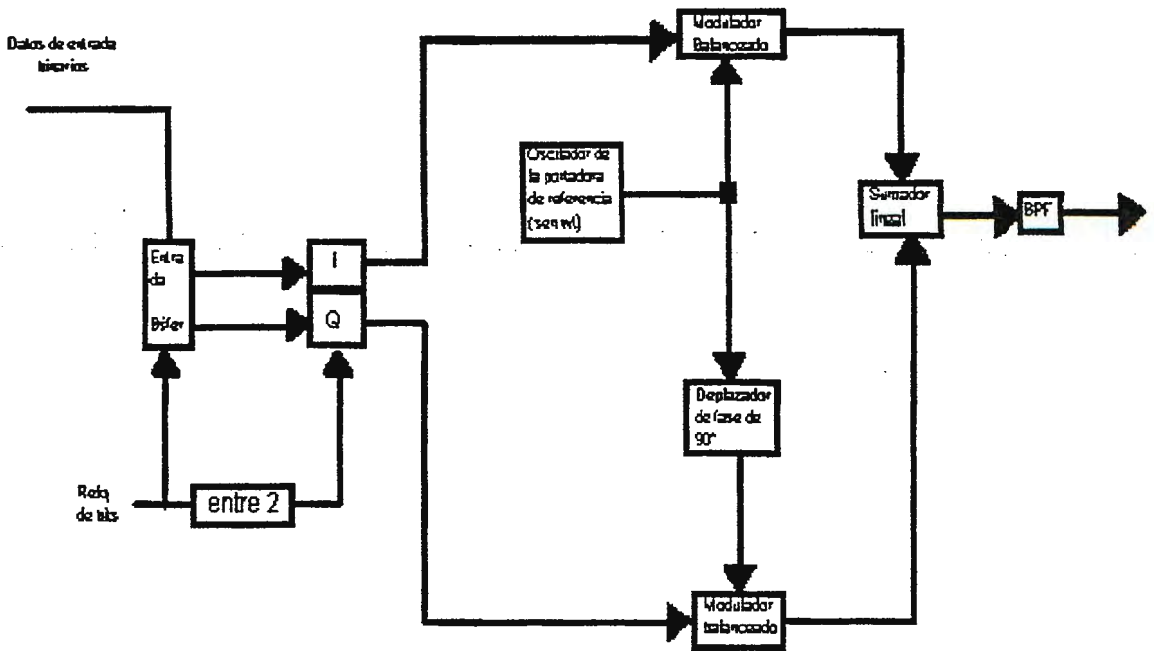


Figura 2.2.1 Modulador de QPSK.

2.2.4. HAND OFF.

Hand Off: es el proceso de transferir la llamada de un usuario de una célula a otra, la cual es completamente transparente al suscriptor (El suscriptor no percibe que su servicio ha sido conmutado). La transferencia toma fracciones de segundo lo cual lo hace imperceptible al usuario de teléfono móvil, sin embargo este resultado puede ser destructivo para las comunicaciones de datos.

A continuación se mencionan los dos tipos de *hand off*:

Soft Hand Off: Dos o más señales recibidas a través de distintos enlaces son demoduladas simultáneamente, combinadas, y decodificadas por la misma entidad. Se caracteriza por iniciar las comunicaciones utilizando un nuevo control piloto para la misma frecuencia CDMA antes de terminar la comunicación con el antiguo control piloto sin interrumpir por tanto la llamada. Este hand off

tiene lugar cuando el terminal de usuario opera en el canal de tráfico.

Hard Hand Off: La entidad receptora deja de demodular y descodificar la información transmitida en un enlace y comienza a demodular y descodificar la información transmitida en otro enlace con posible pérdida de información. Se caracteriza por una desconexión temporal del canal de tráfico al cambiar el terminal de usuario de frecuencia.

2.2.5. Interferencia de Intersímbolo.

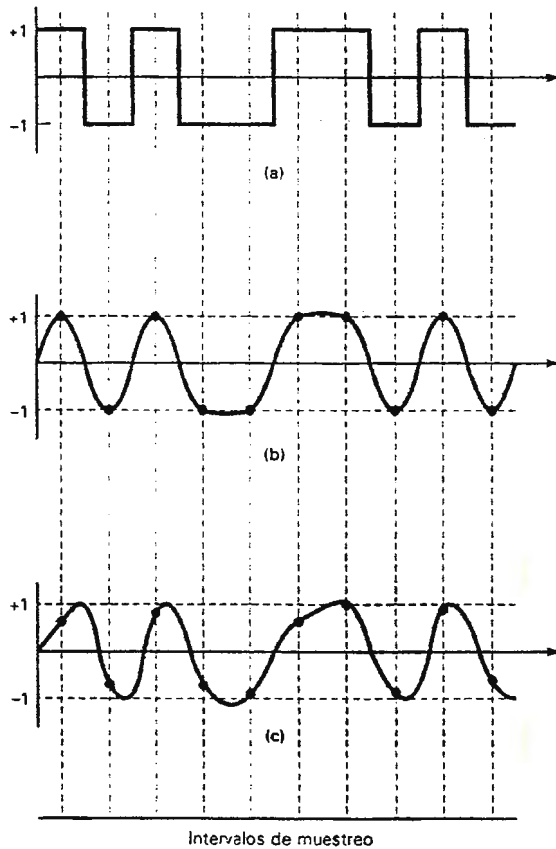


Figura 2.2.2 Respuesta del pulso: (a) señal de entrada NRZ; (b) salida de un filtro perfecto; (c) salida de un filtro imperfecto.

La figura anterior muestra la señal de entrada a un filtro ideal pasa bajos con ancho de banda mínimo. La señal que aparece en el centro muestra el

resultado de un filtro de pasa bajos que no introduce ninguna distorsión de fase o amplitud. Sin embargo, si el filtro de pasa bajos es imperfecto (el cual en realidad lo será), la respuesta de salida se asemejará más a la figura del final. En los instantes de muestreo, la señal no logra el máximo valor. Las “colas anilladas” de varios pulsos se han encimado, por lo tanto interfieren con el lóbulo del pulso mayor o principal. Asumiendo que no hay retardos de tiempo en el sistema, la energía en forma de respuesta espurias del tercero y cuarto impulsos de un pulso aparecen durante el instante de muestreo de otro pulso. Esta interferencia es llamada **interferencia de intersímbolos (ISI)**, el cual es una consideración importante en la transmisión de pulsos sobre circuitos con ancho de banda limitado y una respuesta de fase no lineal. Dicho de manera sencilla, los pulsos rectangulares no permanecerán así en menos de un ancho de banda infinito. Entre más angosto sea el ancho de banda, más redondeados son los pulsos. Si la distorsión de fase es excesiva, el pulso se ladeará y, consecuentemente, afectará al siguiente pulso. Cuando los pulsos de más de una fuente utilizan juntos el proceso múltiple, las respuestas de amplitud, frecuencia y fase se convierten aún en más críticas. ISI ocasiona cruce de conversaciones entre canales que ocupan ranuras de tiempo adyacentes en un sistema de portadora multiplexada por división de tiempo. Se insertan filtros especiales llamados ecualizadores en el camino de transmisión para “ecualizar” (“igualar”) la distorsión para todas las frecuencias, creando un medio de transmisión uniforme y reduciendo las dificultades de transmisión.

2.3. Conceptos Básicos De NADC.

Los principales objetivos del sistema NADC (Sistema Celular Norteamericano de Modo Dual) son aumentar la capacidad de abonados, proporcionar una comunicación más segura de voz y ser compatible con versiones anteriores del sistema celular analógico AMPS existente.

La razón principal de tener un nuevo sistema es la de poder proporcionar una capacidad adicional a los usuarios de los teléfonos celulares. En la Actualidad, en las ciudades que tienen un alto número de abonados es muy difícil

accesos a los sistemas durante las horas de uso pico. De hecho, durante estas horas pico un usuario sólo puede lograr establecer una llamada después de diez intentos debido a la carga que tiene el sistema; y con el número de abonados que cada vez es mayor, el problema sólo será peor. Inicialmente, NADC proporcionará una capacidad tres veces mejor que el del sistema existente y los planes para el futuro son mejorar los sistemas de 6 a 15 veces. Ya que el sistema transmite toda clase de información en forma digital, será mucho más difícil escuchar la conversación de alguien más en el teléfono celular. Esto será un beneficio clave para la gente que usa teléfonos celulares y que tiene que transmitir información confidencial.

Por último, se decidió que el sistema digital debe ser compatible, en retroceso, con el sistema AMPS existente de tal manera que los teléfonos celulares analógicos no sean obsoletos. Por lo tanto, todas las unidades móviles NADC tendrán la capacidad de operar utilizando las estaciones base analógicas existentes así como las nuevas estaciones base digitales.

En el sistema NADC, cada celda tiene una estación base instalada específicamente para cubrir sólo un área física dada. Esa estación base está conectada a la central de teléfonos móviles (MTX) de los sistemas celulares. A continuación, para tener acceso a los teléfonos en todo el mundo se conecta la MTX a la oficina local de teléfonos.

Un teléfono celular logra su acceso al sistema celular a través de las estaciones base. Por medio de la MTX, las llamadas se enrutan a las líneas telefónicas (por medio de la oficina de teléfonos local) o a otra estación móvil. El enlace de la estación base a la MTX puede ser por líneas en tierra o por un enlace microondas.

Cuando una unidad móvil alcanza la periferia de una celda y la estación base empieza a perder la señal, empieza a buscar una celda adyacente para hacer la transferencia. Si se encuentra la celda adyacente, la llamada se transfiere sin perder la conversación (ello se denomina "Hand Off"), esto permite que la unidad móvil se mueva a cualquier sitio dentro de la zona de cobertura y pueda continuar la conversación.

El NADC utilizará la misma banda de frecuencia actualmente asignada al celular AMPS. Los canales disponibles se dividirían entre los canales analógicos y

los digitales. El espaciamento del canal es de 30 KHz y la diferencia de frecuencia RX/ TX es de 45 MHz como en el celular AMPS. NADC tienen un espaciamento de tiempo RX/ TX de 1.85 m segundos. Utiliza la modulación DQPSK $\pi / 4$ y una velocidad de modulación de 24.3 K símbolos / segundos. NADC permitirá inicialmente 3 usuarios por par de frecuencia y, si se implementa un codificador de voz de la mitad de la velocidad, permitirá 6 usuarios. Una trama es de 40 m segundos y consiste de 6 ranuras de tiempo de 6.667 m segundos cada una. Hay 162 símbolos por ranura de tiempo y el periodo de símbolos es de 41.16 m segundos.

Channelization FDMA/TDMA

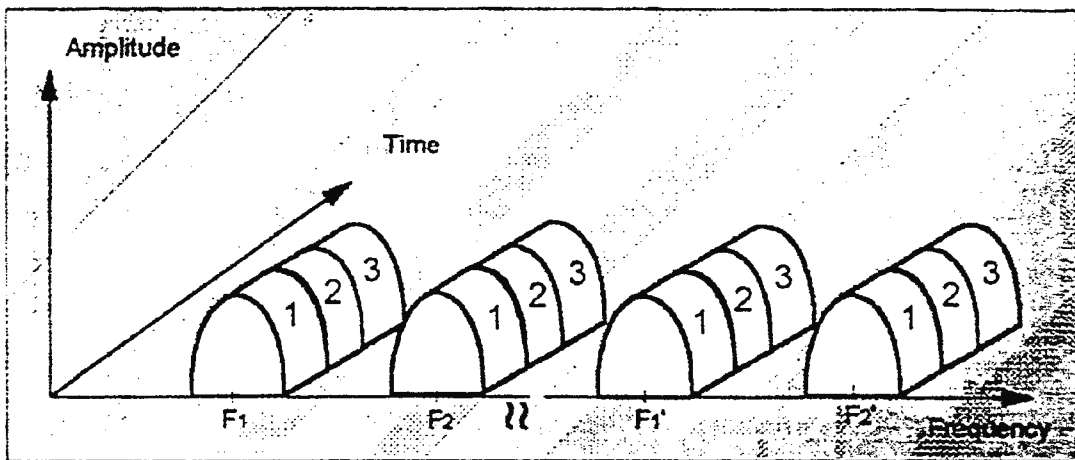


Figura 2.3.1. Canalización FDMA/TDMA.

Digital Cellular Phone Block Diagram

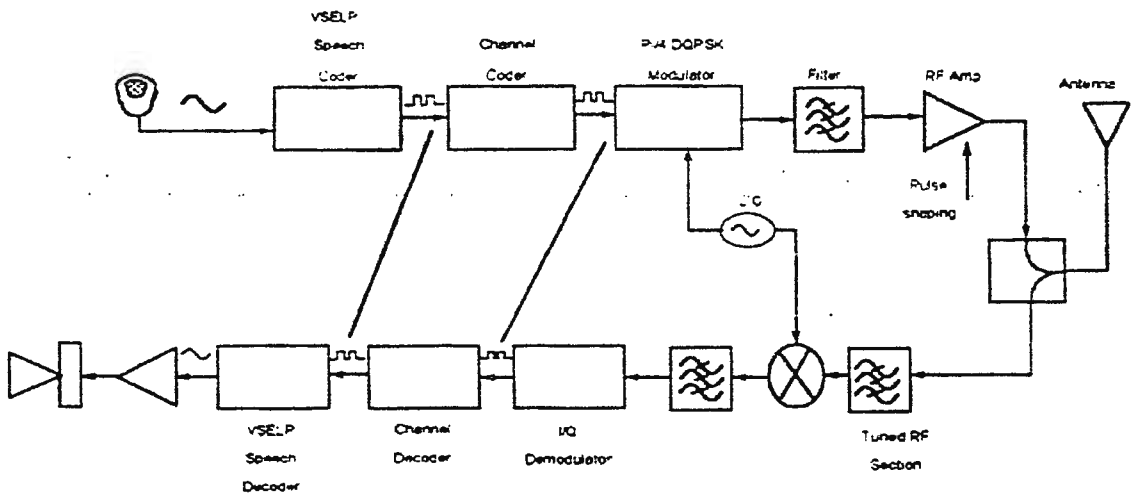


Figura 2.3.2. Diagrama a bloques de un teléfono celular digital.

El sistema NADC utiliza un CODEC de voz de Pronóstico Lineal Activado por Suma Vectorial (VSELP). El codificador VSELP digitaliza la voz y produce un flujo de datos de 8 K bits /segundo que representa la voz. Este CODEC divide la conversación en bloques de suma vectorial de largo plazo y dos de corto plazo. Los dos bloques vectoriales se codifican de acuerdo con los “libros de códigos” estandarizados. Al bloque de largo plazo se le aplican menos bits ya que estos elementos de la voz cambian lentamente y contienen poca información. Para representar los sonidos de corto plazo se utilizan más bits ya que éstos cambian mucho más rápido. Este CODEC logra una buena calidad de voz con una velocidad de datos de únicamente 8 K bits /segundo.

Después de que la conversación haya pasado por el codificador de voz entra al codificador de canal, el cual realiza varias funciones; agrega corrección de errores y bits de detección a los bits más importantes de datos. Agrega información del canal de control y los mensajes de supervisión necesarios para mantener y establecer el canal de tráfico; también, con el fin de corregir los efectos de desvanecimiento y de multitrayectoria, se agrega una secuencia de sincronización que se usa para aplicar la filtración de equalización. Para asegurar

que no se pierdan los datos a medida que el transmisor impulsa su portadora hacia fuera y hacia adentro se agregan bits de cola o de protección. Para rechazar mejor la interferencia, el codificador de canal también intercala los datos en dos ranuras de tiempo. Por último, el codificador de canal coloca los datos en "paquetes" de tal manera que los datos sólo se transmitan cuando la portadora es impulsada a sus ranuras de tiempo asignadas.

Error Correction for NADC NADC - Channel Coder

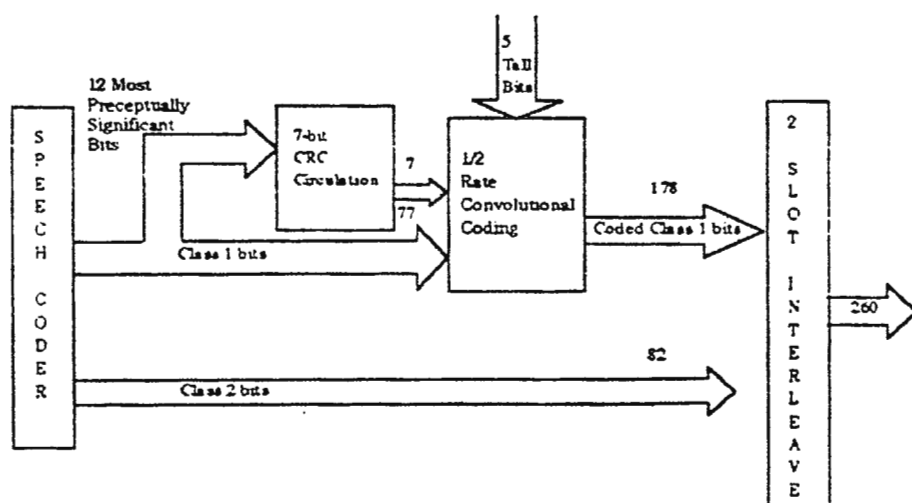


Figura 2.3.3. Corrección de error y Codificador de Canal.

Los datos que salen del codificador vocal se separan en dos clases de bits, Clase I (más crítico) y Clase II (menos crítico). Los bits de corrección y detección de errores se agregan a los bits de datos más críticos de tal manera que si alguno de estos bits se pierden aún se pueda generar, hasta cierto grado, la conversación. Esta corrección y detección de errores es una combinación de un código de redundancia cíclica (CRC) de 7 bits que se generan para los 12 bits, Clase I, más significativos, y un codificador convolucional de media velocidad que se aplica a los bits Clase I, los bits CRC y los bits de cola. Los bits menos críticos,

Clase II, no reciben ninguna corrección de errores. La salida del codificador de convulsión y los bits clase II se combinan e intercalan en dos ranuras de tiempo.

Error correction for NADC

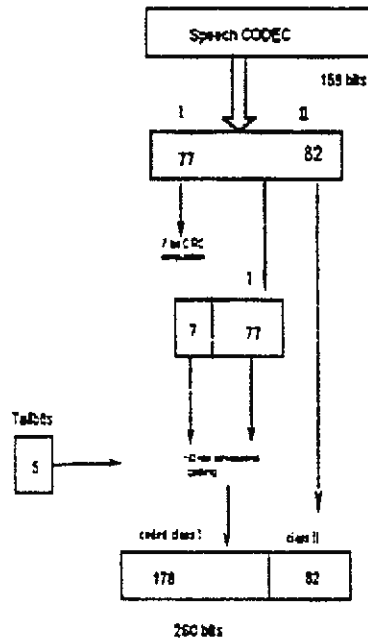
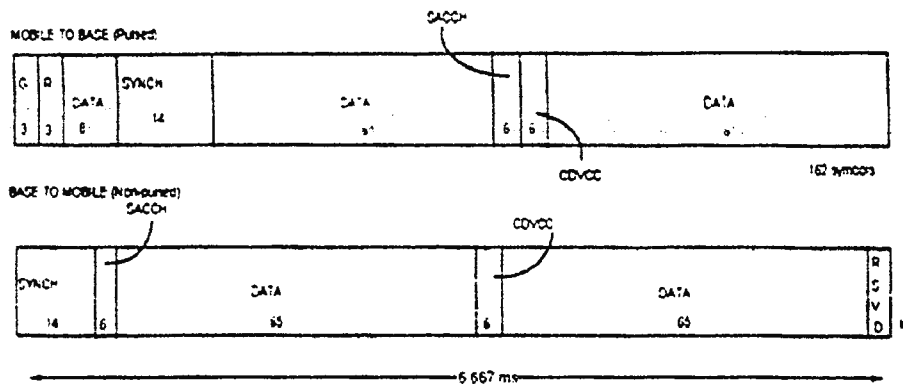


Figura 2.3.4. Corrección de errores para el NADC.

La salida del codificador de la conversación es de 159 bits por cada 20 milisegundos de conversación. De estos 159 bits, 77 son más críticos, Clase I y 82 son menos críticos, Clase II. Para los 12 bits clase I más significativos, se genera un código CRC de 7 bits. Este código CRC de 7 bits, los 77 bits Clase I y los 5 bits de cola (u total de 89 bits) se ingresan en el codificador convolucional de la mitad de velocidad que saca 178 bits codificados de Clase I. Al combinar estos 178 bits con los bits Clase II corregidos sin error se obtiene un total de 260 bits que se generan de una conversación de 20 milisegundos.

NADC Timeslot Format



- G = Guard time
- P = Ramp time (power rampup)
- SACCH = Slow Associated Control Channel
- Synch = Synchronization or training sequence
- Data = User information (speech data) or FACCH
- CDVCC = Coded Digital Verification Color Code
- RSVD = Reserved
- FACCH = Fast Associated Control Channel

Figura 2.3.5. Formato de las ranuras de tiempo.

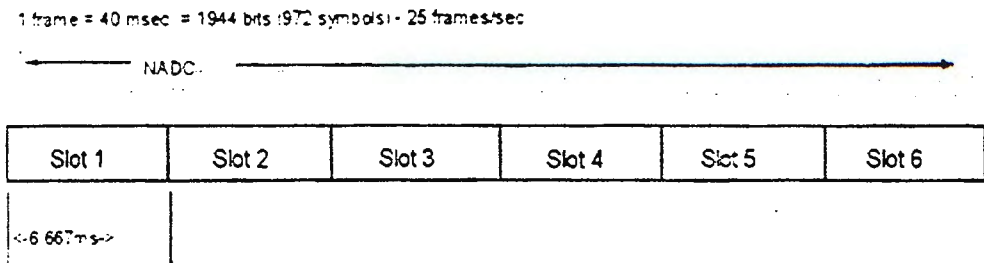
La ranura de tiempo de NADC está formada por 162 símbolos. Debe observarse que la estructura de los datos es diferente para la estación móvil que para la estación base. La ranura de tiempo de la estación base no tiene ninguna protección o tiempo de aceleración de crecimiento. Esto se debe a que el portador de la estación base siempre está encendido a diferencia de las estaciones móviles que sólo se impulsan para su ranura de tiempo. No necesita impulsar la estación base, sólo se necesita enviar la información adecuada a cada estación móvil en el momento preciso.

La ranura de tiempo de la estación móvil consta de 3 símbolos de tiempo de protección y 3 símbolos de tiempo de aceleración de crecimiento con el fin de permitir a la estación móvil pulsar su portador. A continuación se envían 8

símbolos de datos de voz seguidos por 14 símbolos de la información de sincronización seguidos por 122 símbolos de datos de voz con 6 símbolos cada uno del Canal Asociado de Control Lento (SACCH) y el Código de colores de Verificación Digital (CDVCC) que se encuentran a la mitad del camino de los datos de voz.

Los datos de sincronización se utilizan para sincronizar la ranura, la preparación del ecualizador y la identificación de la ranura de tiempo. Los datos SACCH proporcionan un intercambio de mensajes de señalización (de supervisión y de control) entre la estación base y la móvil. El CDVCC proporciona esencialmente la misma función que el tono SAT en el celular analógico. Se utiliza para identificar que estación base está actualmente utilizando la estación móvil. Dos estaciones base adyacentes nunca tienen el mismo CDVCC. En algunas situaciones es necesario que la estación base envíe datos del Canal Asociado de Control Rápido (FAC) porque la información SACCH es demasiado lenta, sino, debe implementarse inmediatamente algún cambio en el control de la estación móvil. Para hacer esto, la estación base roba datos de voz para enviar a la estación móvil el mensaje de control o de supervisión. Por último, hay 6 símbolos de información que se reservan en la transmisión de la estación base que se utilizarán en el futuro.

NADC Frame Structure



$$972 \text{ sym/frame} \times 25 \text{ f/sec} = 24.3 \text{ ksym/sec}$$

Figura 2.3.6. Estructura de la trama NADC.

Para el NADC, la trama tiene una longitud de 40 milisegundos y consiste de 6 ranuras de tiempo y cada una es de 6.6667 milisegundos. Cada ranura de tiempo es una conversación diferente para las ranuras de tiempo del 1 al 3 y después estas conversaciones simultáneamente (cada conversación utiliza 2 ranuras de tiempo en una trama). Cuando se implementen los CODEC de voz que tienen la mitad de la velocidad, cada trama soportará hasta 6 conversaciones por separado.

Para NADC, cada trama toma 40 milisegundos lo que significa que hay 25 tramas por segundo. Cada trama contiene 1944 bits ó 972 símbolos. Si las 25 tramas por segundo se multiplican por 972 símbolos por trama el resultado es una velocidad de símbolo de modulación de 24.3 K símbolos /segundo.

NADC Data Interleave

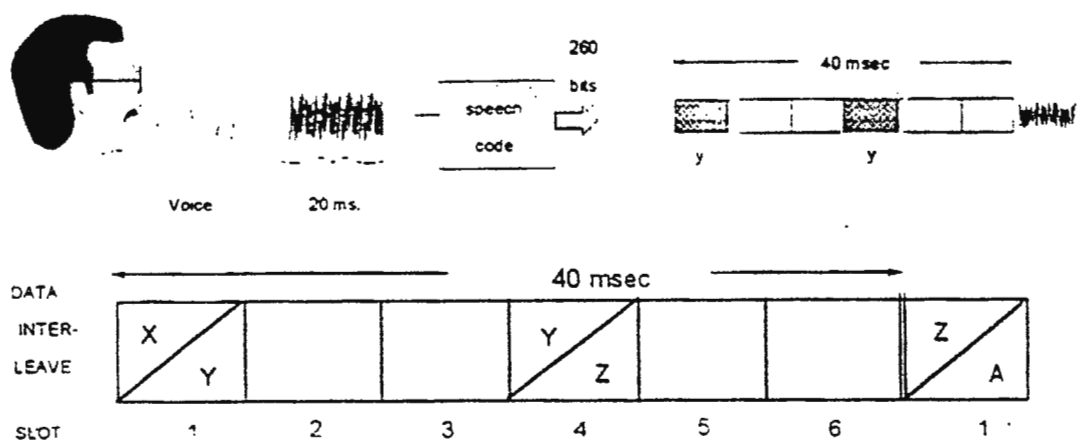


Figura 2.3.7. Intercalación de datos.

Para mejorar el desempeño de la corrección de errores en el sistema NADC, se intercalan los datos en la información de voz. Cada 20 milisegundos de voz se digitaliza en 260 bits de datos, estos datos se diseminan después a lo largo de dos ranuras de tiempo. Al separar la voz y la codificación de error asociada en diferentes ranuras de tiempo sólo se perdería la mitad de la voz y de la codificación de error si una de las ranuras de tiempo recibiera una interferencia, quedando así la mitad de la información de voz y de la codificación de error para regenerar la voz original. Esto ocasiona que el sistema pueda rechazar mejor la interferencia.

El identificador de la ranura de tiempo/palabra de sincronización es un campo de 14 símbolos que se utiliza para sincronizar la ranura, preparar el ecualizador e identificar la ranura de tiempo. La palabra de sincronización tiene buenas propiedades de auto correlación para permitir sincronizar la radio y efectuar la preparación. Para identificar la ranura de tiempo, se definen seis identificadores de ranura de tiempo que tiene buenas propiedades de correlación cruzada, éstos se usan para diferenciar las ranuras de tiempo, de tal manera que

puedan identificarse correctamente los datos de un radio. La parte de la secuencia del paso de los datos de sincronización se utiliza para aplicar la ecualización a la señal de radiofrecuencia recibida con el fin de corregir los efectos de desvanecimiento y multi trayectoria.

Antes de establecer el canal de voz se establece una palabra de la secuencia del paso entre la estación móvil y la estación base; en cada ranura de tiempo, la estación móvil y la estación base transmiten esta palabra como parte de sus datos de sincronización. Debido a que cuando se reciben los datos ya se conoce esta palabra, la palabra recibida se compara con la palabra conocida por el ecualizador. Los algoritmos procesados por los chips DSP (procesador de señal digital) de alta velocidad, calculan los coeficientes de filtro inverso que modelan el patrón de desvanecimiento encontrado en la secuencia del paso. A continuación se aplica el filtro inverso a todo el paquete y después se pueden recuperar las secuencias correctas de bits. Los algoritmos del ecualizador son muy específicos de los fabricantes y están muy protegidos, ya que se ha dedicado mucho tiempo a su desarrollo.

2.3.1. Modulación y filtrado utilizados por NADC.

Para describir los sistemas de modulación de fase comúnmente se utilizan los diagramas I-Q, o los diagramas en fase o de fase de cuadratura. Al hacer un sistema bidimensional de coordenadas, es posible representar, por medio de la longitud de un vector, la amplitud de la señal de radiofrecuencia, desde el origen hacia el punto especificado en el sistema de coordenadas. La fase del sistema puede representarse por el ángulo desde un punto de referencia específico.

Review of Digital Modulation IQ Diagram for QPSK

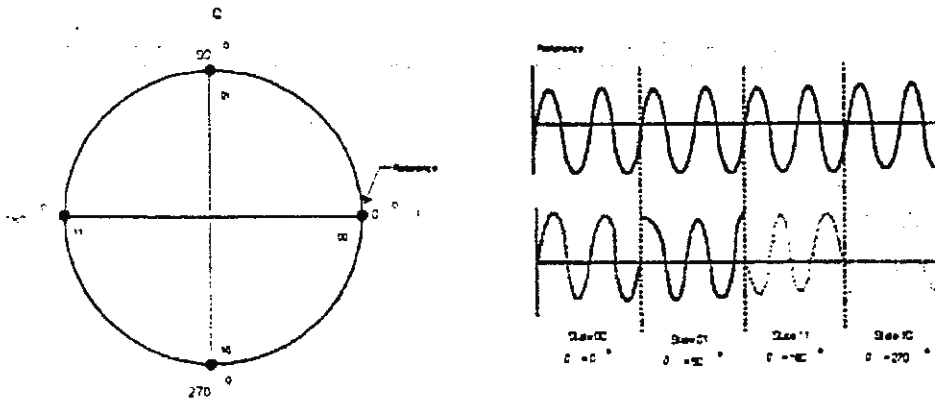


Figura 2.3.8. Diagrama de modulación QPSK.

El DQPSK, o Cambio de Fase de Cuadratura Diferencial, es muy similar al QPSK. La principal diferencia es que en DQPSK se hace referencia a la condición anterior de la fase en lo que se refiere al patrón de datos transmitido, para demodular los datos en el receptor no se debe hacer ninguna referencia a la fase; ya que no se requiere tener ninguna referencia a la fase, es más fácil construir el receptor.

Unfiltered Phase Transition for $\pi/4$ DQPSK

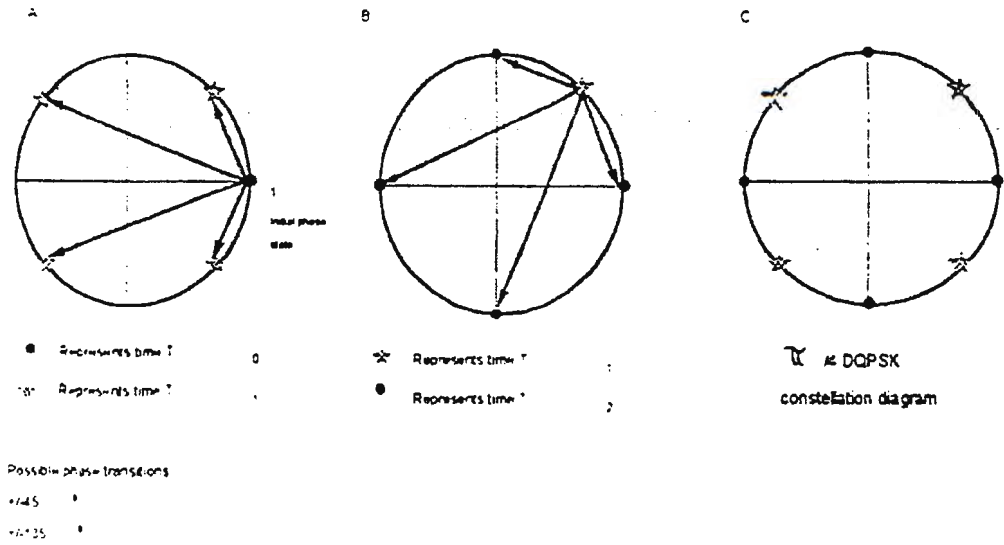


Figura 2.3.9. Transición de fase para DQPSK $\pi/4$.

El DQPSK $\pi/4$ es una modificación leve del DQPSK. Si las transiciones de fase para un patrón de bit dado se definen de cierta forma, las transiciones de fase para DQPSK $\pi/4$ se rotan 45 grados de sus equivalentes en DQPSK. El DQPSK $\pi/4$ es el tipo de modulación que se eligió para el sistema NADC. Las posibles transiciones de fase para DQPSK $\pi/4$ son ± 45 y ± 135 grados.

Comparison between DQPSK and $\pi/4$ DQPSK Modulation Formats

Symbol	DQPSK Phase Transition	$\pi/4$ DQPSK Phase Transition
00	0°	45°
01	90°	135°
10	-90°	-45°
11	180°	-135°

Figura 2.3.10. Comparación entre DQPSK y el DQPSK $\pi/4$.

Filtering to reduce bandwidth while
minimizing intersymbol interference

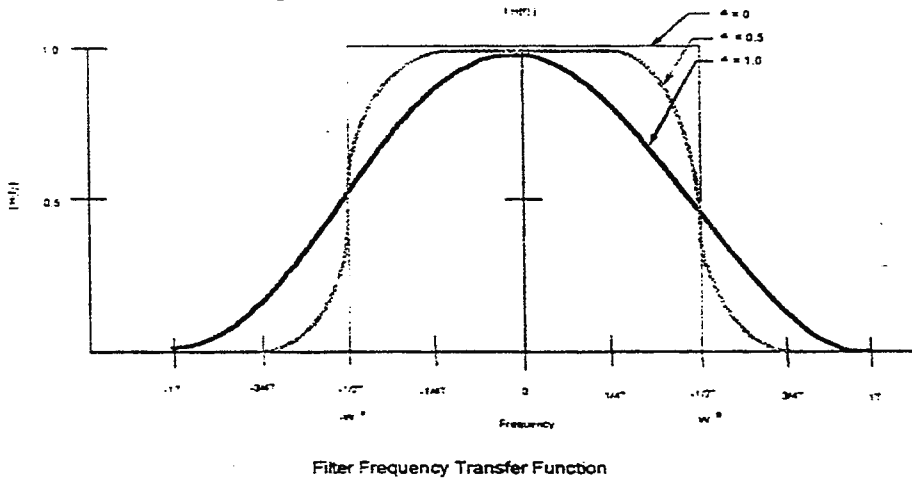


Figura 2.3.11. Filtrado para reducir el ancho de banda mientras la ISI es reducida.

Hasta ahora sólo se han considerado las transiciones de fase no filtradas de una condición de fase a la otra. Sin el filtrado, los efectos de un canal con banda limitada causarían algo de borrosidad en los pulsos de datos a medida que se transmiten. Esto hace que la detección de datos sea más difícil. Por esta razón se aplica la filtración al minimizar la interferencia inter - simbólica (ISI) causada por la filtración. Además, las transiciones de la fase no filtradas causarían una gran cantidad de interferencia espectral. Esto afectaría los canales adyacentes y no es aceptable.

El filtrado que se eligió para el sistema NADC se llama Nyquist de coseno elevado. Una característica importante de los filtros Nyquist es que la respuesta de impulso tiene ceros en todos los tiempos de los símbolos excepto el símbolo en el tiempo cero. Esto implica que los símbolos adyacentes no afecten la transmisión del símbolo en el tiempo 0 (cero). Si los datos pueden muestrearse precisamente en el tiempo T , $2T$, etc., no habrá ninguna interferencia inter simbólica (ISI). El factor de la reducción gradual de respuesta (roll-off) del filtro se anota como alfa. A medida que el valor de alfa aumenta, aumentará el ancho de banda requerido para transmitir un símbolo dado. Puede mostrarse que los lóbulos de la respuesta de impulso son mucho más pequeños para el alfa que va en aumento. Para un valor mayor de alfa, se requiere más ancho de banda, pero habrá menos ISI si hay más agitación de cronometraje al muestrear los datos.

Comparison of Nyquist and Root Nyquist Impulse Response

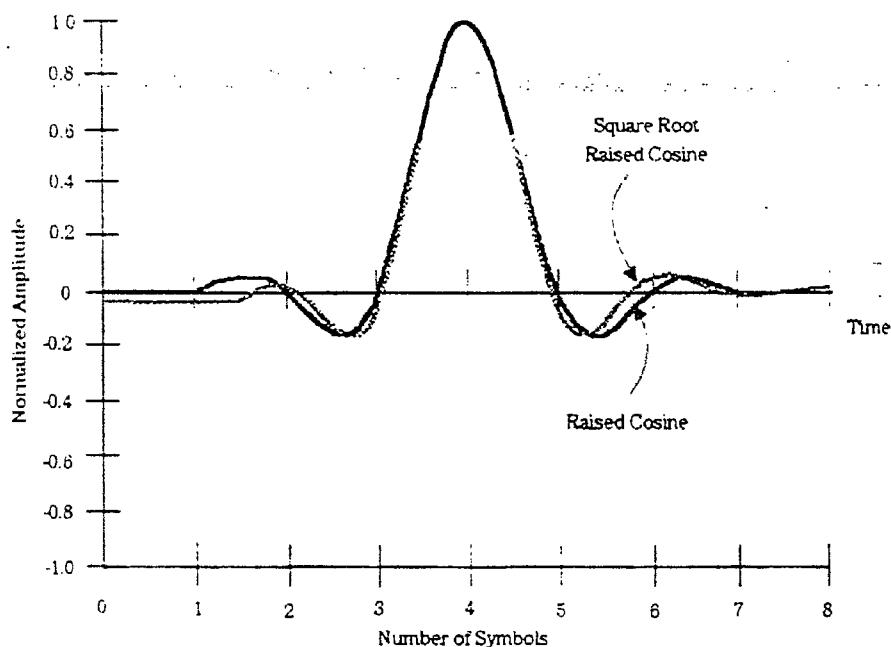


Figura 2.3.12. Comparación entre el filtro de Nyquist y el de raíz cuadrada de la respuesta del impulso de Nyquist.

Para obtener una proporción óptima de señal a ruido, se requiere un filtro adaptado en el transmisor y en el receptor. Para lograrlo, se modifica la respuesta del filtro Nyquist para tomar la raíz cuadrada de la respuesta de la frecuencia y poner filtros similares en el transmisor y en el receptor. Este ISI debe eliminarse aplicando la raíz cuadrada del filtro Nyquist en el receptor. NADC utiliza la raíz cuadrada del filtro Nyquist en el transmisor y en el receptor con un factor de atenuación, $\alpha = 0.35$.

2.4. Sistemas de Comunicación Personal (PCS).

Los servicios de comunicaciones personales (PCS) es una nueva generación de tecnología del teléfono-inalámbrico que introduce una cantidad de características y servicios (que superan los disponibles en el sistema analógico) para los sistemas telefónicos de celulares-digitales. PCS le proporciona al teléfono inalámbrico del usuario, la localización, la mensajería, y la reparación de datos teniendo un tiempo de batería en estado de espera mejorado de gran forma.

Como si no hubiese sido lo suficientemente desafiante el apoyo a los sistemas inalámbricos, se ha creado una asignación totalmente nueva del espectro para los sistemas conocidos como Servicios de Comunicaciones Personales (PCS). Aún cuando se parecen mucho a las redes celulares existentes, estos nuevos sistemas prometen lo más nuevo en servicios tales como: las conexiones de datos y el envío de mensajes.

Para estos sistemas se han propuesto varios formatos digitales, siendo los líderes 3 de ellos:

- TDMA (IS-136)
- CDMA (IS-95)
- PCS-1900 (basado en GSM)

2.4.1. Funcionamiento en Modo Dual de Banda-Dual.

Los teléfonos PCS de banda-dual que operan a 800 MHz y 1900 MHz les permiten a los usuarios que reciban un PCS completo y servicios para sistemas IS-136 (perfeccionamiento de la tecnología digital TDMA) dondequiera que ellos viajan. La capacidad del modo Dual proporciona continuidad de servicio e interoperabilidad entre las redes analógicas y digitales. Como resultado, un teléfono de PCS puede proporcionar acceso a todos los servicios inalámbricos al aire libre, puede utilizarse en un sistema en el interior de un edificio, y puede servir como el teléfono inalámbrico digital en casa.

2.4.2. Rasgos y Capacidades

La Tabla 2.4.1 muestra los rasgos de PCS más importantes y sus capacidades.

Tabla 2.4.1. Los Rasgos de PCS y Capacidades

Rasgos	Capacidades
Modo "dormir"	Extiende el tiempo de espera (standby) y aumenta la vida de la batería.
Servicio de mensajes cortos (short message service, SMS)	Transfiere mensajes alfanuméricos hacia y desde un teléfono celular PCS
Privacidad de voz y de datos	Incrementa la protección a los intrusos
Calidad de voz superior	Se tiene menor ruido de fondo y disminuye las caídas de las llamadas
Ambiente jerárquico	Proporciona mejoras para la operación entre macroceldas y microceldas
"actualización" inteligente	Permite un firme control en la selección del sistema
Sistema de ID (identificación) residenciales y privados	Simplifica y controla los servicios inalámbricos para oficina (WOS) y los rasgos de la estación personal (PBS)
Transferencia (seam less roaming)	Permite la transferencia entre frecuencias usando teléfonos que trabajan en banda dual y provee mejoras para la transferencia internacional (international roaming)
Mejora los circuitos de transferencia de	Provee una alta fidelidad en la transmisión de datos para fax, e-mail y acceso a Internet

información	inalámbricos
autenticación	Incrementa la seguridad telefónica y resistencia al "clonado"
Identificación del número que llama (CNI)	Le permite identificar al que llama antes de contestar
Indicador de mensaje en espera (MWI)	Notifica al usuario que tiene mensajes en el correo de voz
Servicio de mensajes de texto	Los operadores toman los mensajes y los envían en forma de texto al teléfono PCS

2.4.3. El Canal de Mando Digital (DCCH).

El Canal de mando digital forma el centro de la especificación IS-136 y es el perfeccionamiento primario a la tecnología digital inalámbrica TDMA. Es un nuevo mecanismo del Canal de mando agregado al Canal del mando analógico (ACC), el Canal de la voz analógico (AVC), y el Canal de tráfico digital (DTC) de la interfase aérea TDMA. El DCCH (IS-136) de la tecnología TDMA mantiene la plataforma PCS, introduciendo las nuevas funcionalidades y las características reforzadas que hacen de PCS un sistema digital poderoso.

El Ambiente del DCCH.

Un Canal de radio consiste en dos frecuencias RF (frecuencia de la radio) dentro del espectro que está separado por una distancia fija. Estas dos frecuencias permiten a un sitio de la célula y al teléfono inalámbrico transmitir y recibir señales simultáneamente. Los sitios de la célula se comunican con los teléfonos inalámbricos que usan dos Canales de radio diferentes: un Canal de Voz y un Canal de Mando.

En los sistemas TDMA, cada Canal de radio digital puede llevar hasta a tres llamadas por multiplexación de tiempo. Un Canal de mando digital se introduce en el sistema TDMA reprogramando uno de los Canales de tráfico,

llamados Canales de tráfico digitales (DTC), para llevar los DCCH a una frecuencia que contiene a los Canales de tráfico digitales existentes.

La Figura 2.4.1 muestra el par (1, 4) de ranura DTC utilizado para un DCCH, y muestra cada célula dividida en sectores (un sector B, C). Sólo un par de la ranura se requiere para un DCCH en cada sector de la célula sin tener en cuenta el número de radios digitales en el sector.

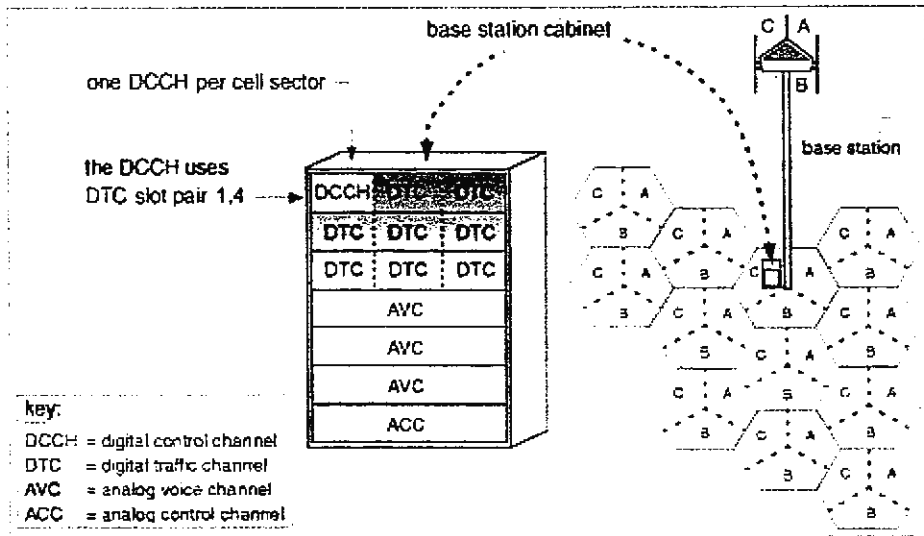


Figura 2.4.1. Ambiente DCCH.

Principio de operación del DCCH.

La información viaja en los flujos de DCCH en dos direcciones por encima de la interfase aérea: primero del sistema hacia el teléfono (denominado downlink), y segundo del teléfono al sistema (denominado uplink). En la Figura 2.4.1., la estación base representa al sistema.

El DCCH-PCS monitorea un canal de mando digital en cada sector del sistema inalámbrico para apoyar los servicios del IS-136. Un teléfono de PCS busca a través del Canal digital, ganancia en la sincronización, y comienza a descifrar la información proporcionada por encima de un Canal de mando de transmisión en el DCCH. El DCCH sirve como el Canal de mando del teléfono hasta que el teléfono encuentre otra célula que sea más apropiada.

Los teléfonos de PCS reciben localización, envían su ubicación, y se comunican con el sistema por el DCCH. Después de recibir una localización y

originar una llamada, se le asigna entonces un Canal de tráfico para la llamada, y el teléfono hace la transferencia (hand-off) de una célula a otra célula cuando se mueve alrededor del sistema. Al finalizar la llamada, el teléfono regresa al DCCH para esperar.

2.4.4. La Interfase Aérea: Protocolo de Multicapas.

La interfase aérea usada en PCS se estructura en capas diferentes, cada una de las capas con propósitos específicos. Esta estructura conceptual hace más fácil el entender las interacciones entre la estación base y el teléfono móvil a través de la interfase aérea. Se definen cuatro capas:

- Una capa física (Layer-1) la cual manejan la radio frecuencia, ráfagas, ranuras, tramas, y super tramas.
- Una capa de unión de datos (Layer-2) que maneja los empaquetamientos de datos, corrección del error, y transporte del mensaje.
- Una capa del mensaje (Layer-3) que crea y maneja mensajes enviados y recibidos por el aire.
- Capas de aplicación superiores que representan el tele- servicio actualmente utilizado, como la voz y transacciones de la mensajería, o servicios futuros.

El Modelo de la Interfase Aérea.

La Figura 2.4.2 muestra el modelo de la interfase aérea. Esta estructura simplifica la introducción de los servicios futuros que usan la plataforma IS-136 de Canal de mando digital, para que las capas más básicas del protocolo de la interfase aérea (la interfase de la radio, dirección de los datos, mensajes, y así sucesivamente) permanezcan inalteradas.

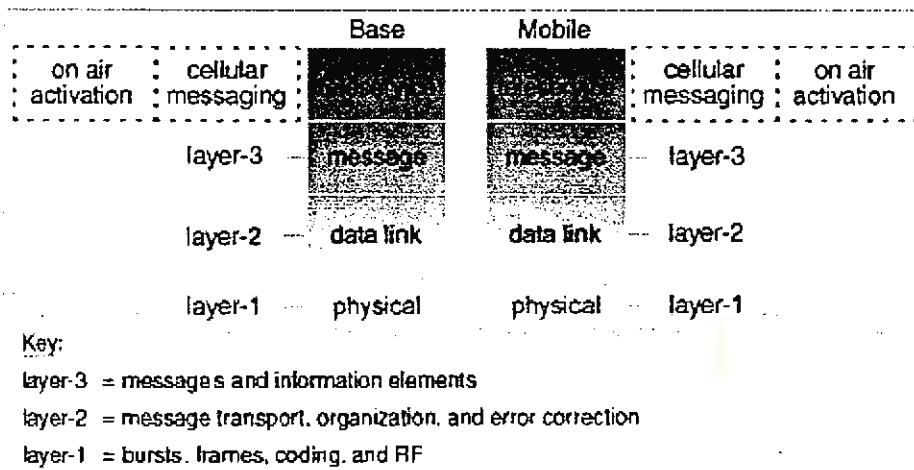


Figura 2.4.2. Modelo de la interfase aérea.

Principio de operación de la Interfase Aérea.

La Figura 2.4.3 muestra cómo un mensaje (Layer-3) se organiza en varias tramas (Layer-2), y cómo una trama (Layer-2) se lleva hacia una ranura de tiempo. La ranura de tiempo se organiza más allá hacia un Canal de DCCH. La figura muestra cómo se pasa la información de la capa a la capa de abajo a través de la fila de capas hasta que se crea una ráfaga, preparada para la transmisión. En el extremo del receptor, la información se despoja de lo necesario cuando es pasada por las capas hasta la aplicación (operación de recepción).

El mensaje (Layer-3) mostrado en la Figura 2.4.3 puede ser un registro: del mensaje del teléfono al sistema (uplink), de un mensaje del sistema PCS al teléfono (downlink), de una contestación de la localización del móvil, o de un mensaje de transmisión. El mensaje (Layer-3) se empaqueta en una trama (Layer-2) en donde se agregan el título y los campos de la corrección de error. El paquete es entonces codificado y los pedazos individuales entrelazados (mezclados y distribuidos) para neutralizar los errores introducidos por el ambiente de la radio.

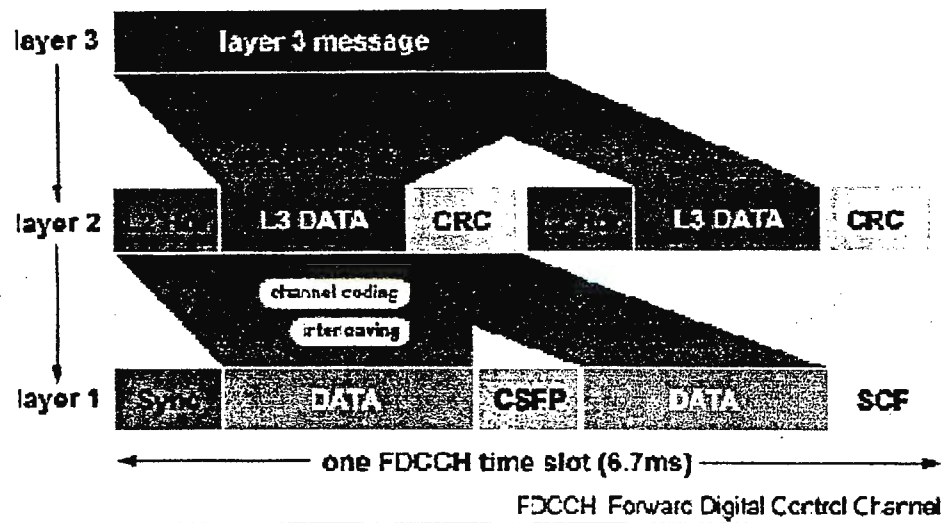


Figura 2.4.3. Mapas de las capas 1-2-3.

2.4.5. Los Canales lógicos.

Se desarrollaron dichos Canales lógicos en el DCCH de la tecnología IS-136 (TDMA) con el objetivo de organizar el PCS y otra información digital que fluyera por la interfase aérea.

Configuración de los canales-lógicos.

Los Canales lógicos se muestran gráficamente en la Figura 2.4.4. La figura muestra cómo el DCCH hacia adelante (FDCCH) está formado de muchos Canales lógicos que llevan la información del sistema al teléfono. El DCCH hacia atrás (RDCCH), lleva la información del teléfono al sistema, y consiste en un Canal lógico.

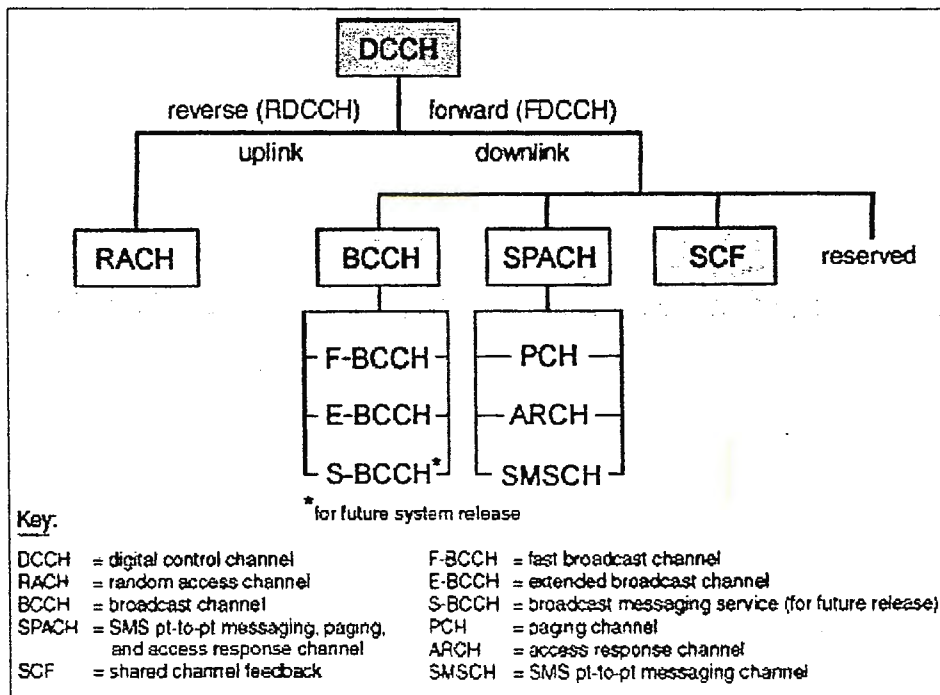


Figura 2.4.4. Configuración de los Canales Lógicos.

Principio de operación de los canales Lógicos.

Los Canales lógicos ordenan y priorizan la información de señalización para un uso funcional. Los datos se llevan entonces hacia un DCCH que es un Canal físico. Los Canales físicos son las porciones reales de ancho de banda electromagnético que consisten en frecuencias y divisiones de tiempo. Los datos del canal- lógico fluyen en el DCCH en ambas direcciones: del sistema al teléfono (downlink), y del teléfono al sistema (uplink).

Funciones de los Canales lógicos.

El canal de transmisión multiplexado (BCCH) mostrado en la Figura 2.4.4. se diseña para llevar la información sobre la configuración del sistema y las reglas que los teléfonos deben seguir al acceder al sistema. Sus Canales lógicos primarios son:

- El Canal rápido de transmisión (F-BCCH) que lleva la información que el teléfono necesita inmediatamente, como el sistema ID (identificación) y la información del registro.

- El Canal extendido de transmisión (E-BCCH) que lleva la información que no es de tiempo crítico, como las listas de las célula vecinas, etc.

El sistema utiliza el multiplexado SMS de localización de la mensajería punto-a-punto, y el Canal de Respuesta de acceso (SPACH) mostrado en la Figura 2.4.4. para comunicarse con un teléfono específico. Los Canales lógicos del SPACH son:

- El Canal de servicio de mensaje corto (SMSCH) que lleva la mensajería de PCS, la activación por encima del aire (OAA) y la programación (P) (se lleva información de OAA/ P) de PCS sobre los Canales lógicos a 800 MHz y 1900 MHz.
- El Canal de Localización (PCH) que lleva la localización del sistema al teléfono.
- El Canal de Respuesta de Acceso (ARCH) que proporciona la contestación del sistema para monitorear y preguntar sobre la información de administración.

Tabla 2.4.2 Descripción de Los Canales Lógicos.

Canal Lógico	Descripción
BCCH (Canal de la Transmisión)	Éste es un Canal multiplexado (downlink) comprendido por: el F-BCCH Canal rápido de transmisión, y el E-BCCH— Canal extendido de transmisión.
SPACH (SMS localización de mensajería punto-a-punto, y Canal de Respuesta de acceso)	Éste es un Canal multiplexado (downlink) comprendido por: el SMSCH canal de mensajería SMS punto a punto, el PCH canal de localización y el ARCH canal de Respuesta de acceso.
RACH (Canal de Acceso	Este es un solo canal (uplink) que contiene a

Aleatorio)	todas las ranuras de tiempo usadas para el acceso del sistema.
SCF (Canal de retroalimentación Compartido)	Se usan los campos del SCF (downlink) para mantener un mecanismo de colisión-prevencción del uplink.

Descripción de los Canales lógicos.

BCCH (Canal de la Transmisión): este es un Canal multiplexado para el downlink, comprendido por: el F-BCCH Canal rápido de transmisión, y el E-BCCH Canal extendido de transmisión.

SPACH (SMS localización de mensajería punto-a-punto, y Canal de Respuesta de acceso): este es un Canal multiplexado para el downlink, comprendido por: el SMSCH canal de localización de mensajería SMS punto a punto, el PCH canal de localización y el ARCH Canal de Respuesta de Acceso.

RACH (Canal de Acceso Aleatorio): Este es un solo canal uplink que contiene a todas las ranuras de tiempo utilizadas para el acceso del sistema.

SCF (Canal de retroalimentación Compartido): los campos de SCF se utilizan en el downlink para mantener un mecanismo de Colisión- Prevención del uplink.

2.4.6. Modo de dormido y Estado de Tiempo de espera.

EL PCS utiliza el Canal de mando digital para proporcionar un modo de sueño (dormido) durante el cual los teléfonos pueden apagar mucha de su circuitería hasta que ellos necesiten ser activados, en los intervalos predeterminados, para recibir la mensajería desde el sistema. Esta característica incremento grandemente la vida de la batería, lo que aumento el tiempo de reserva de los teléfonos. El tiempo de espera se refiere al tiempo en que un teléfono inalámbrico permanece ocioso; es decir, el teléfono esta encendido, pero ninguna llamada está mandándose o recibiendo.

Principio de operación de los Modos (dormido y tiempo de espera).

Un teléfono ocioso "permanece" en el DCCH. El teléfono chequea por llamadas entrantes después de unos cuantos milisegundos y entonces vuelve a entrar al modo de sueño (dormido). Esto difiere de usar el teléfono con un Canal de mando analógico (ACC), ya que el teléfono ocioso constantemente debe supervisar el Canal de mando, desgastándose la batería.

Los mensajes del sistema recibidos por el teléfono pueden ser de localización (para la voz o la mensajería de PCS) o mensajes de la transmisión (por ejemplo, poner al día sobre los cambios de célula o la lista de la células vecinas) llevados por el downlink del DCCH. El teléfono necesita decodificar la información del downlink en intervalos para determinar las ranuras de localización o las ranuras de transmisión si la información de transmisión cambia. De esta manera, el teléfono ha extendido el periodo de tiempo en el que puede apagar alguna de su circuitería y quedar en el modo "dormido" entre las oportunidades de localización.

Consumo actual y Periodo de Sueño.

La Figura 2.4.5 muestra el Canal de mando analógico (ACC) contra el consumo de la batería de un DCCH (canal de mando digital) e indica los periodos del modo dormido del teléfono en el DCCH. El tiempo de trabajo del DCCH en el dibujo es representativo de las ranuras de localización predeterminadas.

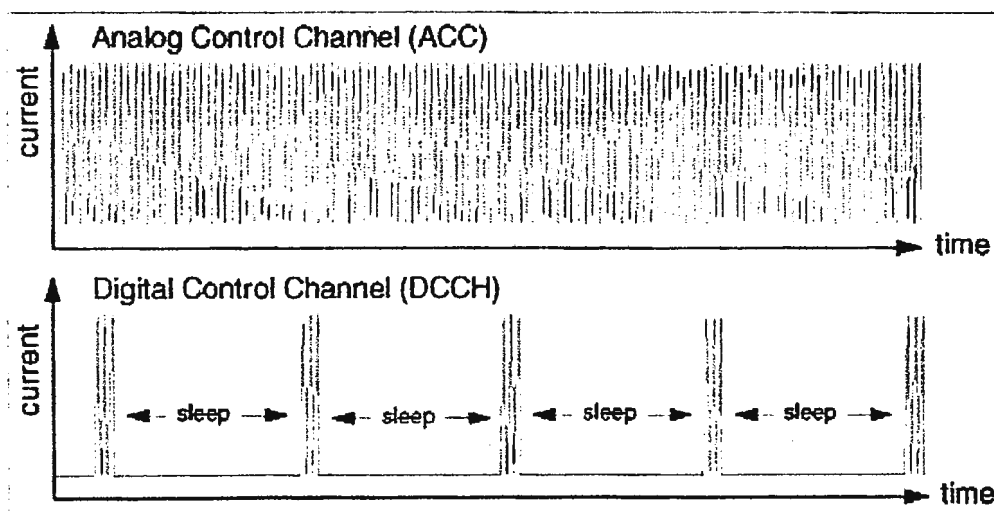


Figura 2.4.5. Consumo actual y período de sueño.

2.4.7. Mensajería PCS.

La mensajería de PCS es una característica del servicio de mensaje corto digital (SMS) que permite a un teléfono inalámbrico recibir las localizaciones numéricas y los mensajes de texto cortos. Esto permite a un dispositivo hacer el trabajo de radiolocalizador y teléfono. Los usuarios pueden recibir mensajes desplegados en el teléfono desde una variedad de fuentes: computadoras, teléfonos, e-mail, correo de la voz, y expedición del texto (los operadores toman los mensajes a través de un teléfono normal y le envían los mensajes de texto al teléfono PCS).

PCS utiliza los canales de Mando (DCCH) y los Canales de tráfico digitales para entregar los mensajes alfanuméricos hacia y desde el teléfono inalámbrico. Los mensajes se envían y se reciben a través de un centro de mensajes que representa a un nodo en la red inteligente inalámbrica. Los mensajes contienen una variedad de atributos que controlan su entrega, almacenamiento, y conducta de despliegue.

Arquitectura del mensaje PCS.

Cada red hace que el mensaje de PCS contenga tres elementos básicos:

- Información de direccionamiento: que dice al sistema a que teléfono el mensaje será entregado.
- Texto alfanumérico: que son los caracteres que constituyen el mensaje de texto real.
- Atributos del mensaje: que dice al teléfono cómo manejar y desplegar el mensaje cuando se recibe.

Tipos de mensajes en PCS.

La mensajería de PCS puede entregar: mensajes de retorno de llamada numéricos de un mensaje telefónico y alfanuméricos enviados a través de un módem y/ o computadora. Los ejemplos de mensajería de PCS incluyen localización y notificación de nuevos mensajes de voz y mensajes de correo

electrónico (e-mail). Mensajes de hasta 239 caracteres pueden enviarse por encima de la interfase aérea.

Principio de operación de la Mensajería PCS.

La mensajería de PCS utiliza una terminal de localización dedicada y especializada. Cuando la red recibe un mensaje de PCS, localiza el teléfono designado y entrega el mensaje. El teléfono notifica al usuario con un ícono del mensaje, un pitido, o ambos. El mensaje puede desplegarse entonces y puede ser leído. Si los usuarios dejan un área de mensajería PCS, la red guarda cualquier mensaje hasta que ellos vuelvan. La red intentará entregar un mensaje repetidamente hasta que el teléfono pueda recibirlo.

Generación del mensaje en PCS.

Las siguientes alternativas pueden utilizarse para la generación de mensajes PCS:

- Conectando una red de computadoras con terminales de localización.
- Unidades de Contestación de voz.
- Servicios de despachamiento de texto.
- Marcación a través de módem.
- Correos Electrónicos (e-mail).
- Fuentes de información de datos.
- Sistemas de correo de voz.

La Figura 2.4.6. muestra un esquema de servicio de mensajería PCS en el que el mensaje se genera en una PC (computadora personal) y se envía al teléfono del destinatario del mensaje. Los despliegues en la pantalla del teléfono difieren dependiendo del modelo y fabricante de teléfonos, así como la muestra del número de mensajes nuevos.

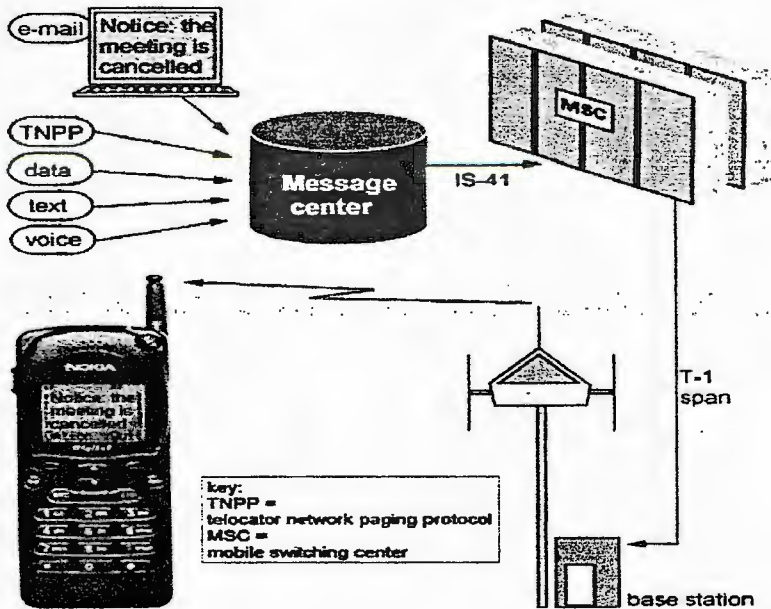


Figura 2.4.6. Esquema de mensajería de tele - servicio.

Entrega del mensaje PCS.

La mensajería de PCS se diseña para operar en situaciones prácticas y cotidianas.

Power on (encendido) — Si el teléfono está activo en una conversación, el mensaje está disponible inmediatamente como un radiolocalizador (vipper).

Teléfono Activo — si el teléfono está comprometido en una conversación de voz, la red entrega el mensaje usando el mismo canal digital de tráfico telefónico que está siendo utilizado para la conversación.

Power off (apagado) — Si el teléfono está apagado, o el teléfono está fuera de un área de servicio, el centro de mensajería de la red guarda el mensaje para entregarlo más tarde. En cuanto el teléfono se encienda, los mensajes se entregan. Estos mensajes no se pierden si el teléfono está apagado o fuera del área de servicio, o en una área de poca recepción.

Correo de voz — Cuando una llamada alcanza el correo de voz de un usuario, el sistema proporciona la opción para enviar un mensaje de retorno de llamada numérico al teléfono o envía un mensaje alfanumérico que utiliza software de Llamada de Mensaje especial.

Transferencia (Roaming) — Si el usuario pasa a un área que no soporta la mensajería de PCS, el centro de mensajería guardará el mensaje y lo entregará cuando el teléfono vuelva a entrar a una área que soporte el PCS.

2.4.8. Relaciones jerárquicas de las Células.

Los sitios de célula que han existido tradicionalmente se conocen como macroceldas, ubicadas en torres que cubren áreas de hasta varias millas de diámetro. Las macroceldas son células típicamente públicas, sirviendo a todos los usuarios de teléfonos inalámbricos. El IS-136 DCCCH de la tecnología TDMA posibilita el uso de células mucho más pequeñas llamadas microceldas. Las microceldas proporcionan servicio personalizado dentro de las macroceldas existentes. Las microceldas proporcionan típicamente desde la oficina de servicios inalámbricos (WOS) las características a los teléfonos específicos dentro de un edificio privado o un ambiente abierto.

Cobertura de la jerarquía de Células.

El fondo combinado de macroceldas y microceldas se llama cobertura de la jerarquía de células, con las microceldas se crea un segundo nivel de fondo bajo el nivel existente. Aunque las macroceldas son normalmente públicas y las microceldas son normalmente privadas, éstas pueden invertir papeles.

Por ejemplo, una macrocelda pública también pueden proporcionar servicio de WOS privados dentro de su área de coberturas. Recíprocamente, una microcelda puede proporcionar cobertura pública para rellenar huecos geográficos debido a la topografía, o reforzar los fondos en áreas de alta densidad.

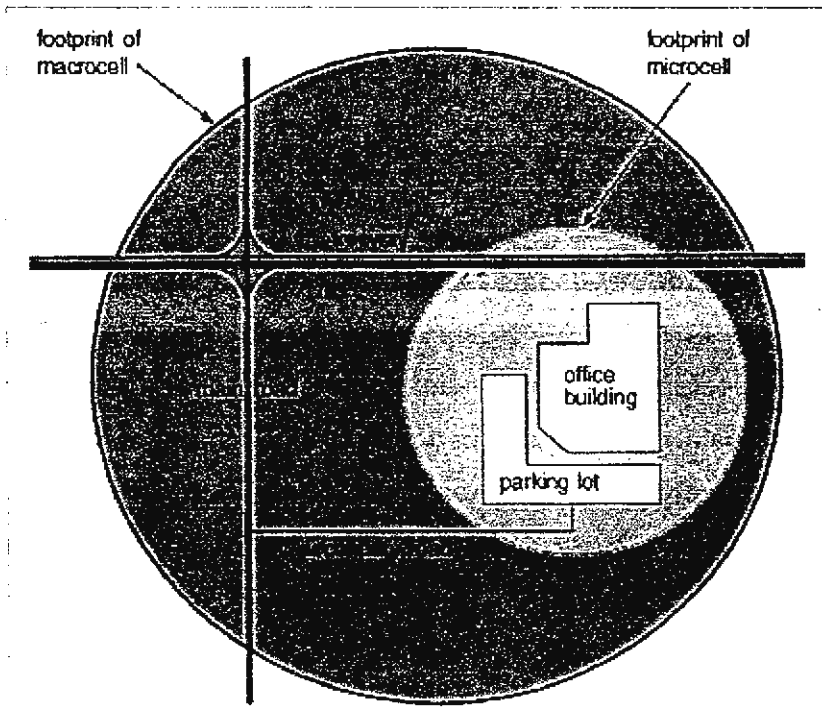


Figura 2.4.7. Esta figura muestra una microcelda del sistema privado dentro de una macrocelda pública.

Estructuras jerárquicas de las Células en PCS.

En un ambiente PCS, un área geográfica podría ser cubierta por una mezcla de macroceldas y microceldas así como también los sistemas públicos y privados. Un teléfono de PCS debe evaluar el Canal del mando más conveniente para proporcionar el servicio, aun cuando la fuerza de la señal de una célula vecina no sea la más alta de las recibidas por el teléfono, pero si de un nivel suficiente para proporcionar un servicio de calidad. PCS utiliza la estructura celular jerárquica (HCS) para lograr con ello identificar las células vecinas como: preferidas, regular, o no preferidas.

Las celdas vecinas preferidas: La celda preferida tiene una alta preferencia, por parte del selector telefónico aun cuando la fuerza de su señal sea menor que la de la celda de servicio. Ya que el criterio principal es que la célula vecina preferida debe tener la fuerza de señal suficiente para proporcionar un servicio de calidad.

La Celda vecina regular. la célula regular tiene la segunda preferencia más alta, por parte del selector telefónico si la fuerza de la señal de la célula es mayor que la célula que esta sirviendo (más un valor del histéresis) y no hay ninguna célula vecina preferida elegible o disponible.

Las celdas vecinas no-preferidos: la célula no preferida tiene la preferencia más básica, por parte del selector telefónico si la fuerza de la señal de la célula que esta sirviendo se hace insuficiente para proporcionar el servicio y la fuerza de la señal vecina no preferida es mayor que la célula que esta sirviendo (más un valor de histéresis). Y no hay más células disponibles (preferida y regular).

Principio de operación de la jerarquía de Células.

Las estructuras de la jerarquía de células habilitan al Canal del mando digital (DCCH) para identificar y designar las células vecinas como preferidas, regular, o no preferidas. Un teléfono PCS utiliza la información jerárquica para re seleccionar una célula vecina en particular por encima de otra célula basándose en el tipo de relación definido entre la célula que se está utilizando (célula que esta sirviendo) y la célula vecina adyacente. La designación de cada célula vecina dicta el tipo de algoritmo telefónico utilizado cuando se considera a la célula como una candidata de reelección.

Por ejemplo, cuando una microcelda está proporcionando capacidad de baja potencia en una área de tráfico densa que también es servida por una macrocelda de alta potencia al mismo tiempo, la estructura jerárquica de células permite al teléfono dar preferencia a la microcelda más débil (para realizar un cambio).

La Figura 2.4.8. muestra la reelección basada en el HCS para la designación del tipo de célula.

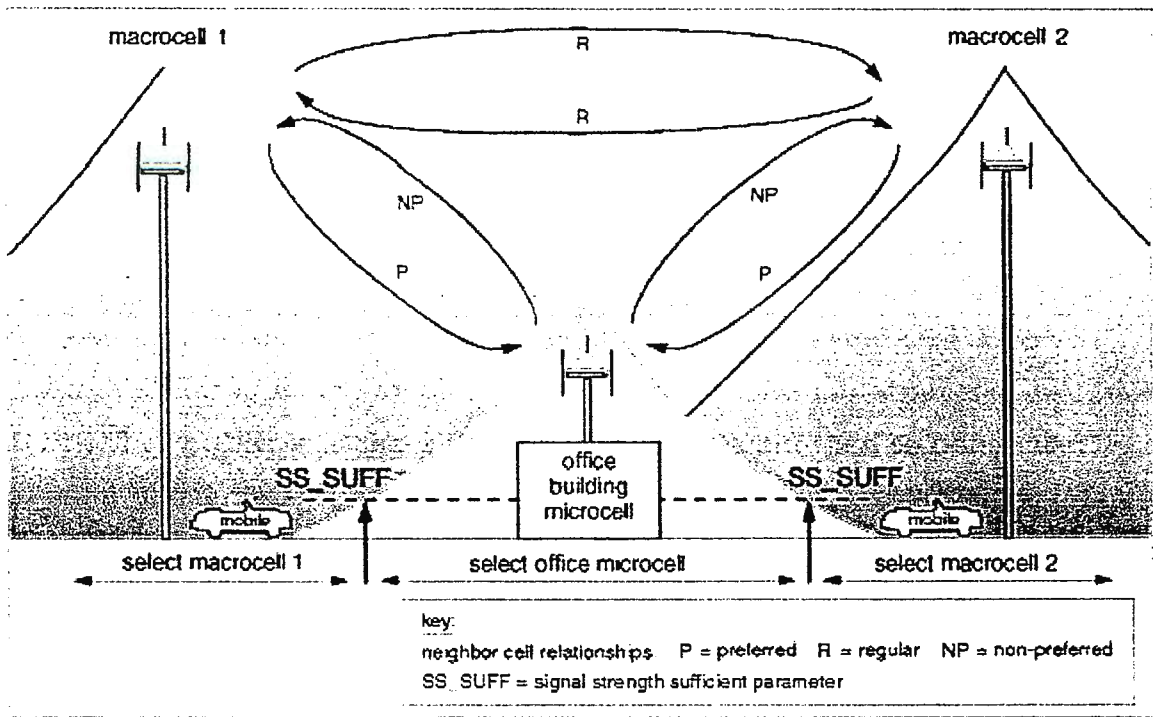


Figura 2.4.8. Reselección basada en el tipo de celda HCS.

2.4.9. Sistemas públicos, Privados, y Residenciales.

El teléfono PCS puede comportarse de diferentes formas según el tipo de sistema que proporcione servicio al usuario. Por ejemplo, teléfonos que proporcionan solamente servicios básicos de reelección o espera en las células privadas, podrían mejorar con el tiempo de servicio. De la misma manera, teléfonos que proporcionan servicio en un sistema residencial, como una estación base personal, podrían mejorar examinando diferentes rutinas para encontrar su sistema local.

Principio de operación de los Sistemas.

PCS utiliza la estructura IS-136 de identidad, para categorizar cada célula en tres tipos: públicos de la red básica, privado o el residencial, y permite al teléfono reaccionar para acceder a las células basado en identificadores de la transmisión de aquellos que están conectados a la red. En otras palabras, el teléfono puede diferenciar y acceder a los diferentes sistemas de la red y distinguir los tipos de servicios disponibles en las células particulares. Porque

una célula puede tener una mezcla de tipos y subtipos de red, y así puede tener una mezcla de servicios.

La Figura 2.4.9. muestra algunas configuraciones de sistema de red.

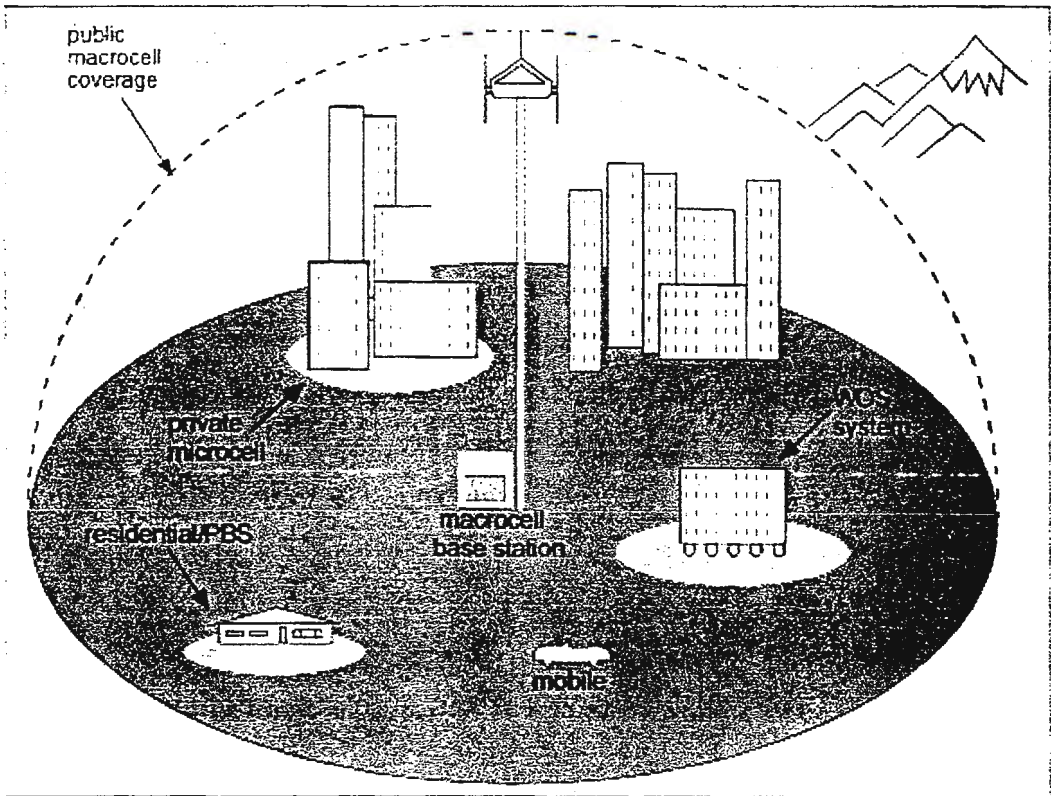


Figura 2.4.9. Configuración del sistema de redes.

2.4.10. Tipos de red.

Las designaciones para los tipos de red principal y los subtipos son:

Pública: la designación pública se refiere a células que proporcionan el mismo servicio celular básico a todos los clientes.

Las células privadas: sólo proporcionan servicios especiales predeterminados privados o inalámbricos a un grupo de clientes desde la Oficina de Servicios, y no soporta el uso público de esa célula. La designación privada se usa para sistemas interiores en edificios de una compañía con características específicas.

Subtipo semi-privado: estas células proporcionan servicio básico a todos los clientes y también proporcionan servicios especiales predeterminados a un grupo de clientes privados. Un ejemplo sería una célula que proporciona servicio inalámbrico a un sistema de oficina en particular así como también a los usuarios públicos.

Las células residenciales: sólo proporcionan servicios especiales a un grupo predefinido de clientes residenciales, y no soporta el uso público de la célula. La estación base personal que permite a un teléfono celular comportarse como un teléfono de casa inalámbrico se clasifica como un sistema residencial.

Subtipo semi-residencial: estas células proporcionan servicio básico a todos los clientes y también proporcionan servicios especiales predefinidos a un grupo de clientes residenciales. Este tipo se utiliza en un barrio donde la macrocelda pública también está proporcionando servicio celular residencial.

Los autónomos: son células que transmiten un DCCH en la misma área geográfica como otros sistemas de DCCH pero no se listan como una célula vecina en la lista de las células vecinas del sistema público. Los ejemplos de sistemas autónomos incluyen la estación base personal y los sistemas privados que no son coordinados con el sistema público. Los teléfonos deben utilizar algoritmos de frecuencia especiales para encontrar células autónomas.

2.4.11. La Identidad dentro del Sistema.

Una estructura de identidad del sistema permite al teléfono PCS distinguir entre los sistemas público, privado, el semi-privado, y las estaciones bases personales. Esta característica del IS-136 facilita la creación de sistemas privados y permite el mando de la conducta telefónica a través de una Oficina de servicio inalámbrico, estación base personal, o un área de servicio residencial. La tecnología IS-136 incluye identificadores del sistema privado para identificar las estaciones base específicas como parte de un sistema privado, e identificar la estructura de jerarquía celular para definir la preferencia de las células.

Principio de operación de la Identidad de un Sistema.

Identidad del sistema privado (PSID): la identidad del sistema privado (PSID) se asigna a un sistema privado específico por el operador del sistema para

identificar a los teléfonos en el área de cobertura del sistema. La PSID es transmitida para que el teléfono pueda determinar si tiene servicios especiales de una célula particular cuando se re selecciona un Canal de mando digital.

La PSID puede asignarse en una estación base sector por sector dentro de una célula para que le permita definir áreas de servicio más pequeñas. Alternativamente, muchas células, así como los sistemas, podrían transmitir el mismo PSID para crear geográficamente un sistema privado virtual más grande. Los teléfonos reconocen la PSID y notifican al sistema, así pueden activar su situación ID (identificación) para informar a los usuarios que ellos han entrado en el sistema privado.

Un solo DCCH puede transmitir hasta 16 PSID, permitiendo el soporte de hasta 16 sistemas privados diferentes en un DCCH.

Localización ID.

Todo los teléfonos PCS despliegan el nombre del portador inalámbrico que proporciona el servicio. Si el teléfono también tiene un fondo de la Oficina de servicio inalámbrico, la característica del ID puede desplegar el nombre de la compañía (como se muestra en la Figura 2.4.10.) o un estandarte del Sistema particular para informar a los subscriptores que ellos han entrado en su sistema privado. Esto puede ser importante cuando exista una diferencia en la facturación del servicio que deba indicarse al subscriptor. El nombre identificando o la estandarte es removido del despliegue cuando el subscriptor deja la cobertura de la Oficina de servicio inalámbrico. Un no subscriptor que entra en un área de servicio WOS continuará teniendo sólo el nombre del portador inalámbrico desplegado.

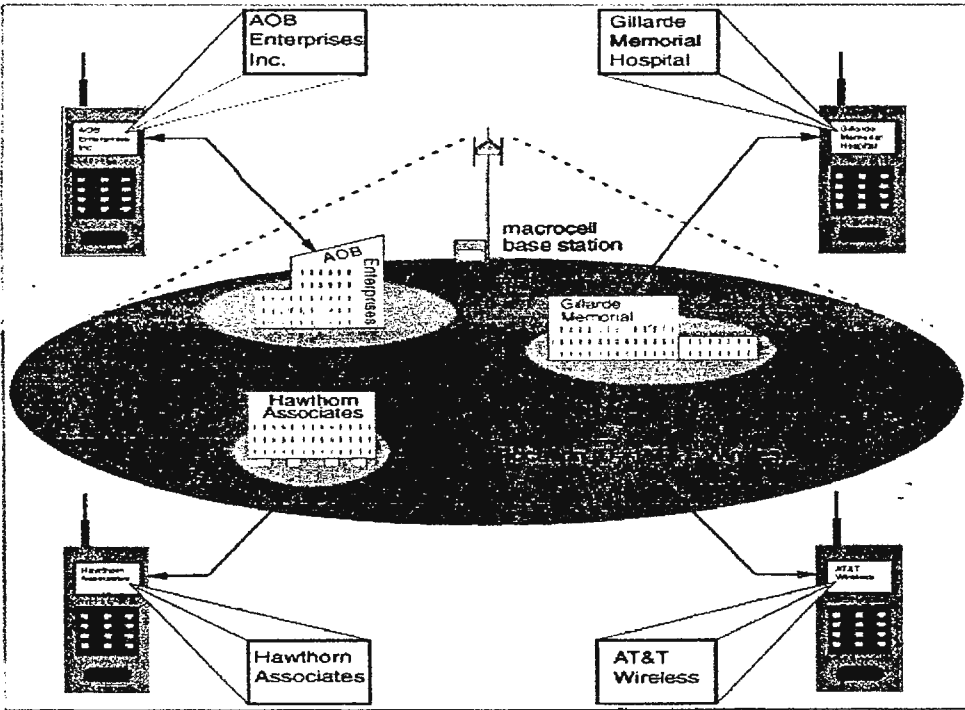


Figura 2.4.10. Identificadores del sistema y localización ID.

CAPITULO 3

ACCESO MULTIPLE POR DIVISIÓN DE TIEMPO (TDMA).

3.1 Aspectos Generales de la Tecnología.

Definición

El Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA) es una tecnología de transmisión digital que permite el acceso a un número de usuarios a un canal de radio frecuencia sin interferencia, asignándoles ranuras de tiempo únicas a cada usuario dentro de cada canal. El esquema de transmisión digital TDMA multiplexa las señales dentro de un solo canal. El estándar actual para sistemas celulares TDMA divide un solo canal en seis ranuras de tiempo, en donde cada señal utiliza dos ranuras, proporcionando una ganancia de 3:1 en la capacidad en comparación con los sistemas AMPS. A cada usuario se le asigna una ranura de tiempo específica para la transmisión.

Apreciación global

La industria inalámbrica comenzó a explorar convirtiendo la red analógica existente a digital, como un medio para mejorar la capacidad a finales de los años ochenta. En 1989, la Asociación de Industria de Telecomunicaciones Celular (CTIA) escogió el sistema TDMA por encima del sistema de Ancho de Banda para FDMA de Motorola (hoy conocido como NAMPS), como una tecnología de opción para la existencia de los mercados celulares en los 800 MHz y para que pudiera surgir el mercado celular en los 1900 MHz. Con la creciente competición de tecnología realizada por Qualcomm a favor de CDMA y de del estándar del GSM Europeo, el CTIA decidió permitir a las empresas hacer su propia selección de tecnología.

Los dos sistemas principales (en competencia), que dividieron el espacio de radio frecuencia (RF) son: TDMA y el CDMA (Acceso Múltiple por división de Tiempo). CDMA es una tecnología de espectro disperso que permite el uso de múltiples frecuencias simultáneamente. CDMA codifica cada paquete digital que envía con una única clave. Un receptor de CDMA sólo responde a esa clave o código y puede escoger y demodular la señal asociada a dicho código.

Debido a su adopción por el sistema global Europeo para comunicaciones móviles (GSM), el Sistema Celular Digital Japonés (JDC), y el Sistema Celular

Digital Norteamericano (NADC), TDMA y sus variantes son actualmente la tecnología de opción a lo largo del mundo. Sin embargo, durante los últimos años, un debate ha convulsionado a la comunidad inalámbrica respecto a los méritos respectivos de TDMA y CDMA.

El sistema TDMA se diseñó para ser utilizado en un rango de ambientes y situaciones, desde el uso portátil en una oficina en el centro de la ciudad hasta un usuario móvil que viaja a alta velocidad en la autopista. El sistema TDMA también soporta una variedad de servicios para el usuario final, tal como la voz, los datos, el envío de facsímiles y el servicio de mensajes cortos. TDMA ofrece una interfase aérea flexible, proporcionando un alto desempeño con respecto a la capacidad, cobertura, el soporte ilimitado de movilidad y la capacidad de manejar diferentes tipos de necesidades del usuario.

3.1.1. Cómo Trabaja TDMA.

TDMA cuenta con el hecho de que la señal de audio se ha digitalizado; es decir, es dividida en varios paquetes de milisegundos prolongados. Le asigna a la señal de audio un solo canal de frecuencia durante un corto tiempo y luego se mueve a otro canal. Las muestras digitales de un solo transmisor ocupan ranuras de tiempo diferentes en varias bandas al mismo tiempo, como se muestra en la Figura 3.1.1.

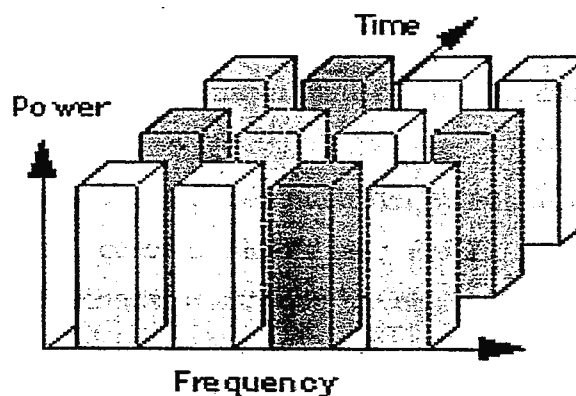


Figura 3.1.1. Distribución de los canales TDMA en el tiempo.

La técnica de acceso usada en TDMA, posee tres usuarios que comparten una señal de frecuencia de 30 kHz. TDMA es también, la técnica de acceso usada en el estándar digital europeo GSM, y en el estándar digital japonés JDC. La razón para escoger TDMA para todos estos estándares, es que ésta posee algunas características imprescindibles para el funcionamiento de un sistema celular avanzado o un entorno de PCS. Actualmente TDMA es una técnica aprovechable y demostrada en operaciones comerciales y en muchos otros sistemas.

Para ilustrar el proceso anterior, considere la Figura 3.1.2., la cual muestra cuatro diferentes conversaciones ocurriendo simultáneamente.

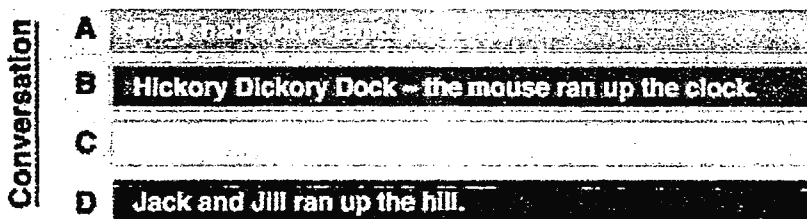


Figura 3.1.2. Cuatro Conversaciones - Cuatro Canales.

Un solo canal puede transportar las cuatro conversaciones, si cada conversación es dividida en fragmentos relativamente cortos, se asigna una ranura de tiempo, y se transmite en bloques de tiempo sincronizados como en la Figura 3.1.3. Después la conversación en cuatro ranuras de tiempo es transmitida, y el proceso se repite.



Figura 3.1.3. Cuatro Conversaciones en un Canal.

Eficazmente, los estándares IS-54 e IS-136 los cuales son aplicaciones de TDMA, triplicaron la capacidad de frecuencias celulares dividiendo un canal de 30 kHz en tres ranuras de tiempo, permitiendo a tres usuarios diferentes ocupar un solo canal, al mismo tiempo. Actualmente, los sistemas permiten o tienen la capacidad para seis ranuras de tiempo. Con la utilización de la jerarquía de

células, antenas inteligentes, y la asignación adaptable del canal, la capacidad podrá acercarse a 40 veces la capacidad analógica.

3.1.2. Avances en TDMA.

TDMA mejoró substancialmente la eficacia del sistema celular analógico. Sin embargo, como FDMA (Acceso Múltiple Por División de Frecuencia), tiene la debilidad de desperdiciar el ancho de banda: de tal forma que la ranura de tiempo era asignada a una conversación específica aún si alguien estaba hablando en ese momento o no. Los Sistemas de Redes Hughes reforzaron la versión de TDMA (ETDMA) que intenta corregir ese problema. En lugar de esperar para determinar si un suscriptor está transmitiendo, ETDMA asigna a los suscriptores dinámicamente. ETDMA envía datos a través de las pausas que la conversación normal contiene. Cuando los suscriptores tienen algo que transmitir, el sistema pone un bit de información en la cola del transponedor (cola de datos ordenada, a transmitir por el suscriptor). El sistema examina el transponedor del suscriptor, y notifica que el usuario tiene algo que transmitir, y así le asigna un ancho de banda de acuerdo a su necesidad. Si un suscriptor no tiene nada que transmitir, la cola de datos a transmitir simplemente va al próximo suscriptor. Así que, en lugar de asignarse arbitrariamente el tiempo se asigna según la necesidad. Si una de las personas en una conversación telefónica no habla, esta técnica puede doblar casi la eficacia espectral de TDMA, haciéndole casi 10 veces más eficaz que la transmisión analógica.

3.1.3. Las Ventajas de TDMA.

Además de aumentar la eficacia de transmisión, TDMA ofrece varias otras ventajas por encima de tecnologías celulares estándares. Por encima de todo, puede adaptarse fácilmente a la transmisión de datos así como a la comunicación de la voz. TDMA ofrece la habilidad de llevar datos a velocidades de 64 kbps a 120 Mbps (extensible en múltiplos de 64 kbps). Esto permite a los operadores ofrecer un servicio de comunicación personal (PCS), incluso el servicio de facsímil, y el servicio de mensajes cortos así como las aplicaciones de multimedia y videoconferencias.

Diferente de las técnicas del espectro disperso, las cuales pueden padecer interferencia entre los usuarios quienes están en la misma banda de frecuencia transmitiendo al mismo tiempo; la tecnología TDMA, que separa a los usuarios en tiempo, asegura que ellos no experimentarán interferencia de otras transmisiones simultáneas.

TDMA también le proporciona al usuario la extensión de la vida de la batería y en la conversación la unidad móvil está transmitiendo sólo una porción del tiempo (de 1/3 hasta de 1/10), es decir, del tiempo que dura la conversación.

Las instalaciones de TDMA ofrecen ahorros económicos sustanciales en equipo de estación base, espacio, mantenimiento, y un factor importante como el crecimiento del tamaño de las células.

TDMA es la tecnología más rentable y efectiva para actualizar un sistema analógico, ya existente, a digital.

TDMA es la única tecnología que ofrece una utilización eficaz de la jerarquía en la estructura celular, ofreciendo: pico, micro, y macrocélulas. La jerarquía de la estructura celular permite proteger al sistema, ajustándolo para soportar un tráfico específico y prestar servicios específicos requeridos.

Debido a su inherente compatibilidad con los sistemas análogos FDMA, TDMA permite compatibilidad de servicio con el uso de microteléfonos de modo dual.

La banda dual de 800/1900 MHz, ofrece las siguientes ventajas competitivas:

- Servicios y aplicaciones idénticas son suministradas a suscriptores operando en ambas bandas.
- Usando el modo dual, teléfonos duales, los suscriptores de un canal TDMA de 1900 MHz pueden cambiar de celda (Hand off o transferencia) hacia o desde un canal TDMA de 800 MHz, así como hacia o desde un canal análogo AMPS.

3.1.4. Las Desventajas de TDMA.

Una de las desventajas de los sistemas TDMA es que cada usuario tiene una ranura de tiempo predefinida. De esta manera, si todas las ranuras de tiempo en la otra célula están siendo ocupadas, la llamada puede ser desconectada cuando el usuario cambie a dicha célula. Igualmente, si todas las ranuras de tiempo en la célula en la cual un usuario entra, ya están ocupadas, el usuario no recibirá el tono de marcado.

Otro problema con el sistema TDMA es que está sujeto a la distorsión por multi trayectoria. Una señal que viene desde una antena a un microteléfono podría venir de cualquier otra dirección. Esto podría ser causado por el choque de la señal en diferentes edificios antes de llegar al subscriptor (Ver Figura 3.1.4.), lo cual puede causar interferencia.

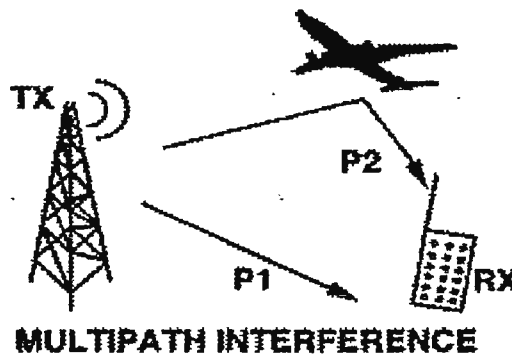


Figura 3.1.4. Interferencia de Multi trayectoria.

Una forma de evitar esta interferencia es poner un límite de tiempo en el sistema. Este sistema será diseñado para recibir, tratar, y procesar una señal dentro de un cierto límite de tiempo. Después que el límite de tiempo haya expirado, el sistema ignorará las señales. La susceptibilidad del sistema depende en como el receptor procesa las frecuencias de multi trayectoria. Incluso en milésimas de segundos, estas señales de multi trayectoria pueden causar problemas.

Todas las arquitecturas celulares, basadas en macrocélulas o microcélulas, tiene un conjunto único de problemas de propagación. Las macrocélulas son

particularmente afectadas por la señal de multi trayectoria “perdida” (loss), fenómeno que normalmente ocurre en los bordes de la célula donde la reflexión y refracción pueden debilitar o incluso, pueden cancelar una señal.

ASPECTOS ESPECIFICOS DE UN SISTEMA PARTICULAR DE TDMA

3.2. Características Básicas del Sistema TDMA.

3.2.1. Radio Frecuencia (RF) y Modulación.

En la capa física, la arquitectura del sistema TDMA es completamente consistente con el estándar actual de enlace digital VHF (VDL, VHF Digital Link) utilizado en la Organización de Aviación Civil Internacional (ICAO). Esto ofrece el beneficio de: primero, simplificar la estandarización del sistema TDMA que parte de la existencia del estándar actualmente aplicado; y segundo la de proveer un camino por el cual la implementación inicial de la calidad de voz pueda ser mejorada proveyendo enlaces de comunicación de datos integrados.

Las características relevantes de la capa física del sistema TDMA se describen a continuación:

- Banda de Frecuencia: 118-137 MHz (Dependiendo del estándar utilizado para TDMA)
- Canalización de Radio Frecuencia (RF): 25 kHz centrados
- Estructura de Canal: Frecuencia Simple (para enlaces de comunicación uplink y downlink)
- Modulación: Digital, con detección no coherente (3 bits por símbolo)
- Velocidad de canal : 31.5 kilobits por segundo (kbps) (10.5 k símbolos/segundos)
- Modos de Operación: modo dual compatible, con 25 kHz DSBAM (Modulación en Amplitud de Banda de Doble lado).

3.2.2. Estructuras de Tiempo.

Todas las operaciones en el sistema TDMA están basadas en tramas TDMA de 120 milisegundos (ms). Cada trama TDMA contiene cuatro ranuras de tiempo (cada una de 30 ms). Cada una de estas ranuras forman la base para un circuito de doble vía Aéreo/ Terreno (A/ G) independiente, capaz de soportar en tiempo real, aplicaciones de enlace de doble vía. Cada ranura de tiempo contiene ráfagas para el acceso independiente de dos subcanales (Figura 3.2.1. Jerarquía de Tiempo en el Sistema TDMA).

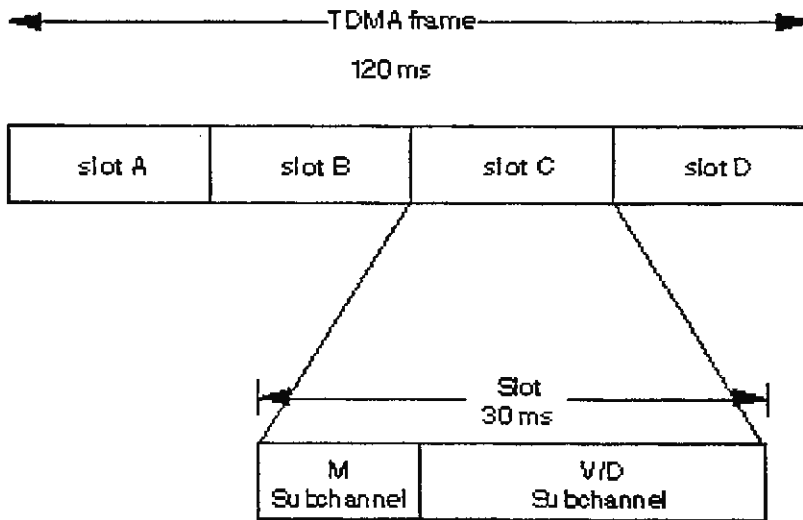


Figura 3.2.1. Jerarquía de Tiempo en el Sistema TDMA.

30 ms slot at 31.5 kbps (10.5 K symbol/sec)

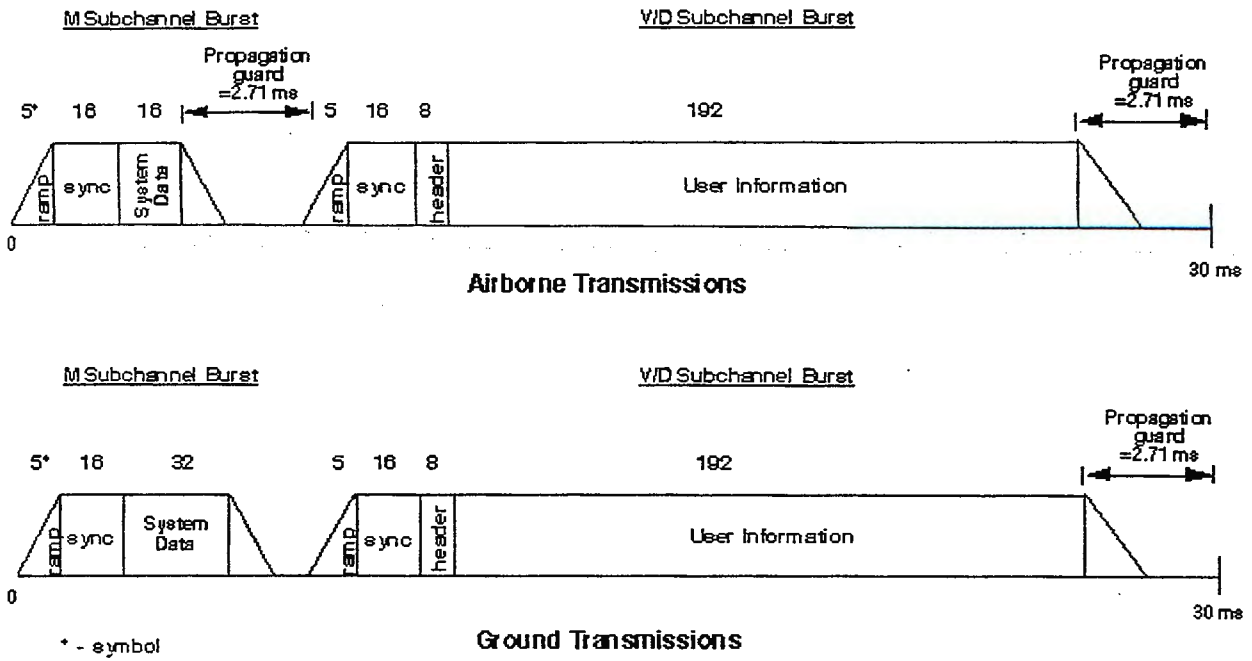


Figura 3.2.2. Requerimientos de Tiempo para cada Ranura de 30ms.

El primero de estos subcanales, es un subcanal administrador (M), que lleva la información del sistema para señalizar e inicializar las funciones del circuito. El segundo, es el subcanal Voz/ Datos (V/ D) que lleva la información del usuario. A continuación se describen los componentes y la distribución de tiempo requerida por cada una de las ráfagas de los subcanales. Ver la Figura 3.2.2., para una descripción de los requerimientos de tiempo para cada ranura de tiempo de 30 ms.

3.2.2.1. Subcanal Administrador (M).

El formato del subcanal administrador varía dependiendo si la ráfaga es uplink (transmisión del móvil a la estación base) o un downlink (transmisión de la estación base a la radio móvil). En cualquiera de los casos, hay cuatro componentes que pueden ser requeridos como se indica a continuación:

- Rampa de tiempo: Esta concede 5 símbolos por período.
- Secuencia de Sincronización: Esta concede 16 símbolos.
- Datos del Sistema: Una proporción media del código de corrección de error es empleado en bloques de 24 bits. La ráfaga uplink contiene cuatro palabras de código de 24 bits por una asignación de 32 símbolos; el downlink contiene dos palabras de código de 24 bits para una asignación de 16 símbolos.
- Período de Guarda de Propagación: El tiempo disponible por este componente determina el rango de operación máxima desde el sitio del enlace, y su rango máximo es dictaminado por la transmisión downlink. Más allá de este rango, el retraso en la propagación puede resultar en un traslape entre las ráfagas de los subcanales resultando en una interferencia potencial. Para el rango de configuración estándar, el tiempo permitido es de 2.7 ms el cual soporta distancias arriba de 215 millas náuticas (nmi) desde el lugar de transmisión. Este rango máximo de 215 nmi provee algunos márgenes en comparación con los rangos de requerimiento establecidos en 200 nmi.

3.2.2.2. Subcanal Voz/ Datos (V/ D).

El formato del Subcanal V/ D es consistente entre las transmisiones uplink y downlink. En ese caso, existen cinco componentes que deben ser tomados en consideración (en el tiempo):

- Tiempo de Rampa Alta: Este permite 5 símbolos por período.
- Secuencia de Sincronización: Este permite 16 símbolos.

- Encabezado de campo: El campo esta constituido por una mitad del bloque de corrección de código de 24 bits. Este permite 8 símbolos.
- Información del Usuario: Este representa el flujo de datos del usuario para el tráfico V/ D. Este permite 192 símbolos.
- Tiempo de guarda de propagación: Como en el caso con el subcanal M, el tiempo dado para este componente determina el rango máximo de operación desde la localización de la radio y viene dado por las transmisiones downlink. Más allá de ese rango, el retraso en el viaje de propagación puede resultar en traslape entre las ranuras de tiempo provocando así una interferencia. Para las configuración estándar de rangos, el tiempo permitido es de 2.7 ms el cual soporta distancias de hasta 215 nmi desde la localización de la radio.

Los tiempos de rampa alta y baja de 5 símbolos por período son permitidos para la contención del espectro. Sin embargo, el tiempo de rampa baja no debe de aparecer en la consideración de los tiempos, ya que este puede traslaparse con el tiempo de la rampa alta de la ráfaga siguiente.

3.2.3. Requerimientos de conmutación en el tiempo de Transmisión- Recepción y Recepción-Transmisión.

La estructura de tiempos de TDMA da requerimientos para la parte de hardware de las radios relacionada con el tiempo permitido por el transceptor aéreo para establecer la conmutación en el tiempo de transmisión- recepción y viceversa.

El tiempo para esto debe corresponder con el tiempo de guarda del viaje de propagación. De allí que la conmutación en el tiempo debe de ocurrir en un tiempo de 2.7 ms.

3.2.4. La Flexibilidad en el Sistema TDMA.

Un atributo de la arquitectura del sistema TDMA es la flexibilidad para acomodarse a los rangos requeridos de operación a través del grupo de

configuraciones del sistema predefinidas. Estas configuraciones del sistema proveen la flexibilidad para ajustar la estación terrena a los requerimientos específicos para el rango de operación y la capacidad funcional deseada por los proveedores del servicio. Un sistema de configuración dado es establecido sobre una base fija en la radio terrena y la comunicación con las radios aéreas como una información de inicialización en el enlace uplink del subcanal M. Esto posibilita a las radios aéreas adaptarse a las distintas configuraciones de las radios terrenas de una forma completamente transparente para los usuarios.

3.2.5. Rango de la Radio.

En la consideración de los tiempos, los tiempos de guarda son requeridos para compensar los retrasos en la propagación. De forma que enriquezcan el cambio de la eficiencia y flexibilidad del espectro, las configuraciones de los sistemas soportan los diferentes rangos de operación que hallan sido establecidos. La configuración de rango estándar en TDMA soporta cuatro ranuras de tiempo por trama. Esta configuración soporta distancias de operación hasta de 215 nmi desde la localización de la radio terrena y debe satisfacer los requerimientos de las comunicaciones A/ G. Rangos de configuración de sistemas extendidos de tres ranuras de tiempo se utilizan en los casos donde son requeridos rangos más amplios.

3.2.6. Sostenimiento de las Capacidades Funcionales.

Para un sistema se necesitan definir dos niveles básicos de capacidades funcionales que son:

- Operación de Voz (únicamente): Este nivel permite la obtención inmediata del beneficio de la capacidad máxima del circuito de voz que puede ser incrementado con una inversión mínima de las estructuras terrenas (limitada por la actualización de los sitios de radios terrenas). Con funciones lógicas adicionales a las radios terrenas, las capacidades de señalización deben enfatizarse en un protocolo de acceso de canal que ayude a mitigar los problemas de que el micrófono se quede pegado mientras se habla.

Adicionalmente, la configuración del sistema se ha de definir para soportar la cobertura de dos estaciones base con operaciones diversas.

- Aplicaciones del direccionamiento discreto de V/ D: este es el nivel que debe ser implementado cuando el direccionamiento discreto y el enlace de datos funcional es deseado y puede ser soportado por la infraestructura del control de tráfico aéreo (ATC). En esta configuración, uno o más de las cuatro ranuras de tiempo de 30 ms son reservadas para el tráfico de enlace de los datos. En este nivel, algunas de las configuraciones del sistema existentes soportan varias combinaciones de la capacidad de los enlaces V/ D.

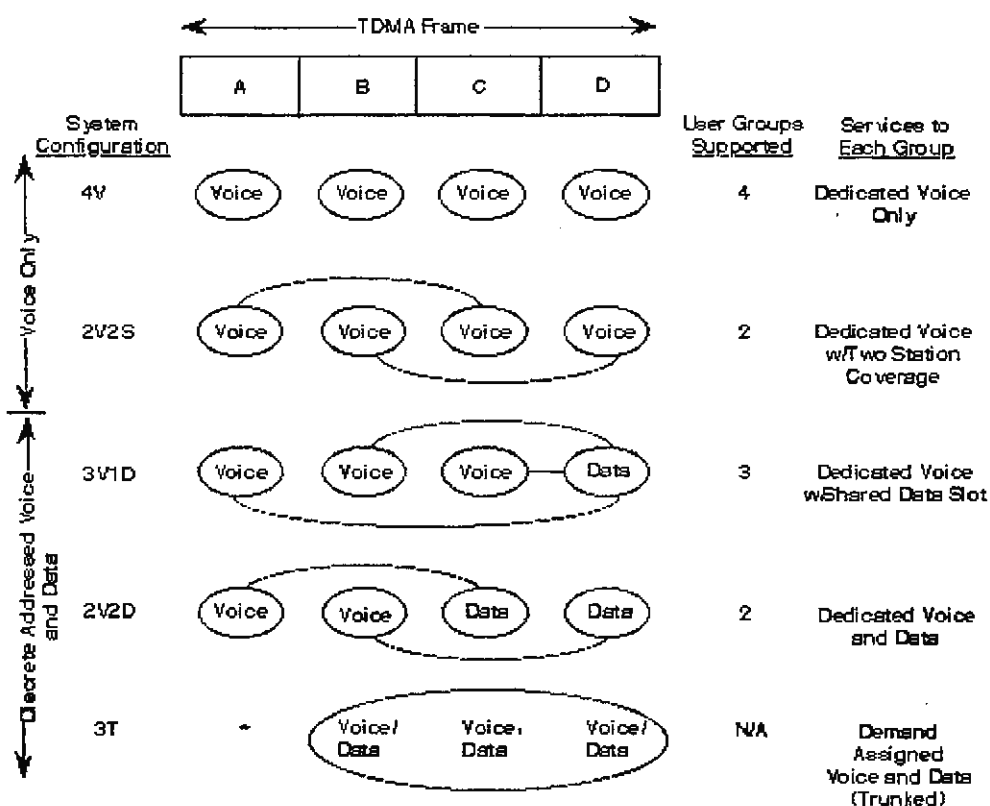
3.3 Configuraciones del Sistema TDMA.

Dentro de la estructura de la trama de 120 ms de TDMA, un conjunto predefinido de configuraciones del sistema es establecido para alcanzar la flexibilidad. Cada configuración de sistema corresponde a una distribución estática específica de la capacidad por cada 25 KHz de frecuencia (por ejemplo una ranura de tiempo individual) para dar seguridad y funciones a los usuarios. En el ambiente ATC, existen distintos grupos de usuarios basados en los controles de posición ATC o sectores. Cada grupo de usuario incluye al usuario terreno (usualmente un controlador de tráfico aéreo) y al cliente aéreo de ese usuario terreno. Un objetivo fundamental del sistema TDMA es el de proveer recursos de circuitos de voz a cada grupo de usuarios sobre una base dedicada mientras simultáneamente provee acceso para el enlace de datos con un solo radio transceptor aéreo.

Adicionalmente, una configuración es definida donde no existe una distribución de recursos estática predeterminada dentro del canal de 25KHz; los recursos de distribución de V / D son hechos estrictamente en base a la demanda. Esta configuración es establecida por aplicaciones que no son ATC y

posiblemente por aplicaciones ATC en un futuro en donde el volumen de tráfico de voz sea reducido significativamente a través del uso de los enlaces de datos.

La configuración del sistema establecida para una radio terrena que se comunica con las radios aéreas a través de un mensaje de inicialización contenido en el subcanal M (uplink). De allí las radios aéreas, censan y se adaptan a la configuración del sistema de las radio terrenas con lo cual las comunicaciones pueden ser establecidas. Esta adaptación a la configuración apropiada del sistema es completamente transparente para los usuarios.



* Slot devoted entirely as M Subchannel

Figura 3.3.1. Configuraciones del Sistema TDMA
(Rango Estándar = 4 ranuras de tiempo por trama).

La Figura 3.3.1., muestra las configuraciones del sistema para un rango estándar de 4 ranuras de tiempo por trama. Existe una configuración similar pero más limitada para el rango extendido de tres ranuras de tiempo por trama. Otras configuraciones de sistema se pueden definir y mantener para cumplir con los requerimientos en caso de ser necesarias.

3.3.1. Configuración de Sistema "4V".

Esta configuración es usada en donde el incremento de la capacidad de los circuitos de voz se requiere, y donde el direccionamiento discreto y los enlaces de datos no son requeridos. Cada uno de cuatro grupos de usuarios provee ranuras de voz dedicadas desde una sola ubicación de radio.

3.3.2. Configuración de Sistema "2V2S".

Esta configuración ha sido establecida primordialmente para ser utilizada donde el incremento de la capacidad de los circuitos de voz es requerida a través de la cobertura de dos estaciones. Este no soporta el direccionamiento discreto y el enlace de datos. Dos grupos de usuarios son distribuidos con ranuras de voz dedicadas junto con dos estaciones de cobertura para cada grupo.

3.3.3. Configuración de Sistema "3V1D".

Esta configuración es utilizada donde el incremento de la capacidad de los circuitos de voz y un direccionamiento discreto limitado de la capacidad de enlace de datos es requerido. Esta configuración soporta tres grupos de usuarios, cada cual con ranuras de voz dedicadas pero con una ranura de datos común.

3.3.4. Configuración de Sistema "2V2D".

Esta configuración es utilizada donde el incremento de la capacidad de los circuitos de voz y el direccionamiento discreto de la capacidad de enlace de datos es requerida. Esta configuración soporta a dos grupos de usuarios, cada uno distribuido con una ranura de tiempo V/ D dedicada.

3.3.5. Configuración de Sistema "3T".

Esta configuración es utilizada donde los límites entre los grupos de usuarios no son requeridos. Esta configuración provee acceso a V/ D con una demanda centralizada de acceso a través de los recursos completos del canal. De allí que esta configuración, provee una eficiencia completa de asignación de ranuras libres (trunking) para establecer la comunicación de 25 KHz. Esta configuración es conocida como "3T" ya que son utilizadas tres ranuras de tiempo en el modo de asignación de ranuras libres donde cada ranura se distribuye dinámicamente para V/ D en la demanda de cualquier usuario del canal. Esta configuración se proyecta primordialmente para ser utilizada en donde los requerimientos de tiempo de acceso de voz no poseen una gran demanda de usuarios.

3.4. Operación de Voz.

3.4.1. Aspectos de Fondo.

Un objetivo de la arquitectura del sistema TDMA es la de proveer un incremento en la capacidad del circuito de voz para encontrar las condiciones necesarias de forma que se acerque a la transparencia de la infraestructura y procedimientos preexistentes para ATC.

3.4.2. Operación del VOCODER.

El rango lento de bits del codificador digital de voz (vocoding) es la clave que habilita a la tecnología para dar una alta eficiencia del espectro por parte de los radios móviles digitales en lo que respecta a la operación de voz. La operación digital de voz en el sistema TDMA esta basada en un rango lento de bits para el codificador de voz (vocoder) que opera a una velocidad de 4.8 kbps. Los codificadores de voz comúnmente utilizados que operan en este rango lo hacen con tramas de voz de 20 o 30 ms. Una trama de voz es la unidad básica de tiempo utilizada por el codificador de voz para procesar el análisis y síntesis de la

conversación del usuario. El análisis es el proceso de convertir una muestra de voz en una representación digital comprimida. La síntesis representa el proceso inverso para recuperar la forma de onda de la voz desde una representación digital comprimida. Mientras el algoritmo exacto del codificador de voz que es utilizado por el sistema TDMA es determinado (TBD), la descripción presentada corresponde a un codificador de voz con una trama de voz de 20 ms.

Sin embargo, la estructura de trama de TDMA se puede acomodar a un codificador de voz con una trama de voz de 30 ms si éste fuera seleccionado.

En el sistema TDMA, el alineamiento en el tiempo de las tramas de voz del codificador se deriva del tiempo de trama de TDMA que es establecido por la radio terrena a través de la ráfaga uplink del subcanal M. Las tramas de voz del codificador es tal que el límite de las tramas TDMA permite alinearse con las tramas de voz. Desde que el codificador de voz operan en un tiempo real de velocidad de 4.8 kbps, el análisis de las tramas de voz de cada 20 ms resulta en una salida digital comprimida de 96 bits. La salida digital comprimida de seis tramas de voz se anexa dentro de cada trama TDMA, así se llena exactamente la porción de la información de usuario (576 bits) de cada ráfaga de subcanal V/ D. La Figura 3.4.1., muestra la relación de tiempos de la trama TDMA para una transmisión downlink.

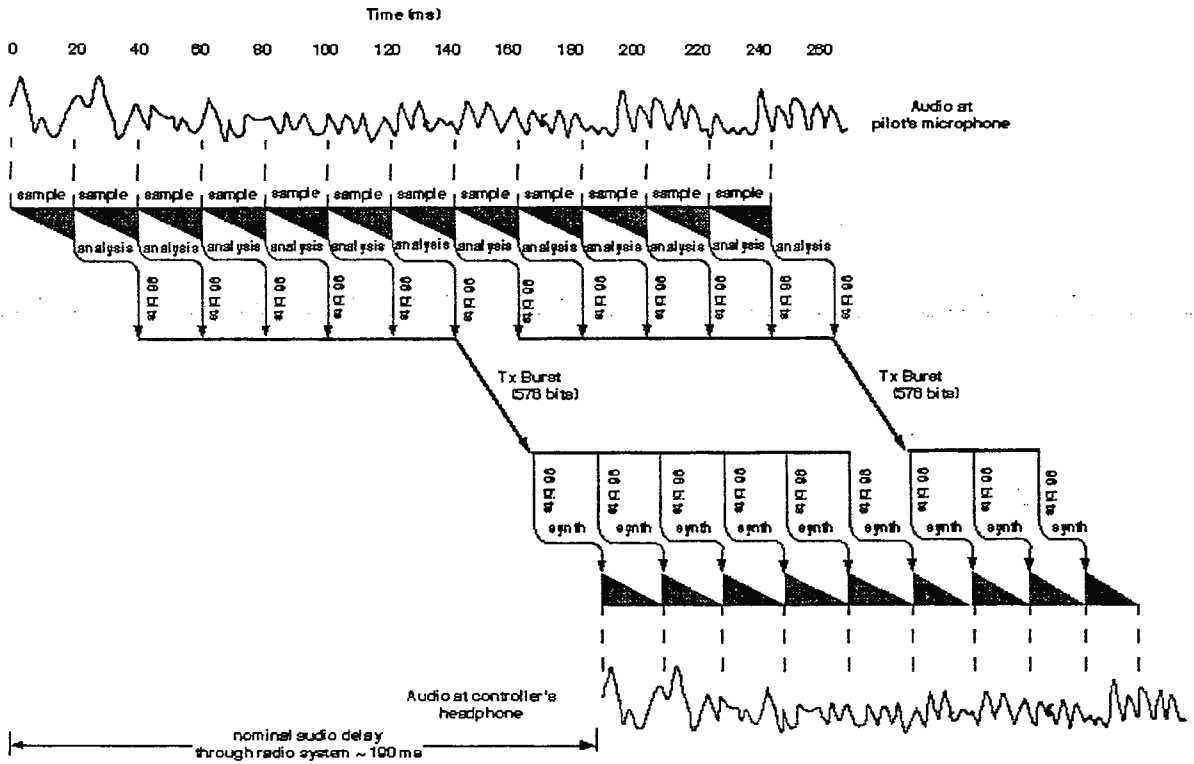


Figura 3.4.1. Operación del VOCODER en un radio enlace TDMA.

La estructura del sistema TDMA también ha sido diseñada para soportar el direccionamiento discreto de enlace V/ D. Como resultado de ello, ciertos elementos de toda la estructura del sistema no son utilizados. Cuando esto ocurre se designa al elemento como no usado (no utilizado).

3.5 Formato de cada Tipo de Ráfaga:

3.5.1. Ráfagas de subcanal que soportan solamente operaciones de voz.

Las ranuras de tiempo que soportan dos formas de circuitos de voz en tiempo real emplean dos tipos de ráfagas de datos, cada una de las cuales soporta a su vez uno de dos subcanales integrados en el circuito de voz A/ G. El primero de ellos es conocido como la ráfaga V/ D o subcanal que lleva la

información del usuario, y el otro es conocido como la ráfaga M o subcanal que lleva los datos del sistema (por ejemplo, la señalización e inicialización del circuito). Cada tipo de ráfaga tienen un formato distinto dependiendo de donde sea utilizado ya sea para un enlace uplink o downlink.

3.5.1.2. Formato de la Ráfaga del Subcanal V/ D.

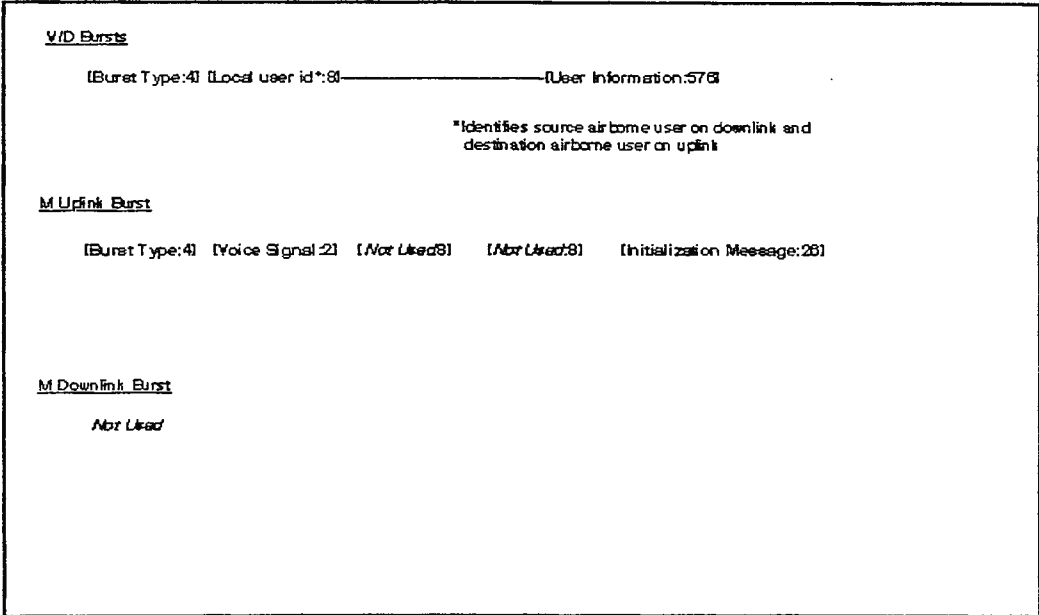


Figura 3.5.1. Campos del Subcanal de Ráfaga (Configuraciones del sistema de Voz Solamente).

La ráfaga del Subcanal V/ D posee una porción de encabezado que contiene dos campos y un tercer campo que lleva la información del usuario (ver la Figura 3.5.1). El encabezado contiene el campo de tipo de ráfaga y el campo de identificación local del usuario (ID). El tercer campo corresponde a la información del usuario. El uso de cada campo en el contexto del subcanal V/ D se explica a continuación:

Tipo de Ráfaga: Este campo es utilizado para permitir al receptor identificar correctamente la ráfaga recibida. Como puede verse en la Figura 3.5.2, el campo contiene tres subcampos de 1 bit más uno libre. Los subcampos arriba/ abajo (*Up/ Down*) son codificados como “abajo” por los transmisores aéreos y como

“arriba” por los transmisores terrenos. El subcampo del subcanal es utilizado para identificar el tipo de ráfaga como M ó V/ D que es codificado siempre como V/ D por ambos transmisores aéreo y terreno. El subcampo V/ D es codificado siempre como “voz” por ambos radios, aéreo y terreno.

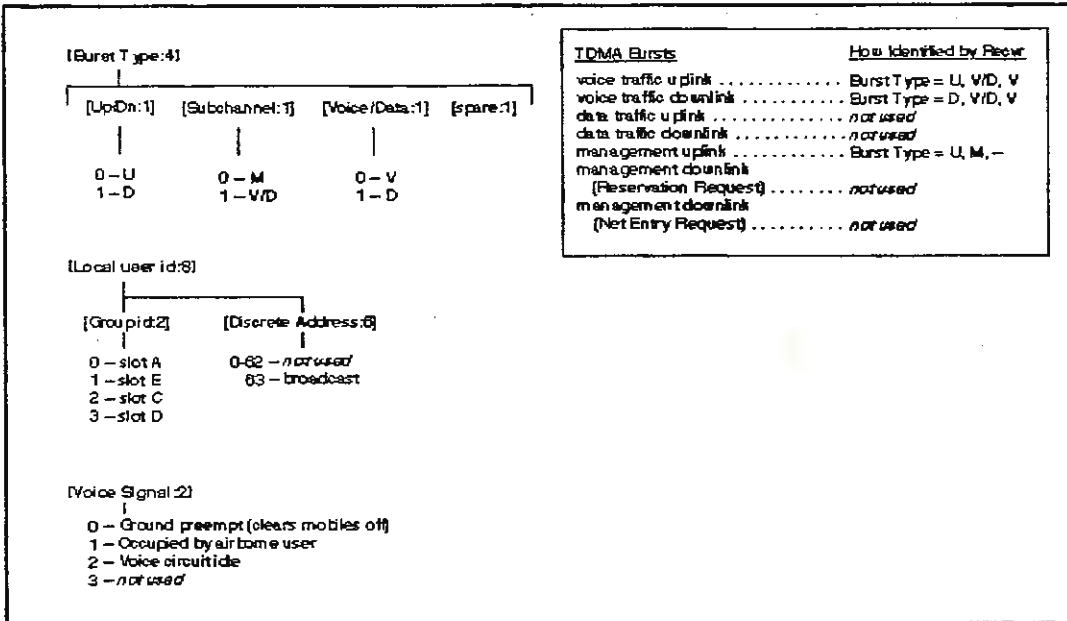


Figura 3.5.2. Tipo de Ráfaga, Identificación Local de Usuario y Campos de Señal de Voz.

Identificación local del Usuario (Id): Este campo es utilizado únicamente para identificar a todos los usuarios en el canal. Como se ve en la Figura 3.5.2, ésta se compone de dos subcampos. El primer subcampo es el grupo ID, utilizado para identificar la ranura de tiempo asignada al usuario. El segundo subcampo es el direccionamiento discreto utilizado para identificar a cada usuario del grupo de usuarios. Este subcampo es utilizado para la identificación de la fuente aérea de usuarios en las transmisiones downlink y para la identificación del destino de cada usuario por parte de la fuente aérea en el uplink. Para las implementaciones únicas de voz, la identificación de grupo (ID) es asignada de forma estática en una ubicación de ranura predeterminada, y el subcampo de

direccionamiento discreto esta siempre colocado en un código de emisión (broadcast).

Información de Usuario: este campo contiene la representación digital comprimida de hasta 120 ms de la conversación del usuario.

La porción del encabezado (Tipo de ráfaga y identificación local del usuario) de la ráfaga del subcanal V/ D es protegida con una proporción media del código de corrección de errores en una sola palabra de código (Golay) que representa un bloque de 24 bits. No existe otra codificación de error más allá que la interna al codificador de voz (por ejemplo, ya esta incluida la velocidad del codificador de voz de 4.8 kbps) utilizada dentro del campo de información de usuario.

3.5.2. Administración del formato de ráfaga del subcanal.

Para las configuraciones del sistema que soportan solo operaciones de voz, únicamente el subcanal M es utilizado. La función básica de la ráfaga M Uplink es la de proveer la referencia de tiempo para la radio aérea. El subcanal M uplink también provee funciones de señalización y de inicialización del circuito. La ráfaga del subcanal M uplink contiene los campos mostrados en la figura anterior (Figura 3.5.2) del formato del subcanal V/ D.

Tipo de Ráfaga: Este campo es utilizado para permitir al receptor identificar adecuadamente la ráfaga recibida. Como se veía en la figura anterior (Figura 3.5.2) del tipo de ráfaga, este campo contiene tres subcampos de 1 bit más uno libre. El subcampo arriba/ abajo (*Up/ Down*) es codificado como "arriba" por el transmisor terreno. El Subcampo del subcanal es siempre codificado como "M" por el transmisor terreno. La codificación del subcampo V/ D no es relevante para la ráfaga del subcanal M.

Señal de Voz: Este campo es utilizado para la señal de las radios aéreas del estado actual del circuito de voz. El grupo de señales que las radios aéreas soporta es el siguiente:

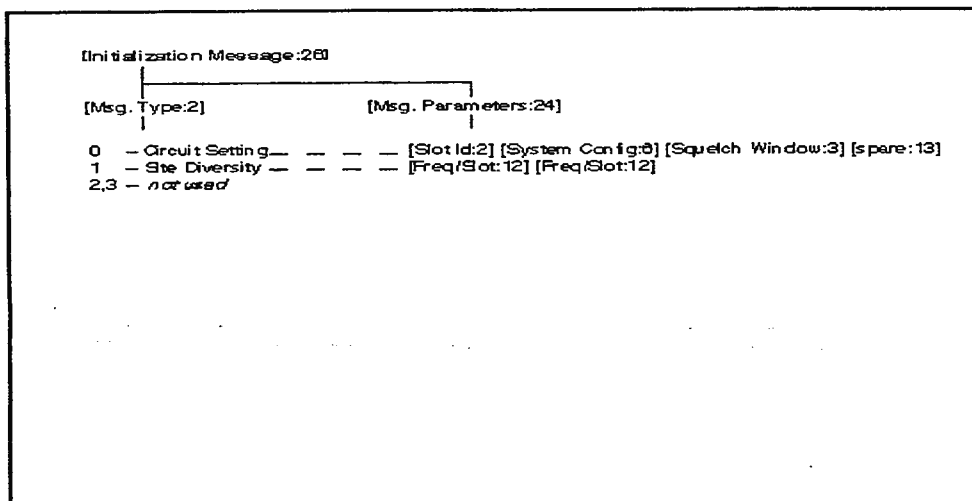
- Apropiación Terrena: esto indica que cualquier radio aérea en el modo de promover conversación ("Push to Talk ", PTT)

descontinúa inmediatamente la transmisión. Esto le da el control al usuario terreno del circuito de voz. La radio terrena puede ser configurada para colocar este bit en la recepción de la señal PTT desde el usuario terreno.

- Ocupación por el usuario aéreo: Esto indica en las radios aéreas que el circuito esta ocupado cuando el PTT es validado por un usuario aéreo subsiguiente a otro usuario que todavía sigue ocupando el circuito. Esto da a los usuarios que todavía siguen ocupando el circuito una preferencia de acceso relativa con respecto a los usuarios que no lo ocupan.
- Circuito de voz ocioso: esto indica a las radios aéreas que el circuito de voz esta habilitado para ser accesado por cualquier usuario sobre una base de “ escuchar antes de hablar”.

La implementación de la señalización de voz es opcional y depende del proveedor del servicio. Si no se desea la señalización, el código de voz para el “circuito de voz ocioso” se transmite continuamente. En este caso, la operación default del sistema sin algún trato en especial esta para que cualquier usuario utilice el circuito de voz como por ejemplo en el sistema DSBAM en el canal de 25 KHz.

Inicialización del Mensaje: Un grupo de mensajes de inicialización habilita a las radios aéreas llegar a adaptarse adecuadamente a un nuevo circuito de voz para la operación con ese circuito. Como se muestra en la Figura 3.5.3, son soportados cuatro mensajes de inicialización; sin embargo, solo dos son aplicados al sistema único de voz.



**Figura 3.5.3. Inicialización del Mensaje
(Configuraciones del Sistema de Voz Solamente).**

- Configuración de Circuito: Este mensaje contiene varios parámetros que se describen a continuación:
 - *Ranura de Identificación (Id)*: informa a la radio aérea de la ranura de tiempo asociada con la ráfaga del subcanal M uplink.
 - *Configuración de Sistema*: informa a la radio aérea de la configuración específica del sistema utilizada por la radio terrena con la cual esta se comunica. Soporta por encima de 64 códigos. Nótese que el establecimiento de la configuración del sistema en la Figura 3.5.3 requiere de 5 códigos.
 - *Ventana de supresión*: utilizada por la radio aérea para limitar o “suprimir” la interferencia de co-canal recibida en ausencia de una señal deseada. Este parámetro informa a la radio aérea de la permisividad de tiempo de la ventana de llegada dentro de la cual todas las transmisiones de voz deseadas pueden pasar. Este parámetro es dependiente de la cobertura operacional definida (por ejemplo, el servicio de volumen protegido) en dimensión y posición relativa con el lugar de la radio terrena.

Este parámetro puede definirse como base para el tiempo de propagación completa con tal de dar así la mayor apertura de supresión para la aceptación de las transmisiones co- canal.

- Diversidad de Escenario: Este mensaje puede ser utilizado para informar a la radio aérea de hasta dos recursos de circuito alternativo (probablemente en distintos escenarios) en el hecho de perder la conectividad con el circuito inicial. La implementación de la diversidad de escenarios requerida para la búsqueda de la radio aérea es opcional y de la discreción de los proveedores de servicio. Si no se necesita la diversidad de escenario, o si los diversos escenarios emplean la misma frecuencia y ranuras de tiempo como lo primero (así no se requiere de la búsqueda de la radio aérea), este campo es basado en un identificador de frecuencia / ranuras de tiempo del circuito actual.

La porción de datos del sistema de la ráfaga del subcanal M uplink es protegida con un rango medio del código de corrección de error en Golay con bloques de palabra de código de 24 bits. La porción total de datos del sistema de la ráfaga requiere de cuatro bloques de palabra de código que resultan en un total de 48 bits disponibles para los datos del sistema.

Los uplinks del subcanal M ocurren solo una vez por cada dos tramas TDMA (por ejemplo, una vez cada 240 ms) para hacer espacio para los downlinks del subcanal M empleados más tarde para el direccionamiento discreto V/ D; no hay ráfagas de subcanal M downlink para la configuración del sistema que soporta capacidades de voz solamente.

Cualquier ráfaga de subcanal M uplink dada puede contener solo un mensaje de inicialización. La Figura 3.5.4., muestra que para una ranura de tiempo dada, la programación de la radio terrena hace uso de la ráfaga del subcanal M uplink. La programación establecida permite un período del mensaje de inicialización de 960 ms (correspondiente a 8 tramas TDMA).

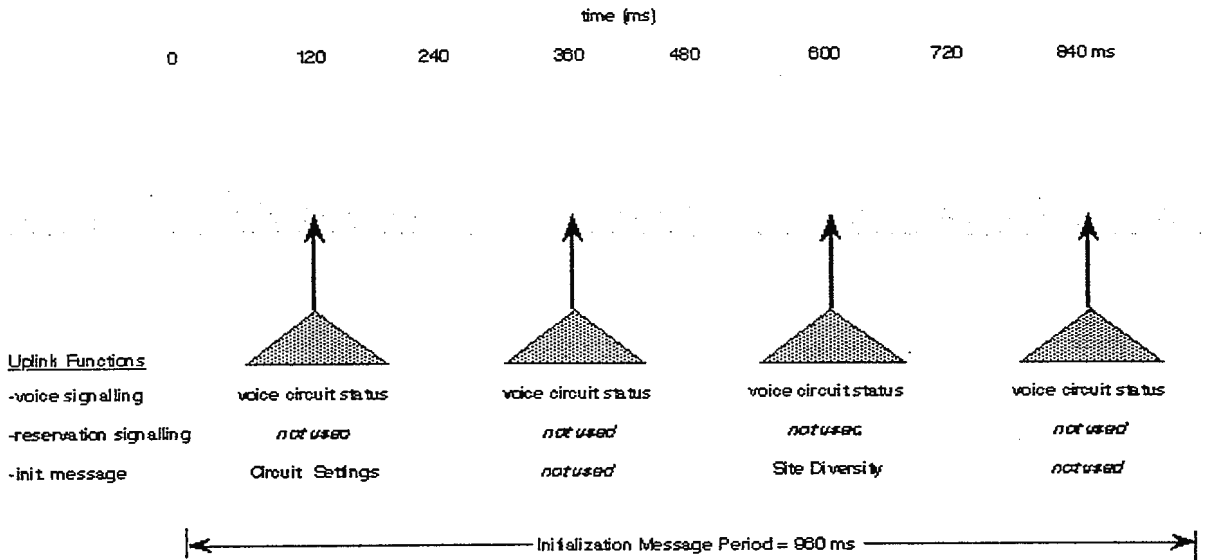


Figura 3.5.4. Subcanal M de Enlace Terreno (Uplink) Utilizado por una Señal de Grupo de Usuario.

3.6 Configuraciones Específicas de los Sistemas TDMA.

3.6.1. Cuatro Ranuras de Voz Únicamente (Configuración de Sistema 4v).

Aplicación

Esta configuración ofrece cuatro circuitos independientes de voz de dos caminos (ranuras "A," "B," "C," y "D") con una frecuencia de 25 KHz asignada desde el sitio de la radio terrena en un rango de 215 nmi.

Circuito de Inicialización

En la entrada de la frecuencia y del identificador de ranuras en la radio aérea, ésta inmediatamente comienza a monitorear el uplink del subcanal M asociado con la ranura de tiempo seleccionada. Los mensajes de inicialización asociados con la ranura de tiempo seleccionada son usados para configurar la

radio aérea para la operación del circuito. La inicialización toma menos de un segundo.

En el circuito de inicialización, un control piloto es habilitado para monitorear las transmisiones de cualquier usuario en el circuito. Para transmitir, el control piloto se basa en la misma disciplina “escuchar antes de hablar” utilizada en el sistema DSBAM de 25 KHz. Cuando el control piloto afirma el PTT, la radio aérea automáticamente ajusta el tiempo de desfase para el downlink de la ráfaga del subcanal M de acuerdo con la configuración del sistema proporcionada como parte del mensaje de inicialización. La figura 3.6.1., muestra la temporización de la ráfaga del subcanal hecha por las radios aérea y terrena asociada a un sola ranura de tiempo (o circuito).

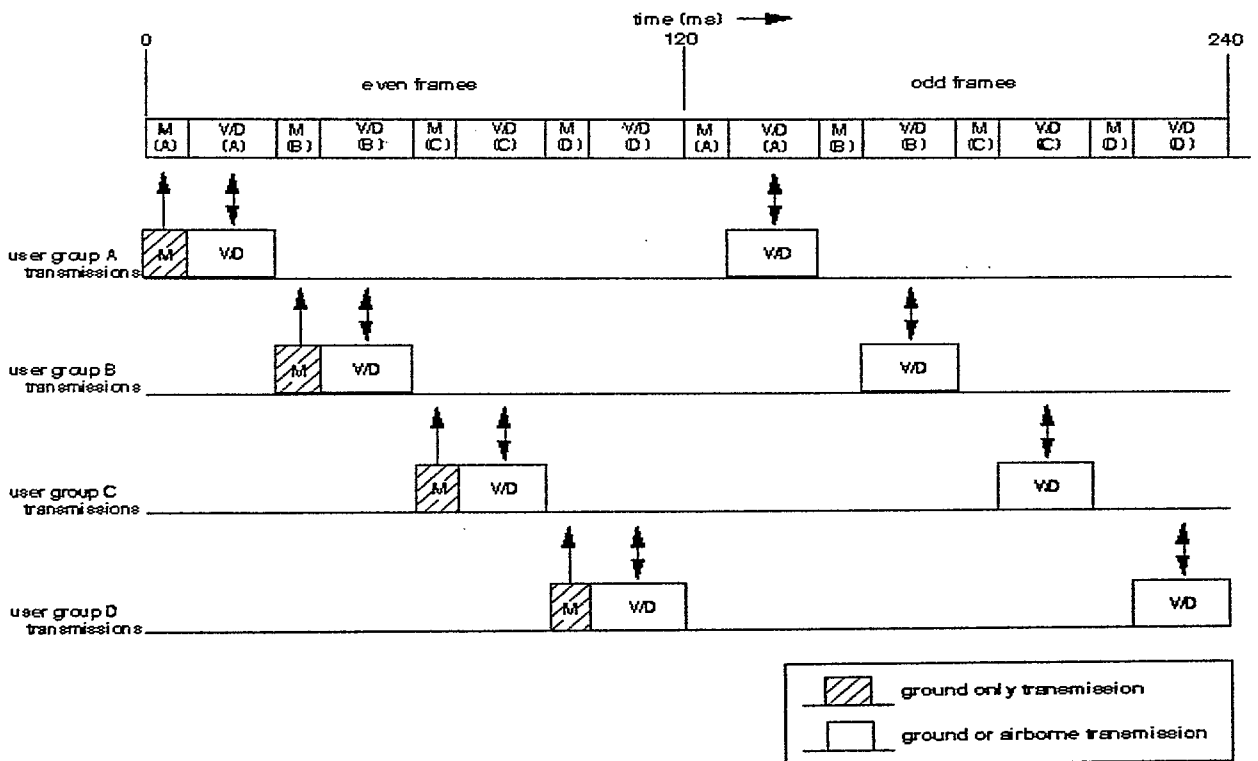


Figura 3.6.1. Temporización de Ráfaga para la Configuración 4V.

Señalización de Voz

Desde que todas las radios aéreas (aún aquellas en el modo de transmisión PTT) continúan monitoreando el uplink del subcanal M, que puede soportar las características de señalización de voz. El usuario terreno puede dar un estado especial sobre el circuito de voz con la habilidad de asegurar el PTT en cualquier momento y porque cualquier radio aérea en el modo PTT puede dejar de transmitir. Éste cumple emitiendo el código terreno apropiado en el uplink de la ráfaga de subcanal M cuando el PTT es afirmado por el usuario terreno. Esto, a su vez, resulta en la terminación de cualquier transmisión en progreso por cualquier radio aérea en el circuito. El usuario aéreo puede ser informado de la prioridad por la pérdida del tono local (y presencia de audio del usuario terreno). El lockout de este usuario aéreo debe ser reiniciado por la realización del PTT debida al usuario terreno y la realización del PTT debida al usuario aéreo.

Una capacidad similar adicional soportada es la habilidad para resolver la contienda entre los usuarios aéreos que intentan acceder el canal. Si un usuario aéreo afirma el PTT en más de un intervalo de señalización (240 ms) que otro usuario aéreo contendiente, la señalización y la lógica de acceso se basa en “el primero que viene es el primero en ser atendido”.

Adicionalmente, las transmisiones traslapadas debida a múltiples usuarios aéreos debe ser limpiada por el usuario terreno si desea, debido a un PTT momentáneo, así se finalizan las transmisiones de los usuarios aéreos.

3.6.2. Área de Cobertura de dos Estaciones (Configuración de Sistema 2v2s).

Aplicación

Esta configuración del sistema es estructurada para operar cada una de las cuatro ranuras de voz fuera de la diversidad de escenarios terrenos. La aplicación primaria prevé para esta configuración de sistema la capacidad de área de cobertura de dos estaciones para un sector dado (o DOC, Cobertura Operacional Definida). Un canal de 25 KHz puede servir a dos sectores adyacentes donde cada uno de los sectores requiere la operación de dos estaciones. Sin embargo, cualquier combinación de grupo de usuarios y escenarios terrenos pueden ser soportados done la flexibilidad para distribuir la

capacidad del canal de 25 KHz entre diferentes escenarios terrenos sea requerido.

Estructura de trama y referencias de Tiempo requeridas para los escenarios de radios terrenas.

Esta configuración de sistema requiere la distribución de una referencia de tiempo común entre los escenarios compartidos y las frecuencias comunes. En función de que un error substancial de tiempo relativo entre los escenarios pueda ser tolerado, la estructura de trama de esta configuración de sistema se desvía ligeramente del rango de trama estándar mostrado en la figura 3.2.1. Esto se debe a la alteración de la posición del subcanal uplink M en la trama como se muestra en la figura 3.6.2. Esto permite un nuevo período de guarda para la tolerancia de temporización entre los escenarios terrenos de 2 ms como se muestra. Allí, mientras todavía se permite un período de guarda de propagación correspondiente al rango máximo de 215 nmi; un tiempo relativo se direcciona entre los escenarios, hasta 2 ms pueden ser tolerados antes de que el traslape dentro del escenario ó dentro de la ranura de tiempo pueda resultar. En la figura 3.6.3, la programación del tiempo de la ráfaga del subcanal es utilizada para esta configuración de sistema. Nótese que aunque el arreglo de la ráfaga del subcanal M es diferente de la estructura de trama estándar utilizada para la configuración del sistema 4V, los períodos de 240 ms se preservan, así la figura 3.5.4 recuerda la aplicación de esta configuración del sistema.

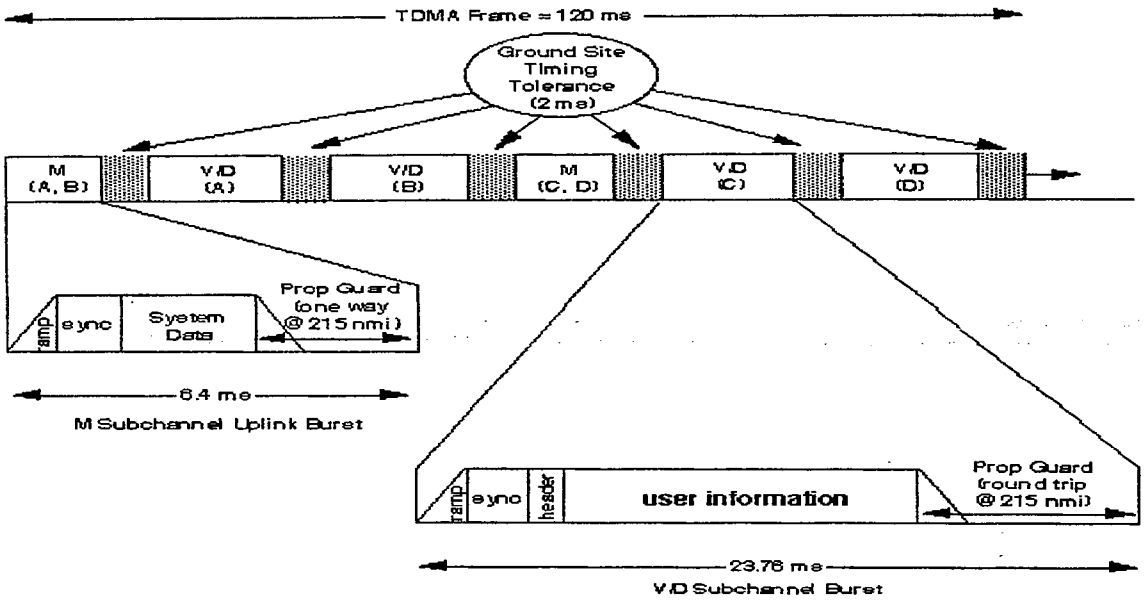


Figura 3.6.2. Modificación de la Estructura de la Trama por la Configuración del Sistema 2V2S.

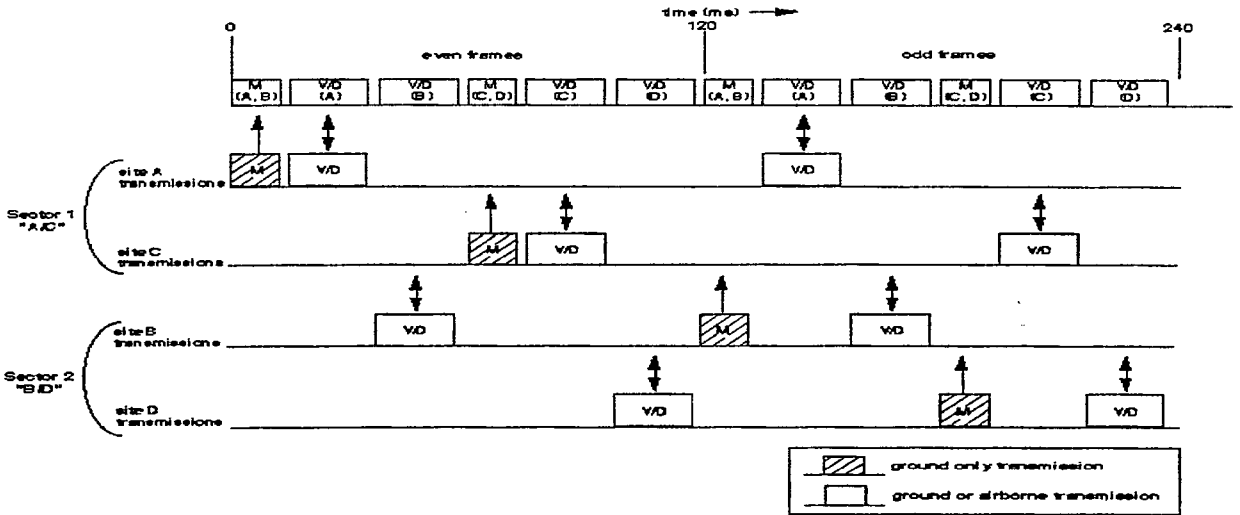


Figura 3.6.3. Temporización de Ráfaga de Usuarios Asociados con Cada Sitio para la Configuración 2V2S.

Con este presupuesto permitido para la tendencia de temporización, al menos existen dos aproximaciones para la distribución de los tiempos para cada uno de los escenarios terrenos que comparten la frecuencia común de 25 kHz:

1. El uso de receptores de transmisiones de alta frecuencia (HF): la información de uno de los vendedores indica que exactitudes de ± 1.0 ms se pueden alcanzar con la compensación del retraso de propagación. De acuerdo con esta información, Inglaterra y Alemania soportan tiempo de transmisiones de alta frecuencia que cubren la mayor parte de la Europa Occidental.
2. El uso de receptores del sistema de navegación global por satélite (GNSS): los receptores GNSS son capaces de soportar la distribución de tiempo con una exactitud más grande de la requerida por la distribución de los sitios de radio TDMA. Esto también denota como un sistema puede ser altamente hábil y capaz para sobrevivir.

Asignación de Ranuras de tiempo.

Cada uno de los dos grupos de usuarios (o sectores) soportado en esta configuración puede ser operado desde dos sitios terrenos separados. Las ranuras de tiempo A y C son asignadas a un grupo de usuarios y las ranuras B y D son asignadas al otro grupo de usuarios. Allí, en adición a la selección de ranuras de tiempo "A," "B," "C," y "D," la configuración del sistema 2V2S requiere dos selecciones adicionales: "A/ C" y "B/ D."

Requerimientos de la geometría del DOC (Cobertura Operacional Definida).

Para proveer un incremento inmediato de la eficiencia del espectro relativo al desfase de la portadora del sistema utilizada en el sistema DSBAM de 25 kHz, una sola frecuencia de 25 kHz asignada para la utilización en la configuración del sistema 2V2S tendría que ser aplicada a los dos grupos de usuarios (o sectores) adyacentes. El presupuesto del período de guarda de propagación para cada una de las ráfagas de subcanal dicta que en la frecuencia servida a los dos sectores adyacentes alguna limitación puede ser aplicada al tamaño de la combinación de DOC de estos sectores adyacentes. El tamaño permisible del volumen del DOC combinado debe ser altamente dependiente de la geometría de

los DOC relativa a los sitios de radio terrena empleados por estos DOC. De allí, los pares candidatos del DOC para la operación bajo la configuración 2V2S debe de ser considerada como un caso por el caso más básico.

Sin embargo, la figura 3.6.4, muestra un ejemplo simple de dos sectores adyacentes con sitios terrenos que son candidatos para el 2V2S. También, la figura 3.6.5. muestra la geometría crítica de los sitios terrenos con respecto al límite del volumen de DOC combinado para determinar la conveniencia de los pares de DOC como candidatos para la configuración del sistema 2V2S. Debe notarse que el límite de la geometría del DOC mostrada en la figura 3.6.5. asume que los 2 ms de la tolerancia de temporización de los sitios terrenos son requeridos. Incrementando el funcionamiento de la referencia de tiempo las restricciones de la geometría del DOC serán más cómodas y por consiguiente se dará un incremento en el período de guarda de propagación.

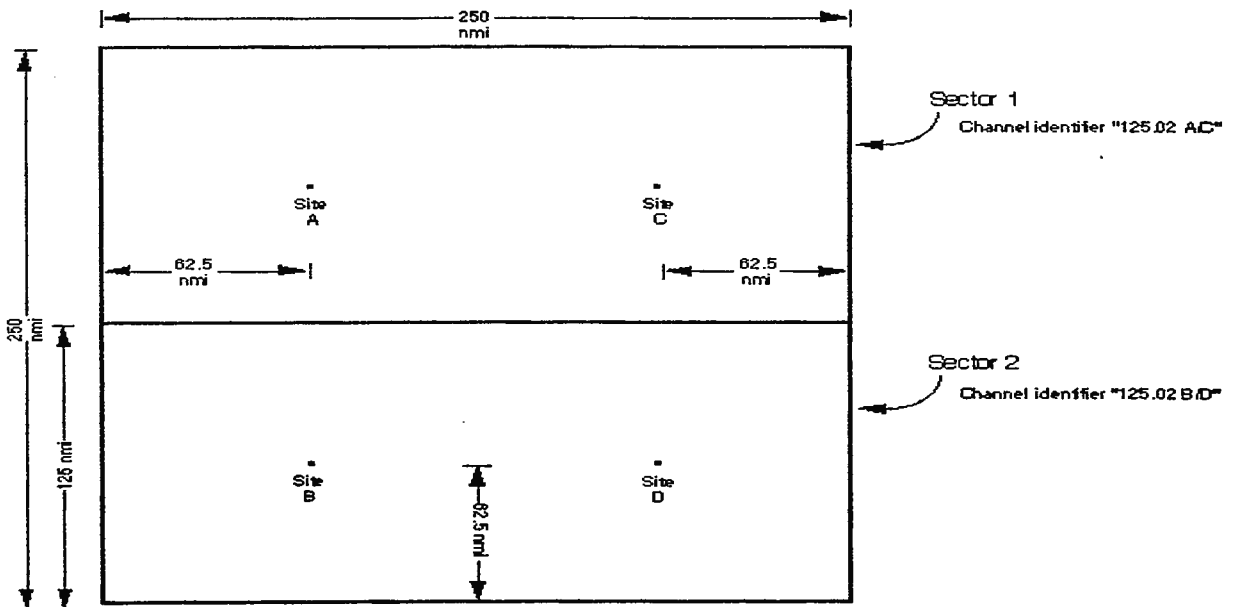
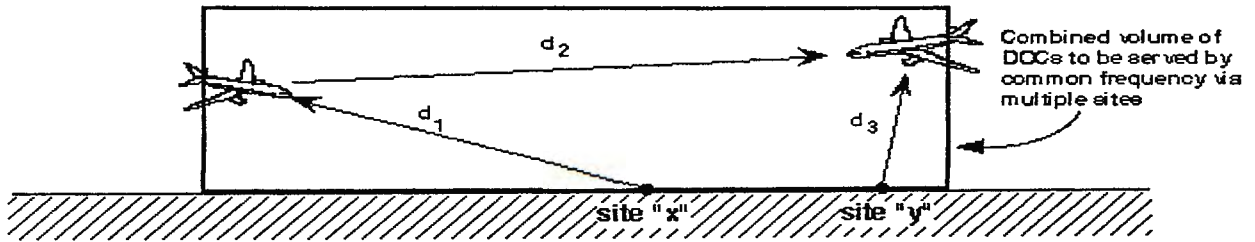


Figura 3.6.4. Ejemplo del Sector y Espacio Geográfico para Dos Sectores Adyacentes en la Configuración del Sistema 2V2S.



Budgeted propagation guard time requires:
 $d_1 + d_2 - d_3 \leq 400 \text{ nmi}$
 for any two aircraft in combined DCC volume

Figura 3.6.5. Geometría Crítica en la Determinación de las Dimensiones de la DOC para la Configuración de Sistema 2V2S.

Inicialización del Circuito

Con respecto a la figura 3.6.4., asumir un control piloto es aprovechar un sector utilizando dos estaciones de cobertura en las ranuras de tiempo "A/ C". En la transferencia leve (handoff), el control piloto da el nuevo canal identificado, (por ejemplo, "125.02 A/ C") el cual esta marcado dentro del aérea de radio.

La selección de "A/ C" hecha dentro de la radio informa a ésta para el monitoreo constante de los uplinks del subcanal M de las dos ranuras de tiempo "A" y "C". El uplink del subcanal M sirve para las mismas funciones de inicialización como se describieron previamente para la configuración del sistema 4V, pero aquí, el uso es hecho por el aérea de la radio del subcanal M con respecto al efecto del cambio de sitio.

Operación del sistema de transmisión Terrena

El PTT debido a los usuarios terrenos resulta en transmisiones simultáneas desde el sitio "A" y desde el sitio "C" ("sitios" y "ranuras de tiempo" son sinónimos para el propósito de la discusión). Se puede notar que desde que los sitios de radio están sincronizados en el tiempo unos con otros y asumiendo que los diferentes retrasos de audio desde el control para cada uno de los sitios es pequeña. La representación de los códigos de voz en la última mitad del V/ D de la ráfaga "A" es idéntica (o muy cerca de ello) a la primera mitad del V/ D de la

ráfaga "C." Asimismo esto es verdad desde el V/D de la ráfaga "C" con el siguiente V/D de la ráfaga "A" (ver figura 3.6.6.). Este traslapamiento es importante para el cambio de sitios uniforme debido a las radios aéreas.

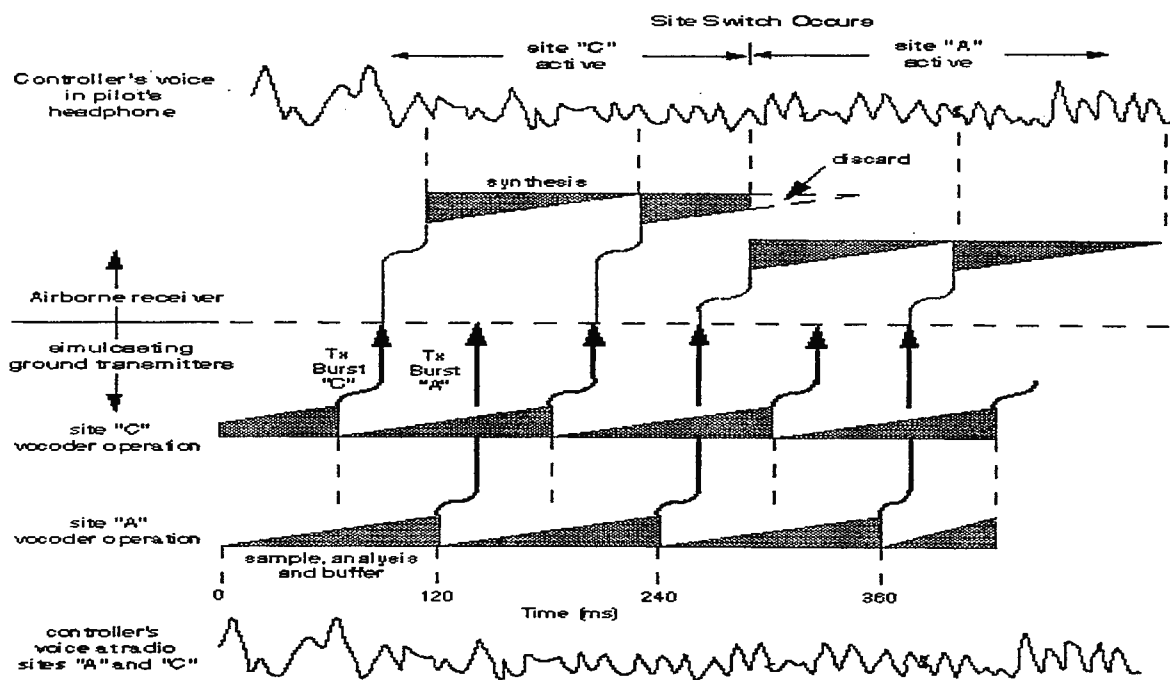


Figura 3.6.6. Sitio de Transmisiones Terrenas y Sitio del Receptor Aéreo (cambios de posición) para la Configuración 2V2S.

Selección de Sitio debido al Receptor Aéreo.

A través del monitoreo continuo del subcanal M asociado con las ranuras de tiempo y los sitios, la radio aérea hace una determinación para ver cual de los sitios terrenos será seleccionado como activo. El sitio activo determina la ranura de tiempo seleccionada por el receptor de las transmisiones de voz de todas las fuentes, aéreas y terrenas. La lógica para la selección del sitio activo en la radio aérea esta basada en el error total de salida desde el decodificador de los cuatro códigos de palabra (Golay) que forman la porción de datos del sistema del uplink del subcanal M. Mientras el algoritmo exacto para el cambio de sitios activos es TBD, la detección de uno o dos errores de bit totales sobre los cuatro códigos de

palabra para dos ráfagas de subcanales M consecutivos (480 ms) debe de indicar la reducción de la calidad de voz (10^{-2} , Bit Error Rate) requiriendo un cambio de sitio si dicho sitio presenta un error de rango de bits más favorable. Aunque la función de cambio puede ser muy parecida a la discutida a continuación, la lógica de cambio idealmente provee un grado de histéresis para prevenir los periodos de un cambio continuo.

La figura 3.6.6. muestra la continuidad de la operación de voz a través de la transmisión desde un sitio activo a otro sitio. De la figura se puede notar de que lo que hace que la transición cercana sea posible no es sólo la trama TDMA por ella misma sino la integración de un número de tramas de voz (vocoder), pero una mitad de la trama TDMA (60 ms) es también una integración de un número de tramas de voz (3).

Operación del Transmisor Aéreo

En orden para proveer el efecto de "línea compartida" deseado donde todos los usuarios en un sector poseen conectividad de voz aire - aire con todos los otros usuarios, el PTT debido a un usuario aéreo resultará en transmisiones simultáneas en ambas ranuras de tiempo (por ejemplo, "A" y "C").

Allí, cualquier usuario recibirá la transmisión de voz de cualquier otro usuario aéreo (dentro de la línea vista) en la declaración de la ranura de tiempo activada por el receptor aéreo individual. Como un resultado, el cruce de las parejas debida a los sistemas terrenos no se requerirá.

Selección de sitio del sistema Terreno

Algún método es requerido para "voting" el mejor de dos sitios de recepción en el orden de dar a los usuarios terrenos la mejor recepción de la señal de voz desde un transmisor aéreo. Los sistemas Voting que parten actualmente de la infraestructura ATC es probable que operen en una de dos formas:

- **Sistemas Voting basados en la señal de audio a ruido:** Ambas señales de audio son la entrada a la unidad voting donde (basado en un análisis de señal a ruido para cada señal) la mejor señal es determinada y llevada a la salida para ser entregada a través de la bocina del usuario terreno.

- Sistemas Voting basados en la señalización discreta del receptor: Cada receptor provee de una señal discreta (típicamente un voltaje de control de ganancia automática) que sirve como indicador de la calidad de la señal. Estas entradas son utilizadas para determinar cual señal de audio será llevada a la salida para ser entregada a través de la bocina del usuario terreno.

La aproximación para tomar el sistema TDMA bajo la configuración de sistema 2V2S dependerá de cual de los dos métodos anteriores sea utilizado. En ambos casos, los receptores en cada uno de los dos sitios están capacitados para determinar la calidad de la señal a través del valor de correlación sincronizado alcanzado en la detección de la secuencia de sincronización de cada ráfaga downlink V/ D recibida. [Esto provee una calidad de señal métrica que puede ser utilizada para incorporar ruido dentro de la señal de audio recibida si el Señal/ ruido voting es usado, o puede ser utilizado directamente como un sustituto para la señalización discreta si el método voting es usado].

Señalización de Voz.

Como en el caso de la configuración del sistema 4V, la señalización soportada proporciona al usuario terreno un estado especial sobre el circuito de voz. El PTT del usuario terreno en cualquier período puede sacar fuera del aire a cualquier radio aérea en el modo PTT.

Esto se puede llevar a cabo por la señalización de las radios aéreas para que así los usuarios terrenos accedan al circuito. Esto a su vez resulta en la terminación de cualquier transmisión en progreso hecha por cualquier radio aérea en el circuito (Operando desde cualquier sitio). El usuario aéreo puede ser informado de la prioridad debido a la pérdida del tono local (y la presencia de audio del usuario terreno). Al final de esto el usuario aéreo debe ser reseteado para la liberación del PTT debida al usuario terreno y la liberación debida al usuario aéreo.

La señalización puede soportar la capacidad de resolver la disputa entre los usuarios aéreos que buscan el acceso a un canal como se discutido anteriormente para la configuración 4V, no puede garantizarse bajo la

configuración del sistema 2V2S si la coordinación entre los sitios terrenos no existe.

3.7. Efecto de la Reducción de Código.

La capacidad para prevenir “la molestia” de apertura de reducción en la ausencia de la señal deseada es un atributo atractivo para el sistema de radio VHF A/ G. Muchos sistemas de radio móviles analógicos usan lo que se conoce como reducción de código por tono para prevenir las molestias de la apertura de reducción. Cualquier sistema digital ofrece naturalmente la discriminación en contra de la interferencia de los canales adyacentes y otros tipos de señales de ruido dentro de la banda en la ausencia de la señal deseada ya que estas no están correlacionadas con las señales deseadas y son allí discriminadas por el receptor.

La capacidad para discriminar la interferencia de co – canal en ausencia de una señal deseada es un reto dentro del ambiente del sistema VHF A/ G. Esto se debe al hecho de que la interferencia es altamente correlacionable con la señal deseada y por ello debe ser discriminada con alguna otra lógica.

3.7.1. Discriminación de la Interferencia Co-canal debida a la Arquitectura en la señal de TDMA.

En el acercamiento al sistema TDMA, las radios aéreas reciben continuamente el manejo del canal a través de ráfagas uplink en un período de 240 ms. Estas ráfagas uplink establecen el tiempo de referencia utilizado por todas las radios aéreas operando en el circuito.

El tiempo de referencia establece los tiempos exactos de transmisión para la ráfaga V/ D desde las radios aéreas individuales.

Asimismo, este tiempo de referencia también define una “ventana de tiempo” aceptable dentro de la cual se desea las transmisiones de línea compartida aire – aire que deben de ser recibidas por cada una de las radios aéreas. El tiempo de alineación de cualquier ráfaga V/ D recibida por un receptor aéreo para la ventana establecida por la estación terrena provee un mecanismo

natural para la discriminación dentro de las transmisiones deseadas ("línea compartida," originada dentro del DOC) de las transmisiones co - canal no deseadas. ("interferencia," originada en algún otro DOC).

Dentro de una red las estaciones terrenas donde no se emplean referencias de tiempo, la probabilidad de una transmisión de co - canal DOC disminuye dentro de la ventana de tiempo del receptor de otro DOC. Para permitir un retraso en el viaje de propagación en una estación terrena con un rango máximo de 215 nmi, el tiempo de ventana resultante es entonces de 2.7 ms. Ya que una trama TDMA es de 120 ms, y las ráfagas de transmisión están siempre identificadas de acuerdo a cada una de las cuatro ranuras de tiempo a que corresponden (por ejemplo, "A," "B," "C," y "D"), la probabilidad de recibir una ráfaga que venga dada por el co - canal del tráfico aéreo fuera del DOC apropiado para la identificación de la ranura de tiempo y con el alineamiento adecuado dentro de la ventana de tiempo es de $2.7 \text{ ms}/120\text{ms} = 0.023$. Esta probabilidad debe de ser multiplicada por la probabilidad experimentada en la geometría adecuada de tráfico aéreo y de las transmisiones experimentadas desde el propio tráfico aéreo. Esta probabilidad es debida a la probabilidad de que el control piloto pueda escuchar la interferencia de co - canal en ausencia de una señal deseada.

En muchos DOC y en las geometrías de sitios de radios terrenas, el retraso completo de propagación puede no ser necesario; de allí, puede ser aplicada una ventana de tiempo más restringida por los receptores aéreos para así implementar la discriminación de las señales de co - canal. La capacidad para aplicar ventanas de tiempo reducidas debe de ser determinada sobre un circuito a partir del circuito base. El parámetro de "Reducción de Ventana" del mensaje de inicialización de configuración del circuito es utilizado para aplicar la reducción del tiempo de la ventana cuando sea adecuado.

3.7.2. El Rol de la Reducción de código en el incremento de tolerancia para la interferencia de Co - Canal.

Actualmente en Estados Unidos, las reglas para establecer los DOC de co - canal esta basada en el rango deseado de la potencia de la señal a la potencia de la señal no deseada. Esto a su vez resulta en un valor de radio de distancia

simple. Asumiendo que todos los transmisores poseen la misma potencia. El estándar actual en los Estados Unidos es de 14 decibel (dB) de la fuerza de la señal deseada a la no deseada, lo cual a su vez resulta en un rango de distancia de 5:1.

En un principio, debido a la naturaleza y geometría de los DOC de co - canal, un transmisor terreno de alta potencia debe ser utilizado como ventaja para poner asignaciones de co - canal más cerca. Asumiendo, por ejemplo, un transmisor de potencia dado (es decir, 12 watts para todos los transmisores, aéreos o terrenos) y los uplink y downlink supuestos están razonablemente balanceados con el margen adecuado, luego la potencia del transmisor terreno es incrementada a 25 watts proveyendo un margen adicional de co - canal de 3 dB para la señal uplink deseada. Esto tienen el efecto de permitir que la distancia no deseada sea reducida como si el rango de distancia fuera basado en un criterio de co - canal de 11 dB (14 dB - 3 dB). Esto resulta en un rango de distancia por debajo de 4:1. Nótese que el incremento de potencia no ofrece beneficios para el downlink y no se necesita, porque las estaciones terrenas son raramente víctimas de la interferencia de co - canal. de la misma manera, incrementando la potencia del transmisor de la estación terrena no conlleva a interferencias de co - canal consecuentes. Esto es debido a que la interferencia de co - canal casi siempre esta dictada por la geometría aire - aire entre los DOC.

El uso de esta técnica de incremento de potencia más allá de reducir las distancias de co - canal por debajo del rango 5:1 no son prácticas con el sistema actual debido a la falta de cualquier habilidad para la discriminación en contra de las señales de co - canal que son exteriores al DOC en la ausencia de una señal deseada. Como la distancia de co - canal es reducida más allá del rango 5:1, los controles piloto comienzan a sufrir molestias significativas de apertura de reducción desde las transmisiones aéreas en los co - canales de los DOC. El efecto de reducción de código dado por la arquitectura de TDMA ofrece la habilidad de discriminación entre las señales de co - canal originadas dentro del DOC en contra de aquellas señales originadas fuera del DOC.

Aunque el incremento de potencia de transmisión terrena garantiza la protección de co - canal para el uplink desde la radio terrena, la reducción de las distancias de co - canal puede resultar en algún tipo de degradación en la

protección para la recepción aérea de las señales aéreas deseadas (por ejemplo, las líneas compartidas) en la geometría del DOC. Mientras la probabilidad e impacto de ocurrencia de esta interferencia debe ser determinada, esto hace notar que la arquitectura de TDMA soporta características de señalización para notificar a las radios aéreas de la utilización de los canales para así evitar la condición “el paso en” que de otra manera es un síntoma de pérdida de conectividad aire – aire.

3.7.3. Beneficios de la Reducción de Código

La arquitectura del sistema TDMA provee el efecto de reducción de código resultando en la suma de rechazo de interferencia de co – canal en la ausencia de una señal deseada. Para proveer la discriminación de co – canal, el sistema tradicional de reducción de código requiere alguna forma de manejo de la actividad de código y una selección similar para el camino de las frecuencias que son manejadas y seleccionadas en el sistema DSBAM de 25 KHz. Esto no se desea en el ambiente A/ G porque esto suma al trabajo del control piloto y a la comunicación modos de error. La arquitectura del sistema TDMA ofrece este efecto de una forma natural pasiva más ajustada al ambiente de operación del A/ G. Este es el resultado de la habilidad de los receptores aéreos para discriminar las señales deseadas y no deseadas por su tiempo de llegada al receptor. Mientras esta función no se propone una reducción de la separación de co – canal en el DOC por debajo del rango 5:1 utilizado en Estados Unidos, los beneficios del efecto de reducción de código hacen ello posible en gran término y deben ser considerado como un beneficio sumado a la arquitectura del sistema TDMA VHF.

3.8. Enlace por Direccionamiento Discreto V/D.

Aspectos de Fondo.

En adición con las configuraciones de sistema establecidas para soportar niveles de servicio de voz solamente, el sistema TDMA posee muchas otras configuraciones de sistema diseñadas para soportar direccionamientos discretos

y habilidades para el enlace de datos en el momento en que pueda ser soportado por la infraestructura terrena ATC. En ese punto, las estaciones terrenas CAA previamente soportan el nivel de servicio TDMA de solo voz que puede ser reconfigurado para soportar adicionalmente el direccionamiento discreto y el enlace de datos.

3.8.1. El Direccionamiento Discreto y los Grupos de Usuarios.

Dentro de la estructura de tramas de TDMA (120 ms), un grupo predefinido de configuraciones de sistema son establecidos para alcanzar la flexibilidad. Cada configuración de sistema corresponde a una pre- configuración estática de localización de la capacidad de cada frecuencia de 25 KHz (por ejemplo, las ranuras de tiempo individuales) para asegurar todas las funciones y a los usuarios. En el ambiente ATC, existen distintos grupos de usuarios basados en el control ATC de posiciones o sectores. Cada grupo de usuarios incluye al usuario terreno (usualmente un control de tráfico aéreo) y al cliente aéreo de ese grupo de usuarios. Un objetivo fundamental del sistema TDMA es el de proveer recursos de circuitos de voz para cada grupo de usuarios sobre una base dedicada mientras simultáneamente provee el acceso a los enlaces de datos con un solo transceptor de radio aérea.

El direccionamiento discreto en el sistema TDMA es acoplado al grupo de usuarios. Un ID local de usuario es establecido para cada nuevo usuario aéreo que entra al grupo (o red). Un proceso conocido como servicio de entrada a la red para un "log in" (entrada de usuario) automático de un nuevo usuario que llega al grupo y acuerda los 24 bits completos de direccionamiento aéreo (ICAO) para la compresión de 8 bits del ID local de usuario.

El direccionamiento ID local de usuario se acomoda en un espacio aéreo de hasta 60 por grupo de usuarios y se asignan cuatro grupo de usuarios por cada 25 KHz de frecuencia. Adicionalmente, una configuración es definida donde no hay una localización estática predeterminada de recursos de grupo de usuarios dentro del canal de 25 KHz; recursos de localización para ambos V/ D son hechos estrictamente en base a la demanda. Esta configuración es establecida para aplicaciones que no son ATC y posiblemente para aplicaciones

ATC en un término futuro donde el volumen de voz por el tráfico es reducido significativamente a través del uso del enlace de datos.

3.8.2. Las ráfagas de subcanal que soportan la operación de direccionamiento discreto V/ D.

La descripción de las ráfagas M y V/ D dadas anteriormente para niveles de servicio de voz únicamente también se aplican a las configuraciones de sistema que soportan el servicio de direccionamiento discreto V/ D. Sin embargo, esta sección contiene detalles de las ráfagas de subcanal que se aplican solamente para la operación de direccionamiento discreto V/ D (por ejemplo, elementos denominados "sin uso"). En las siguientes figuras, los detalles son aplicados solamente a las configuraciones de sistema que soportan direccionamiento discreto V/ D.

3.8.3. Formato de ráfaga de subcanal V/ D.

Los componentes de la ráfaga de subcanal V/ D se muestran en la figura 3.8.1. La porción del encabezado contiene dos campos y un tercer campo que lleva la información de usuario. El encabezado contiene un campo con el tipo de ráfaga y un campo con el ID local de usuario. El tercer campo es la información del usuario. El uso de cada campo en el contexto de la ráfaga de subcanal V/ D se explica a continuación:

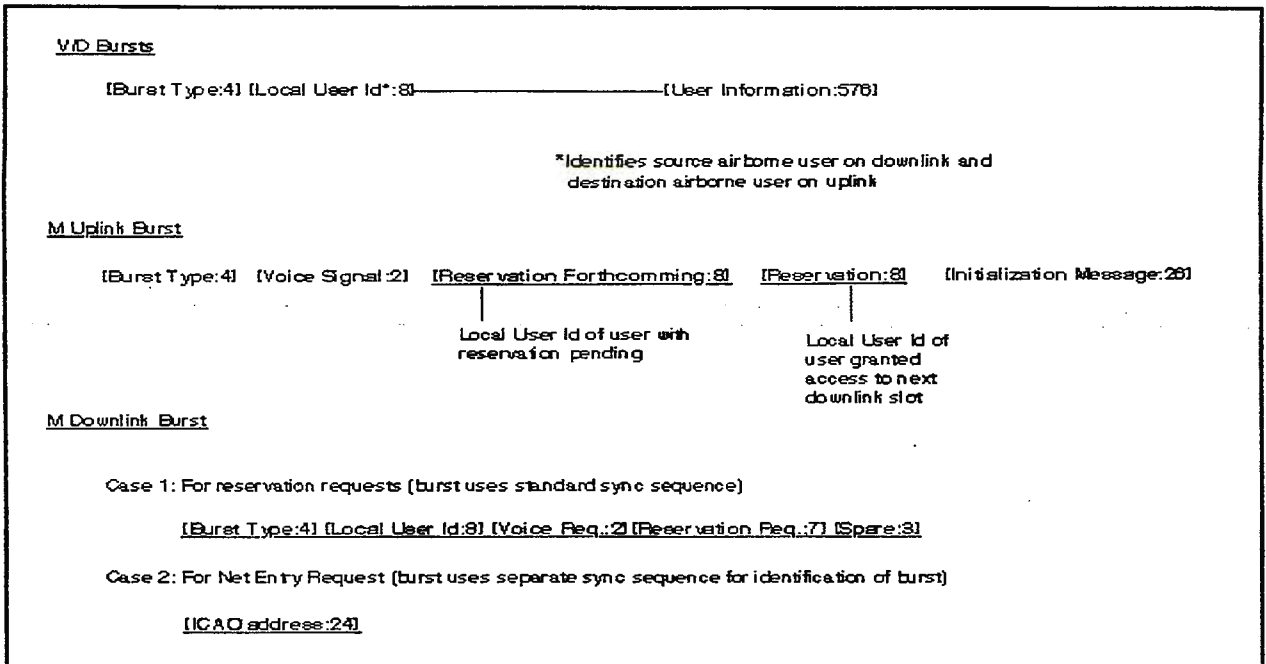


Figura 3.8.1. Campos de la Ráfaga del Subcanal (Direccionamiento Discreto V/D Configuraciones del Sistema).

- Tipo de Ráfaga: Este campo es utilizado para permitir al receptor una identificación adecuada de la ráfaga recibida. Como se muestra en la figura 3.8.2., este campo contiene tres subcampos de un bit más uno disponible. El subcampo “arriba/ abajo” (Up/ Down) es codificado como “abajo” por los transmisores aéreos y como “arriba” por los transmisores terrenos. Es subcampo de subcanal esta siempre codificado como “V/ D” por ambos transmisores aéreo y terreno. El subcampo V/ D es codificado como “voz” o “dato” por ambas radios aérea y terrena de forma adecuada.
- ID Local de Usuario: Este campo es utilizado únicamente para la identificación de todos los usuarios en el canal. Como se muestra en la figura 3.8.2., este campo esta compuesto de dos subcampos. El primero de ellos es el grupo ID, que se utiliza para identificar la ranura de tiempo asociada con el usuario. Y el segundo subcampo es el direccionamiento discreto para identificar a cada usuario de un grupo de usuarios. Este último subcampo es utilizado para la identificación de la fuente aérea de los usuarios en las

transmisiones downlink y para la identificación del destino aéreo de los usuarios en el uplink. Los códigos de direccionamiento discreto de 1- 60 están asignados para el grupo aéreo durante el procedimiento de entrada en la red.

- Información de Usuario: Este campo contiene la representación de compresión digital de hasta 120 ms de la conversación de los usuarios, si la ranura de tiempo es dedicada para voz y contenido de los datos de usuario si la ranura de tiempo es dedicada para el enlace de datos. La porción del encabezado (Campos del tipo de ráfaga e ID local de usuario) de la ráfaga del subcanal V/ D es protegida con un rango medio del código de corrección de error en un solo bloque de código de palabra Golay de 24 bits. Cuando se utiliza para voz, no hay código de error más allá que el interno en el vocoder (y se incluye en la velocidad del vocoder de 4.8 kbps) que es utilizado en el campo de información de usuario. Cuando se utiliza para datos, el campo de información de usuario emplea el código de corrección de error (FEC, Corrección de Error Hacia Delante) del esquema TBD. El uso del esquema FEC es similar al utilizado en el sistema VDL (Enlace Digital VHF) el cual requiere de un total de 6 octetos del conjunto FEC.

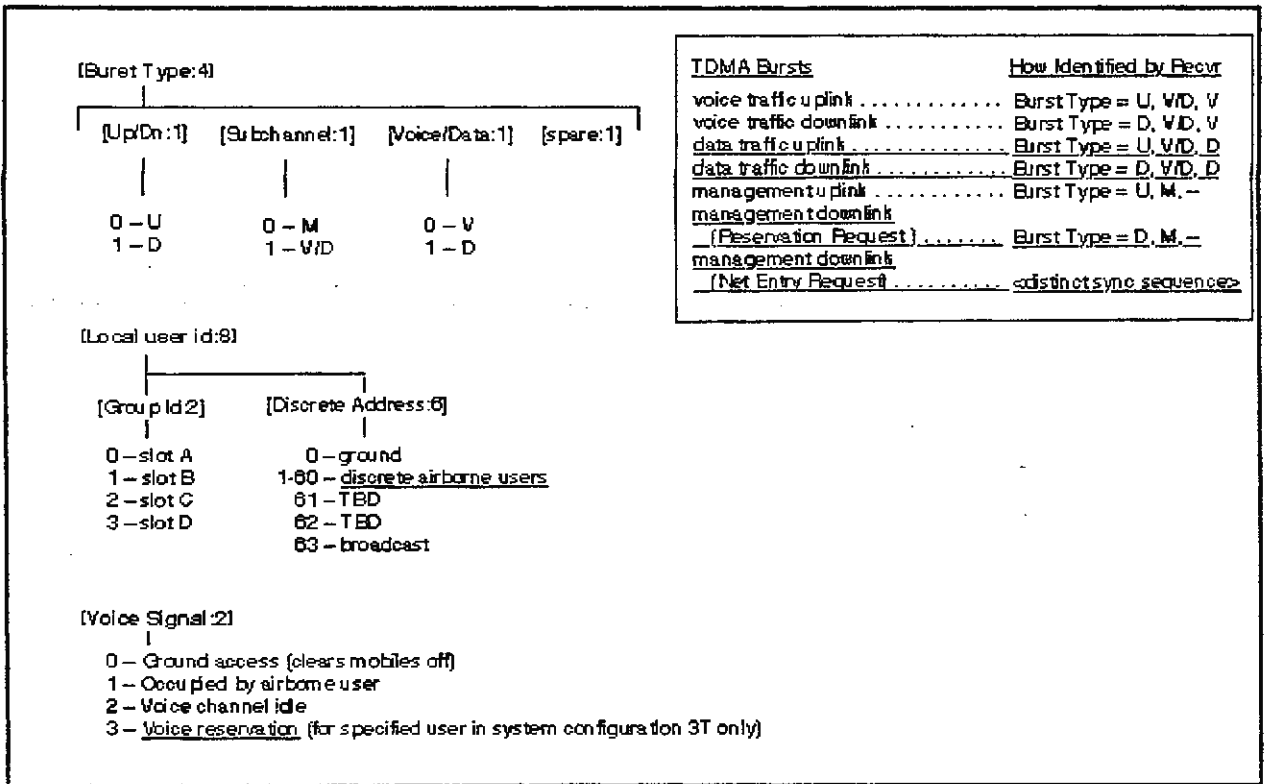


Figura 3.8.2. Tipo de Ráfaga, Identificación del Usuario Local (Id) y Campos de la Señal de Voz.

3.8.4. Manejo del Formato de la ráfaga de Subcanal (Uplink).

Los componentes de la ráfaga de subcanal M son mostrados en la figura 3.8.1. El uplink de la ráfaga de subcanal M contiene los siguientes campos que son mostrados en la figura 3.8.2. :

Tipo de ráfaga: Este campo es utilizado para permitir al receptor identificar adecuadamente la ráfaga recibida. Como se veía en la figura anterior del tipo de ráfaga, este campo contiene tres subcampos de 1 bit más uno libre. El subcampo arriba/ abajo (Up/Down) es codificado como "arriba" por el transmisor terreno. El Subcampo del subcanal es siempre codificado como "M" por el transmisor terreno. La codificación del subcampo V/D no es relevante para la ráfaga del subcanal M.

Señal de Voz: Este campo es utilizado para informar a las radios aéreas del estado actual del circuito de voz. El grupo de señales que soportan las radios aéreas son las siguientes:

- Apropiación Terrena: esto indica que cualquier radio aérea en el modo de promover una conversación ("Push to Talk ",PTT) discontinúa inmediatamente la transmisión. Esto le da el control al usuario terreno del circuito de voz. La radio terrena puede ser configurada para colocar este bit en la recepción de la señal PTT desde el usuario terreno.
- Ocupación por el usuario aéreo: Esto indica en las radios aéreas que el circuito esta ocupado cuando el PTT es validado por un usuario aéreo subsiguiente a otro usuario que todavía sigue ocupando el circuito. Esto da a los usuarios que todavía siguen ocupando el circuito una preferencia de acceso relativa con respecto a los usuarios que no lo ocupan.
- Circuito de voz ocioso: esto indica a las radios aéreas que el circuito de voz esta habilitado para ser accesado por cualquier usuario sobre una base de " escuchar antes de hablar".
- Reservación de Voz: utilizada para conceder el acceso de voz a un usuario específico en la reservación del campo. Esta es utilizada únicamente en la configuración del sistema "3T" que se explica más adelante.

Reservación Siguiete: El ID local de usuario es el que hace la petición de reservación. Esto se usa para indicar que la petición ha sido recibida y esta pendiente.

Reservación: El ID local de usuario concede el acceso al siguiente downlink disponible de la ráfaga V/ D localizada para el tráfico de datos del usuario.

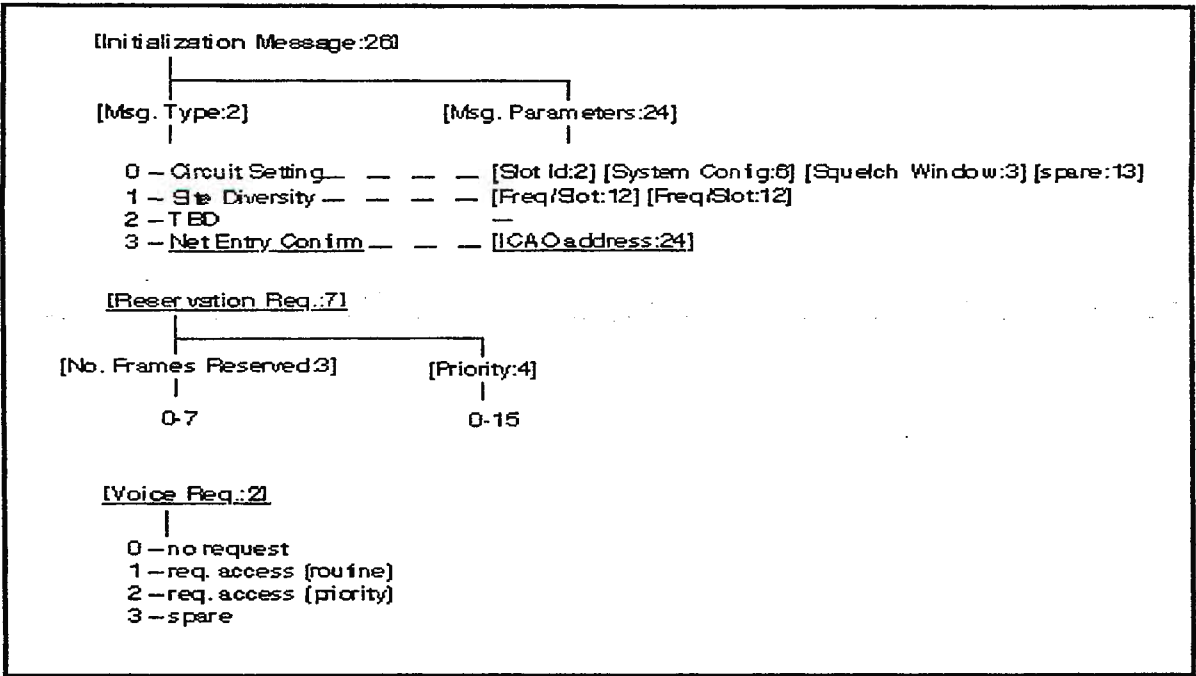


Figura 3.8.3. Inicialización de Mensaje y Campos de Petición de Reservación (Direccionamiento Discreto V/D Configuraciones del Sistema).

Mensaje de Inicialización: Un grupo de mensajes de inicialización son utilizados en función a que los radios aéreas llegan a un nuevo circuito de voz adaptándose adecuadamente ellos mismos para la operación dentro de dicho circuito. Como se muestra en la figura 3.8.3., son soportados cuatro mensajes de inicialización. Esto se discute a continuación:

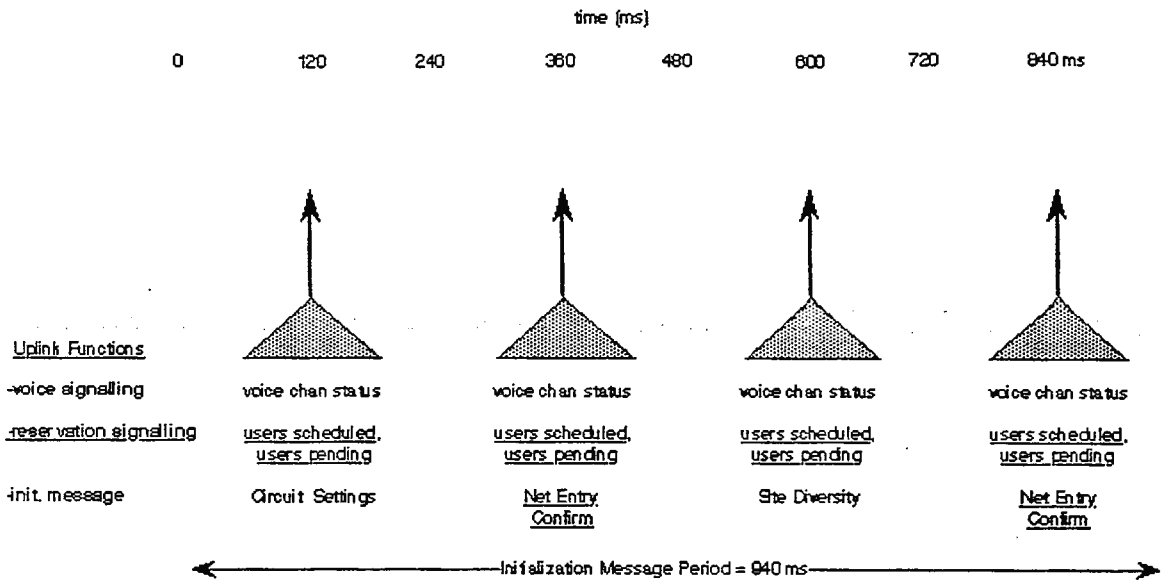


Figura 3.8.4. Subcanal M de Enlace Terreno (Uplink) usado por una Señal de Grupo de Usuario.

- Configuración de Circuito: Este mensaje contiene varios parámetros que se describen a continuación:
 - *Ranura de Identificación (Id)*: informa a la radio aérea de la ranura de tiempo asociada con la ráfaga del subcanal M uplink.
 - *Configuración de Sistema*: informa a la radio aérea de la configuración específica del sistema utilizada por la radio terrena con la cual ésta se comunica. Soporta por encima de 64 códigos. Nótese que el establecimiento de la configuración del sistema en la figura 3.8.1 requiere de 5 códigos.
 - *Ventana de supresión*: utilizada por la radio aérea para limitar o “suprimir” la interferencia de co – canal recibida en ausencia de una señal deseada. Este parámetro informa a la radio aérea de la permisividad de tiempo de la ventana de llegada dentro de la cual todas las transmisiones de voz deseadas pueden pasar. Este parámetro es

dependiente de la cobertura operacional definida (por ejemplo, el servicio de volumen protegido) en dimensión y posición relativa con el lugar de la radio terrena. Este parámetro puede definirse como base para el tiempo de propagación completo con tal de dar así la mayor apertura de supresión para la aceptación de las transmisiones de co - canal.

- o **Diversidad de Escenario**: Este mensaje puede ser utilizado para informar a la radio aérea de hasta dos recursos de circuito alternativo (probablemente en distintos escenarios) en el hecho de perder la conectividad con el circuito inicial. La implementación de la diversidad de escenarios requerida para la búsqueda en la radio aérea es opcional y de la discreción de los proveedores de servicio. Si no se necesita la diversidad de escenario, o si los diversos escenarios emplean la misma frecuencia y ranuras de tiempo como lo primero (así no se requiere de la búsqueda en la radio aérea), este campo es basado en un identificador de frecuencia / ranuras de tiempo para el circuito actual.

Confirmación de entrada a la Red: utilizada para confirmar el acceso aleatorio de petición de entrada a la red. El mensaje de los parámetros del subcampo es utilizado para contestar la llegada de un nuevo usuario con el direccionamiento completo de 24 bits (ICAO).

El direccionamiento contenido en el campo de reservación de la misma ráfaga llega a ser el ID local de usuario del nuevo usuario entrante.

El código de corrección de error de la porción de datos del sistema de la ráfaga uplink del subcanal M es como el descrito con anterioridad. La porción total de datos del sistema de la ráfaga requiere cuatro bloques de código de palabra resultantes en un total de 24 bits habilitados para el sistema de datos.

Nótese que cualquier ráfaga uplink de subcanal M dada puede contener solamente un mensaje de inicialización. La Figura 3.8.4 muestra, para un grupo de usuarios dado, la programación de la radio terrena utiliza la ráfaga uplink del subcanal M. La programación establecida permite para un mensaje de inicialización un período de 960 ms correspondiente a 8 tramas TDMA. Note que

todas las oportunidades de proveer el mensaje de confirmación de entrada a la red no se necesita. Desde que el nuevo usuario entra a la red (o circuito) su necesidad será poco frecuente, es decir, no se necesitará en el tiempo de su programación el mensaje de confirmación de entrada a la red. Cuando este sea el caso, un código nulo de direccionamiento es utilizado, de esta manera se hace que el campo de reservación este habilitado para conceder el acceso a usuarios con el tráfico downlink cuando no exista una petición de entrada a la red para ser otorgada.

3.8.5. Administración del Formato de Ráfaga del Subcanal (Downlink).

La Ráfaga downlink del subcanal M es utilizada solamente por las radios aéreas para el acceso aleatorio en un esquema de ranuras ALOHA¹. La ráfaga downlink del subcanal M es utilizada para dos casos separados. El Caso 1 es usado por la radio aérea en la petición de reservación para el tráfico de datos downlink. El Caso 2 es usado por la radio aérea en la petición de entrada a la red. Los campos utilizados por ambos casos se muestran en la figura 3.8.1 y se explican a continuación:

Para el Caso 1

Tipo de Ráfaga: este campo es utilizado para permitir al receptor identificar adecuadamente una ráfaga recibida. Como se muestra en la figura 3.8.2., este campo contiene tres subcampos de 1 bit más uno disponible. El subcampo "Arriba/ Abajo" es codificado como "abajo" por los transmisores aéreos. El subcampo del subcanal es siempre codificado como M por los transmisores aéreos. La codificación del subcampo V/ D no es relevante para el subcanal M.

El ID local de usuario: este campo es utilizado para indicar que el usuario esta haciendo una petición de reservación.

Petición de Voz: este campo es utilizado para indicar que la identificación del usuario aéreo en el campo ID local de usuario esta pidiendo el acceso de voz. En la configuración del sistema que soporta recursos de circuito

¹ Ver Glosario.

dedicados para cada grupo de usuarios, los códigos son utilizados para proveer una indicación al usuario terreno quien a su vez decide el acceso al circuito. En la configuración del sistema 3T donde no hay circuitos de voz dedicados, los códigos son utilizados para iniciar una petición de acceso para la transmisión de voz.

Petición de Reservación: este campo es utilizado para indicar que el usuario aéreo identificado en el campo ID local de usuario esta pidiendo acceso para datos downlink. Los elementos de este campo son el número de ranuras que van a ser reservadas para el mensaje downlink, y la prioridad de dicho mensaje.

Para El Caso 2

Direccionamiento ICAO (Organización Internacional de Aviación Civil): este campo contiene el direccionamiento completo de 24 bits (ICAO). Esto constituye la petición de entrada a la red. Un segundo símbolo especial de 16 bit de la secuencia de sincronización es utilizado de la ráfaga downlink del subcanal M para la entrada a la red en el aspecto de que puedan ser identificados por los receptores terrenos. (Nota: los radios aéreos no requieren esta segunda secuencia para detección / decodificación.)

3.8.6. Circuitos Dedicados V/ D (Configuración de Sistema 2v2d).

En la configuración del sistema 2V2D, cada uno de los dos grupos de usuarios son proveídos con ranuras de tiempo para el tráfico V/ D. Todos los aspectos básicos de la operación de voz que han sido descritos anteriormente son aplicados en esta configuración del sistema. En adición a las capacidades básicas de voz, la habilidad para el direccionamiento discreto de los usuarios aéreos ofrece características adicionales asociadas con la operación de voz, tales como la "llamada selectiva" en el uplink y el "identificador de llamada (ID)" en el downlink.

Aplicación

Esta configuración provee recursos V/ D dedicados para cada uno de los dos grupos de usuarios con una sola frecuencia de 25 kHz asignada desde un sitio de radio terrena en el rango de hasta 215 nmi. La trama TDMA y la

estructura de ranura de tiempo descrita en la figura 3.2.1. se aplica a la configuración de sistema 2V2D. Un grupo de usuarios utiliza la ranura de tiempo "A" para el tráfico de voz y la ranura de tiempo "C" para el tráfico de datos. El segundo grupo de usuarios utiliza la ranura "B" para voz y la ranura "D" para datos. Cada uno de los dos grupos en esta configuración de sistema gana su identidad de la ranura de tiempo de voz. De allí, el selector de códigos de canal "A" y "B" serán los únicos códigos válidos aplicados a la asignación de frecuencia de 25 kHz que empleen esta configuración de sistema, ya que solo dos grupos de usuarios son soportados.

Protocolos de Acceso a la Comunicación

Para la operación de voz, el protocolo de acceso a la Comunicación es exactamente como el descrito anteriormente: se basa estrictamente en el protocolo "escuchar antes de hablar" con la capacidad adicional para la señalización de voz como se describió en el formato de la ráfaga del subcanal M anteriormente.

Para la operación de datos, el acceso de comunicación emplea un protocolo central de manejo de reservación para todo el tráfico de datos. Esta aproximación provee a las estaciones terrenas la máxima flexibilidad para hacer un uso eficiente de la capacidad del canal y para la priorización implementada en la capa de acceso a la comunicación. La detección de portadora no es requerida, aún para las radios aéreas o terrenas.

Los canales de manejo de las ranuras de datos y la ranura de voz asociada juegan un papel importante en el acceso a la comunicación para el tráfico de datos downlink. La ráfaga uplink del subcanal M asociada con la ranura de voz utiliza tramas de TDMA alternadas como se muestra en la figura 3.8.4. Las tramas de TDMA entrelazadas son utilizadas por la ráfaga downlink del subcanal M. La ráfaga del subcanal M asociada con la ranura de voz esta referida como la ráfaga " MV ".

Todas las ráfagas del subcanal M asociadas con la ranura de tiempo de datos son utilizadas para las ráfagas downlink del subcanal M. Las ráfagas de subcanal M asociadas con la ranura de datos son referidas como ráfagas " MD ". Se debe aclarar que el uso de la programación del subcanal M para la

combinación del par de ranuras V/ D de un solo grupo de usuarios, el ciclo completo del protocolo de acceso a comunicación requiere dos tramas de TDMA para un total de 240 ms.

El acceso para el tráfico de datos downlink es confirmado por la estación base terrena en la petición de reservación hecha por las radios aéreas sobre una base de ranuras ALOHA en la designación de ráfagas downlink del subcanal M. El acceso para el tráfico de datos uplink es manejado directamente por la estación terrena. Un ciclo completo para el protocolo de acceso de comunicación requiere de dos tramas TDMA para un total de 240 ms.

Inicialización del Circuito

En la entrada de frecuencia y el identificador de ranura dentro de la radio aérea comienza inmediatamente a monitorear el uplink del subcanal M asociado con la ranura de tiempo seleccionada. Los mensajes de inicialización asociados con la ranura seleccionada son utilizados para la configuración de la radio aérea para su operación en el circuito. La inicialización toma menos de un segundo.

En la inicialización del circuito, el control piloto es habilitado para monitorear las transmisiones de cualquier usuario en el circuito. Para transmitir, el control piloto ocupa la misma disciplina "escuchar antes de hablar" utilizada en el sistema actual de modulación de Amplitud de 25 KHz.

Cuando el control piloto asegura el PTT, la radio aérea automáticamente ajusta el tiempo desfasado para la ráfaga downlink del subcanal V/ D de acuerdo con la configuración del sistema dada como parte del mensaje de inicialización.

El procedimiento de entrada a la red es iniciado por la radio aérea inmediatamente en la inicialización. Para lograr la entrada en la red, la radio aérea transmite un petición de entrada a la red aleatoria entre una de tres oportunidades para las ranuras downlink del subcanal M en el ciclo del protocolo de acceso a la comunicación. La transmisión de la petición de entrada a la red es hecha sobre la base de ranuras ALOHA. Una recepción satisfactoria de la petición de entrada a la red resulta en un mensaje de confirmación de entrada a la red desde la estación terrena en la próxima oportunidad, así el usuario aéreo "logging in" al circuito y provee el ID local de usuario.

Operación de Voz

El mismo nivel de la capacidad operacional de voz descrito anteriormente es disponible para los nuevos usuarios que llegan tan pronto como el proceso de inicialización es completado. La operación de voz para este nivel no es dependiente del proceso de entrada a la red o de la participación aérea en el direccionamiento discreto y enlace de datos. Para los usuarios aéreos que participan en el direccionamiento discreto de enlace de datos, algunos mejoramientos en la operación de voz pueden ser soportados si se encuentra una operación deseable desde la perspectiva del usuario terreno. Esencialmente esto relaciona a la característica del "identificador de llamada" que puede sustituir las identidades verbales utilizadas por el control piloto en el downlink y una característica de "llamada selectiva" que habilita a los usuarios terrenos para la selectividad de la señal del usuario aéreo como el receptor de una llamada de voz. El ID local de usuario en el encabezado de la ráfaga V/ D utilizado para el tráfico de voz es también utilizado para implementar estas capacidades.

Operación de Datos

El direccionamiento para el enlace de datos se basa en el ID local de usuario asignado por la radio terrena en el tiempo de entrada a la red: la ráfaga uplink V/ D utilizada por el tráfico de datos emplea ID local de usuario en la porción del encabezado de la ráfaga para identificar al destinatario aéreo; las ráfagas downlink de las radios aéreas emplean el ID local de usuario para identificar la fuente del usuario aéreo.

En el downlink, no se requiere de direccionamiento de destino. Ya que el sistema es asumido para operar en una frecuencia de servicio de protección del volumen del ambiente, no hay nunca alguna ambigüedad por parte de las estaciones terrenas.

En el uplink, la estación terrena programa el tráfico de ráfagas uplink V/ D. La estación terrena puede utilizar ambas ráfagas de datos uplink y downlink (en un ciclo de acceso de comunicación dado) si no hay tráfico downlink para ser programado.

En el downlink, las radios aéreas con tráfico hacen peticiones de reservación en uno de las tres oportunidades de ráfagas downlink del subcanal

M en un ciclo de acceso a comunicación. Las peticiones incluyen el largo de los mensajes en términos del número de ráfagas V/ D requeridas y la prioridad del mensaje downlink. En la recepción satisfactoria de la petición de reservación, la estación terrena emite ambas; una petición de reservación o una próxima petición de reservación en el siguiente uplink del subcanal M. La emisión de cualquiera de éstas peticiones depende de la prioridad indicada y de las reservaciones hechas anteriormente de otros radios aéreos en espera. Ya que pueden ocurrir colisiones en la petición de reservación downlink, un algoritmo de retransmisión es requerido.

Administración de la Conexión

La administración de conexión puede ser automatizada al grado deseado por el proveedor de servicios. Una aproximación completamente manual para la administración de conexión (como se requiere en el sistema de solo voz) esta siempre disponible como una opción. Alternativamente, una aproximación semi-automática puede ser utilizada por medio de la cual la nueva asignación de canales es unlinked para la radio aérea adecuada bajo la iniciación debida al usuario terreno la cual es luego activada por el control piloto para el efecto del cambio de canal actual. Finalmente, una aproximación completamente automática puede ser utilizada donde no se requiere de la intervención del usuario terreno o del control piloto. Todas las aproximaciones, deben de ser manejadas por la aplicación de una base terrena externa (por ejemplo, procedimientos ATC o automatización).

CAPITULO 4

ACCESO MULTIPLE POR DIVISIÓN DE CÓDIGOS (CDMA) Y EL ESPECTRO DISPERSO

4.1. Conceptos Básicos de CDMA.

El acceso múltiple por división de código (CDMA) es una tecnología de comunicación inalámbrica que utiliza el principio de comunicación de espectro disperso. El objetivo de la tecnología CDMA es proveer un incremento en el ancho de banda en un sistema de frecuencia limitado, pero también posee otras ventajas como el rango extendido y una mayor seguridad en las comunicaciones. En un sistema CDMA, la señal de un mensaje de banda estrecha es multiplicada por una señal dispersa, la cual es un código de pseudo ruido con una secuencia que posee un rango mucho mayor que el rango de datos del mensaje. El CDMA utiliza estas secuencias de código como un significado de distribución entre las conversaciones individuales. Todos los usuarios del sistema CDMA usan la misma frecuencia de portadora y ello permite la transmisión simultáneamente.

El CDMA es una tecnología de manejo detrás del rápido avance en la industria de las comunicaciones personales. Debido a que ésta posee un mayor ancho de banda, eficiencia, y múltiples capacidades de acceso, el CDMA esta llegando a ser una tecnología líder que releva la congestión del espectro causada por la explosión en popularidad de los teléfonos móviles celulares, teléfonos inalámbricos mejorados, y terminales de datos inalámbricas. Desde su reconocimiento oficial como un protocolo digital para celulares, el CDMA esta siendo rápidamente implementado en las redes de comunicación inalámbrica de muchas corporaciones de telecomunicaciones.

4.2. Espectro Disperso.

Las señales de espectro disperso poseen la característica de combatir la interferencia debida al bloqueo intencional en los canales de radio. Es decir que, para cualquier par transmisor/ receptor que se comunica en una red de radios,

las otras señales de espectro disperso pueden ser colectivamente consideradas como una señal de bloqueo y, proveer sus números (códigos) que no son demasiados largos, en cada enlace para lograr una buena comunicación con dicha interferencia mutua involuntaria.

Se debe explicar el funcionamiento de los sistemas de comunicación de espectro disperso en algunas redes genéricas donde existan muchas señales de espectro disperso del mismo tipo utilizando un mismo tiempo y frecuencia. Específicamente se estudiarán dos sistemas básicos en relación a las comunicaciones de acceso múltiple:

1. Sistema punto a punto.
2. Sistema multipunto a punto.

Para un canal punto a punto, el acceso múltiple es alcanzado únicamente en la banda base utilizando un multiplexor y demultiplexor en el transmisor y receptor, como se muestra en las figuras 4.2.1. y 4.1.2. El sistema multipunto a punto corresponde a las figuras 4.2.3. y 4.2.4.; acá el acceso múltiple puede ser alcanzado en las frecuencias de radio.

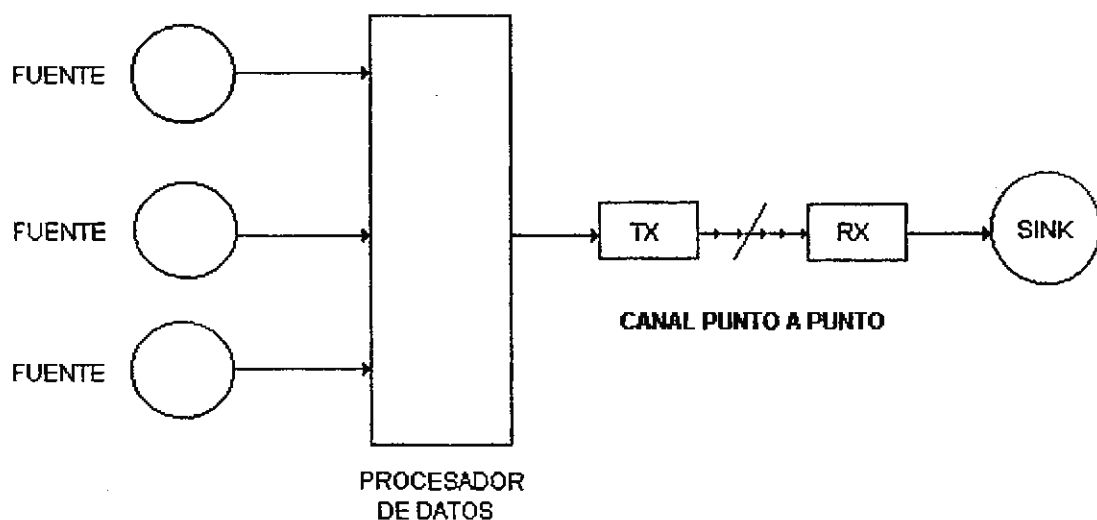


Figura 4.2.1. Canal Multiplexor.

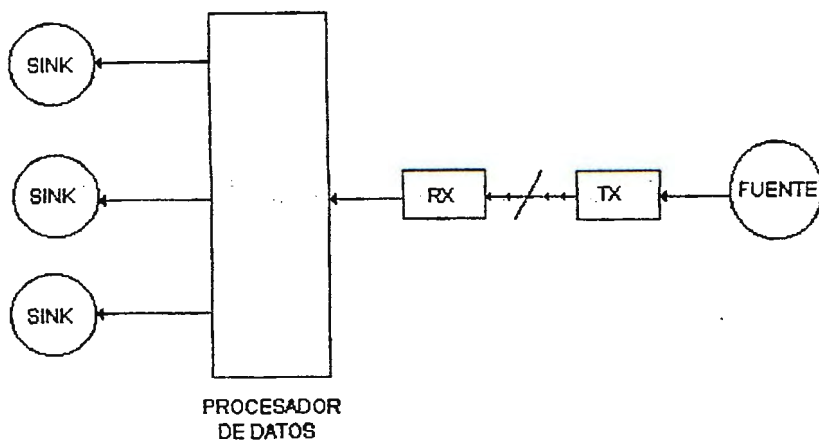


Figura 4.2.2. Canal Demultiplexor.

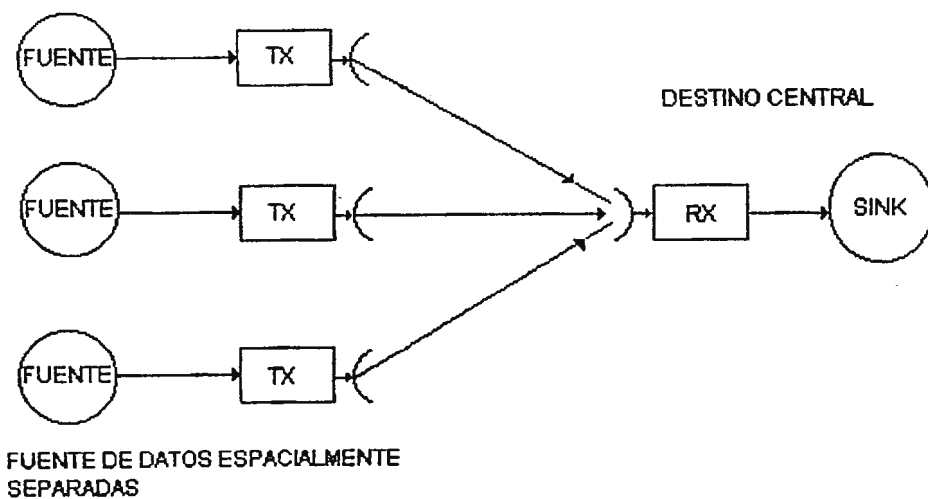


Figura 4.2.3. Distribución de un canal de Acceso Múltiple.

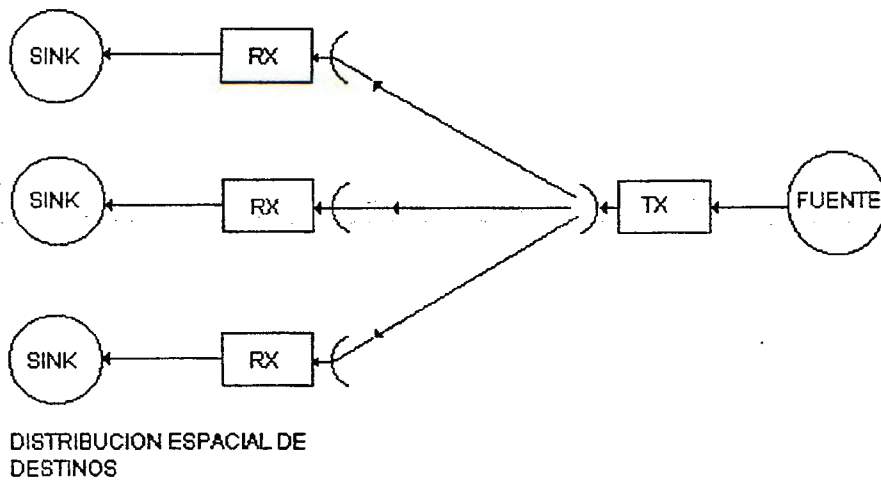


Figura 4.2.4. Distribución de una canal de difusión.

Dado que los sistemas se diseñan para combatir las interferencias de todo tipo, se obtienen ciertas capacidades de acceso múltiple tan buenas como la tolerancia a la interferencia mutua.

Los principios del diseño de las redes de radio digital militares no son tan bien comprendidas o desarrolladas para su aplicación en las redes digitales comerciales. Por un lado hay una mayor diversidad en los tipos de redes militares que las redes comerciales. Las radios de las redes militares son generalmente móviles, y están sujetas al bloqueo y al ataque físico, así como también deben de operar en todo tipo de ambientes. En adición, para reducir la vulnerabilidad territorial tácticamente las redes de radio digital generalmente requieren de la distribución de un control de red. Otro nivel más alto de redes, como una red de satélite, deben de tener un control de red centralizado.

4.2.1. Redes de Comunicación.

Existen diferentes tipos de redes de comunicación y éstas generalmente se encuentran interconectadas para formar parte de una red más amplia resultando en capas de redes de comunicación. Para colocar dentro del contexto y examinar

los problemas de la interferencia mutua y el acceso múltiple se consideraran dos ejemplos de redes de radio en donde algunos o todos los radios son móviles.

a) Redes descentralizadas (punto a punto)

Se considera un número de radios móviles ubicados a lo largo de un área. Y se asume que cada radio posee una antena omnidireccional sin la prioridad de la localización de las otras radios móviles. Todos los radios utilizan señales de espectro disperso para combatir el bloqueo intencional en donde cada radio posee un código único que genera una secuencia de pseudo ruido asignada a éste, y que también puede generar una secuencia de pseudo ruido asignada a alguna de las otras radios dentro de la misma área. También existe suficiente capacidad de procesamiento y memoria en cada una de las radios para mantener y actualizar el conocimiento de la conectividad de toda la red entre las diferentes radios. Se asume que no existe un controlador central y que cada radio esta dentro del rango de algún subgrupo de todas las radios en el área.

Considerando la comunicación punto a punto entre dos radios cualquiera. Y debido a que no se considero una conectividad completa entre las radios, esto representa una red de comunicación de multisaltos. Es decir, el enlace de una comunicación entre dos radios dentro de esta red requiere que las otras radios actúen como transmisores de la señal (relays).

Un método de fuerza bruta denominado “desbordamiento (flooding)”, se muestra en la figura 4.2.5. Suponiendo que la radio A quiere enviar un mensaje a la radio B, pero la radio A no tiene conocimiento de la ubicación de la radio B o de cualquier otra radio en la red. Asumiendo que todas las radios poseen un código común que genera una secuencia pseudo aleatoria común utilizada para la señalización de espectro disperso. La radio A transmite el mensaje de forma omnidireccional y que también identifica el destino (radio B) y la fuente (radio A). Dicha señal puede ser recibida por todas las radios dentro de algún rango, asumiendo que todas las radios utilizan un código común. El protocolo de las radios en la red retransmite el mismo mensaje sólo una vez después de ser recibido. Aquí, como se muestra en la figura 4.2.5 (a) la radio A primero transmite el mensaje. En la figura 4.2.5 (b) solo las radios

pintadas con negro primero reciben la transmisión del mensaje de la radio A y luego retransmiten el mismo mensaje. En la figura 4.2.5 (c) se muestran los radios que recibieron el mensaje por primera vez después de la segunda transmisión, la cuales a su vez retransmiten el mismo mensaje con el resultado final de que la radio B reciba el mensaje como se muestra en la figura 4.2.5 (d). Sin embargo, las retransmisiones continúan hasta que cada radio a recibido y retransmitido el mensaje una vez.

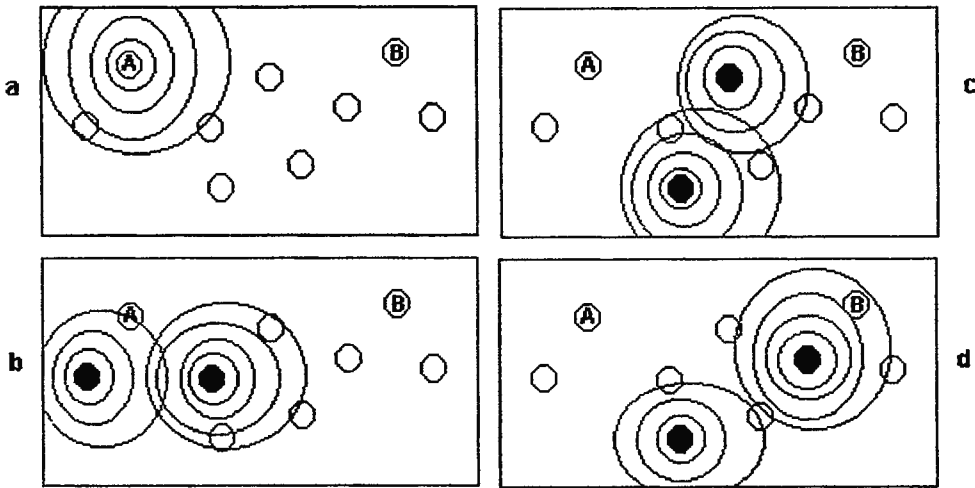


Figura 4.2.5. Técnica de desbordamiento.

En esta técnica de desbordamiento un solo radio puede recibir la misma señal simultáneamente de algunas otras radios. Esto es lo mismo que recibir una señal desde un solo transmisor en un canal de multi trayectoria. Si los retrasos relativos entre las diferentes señales es más grande que un período de chip. Entonces el receptor puede resolver esta diferencia y detectar únicamente una sola señal. Típicamente en los sistemas de radios móviles digitales ocurre una multi trayectoria real y algunas técnicas para poder manejarla son requeridas.

Existen varios esquemas de la técnica de desbordamiento. Por el momento, cada radio puede retransmitir el mismo mensaje más de una vez. Sin embargo, el número máximo de saltos para una señal de desbordamiento debe ser requerido para cada retransmisión y actualizar el contador de saltos el

cual también es transmitido. Si una radio recibe una señal con un conteo igual al valor predeterminado, ésta ya no lo retransmitirá. Otra aproximación es que cada radio que recibe una señal debe de esperar un tiempo aleatorio antes de su retransmisión. Y si éste recibe otra copia de la misma señal mientras este espera. El mensaje ya no será retransmitido.

La técnica de desbordamiento es un camino ineficiente para que la radio A envíe un mensaje a la radio B. Ya que ésta técnica resulta en una transmisión excesiva por otros terminales y muy pocos mensajes pueden ser enviados a través de la red al mismo tiempo. Sin embargo, esto puede ser muy bien utilizado para difundir un mensaje corto de emergencia a muchos terminales a la vez.

Para que la radio A transmita un mensaje de una forma más eficiente a la radio B, éste necesita saber de la conectividad de los radios en la red para que así pueda dar una ruta al mensaje a través de la red. Esto significa que todas las radios deben de saber como están conectadas todas las otras radios en la red. Aquí se dan dos problemas:

1. primero como deben hacer las radios para saber acerca de la conectividad de todas las radios en la red.
2. Segundo cuando se sabe de la conectividad de la red, como puede el radio transmisor proporcionar la ruta adecuada a través de la red.

Una aproximación es asumir que existe un código común de red que es utilizado para generar una secuencia pseudo aleatoria común para el efecto de poder manejar el tráfico existente en la red. Dicha secuencia es utilizada por las radios para saber como las radios están conectadas en la red. Aquí la técnica de desbordamiento puede ser utilizada con una radio para enviar un paquete de "búsqueda de ruta" en cada una de las otras radios agregándole al mensaje una identificación propia al paquete antes de su retransmisión. Entonces donde quiera que una radio reciba una señal, ésta conocerá la secuencia de las radios que han transmitido dicha señal. Con suficientes retransmisiones cada radio puede obtener algún conocimiento de cómo la red de radios esta conectada. Para una variación de tiempo de la red de radios móviles esta técnica de

desbordamiento de búsqueda de ruta es repetida periódicamente así como la red cambia.

Lo anterior es común practicarlo en las redes de comunicación para saber acerca de la recepción de los mensajes. La falla en la confirmación de recepción causa una retransmisión del mensaje. En las redes multisalto, donde los mensajes son retransmitidos una o más veces, los reconocimientos son utilizados para cada retransmisión (salto por salto), desde el destino final hacia la fuente (final a final), o ambos.

b) Redes Centralizadas (multipunto a punto).

Las comunicaciones Militares por satélite son usualmente satélites de procesamiento que puede aplicar el proceso inverso de dispersión, demodular, decodificar, reformatear, y proporcionar varias rutas para enlaces downlink que emitan señales de espectro disperso uplink desde varias radios móviles y terminales estacionarios. Generalmente, como el satélite es el nodo central en una red en forma de estrella como se muestra en la figura 4.2.6 donde el satélite sirve como el control central para la red. Este tipo de red de radios representa el extremo contrario de las redes terrestres de radio descrita anteriormente. Para una red en forma de estrella el nodo central provee tiempo de sincronización para cada radio, típicamente a través de un lazo de retroalimentación donde cada terminal de radio ajusta su tiempo de referencia basado en la retroalimentación desde el nodo central. Este es denominado un sistema multipunto a punto donde el nodo central simultáneamente recibe señales desde muchas de las radios.

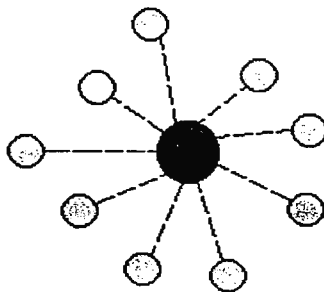


Figura 4.2.6. Una red en forma de estrella.

Una generalización de la red en estrella se muestra en la figura 4.2.7. En ella se pueden notar varias redes en forma de estrella con sus respectivos nodos centrales formando una conexión de red completa y de alto orden. Esto podría representar un solo satélite de procesamiento donde cada red en forma de estrella puede representar una antena separada de emisión, una banda de frecuencia separada, una portadora de espectro disperso separada, o cualquier combinación de éstas. Cada red puede representar también satélites separados con enlaces cruzados que pueden o no estar completamente conectados. Existe la posibilidad que cualquier terminal de radio este habilitada para hacer el cambio de una red en forma de estrella a otra.

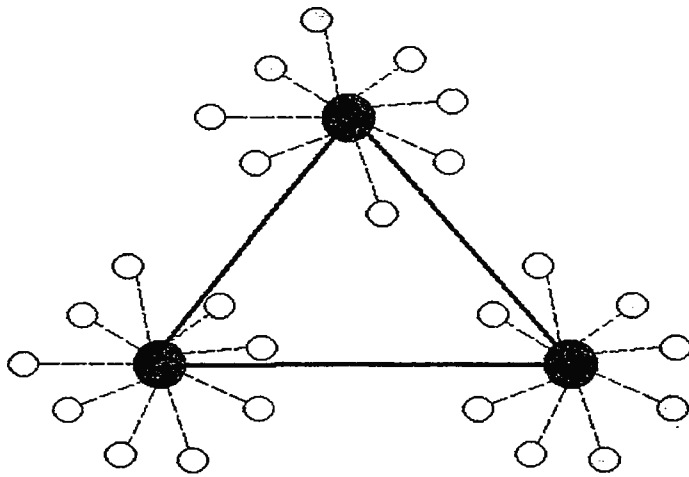


Figura 4.2.7. Conexión completa de red en forma de Estrella.

La red en forma de estrella presenta el problema del acceso múltiple de cómo varias radios físicamente separadas transmiten señales de espectro disperso simultáneamente hacia un solo nodo central.

4.3. Espectro Disperso Aplicado en el CDMA.

La tecnología CDMA se enfoca principalmente en el método de secuencia directa del espectro disperso. La secuencia directa es una técnica del espectro

disperso en la cual el ancho de banda de una señal es incrementado debido a un incremento en el rango de los bits de datos. Esto se logra partiendo cada bit en un número de sub bits llamados "Chips". Asumiendo que este número es de 10, cada bit de la señal original puede ser dividido en 10 bits separados, o "chips". Este resultado es un incremento de 10 en el rango de datos. Debido al incremento del rango de datos por 10, ocurre un incremento en el ancho de banda por 10.

La señal es dividida en pequeños bits multiplicándolos por un código de pseudo ruido, denominado código PN. Un código PN es una secuencia de alto rango de bits (chips) que van desde -1 a 1 (polar) o de 0 a 1 (no polar). Cuando se hace referencia del número de chips utilizados, se hace referencia al número pequeño de bits de datos en el código PN por un bit simple de la señal original. Simplemente multiplicando la señal original modulada por este alto rango de datos del código PN se obtiene como resultado la división de la señal en pequeños bits, y el incremento de su ancho de banda.

El proceso es el siguiente,

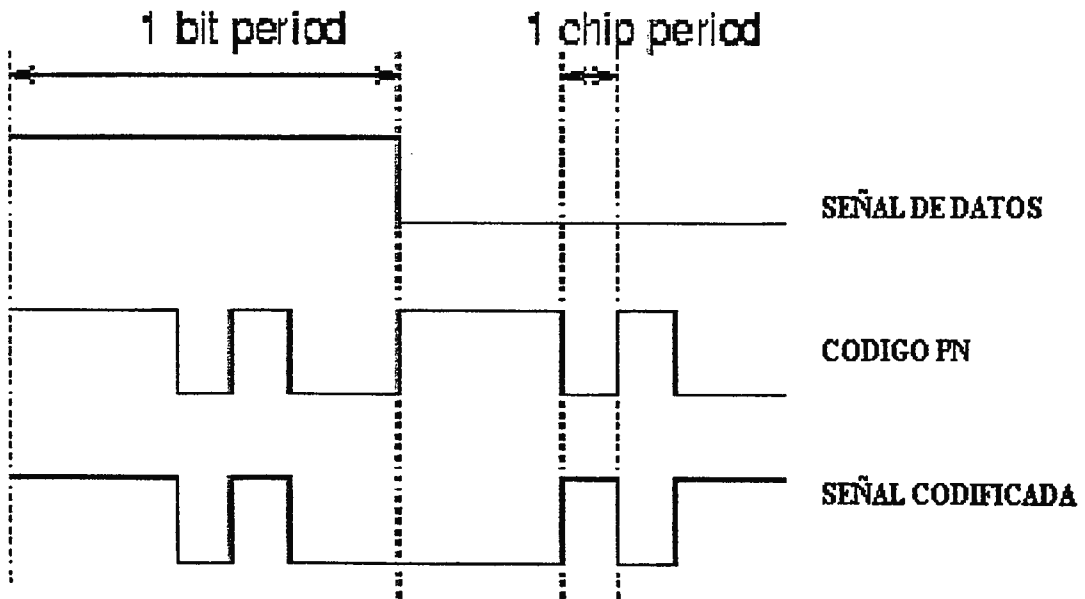


Figura 4.3.1. Proceso de codificación.

El mayor número de chips utilizados resulta en un ancho de banda más amplio que es proporcional al número de chips.

La operación básica del transmisor y receptor para el espectro disperso se puede describir brevemente. Asumamos que hay dos transmisores con dos mensajes diferentes para ser transmitidos. Se debe tener en mente que cada transmisor puede ser imaginado como teléfonos móviles por separado. El mensaje $M_1(t)$ y $M_2(t)$ primero pasan por un modulador que sirve para modular el mensaje en una portadora de mayor frecuencia. Para el espectro disperso, todos los mensajes son modulados sobre la misma portadora de frecuencia. La salida de cada uno de los moduladores será $S_1(t)$ y $S_2(t)$. después del modulador, cada señal es multiplicada por su propio y único código de pseudo ruido, $C_1(t)$ y $C_2(t)$. Este representa el alto rango de bits de datos con el cual se dispersa el ancho de banda de las señales. Como un ejemplo asumiremos que el rango de valores para el código PN es de -1 a 1 . después de dispersar el ancho de banda, cada señal es transmitida. Debido a que muchas señales pueden ser transmitidas desde diferentes transmisores al mismo tiempo, se debe representar todas las transmisiones simplemente como la suma de sus espectros.

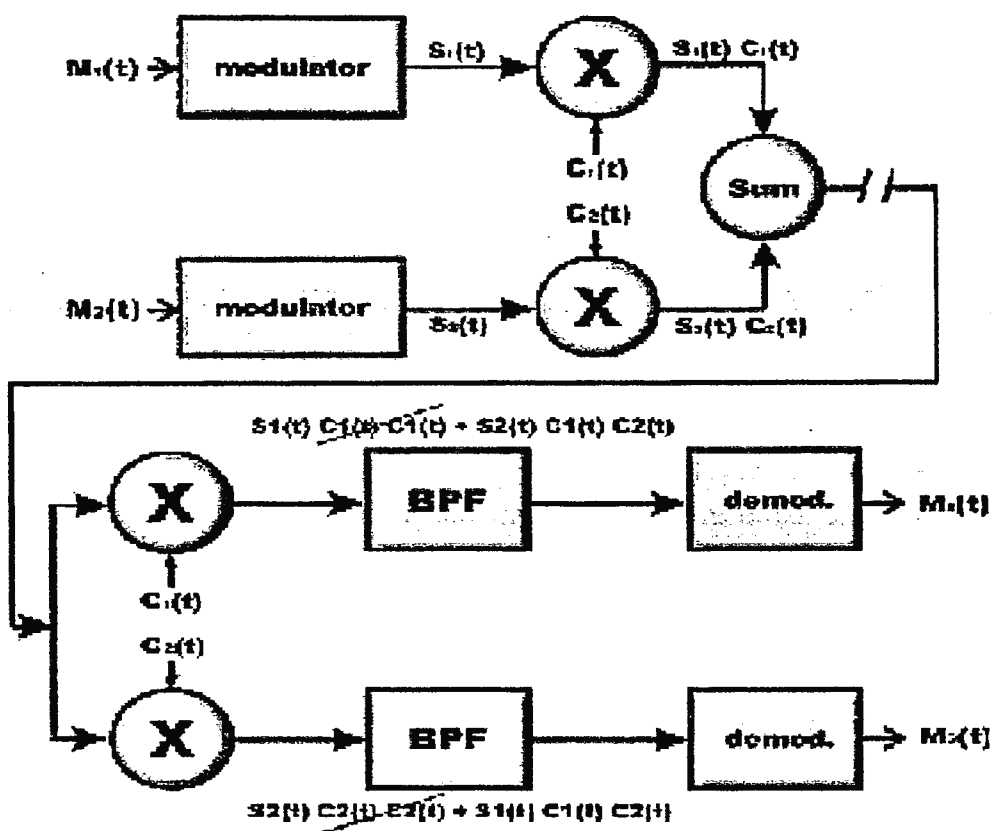


Figura 4.3.2. Operación Básica del Transmisor y Receptor para el Espectro Disperso.

Cuando el receptor finaliza, la señal recibida es la señal de espectro disperso. Para que el receptor pueda extraer un mensaje, éste debe multiplicar la señal recibida por el código PN correcto. Debido a que se selecciono el código PN en el rango de -1 a 1 , esta técnica de multiplicar por el código PN trabaja perfectamente. Desde que la señal original en el transmisor finaliza esta es multiplicada por el código PN, luego se multiplica por el mismo código PN en el receptor, con ello se logra cancelar el código PN para un mensaje en particular.

Eliminación del código PN,

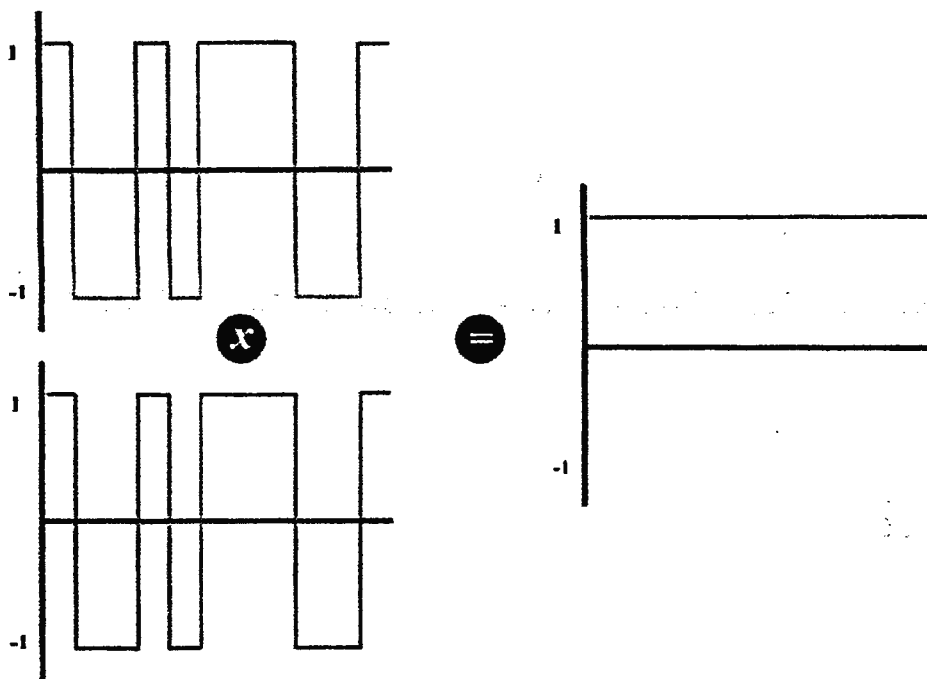


Figura 4.3.3. Eliminación del código PN.

Una vez eliminado el código PN, se deben eliminar los efectos del espectro disperso para la señal de un mensaje en particular. El circuito de recepción que realiza este trabajo es llamado correlacionador (correlator), y este hace que la señal dispersa vuelva a ajustarse al ancho de banda original centrado en la frecuencia de portadora del modulador. La señal resultante es pasada posteriormente por un filtro de pasa banda (BFP) centrado en la frecuencia de la portadora. Esta operación selecciona solamente la señal deseada mientras rechaza todas las otras frecuencias de otros mensajes dentro del espectro disperso. Este rechazo es conocido como el proceso de ganancia de la no dispersión del proceso de correlación. Finalmente, la señal deseada es demodulada para eliminar la portadora de frecuencia.

El procesamiento de ganancia es una consecuencia directa de la secuencia de la señal de radio dispersada y del proceso de no dispersión. Esto hace referencia al incremento en la razón de señal a ruido que resulta de este proceso, y que se requiere para una comunicación de datos completa. El procesamiento de ganancia como el número de chips por bit de datos incrementa, y esto puede ser manipulado por el diseñador de sistema para obtener el efecto deseado.

4.4. Técnicas de CDMA.

Las diferentes técnicas de espectro disperso son: Secuencia Directa (DS), saltos de frecuencia (FH), saltos de tiempo (TH) y Multi - portadoras CDMA (MC-CDMA). Es también posible hacer uso de combinaciones de las diferentes técnicas.

Las técnicas más populares empleadas son: la secuencia directa y los saltos de frecuencia.

4.4.1. Secuencia Directa.

La secuencia directa es la técnica de espectro disperso más popular. Las señales de datos son multiplexadas con una secuencia de bit pseudo aleatoria, generalmente conocido como el código de ruido pseudo aleatorio (PN-CODE).

Un código PN es una secuencia existente con valores de -1 y 1 polar ó 0 y 1 en un sistema no polar. Como secuencia de bit posee propiedades como el ruido, la llanura del espectro, el cruce por cero y los valores de auto correlación, debido a ello el bloqueo intencional o la detección por otros receptores se vuelve más complicada.

Existen varias familias de códigos PN: Secuencias M, Códigos - Gold y Códigos - Kasami en donde los últimos dos pueden ser creados por una combinación en el número de Secuencias M. Una forma inusual de crear un código de pseudo ruido es a través de shift register con taps de retroalimentación. Colocando los taps de retroalimentación en un posición específica, la secuencia de salida de un shift register es de longitud máxima. Las familias de códigos mencionadas poseen dicha propiedad. Cuando la longitud de un shift register es n , la longitud de la secuencia resultante es:

$$N_{DS} = 2^n - 1.$$

En los sistemas de Secuencia Directa la longitud del código es igual al factor de dispersión, entonces:

$$G_p (DS) = N_{DS}$$

donde G_p es el factor de dispersión.

Como ejemplo: En un proceso de dispersión con un $N_{DS} = 7$. El ancho de banda de la señal de datos es multiplicada por este factor (N_{DS}). La potencia contenida sin embargo permanece igual, con el resultado de que la densidad de potencia del espectro es disminuida.

La generación de un código PN es relativamente fácil. Un número de shift register con taps de retroalimentación es todo lo que se necesita. Por esta razón es muy fácil obtener un largo proceso de ganancia en los sistemas de Secuencia Directa.

En el receptor, la señal es multiplexada nuevamente con el mismo código PN (sincronizado). Desde que existe un código de + 1s y - 1s, esta operación remueve completamente el código de la señal y así los datos de la señal original son recuperados. Otra observación es que la operación de reconstrucción de la señal en el receptor (no dispersión) es igual que la operación de dispersión. La consecuencia de este proceso es un posible bloqueo o interferencia en la señal del canal de radio que pueda ser dispersada antes de que se lleve a cabo la detección de los datos. Con respecto a ello los efectos por bloqueo son reducidos. (ver la siguiente figura)

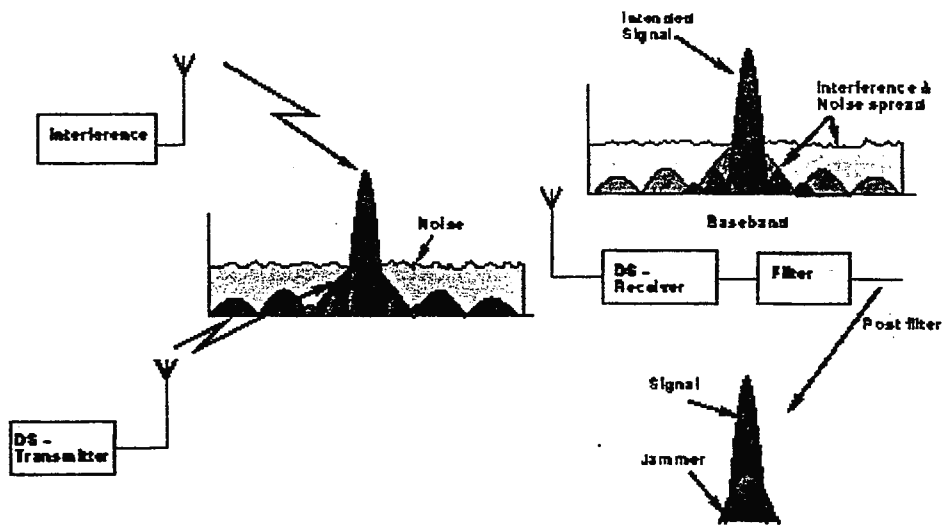


Figura 4.4.1. Reconstrucción de la Señal.

Un gran problema con la dispersión por acceso múltiple de secuencia directa es el efecto conocido como "efecto cerca - lejos" el cual se mostrará en la siguiente figura (Figura 4.4.2.). Este efecto se hace presente cuando el transmisor

de interferencia (B) CDMA se encuentra mucho más cerca del receptor (A) que el transmisor (A) quien trata de establecer la comunicación con dicho receptor (A).

Aunque la correlación cruzada del "Código A" y el "Código B" es baja, la correlación de la señal recibida desde el transmisor de interferencia con el "Código A" en el receptor puede exceder la correlación de la señal recibida desde el transmisor en cuestión (A) y del código correcto. Lo que hace que la detección adecuada de los datos sea más difícil.

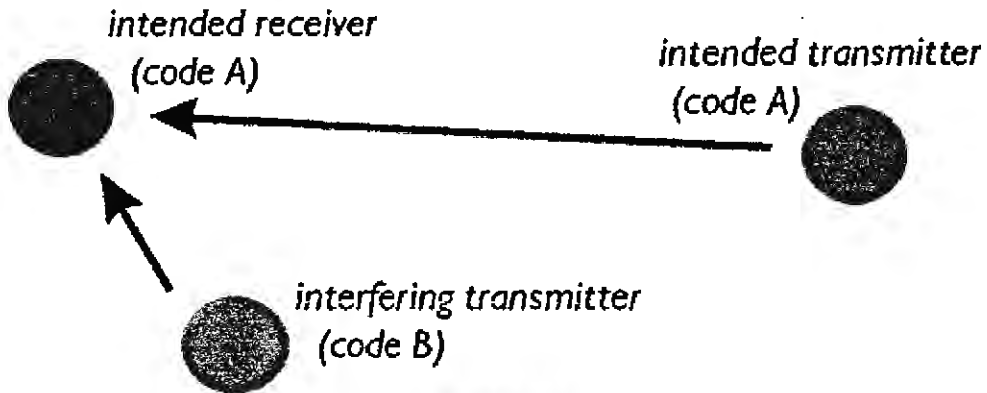


Figura 4.4.2. Problema Cerca-Lejos.

Para ayudar a eliminar el Problema Cerca - Lejos, el CDMA usa el control de potencia. La estación base realiza rápidamente un bosquejo de la fuerza de las señales de radio indicando los niveles de cada teléfono móvil y después envía un comando de cambio de potencia sobre el enlace de radio hacia adelante. Este bosquejo es hecho 800 veces por segundo y puede ser ajustado en 84 pasos de 1 decibel dB. El propósito de esto es que la potencia recibida de todos los usuarios sea aproximadamente igual. Esto soluciona el problema de que un suscriptor cercano posea una potencia mayor en la recepción de la estación base y deje fuera la señal de los suscriptores más lejanos. Un beneficio extra que se consigue con el control de potencia es la vida de carga de la batería. Esto es, cuando una unidad móvil esta cerca de la estación base, su potencia de salida debe ser baja. Dicho en otras palabras, la unidad móvil debe transmitir a una potencia adecuada para mantener la comunicación.

4.4.2. Saltos de Frecuencia.

Cuando se aplican saltos de frecuencia, la portadora de frecuencia esta saltando de acuerdo a una única secuencia (una Secuencia FH de tamaño N_{FH}). De esta forma el ancho de banda es incrementado por un factor de N_{FH} (si el canal no se encuentra traslapado) :

$$G_p (FH) = N_{FH}$$

El proceso de saltos de frecuencia se muestra en la figura 4.4.3. Una desventaja de los saltos de frecuencia comparada con la secuencia directa es que se hace difícil obtener un alto proceso de ganancia. Un sintetizador de frecuencia es requerido, que tenga la capacidad de saltar rápidamente sobre un grupo de portadoras de frecuencia (FH). Para ello se requiere de: más frecuencias de salto FH, un proceso de ganancia más elevado y de una mayor demanda del sintetizador de frecuencia.

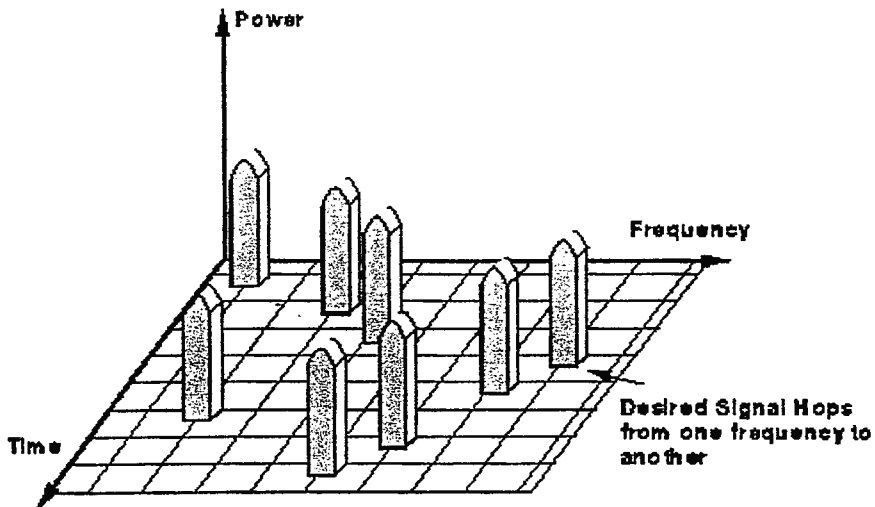


Figura 4.4.3. Saltos de frecuencia.

Por el contrario, los saltos de frecuencia son menos vulnerables al efecto cerca - lejos que la secuencia directa. Las secuencias de salto de frecuencia poseen solamente un número limitado de bits entre sí. Esto significa que si existe una interferencia cerca, no se bloquea la señal completamente pero si sólo un número limitado de secuencias de frecuencias salta. De los saltos de frecuencia

que no son bloqueados es posible recuperar el mensaje de datos original, aplicando técnicas de corrección de errores.

Dos tipos de técnicas de saltos de frecuencia se pueden distinguir. Primero los saltos rápidos de frecuencia donde el período del salto de frecuencia es más pequeño que el período de los símbolos (bits) mientras que en la segunda técnica llamada saltos lentos de frecuencia el período de los saltos de frecuencia es más largo que un período de símbolo de datos. Hay que mencionar que dependiendo de la técnica a utilizar también dependerá de ello el código de corrección a ser aplicado.

4.4.3. Multi - portadora Ortogonal de CDMA (MC-CDMA).

Existen muchos caminos equivalentes para describir el MC-CDMA:

1. MC-CDMA es una forma de CDMA o de espectro disperso, pero se aplica la dispersión en el dominio de la frecuencia (mejor que en el dominio del tiempo como en la secuencia directa de CDMA).
2. MC-CDMA es una forma de secuencia directa de CDMA, pero antes de ser dispersada, se le aplica la transformada de Fourier es (FFT).
3. MC-CDMA es una forma de multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM), pero primero se aplica una operación con la matriz ortogonal a los bits utilizados. Por lo tanto, el MC-CDMA es a veces llamado "CDMA-OFDM".
4. MC-CDMA es una forma de secuencia directa CDMA, pero el código de secuencia es la transformada de Fourier de una secuencia de Hadamard Walsh.
5. MC-CDMA es una forma de diversidad de frecuencia. Donde cada bit es transmitido simultáneamente (en paralelo) sobre muchas diferentes sub portadoras. Cada sub portadora tiene un desplazamiento de fase (constante). El grupo de desplazamientos de fase forman el código para distinguir a diferentes usuarios.

El MC-CDMA no es el mismo del DS-SS utilizado en portadoras múltiples.

4.4.3.1. Las ventajas del MC-CDMA.

- Comparado con la secuencia Directa (DS) CDMA: El DS-CDMA es un método para compartir el espectro junto con múltiples usuarios simultáneamente. Además, éste puede explotar la diversidad de frecuencia, utilizando receptores de rastreo. Sin embargo, en un canal de multi-trayectoria dispersado, el DS-CDMA con un factor N de dispersión puede acomodar N usuarios simultáneos sólo si son utilizadas altas técnicas de cancelación de interferencia. En la práctica esto es difícil de implementar. El MC-CDMA puede manejar N usuarios simultáneos con un buen BER, utilizando técnicas estándar de recepción.
- Comparado a OFDM. Para evitar errores de bits excesivos en las sub portadoras que existen en un desvanecimiento profundo, el OFDM típicamente aplica la codificación. De aquí que el número de sub portadoras necesitado sea más grande que el número de bits o símbolos transmitidos simultáneamente. El MC-CDMA reemplaza este codificador por la operación de la matriz $N \times N$. Los resultados obtenidos son la mejora del BER.

Los sistemas de MC- CDMA (Acceso múltiple por división de código) permiten transmisiones simultaneas de algunas señales de usuarios sobre el mismo grupo de sub portadoras. En el multiplexor del enlace Terreno, esto puede ser implementado utilizando un inversor de FFT y una matriz de código.

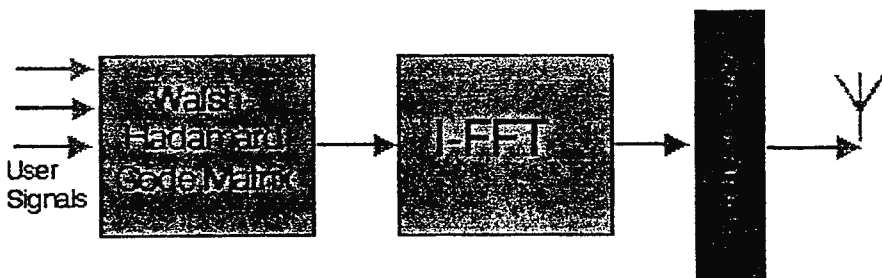


Figura 4.4.4. Funcionamiento de los Sistemas MC-CDMA (usando FFT).

La Figura 4.4.4. muestra la implementación del FFT sobre una estación base de multiplexación y transmisión de MC-CDMA

4.4.3.2. El MC-CDMA como un caso especial del DS-CDMA.

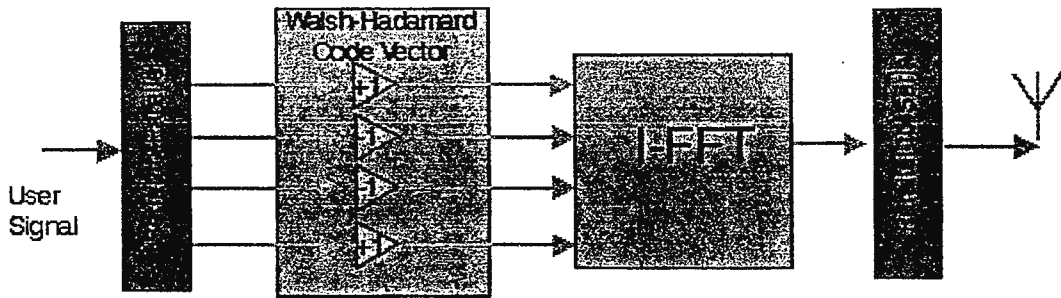


Figura 4.4.5. Transmisor de Espectro Disperso de Multi - portadoras.

La Figura 4.4.5. muestra la posible implementación de un transmisor de espectro disperso de Multi- portadoras. Cada bit es transmitido sobre una sub portadora N diferente. Cada sub portadora tiene su propio desplazamiento de fase, determinado por el código de dispersión. Hay que notar que el código es fijado en el tiempo, pero solo varía con la frecuencia de sub portadora.

El transmisor también puede ser implementado como un transmisor de secuencia directa de CDMA, por ejemplo, uno en el cual la señal del usuario es multiplicada por una secuencia de código rápida. Sin embargo, la nueva secuencia de código es la transformada discreta de Fourier de un binario, que se conoce como la secuencia de Código Walsh, la cual posee valores complejos.

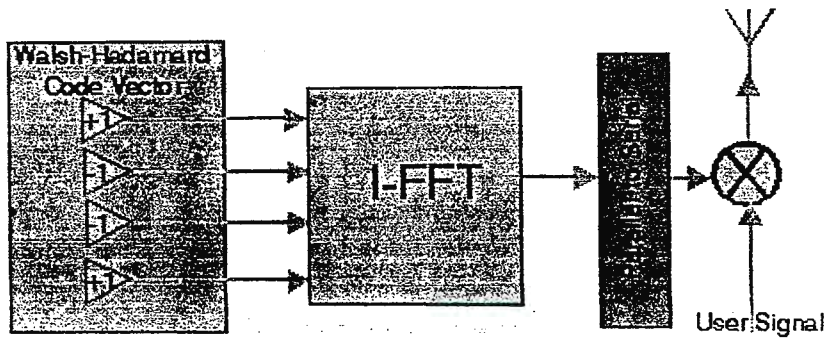


Figura 4.4.6. Transmisor de Espectro Disperso de Multi - portadora (utilizando Secuencia directa).

La Figura 4.4.6. muestra Implementación Alternativa de un transmisor de espectro disperso de Multi- portadoras, utilizando el principio de la Secuencia Directa.

4.5. Funcionamiento General de CDMA.

El CDMA inicia con una señal de banda angosta a la velocidad plena de datos de 9600 bps. Con el uso de códigos especializados, esto se amplía a un ancho de banda de 1.23 MHz. Cuando se transmite una señal de CDMA, ésta experimenta altos niveles de interferencia dominados por las señales codificadas de otros usuarios de CDMA. Esto toma dos formas, la interferencia debido a otros usuarios en la misma celda y la interferencia de las celdas adyacentes. La interferencia total también incluye el ruido de fondo y otras señales espurias o indeseables. Cuando se recibe la señal, el correlacionador se encarga de recobrar la señal deseada y rechaza la interferencia, lo cual es posible debido a que las fuentes de interferencia no están correlacionadas con la señal deseada.

El concepto de CDMA

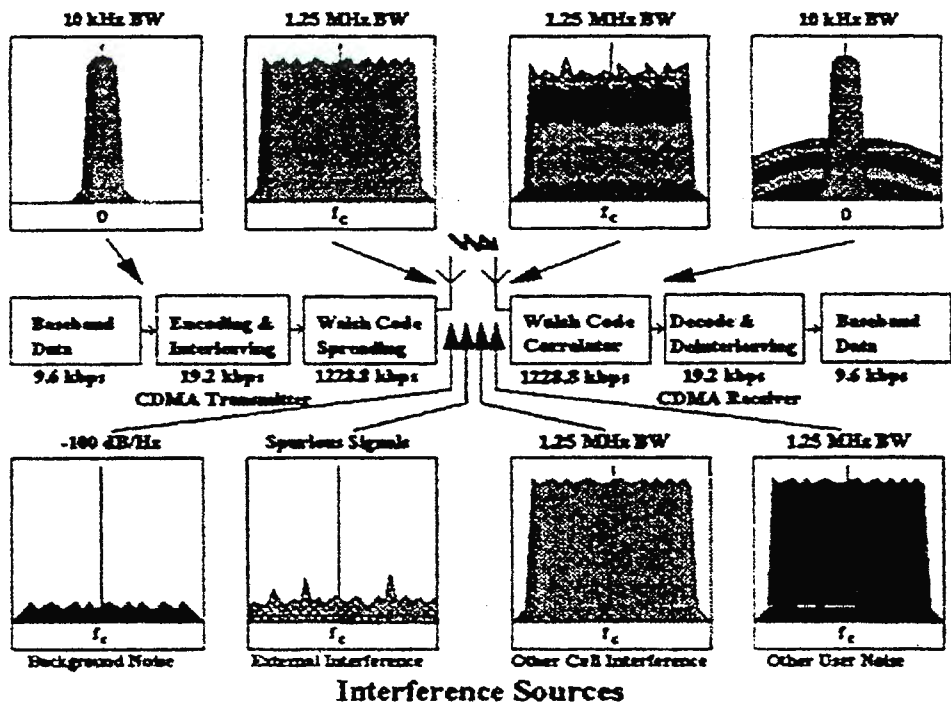


Figura 4.5.1. Concepto de CDMA.

He aquí algunas diferencias entre el CDMA y la Frecuencia Modulada analógica:

- Hay simultáneamente en una frecuencia múltiples usuarios.
- Además de la frecuencia con el código de correlación se define un Canal.
- El límite de la capacidad es bajo. La capacidad puede incrementarse con cierta degradación en la tasa de error de bit o la calidad de voz.

Otro aspecto de CDMA es la diversidad. El CDMA utiliza tres tipos de diversidad:

- a) La diversidad Espacial: adquiere dos formas
 - Dos antenas. La estación base utiliza dos antenas receptoras para obtener una mayor inmunidad al desvanecimiento gradual. Esta es la versión clásica de la diversidad espacial.

- Múltiples estaciones base hablan simultáneamente con la unidad móvil durante la transferencia leve (SoftHand off).

Durante la Transferencia Leve, se hace contacto simultáneamente con dos estaciones base. Las señales de la base a la unidad móvil se consideran como señales de multitrayectoria y se combinan coherentemente en la unidad móvil. En las estaciones base, las señales se transmiten por medio de la red a la Oficina de Conmutación de Teléfonos Móviles (MTSO), donde cada 20 segundos, se toma una decisión de calidad trama por trama.

Diversidad espacial durante la transferencia leve (soft handoff)

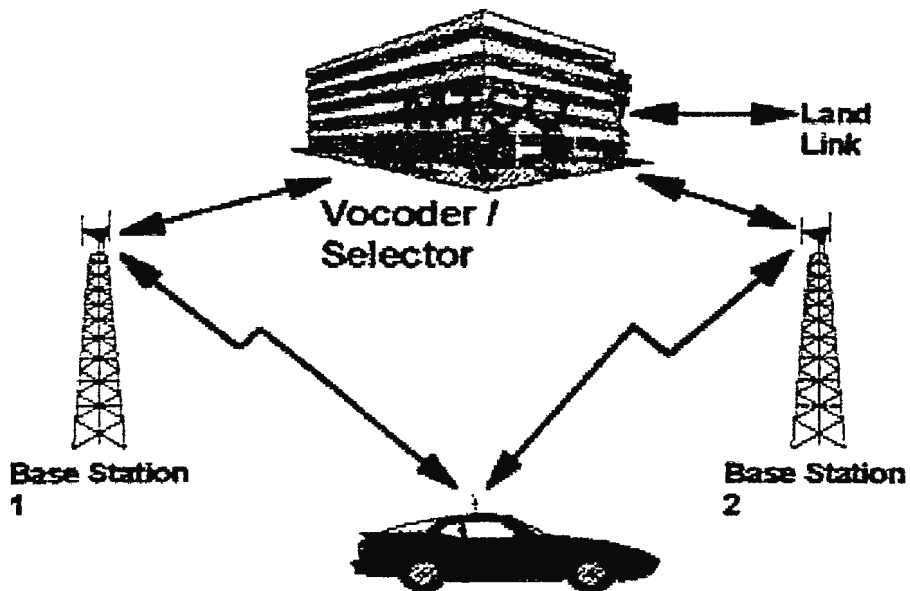


Figura 4.5.2. Diversidad Espacial durante el SoftHand off.

- b) La diversidad de Frecuencia: Es inherente en los sistemas de espectro ensanchado. Con los sistemas de banda angosta es menos probable que haya un desvanecimiento de la señal. El desvanecimiento lo causa una multitrayectoria y es una función de los retrasos de tiempo en las trayectorias alternas. En el dominio de la frecuencia, el desvanecimiento aparece como un filtro de ranura que se mueve a lo largo de la banda. A medida que se mueve el usuario, cambia la frecuencia de la ranura. El

ancho de la ranura es del orden de uno sobre la diferencia en el tiempo de llegada de dos señales. Para un retraso de un segundo la ranura tendrá un ancho de aproximadamente 1 MHz. El sistema de CDMA [de TIA (Asociación de la Industria de Telecomunicaciones)] utiliza un ancho de banda de 1.25 MHz, por lo tanto sólo las multitrayectorias de tiempo de menos de un segundo causan en realidad que la señal experimente un desvanecimiento profundo. En muchos ambientes, las señales de multitrayectoria llegarán al receptor después de un retraso mucho más prolongado. Esto significa que sólo se pierde una parte angosta de la señal. El desvanecimiento puede tener un ancho de 200 a 300 KHz, lo que da como resultado una pérdida de potencia para la señal de CDMA, pero podría dar como resultado una pérdida total de una señal analógica o de TDMA.

Diversidad de frecuencia

- Combats Fading, Caused by Multipath
- Fading Acts like Notch Filter to a Wide Spectrum Signal
- May Notch only Part of Signal

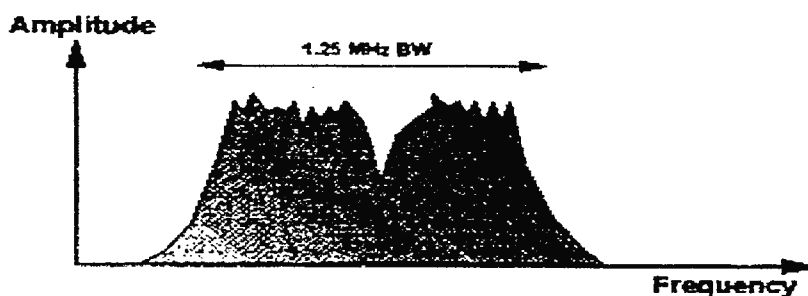


Figura 4.5.3. Diversidad de Frecuencias.

- c) La diversidad de Tiempo: Es la técnica más común dentro de los sistemas de transmisión digital. Las señales se expanden en relación con el tiempo utilizando la intercalación. Se aplica la corrección de errores hacia delante junto con un detección máxima de probabilidad. El esquema especial utilizado para el CDMA es la codificación de convolución en el transmisor

con la decodificación Viterbi utilizando en el receptor en los puntos leves de decisión.

El CDMA aprovecha la multitrayectoria utilizando multi receptores y asignándolos a las señales más fuertes. El receptor móvil utiliza tres elementos de recepción y la estación base utiliza cuatro. A este sistema de multi correlación se le llama un receptor de inclinación. Además de los correlacionadores separados, también se utilizan los localizadores para buscar multitrayectorias alternas y para acercar las señales de la estación base.

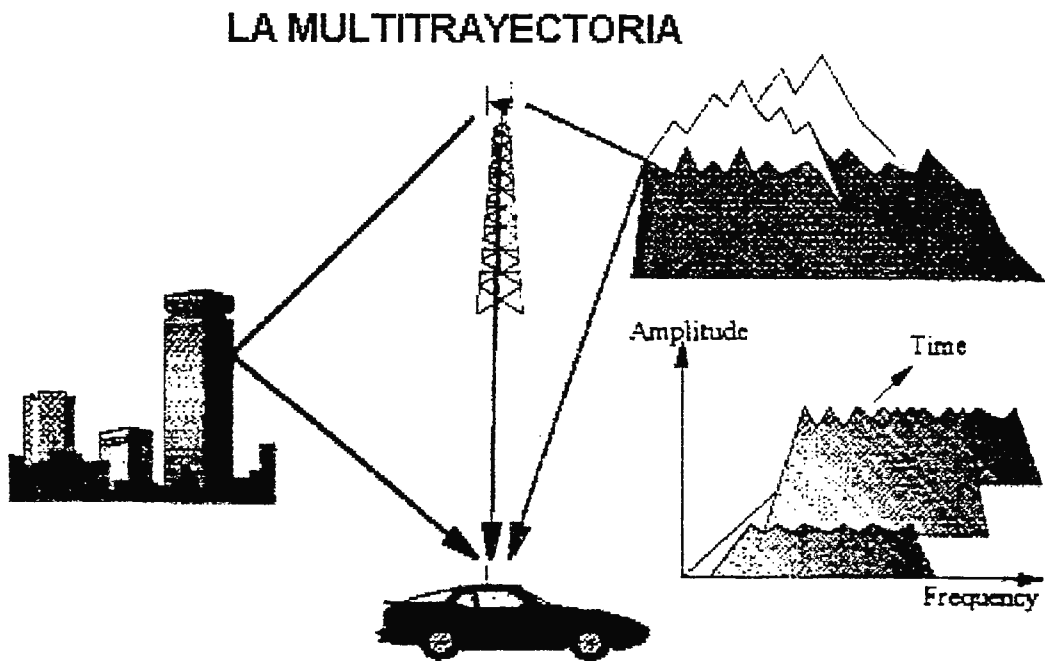


Figura 4.5.4. Multitrayectoria en CDMA.

Control de la Potencia: Una de las características fundamentales de la activación del CDMA es el control de la potencia. Se controla la potencia de todas las unidades móviles para que llegue a la estación base a un nivel igual; de esta manera, se mantiene a un mínimo la interferencia de una unidad a otra. En el enlace inverso se utilizan dos formas de control de potencia: el control de potencia de lazo abierto y el control de potencia de lazo cerrado.

- a) El control de potencia de lazo abierto (open loop): se basa en la similitud de la pérdida en la trayectoria hacia adelante comparada con la pérdida en la trayectoria inversa (hacia adelante significa el enlace de la base con la unidad móvil (downlink), en tanto que inversa se refiere al enlace de la unidad móvil con la base (uplink)).

El control de lazo abierto ajusta la suma de la potencia de transmisión y la potencia de recepción a una constante, nominalmente -73 , si ambas potencias están en dBm. Una reducción en el nivel de la señal en la antena de recepción dará como resultado un aumento en la potencia de la señal del transmisor. Por Ejemplo, suponer que la potencia recibida de la estación base es -85 dBm. Esta es la señal compuesta desde la estación base. El ajuste de la potencia de transmisión de lazo abierto sería de $+12$ dBm.

- b) El control de la potencia en lazo cerrado (close loop): se utiliza para permitir que la potencia de la unidad móvil se desvíe de la nominal como lo establece el control del lazo abierto. Esto se hace con una forma de modulador delta. La estación base monitorea la potencia recibida de cada estación móvil y le ordena a la unidad móvil que aumente o disminuya la potencia por un paso fijo de 1 dB. Este proceso se repite 800 veces por un segundo, o cada 1.25 m segundos.

Ya que la potencia de la unidad móvil se controla para que no sea más de la necesaria para mantener el enlace en la estación base, típicamente se transmite mucho menos potencia de las unidades móviles que lo que sería el caso con las unidades analógicas. La radio analógica necesita transmitir suficiente potencia para mantener un enlace incluso en presencia de un desvanecimiento. La mayor parte del tiempo está transmitiendo con un exceso de potencia. La radio de CDMA se controla en tiempo real y se mantiene a una potencia baja, lo que da como resultado una vida más prolongada de la batería y un menor costo en el diseño del amplificador. Si los recientes hallazgos llegan a descubrir que la radiación de los teléfonos celulares daña la salud, se preferirá el CDMA.

El CDMA aprovecha los momentos de silencio (estado ocioso) durante las conversaciones para aumentar la capacidad. Se utiliza un codificador vocal de velocidad variable; cuando el usuario está hablando el canal está a 9600 bps; cuando el usuario hace una pausa, o está escuchando, la velocidad de los datos disminuye a únicamente 1200 bps, también se utilizan 2400 y 4800 bps, aun cuando no con tanta frecuencia con los otros dos. La velocidad de los datos se basa en la actividad de la conversación y cada 20 m segundos se toma una decisión en lo que se refiere a la velocidad apropiada. Las conversaciones telefónicas normales tienen un factor de actividad de aproximadamente 40%.

La estación móvil disminuye su velocidad de datos apagando su transmisor cuando el codificador vocal está operando a menos de 9600 bps. A 1200 bps, el ciclo de trabajo es sólo una octava parte de la velocidad total de los datos. La elección del tiempo para este ciclo de trabajo es predeterminada, por lo tanto la potencia disminuye en todo momento cuando se promedia entre todos los usuarios. Al reducir la potencia de transmisión en la unidad móvil se reduce el nivel de interferencia para todos los otros usuarios.

La estación base utiliza un esquema ligeramente diferente. Repite el mismo patrón de bits tantas veces como sea necesario para regresar a la velocidad total de 9600 bps. La potencia de transmisión para ese canal se ajusta para que refleje esta repetición permitiendo que se minimice la interferencia. La repetición de los bits a una menor potencia es más eficaz en el enlace hacia adelante que lo que podría ser en el enlace inverso debido al uso de una referencia de fase coherente llamada señal o control piloto.

Una característica importante del enlace hacia adelante es el uso de los códigos Walsh. Estos tienen la característica de ser ortogonales entre sí y con el número lógico de cada uno. Se define que dos códigos son ortogonales si tienen un resultado cruzado exacto de cero cuando se suman durante todo el periodo de los códigos. Los códigos de Walsh se generan mediante la expresión que se muestra a continuación:

$$W_{2n} = \frac{W_n * W_n}{W_n * W_n}$$

En esta expresión, la variable n , siempre debe ser una potencia de dos.

Esto se establece con la matriz de uno por uno:

$$W_1 = 0$$

El sistema de CDMA [de TIA (Asociación de la Industria de las Telecomunicaciones)] utiliza una matriz de Walsh de 64 por 64 (es decir, cada código de Walsh tiene una longitud de 64 bits).

Los Datos de voz a 9600 bps (velocidad total) se pasan primero por un codificador de convolución que duplica la velocidad de los datos. Después se intercala, este es un proceso que no tiene efecto alguno en la velocidad pero que sí introduce retrasos en el tiempo en la reconstrucción final de la señal. Con los datos se mezcla un código largo que es una función de privacidad de la voz y que no es necesaria para la canalización. A continuación el CDMA aplica un código Walsh de 64 bits que se asigna exclusivamente de una estación base hacia el enlace móvil para formar un canal. Esto establece un límite físico de 64 canales en el enlace hacia adelante. Si los datos de voz codificada son cero, se produce la secuencia Walsh; si los datos son un uno, se enviará el número lógico del código Walsh. La codificación Walsh aumenta 64 veces la velocidad de los datos. A continuación, los datos se dividen en los canales I y Q, y se diseminan con códigos cortos. Las señales finales se pasan a través de un filtro de paso bajo y finalmente se envían a un modulador I/Q.

Enlace hacia adelante (Capa Física)

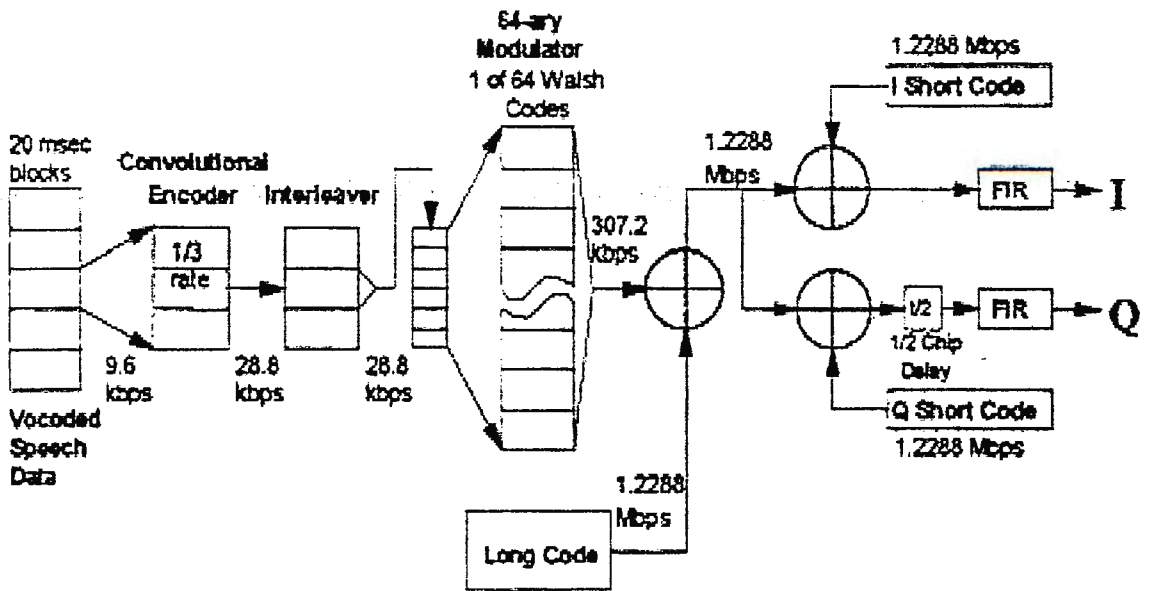


Figura 4.5.5. Enlace hacia adelante (capa física).

El código Largo: Se genera utilizando un registro lineal de cambio de retroalimentación de 42 bis. Este es un reloj maestro y esta sincronizado en todos los radios CDMA. Para generar un código largo exclusivo se aplica una máscara específica.

La señal del transmisor de la Estación Base es la combinación de muchos canales (con un mínimo de cuatro).

- El Canal o Control Piloto: no está modulado; únicamente consiste de la secuencia final de disseminación (secuencias cortas). Todas las unidades móviles enlazadas a una celda utilizan el Canal Piloto como una referencia coherente de fase. Los otros tres canales son el canal de Sincronización, el Localizador y el Canal de Tráfico que utilizan el mismo flujo de datos, pero envían diferentes señales.
- El Canal de Sincronización: transmite información en lo que se refiere a la hora del día, lo que permite a la unidad móvil y a la base alinear los relojes que forman la base de los códigos que necesitan ambos para realizar un enlace.

- El Canal Localizador: es el canal de control digital para el enlace hacia adelante. Su complemento es el canal de acceso que es el canal de control del enlace inverso. De ser necesario, una estación base puede tener multicanales localizadores y canales de acceso.
- El Canal de Tráfico: es equivalente al canal de voz analógico. Aquí es donde se realizan las conversaciones reales.

El enlace inverso de CDMA utiliza un esquema de codificación diferente para transmitir los datos. A diferencia del enlace hacia adelante, el enlace inverso no puede soportar un canal piloto para la demodulación sincrónica (ya que cada estación móvil necesitaría su propio canal piloto). Debido a esta limitación, el enlace inverso tiene menos capacidad que el enlace hacia adelante. Para ayudar al enlace inverso a llevar a cabo sus funciones, los datos de voz de 9600 bps utilizan una codificación de convolución de un tercio de velocidad para lograr una corrección de error más potente. A continuación se toman a la vez seis bits de datos para señalar uno de los 64 códigos Walsh disponibles. Después se mezclan los datos que están a 307.2 Kbps con el código largo para alcanzar la velocidad plena de datos de 1.2288 Mbps. Este código largo exclusivo es la canalización para el enlace inverso.

En la estación base la modulación es un Cambio de Fase de Cuadratura (QPSK) Filtrada, y en la estación móvil es un Cambio de Fase de Cuadratura (QPSK) de Compensación Filtrada. En una operación normal, se agregan muchos canales y se transmiten uno encima del otro mediante la estación base. En las estaciones móviles se utiliza el O-QPSK porque evita el origen y hace que sea más fácil el diseño del amplificador de salida. Para la estación base, debido a que agregaron muchos canales, si se usa el O-QPSK ya que no siempre se evita el origen. Esto se debe a que cerca de la estación base se agregan casualmente muchas señales una encima de otra.

Acceso al Sistema: Cuando se enciende la unidad móvil, ésta debe encontrar la mejor estación base. Esto es similar a un sistema analógico donde el teléfono barre todos los canales de control y selecciona el mejor. En el CDMA, la unidad móvil barre buscando señales Piloto disponibles, las cuales se encuentran en

diferentes compensaciones de tiempo. Este proceso es más fácil debido a las compensaciones fijas. El cronometraje de cualquier estación base es siempre un múltiplo exacto de 64 ciclos del reloj del sistema (llamados chips) compensados de cualquier otra estación base. La unidad móvil selecciona el tono piloto más fuerte y establece una frecuencia y referencia de tiempo fuera de esta señal. A continuación, la unidad móvil demodula el canal síncrono que siempre está en Walsh 32. Este canal proporciona información del reloj maestro enviando la condición del código largo de 43 bits que registra 320 milisegundos en el futuro. El Canal Síncrono también contiene muchos otros parámetros del sistema. A continuación la unidad móvil empieza a escuchar el canal localizador y espera que se realice la localización que se envía a su número telefónico. Con frecuencia, la unidad móvil se registrará en la estación base de tal manera que la estación base pueda realizar la localización basada en la localización de personas en lugar de realizar la localización a lo largo de todo el sistema.

La estación móvil tiene, en todo momento, buscadores que barren para localizar tonos Piloto alternos. Si se encuentra un tono Piloto de otra estación base que sea lo suficientemente fuerte para un enlace, la estación móvil solicitará una transferencia leve. En ese caso, no hay ninguna llamada en proceso, por lo tanto es una transferencia de condición libre. Este es un proceso activo que actualiza la ubicación de la estación móvil en relación con el sistema.

A continuación, el usuario decide hacer una llamada. Se teclea el número y se pulsa la tecla send (enviar), con esto se inicia una Prueba de Acceso. La unidad móvil utiliza el Canal de Acceso e intenta hacer contacto con la estación base que está prestando el servicio. Como aún no se ha establecido ningún enlace, no está activo el control de potencia de lazo cerrado. La unidad móvil utiliza el control de lazo abierto para adivinar el nivel inicial. Con el fin de evitar choques que pueden ocurrir en el Canal de Acceso, se permite hacer múltiples intentos con tiempos aleatorios entre los intentos. Después de cada intento, la unidad móvil escucha el canal Localizador para obtener una respuesta de la estación base, la cual responde asignando un canal de tráfico. Este es un código Walsh para el enlace hacia adelante. Los canales de tráfico utilizan diferentes códigos largos que los canales localizadores. La estación base inicia el enlace con tierra y se puede llevar a cabo una conversación.

Por último, termina la llamada. Esto puede iniciarse del lado de la unidad móvil o desde tierra. En cualquiera de los casos, las transmisiones se detienen y se rompe la conexión de la línea a tierra.

Si durante la llamada, la unidad móvil encuentra otra estación base que tenga buena potencia la unidad móvil solicita a la celda que le está prestando servicio que inicie una transferencia leve con una celda adicional. La estación base pasa esta solicitud a la Oficina de Conmutación de Teléfonos Móviles (MTSO) quien hace contacto con la segunda estación base y obtiene una asignación Walsh. Esto se envía a la unidad móvil a través de la primera estación base. El enlace a tierra se conecta a ambas estaciones base. La unidad móvil combina las señales de ambas estaciones base utilizando las dos señales Piloto como referencias de fase coherente. En la MTSO, se examinan las señales de cada estación base y se elige la mejor para cada bloque de 20 m segundos. A medida que se degrada la señal de la primera estación base, la unidad móvil pedirá que se dé por terminada la transferencia leve. En ese punto, la segunda estación base controla la potencia de la unidad móvil (ya que probablemente la primera celda tiene un enlace muy malo). La solicitud se pasa de la segunda celda a través de la MTSO y la primera celda detiene la transmisión y recepción de la señal. Ahora la unidad móvil sólo está en la segunda celda.

4.5.1. Aplicación Comercial de CDMA.

La primera aplicación comercial del CDMA ha sido definitivamente con teléfonos celulares inalámbricos y con radio localizadores, aunque también hay otros usos donde la tecnología es aplicada comercialmente. La tecnología de lazo local inalámbrico es el camino para un agrupamiento local de teléfonos a ser instalados en áreas donde normalmente se requeriría de una instalación de alambres físicos o una instalación demasiado cara. La idea básica es que un borne central de CDMA sea instalado donde las líneas telefónicas entran en un área, ya sea este un edificio de oficina, un apartamento complejo, o aún una subdivisión. El Borne sirve de interfase con las líneas telefónicas estándar que pertenecen a la misma área, después los teléfonos de CDMA compatibles son instalados en cada oficina o apartamento, en donde un teléfono alámbrico debería