

Capítulo 4.

Sistema CDMA-2000.

4.1 Introducción.

IS-95 fue el primer sistema de telefonía celular en usar la tecnología cdma con una velocidad de transmisión de datos de 14.4kbps. Sin embargo ante la creciente necesidad de envío de datos el sistema evolucionó surgiendo la versión IS-95B permitiendo una transmisión mediante paquetes a 64kbps.

Los operadores del sistema IS-95B o también llamado CdmaOne han tratado de mejorar los servicios de voz y aplicaciones para poder migrar a la tecnología de tercera generación 3G. Como resultado el estándar CDMA2000 ha sido desarrollado para tratar de cubrir los requerimientos 3G de tal forma que sea compatible con los sistemas de banda angosta IS-95 y poder entonces mejorar los servicios de voz y proveer mayor capacidad al sistema, además de ofrecer servicios de transferencia de información con una velocidad de transmisión de 2Mbps.

CDMA2000 también llamado IS-2000 es una tecnología de radiotransmisión que cubre los requerimientos especificados por la ITU (International Telecommunications Union), para ser considerado un sistema de tercera generación; dichas especificaciones han sido establecidas por la IMT-2000 (International Mobile Telephony-2000).

De manera inicial 3GPP (Third Generation Partnership Project) se propuso como una organización global para el desarrollo de tecnologías de tercera generación, sin embargo rápidamente se dedicó principalmente a dar soluciones para sistemas 3G basados en GSM y su evolución. Por lo tanto ANSI (American National Standards Institute) propuso la creación del 3GPP2 para desarrollar un estándar como evolución

natural de IS-95, buscando crear un sistema de banda ancha que utilizara la tecnología CDMA [Ref 4.1].

El 3GPP2 se formó en 1998 y lo integran la Association of Radio Industries and Businesses (ARIB) de Japón, Telecommunications Technology Committee (TTC) de Japón, Telecommunications Industry Association (TIA) de EUA y Telecommunications Technology Association (TTA) de Korea [Ref. 4.2].

La principal ventaja que ofrece cdma2000 sobre el resto de las propuestas IMT-2000 es la suave migración del sistema de segunda generación cdmaOne hacia cdma2000 como sistema de tercera generación.

Los sistemas CDMA2000 han sido desarrollados en fases evolutivas (ver figura 4.1), la primera de ellas es CDMA2000 1x con una velocidad promedio de 144 kbps; la segunda es 1xEV-DO (1x Evolution–Data Only) ofreciendo una velocidad de transmisión de 2.4 Mbps; finalmente 1xEV-DV (1x Evolution–Data & Voice) soporta servicios de transmisión de voz y datos al mismo tiempo, mejorando los mecanismos de calidad (QoS) durante su transmisión, con una velocidad de 3.1Mbps. [Ref. 4.3]

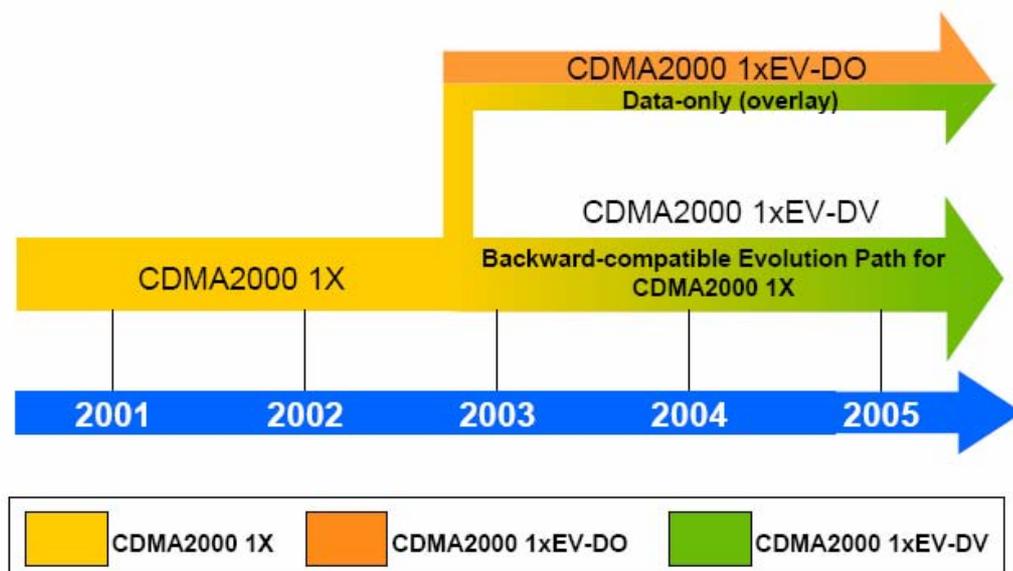


Fig. 4.1 Fases Evolutivas para CDMA2000 [Ref. 4.4].

4.2 Estructura de capas en cdma2000.

Los sistemas cdma2000 basan su estructura en el sistema OSI (Open System Interconnection), el cual se encuentra constituido por siete capas (ver figura 4.2). La ventaja de seguir el sistema OSI es que cada capa trabaja de manera independiente estableciendo cada una de ellas comunicación con la capa superior e inferior inmediatas por medio de protocolos.

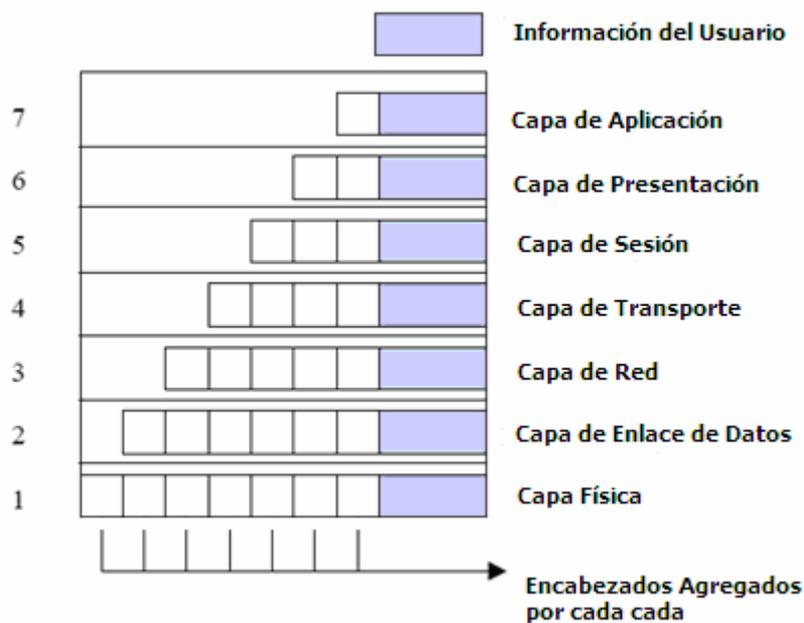


Fig. 4.2 Estructura de Capas del Sistema OSI. [Ref. 4.5]

La estructura específica para el sistema cdma2000 en base al sistema OSI es la mostrada en la figura 4.3. En ella se observa que la capa de enlace se encuentra dividida en dos subcapas, siendo estas: la MAC (Media Access Control, Control de Acceso al Medio), y LAC (Link Access Control, Control de Acceso al Enlace). Por su parte las capas superiores se encuentran integradas, y se encargan principalmente de los servicios de voz, de envío de datos y señalización.

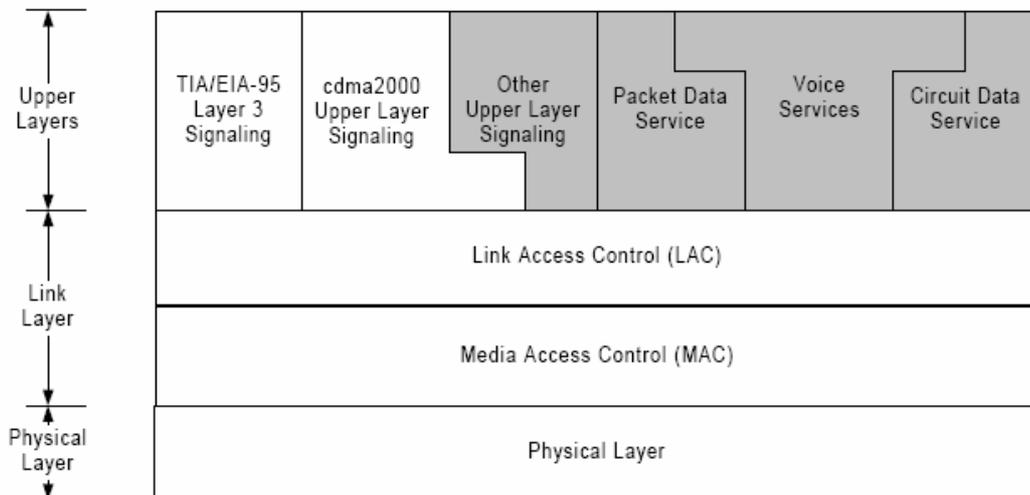


Fig. 4.3 Estructura OSI para los Sistemas Cdma2000 [Ref. 4.6].

Al tener cdma2000 una estructura de capas le permite soportar servicios multimedia, tomando en consideración los siguientes aspectos [Ref. 4.6]: Capacidad para soportar múltiples sesiones, pudiendo ser éstas una combinación de diferentes tipos de servicios (voz, datos por paquetes o por conmutación de circuitos).

- Mecanismos de control tomando en consideración la calidad de los servicios (Quality of Services QoS).
- Tener un sofisticado Control de Acceso al Medio (MAC), que haga al sistema trabajar de manera eficiente.

En el siguiente esquema se presenta la estructura de capas del sistema IS-95 y CDMA2000, observando que los mecanismos agregados para CDMA2000 son precisamente los aspectos mencionados en líneas anteriores.

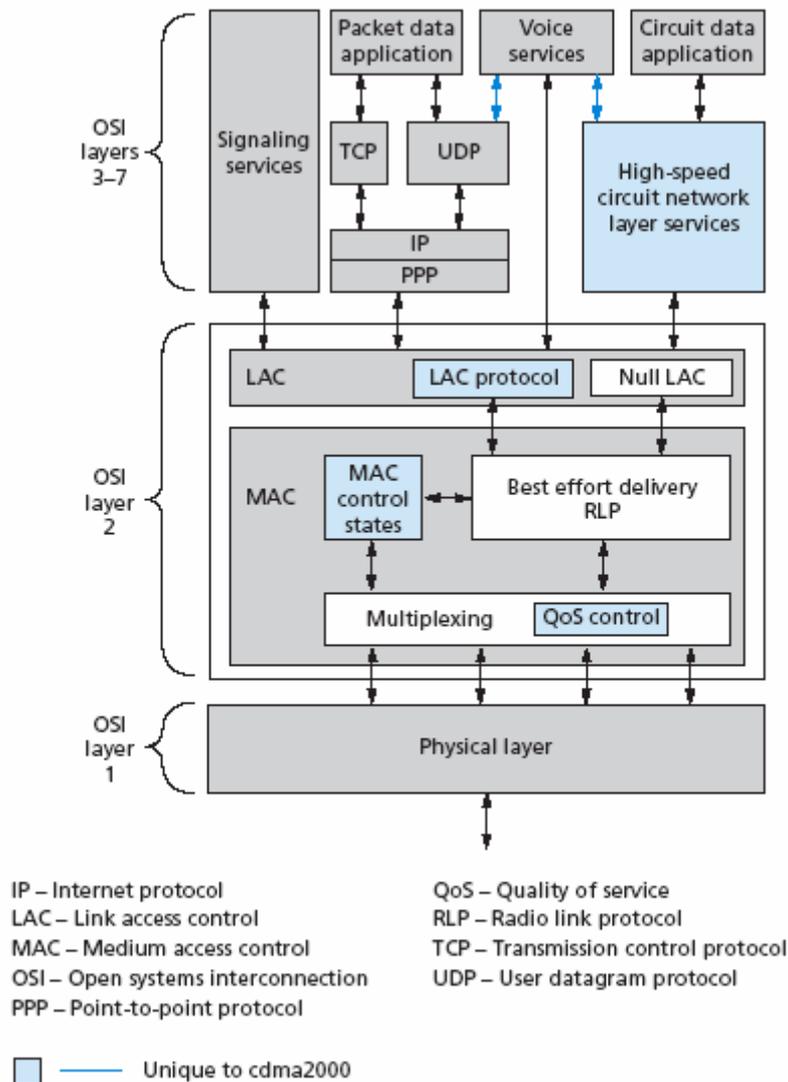


Fig. 4.4 Estructura de Capas para los Sistemas IS-95 y Cdma2000 [Ref. 4.7].

4.3.1 Capas Superiores.

Cdma2000 es una tecnología de radiotransmisión flexible de estructura abierta ante la inclusión de servicios en las capas superiores. Dentro de los sistemas cdma2000 las capas superiores se encargan de dar servicios, clasificándose estos en las siguientes categorías [Ref. 4.6].

- **Servicios de voz.** Se encarga de brindar servicios telefónicos de voz, incluyendo acceso a la PSTN y servicios de voz de móvil a móvil.

- **Servicio de datos.** Cdma2000 ofrece este servicio entregando la información de un usuario mediante paquetes de datos o por conmutación de circuitos.
- **Señalización.** Se encarga de controlar la operación de una estación móvil mediante el envío de mensajes dentro del sistema.

Una de las principales actividades que se llevan a cabo en las capas superiores es originar información de señalización entre las estaciones base y las estaciones móviles, teniendo que seguir para ello los siguientes estados durante el proceso [Ref. 4.5]:

- **Estado de Inicialización.** En este estado los móviles seleccionan el sistema a utilizar, adquiriendo su canal piloto, configuración y sincronía.
- **Estado de Inactividad (Idle).** Aquí se lleva a cabo la supervisión y monitoreo de los canales de control y de voice; además de generar mensajes de acknowledgement, de hand off, procedimientos de registro y si es necesario de reelección de red.
- **Estado de Acceso al Sistema.** En este estado los móviles se comunican con la estación base para checar los mensajes enviados, monitoreando para ello los canales de voice. También en este estado las estaciones móviles checan si se requiere llevar a cabo un hand off.
- **Estado de Control de Tráfico.** En este estado los móviles inician y verifican la comunicación con una estación base mediante canales de tráfico del forward y reverse link.
- **Estado de Registro.** Después del control en el canal de tráfico, el móvil informa a la estación base sobre su localización e identificación.

4.2.2 Capa de Enlace.

La capa de enlace soporta y controla los mecanismos que se encargan de los servicios de transporte de información; contando con niveles variables de calidad en los servicios (QoS Quality of Services) de acuerdo a las necesidades específicas de cada servicio ofrecido por las capas superiores. La capa de enlace también lleva a cabo acciones de rastreo de información lógica y de señalización dentro de los canales soportados, codificados y modulados en la capa física durante su transporte hacia las capas superiores.

La capa de enlace es dividida en dos subcapas:

- Link Access Control (LAC) y
- Medium Access Control (MAC).

4.2.2.1 Subcapa LAC.

La subcapa LAC se encarga de transportar información mediante comunicaciones punto a punto a las capas superiores, siendo capaz de soportar una transmisión escalable y con la capacidad para conocer las necesidades y cambios en las entidades de las capas superiores, esto al ser rastreados los canales desde la capa física mediante información lógica y de señalización.

La subcapa LAC da la QoS que requiere cada entidad de las capas superiores garantizando una entrega libre de errores, sin embargo cuando la QoS requerida es mayor a la que puede ofrecer la subcapa LAC, entonces este servicio es dado directamente por la subcapa MAC [Ref. 4.8].

A continuación se enlistan las acciones de enlace soportados por la subcapa LAC [Ref. 4.6]:

- Señalización de la capa 2 para el sistema IS-95.
- Señalización de la capa 2 para el sistema cmda2000.
- Paquetizado de información de la capa 2 para sistemas Cdma2000.
- Servicio de envío de información mediante circuitos conmutados de la capa 2 para sistemas Cdma2000.

Protocolo de enlace nulo (en situaciones donde la subcapa MAC es quien ofrece la calidad de servicios QoS adecuado).

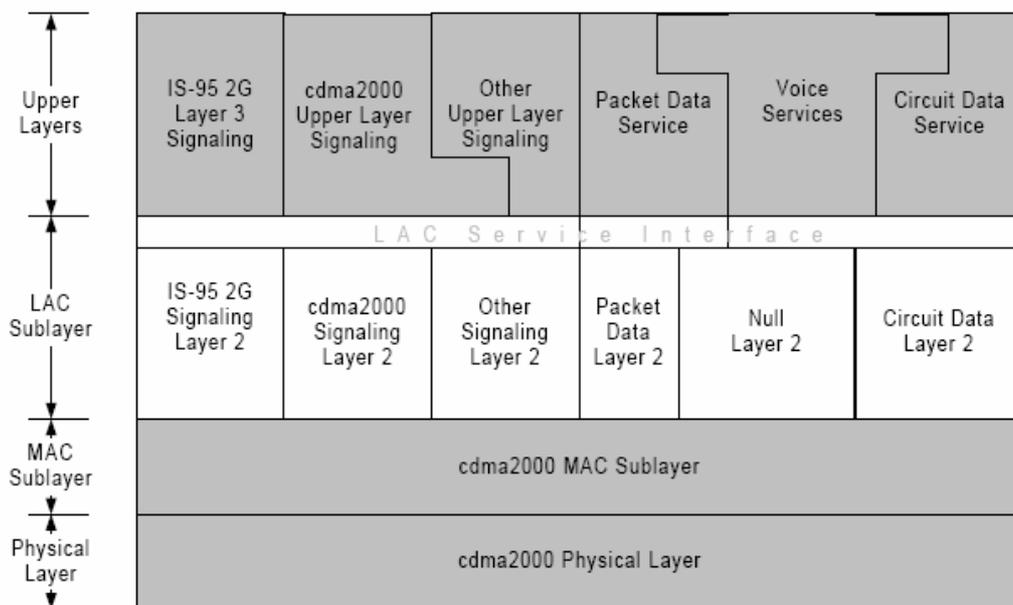


Fig. 4.5 Componentes de la Subcapa LAC [Ref. 4.6].

4.2.2.2 Subcapa MAC.

La subcapa MAC se encarga de funciones de control y administración de recursos dados por la capa física (canales físicos codificados para envío de información sobre la interfase aérea), coordinando el uso de estos recursos para las entidades de la subcapa LAC.

La subcapa MAC para llevar a cabo sus actividades es dividida en las siguientes partes:

- Función Convergente Independiente de la Capa Física (The Physical Layer Independent Convergence Function PLICF) y
- Función Convergente Dependiente de la Capa Física (The Physical Layer Dependent Convergence Function PLDCF), que a su vez se encuentra subdividida en:
 - Instancia Específica PLDCF (The Instance Specific PLDCF) y
 - Multiplexado y Calidad de los Servicios PLDCF (The PLDCF MUX and QoS sublayer).

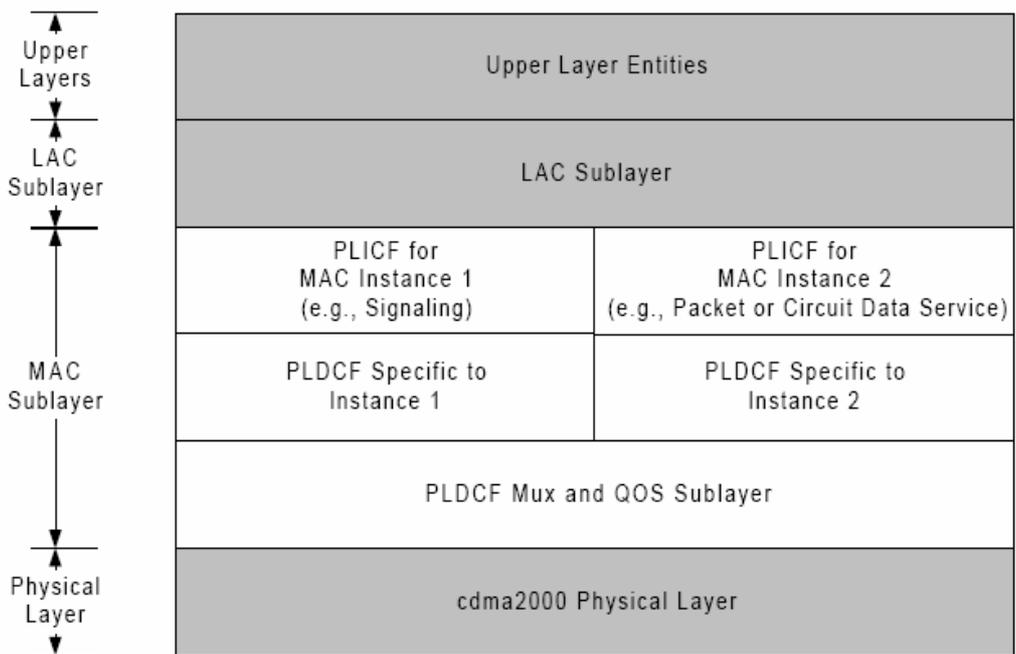


Fig. 4.6 Estructura de la Subcapa MAC [Ref. 4.6].

4.2.2.2.1 Physical Layer Independent Convergence Function (PLICF).

La PLICF es una componente de la capa MAC que mantiene al sistema al tanto con respecto al estado de cada servicio que se esté llevando a cabo; siendo los siguientes algunos ejemplos de PLICF's:

- **Signaling PLICF.** Se encarga de la señalización en la capa LAC.
- **Packet Data PLICF.** Soporta servicio de paquetizado de datos.
- **Circuit Data PLICF.** Soporta servicio de datos por conmutación de circuitos.

Los servicios dados por PLICF's son definidos como un conjunto de canales lógicos que llevan diferentes tipos de control o información. Los servicios de datos PLICF deben de seguir una serie de estados, siendo éstos los siguientes [Ref. 4.8] (ver figura 4.7):

- **Estado Nulo.** Es el estado previo a la activación de servicios de datos.
- **Estado de Inicialización.** Este estado comienza una vez que es solicitado algún servicio de datos.
- **Estado de Control.** Es un estado que permite mantener de manera continua o por intervalos de tiempo un canal de control dedicado entre un usuario y una estación base.
- **Estado Activo.** Durante este estado son asignados los canales de tráfico y de control de potencia para el envío de la información.
- **Estado Suspendido.** Es un estado en el que la información para el RLP es mantenida permanentemente de manera virtual o sólo por intervalos de tiempo entre el móvil y la estación base.

- **Estado Dormant.** Este estado se encarga de soportar la entrega de mensajes cortos de información por medio de ráfagas.

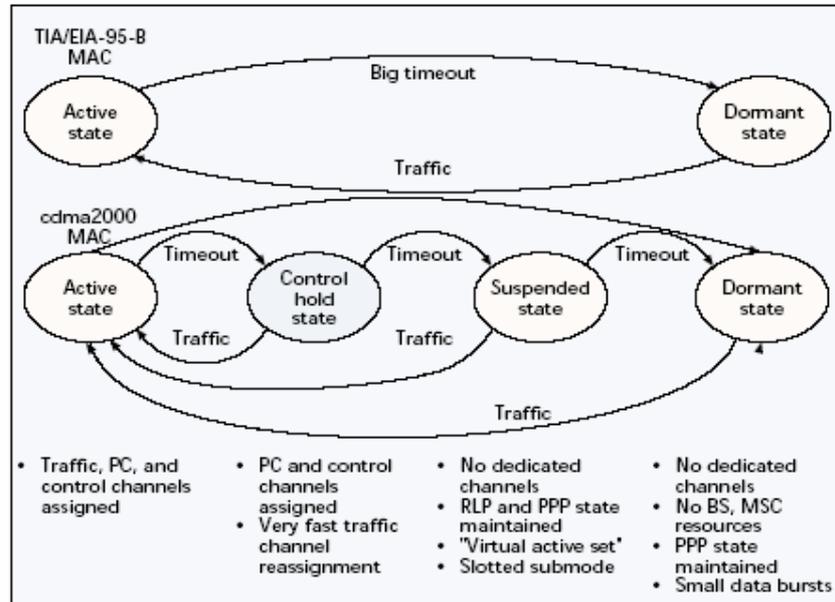


Fig. 4.7 Comparación de las MAC's entre IS-95 y cdma2000 [Ref. 4.9].

4.2.2.2.2 Physical Layer Dependent Convergence Function (PLDCF).

La PLDCF provee de servicios a PLICF, incorporando procedimientos operacionales MAC y funciones tales como [Ref. 4.8]:

- Rastreo de canales lógicos PLICF en su trayecto hacia canales lógicos soportados por la capa física.
- Multiplexado y demultiplexado de señales de control y de información de diferentes instancias PLICF para una misma estación móvil.
- Implementación de Calidad en los servicios (QoS) y su rastreo desde la subcapa PLICF en su trayecto hacia los servicios adecuados de la capa física.

The Instance Specific PLDCF.

Esta es una subcapa PLDFC, siendo las siguientes actividades las que desempeña principalmente [Ref. 4.6]:

- Llevar a cabo rastreo de canales lógicos desde la subcapa PLICF hasta el interior de los canales lógicos soportados por la capa física.
- Desarrolla protocolos ARQ (automatic repeat request), que son integrados a la capa física. Dentro de la subcapa PLDCF son definidos cuatro protocolos ARQ :
- **Radio Link Protocol (RLP).** Este protocolo se encarga de llevar la información entre las diferentes entidades PLICF; operación que puede ser llevada a cabo en dos modos: no transparente y en modo transparente. En modo no transparente segmentos de información son retransmitidos al no ser entregados de manera adecuada por la capa física; mientras que el modo transparente no retransmite información, sino que se encarga de mantener la sincronía adecuada en el envío de los paquetes entre el transmisor y receptor, así como el orden en que fueron enviados para evitar pérdidas de información.
- **Radio Burst Protocol (RBP).** Este protocolo entrega segmentos cortos de información mediante canales de tráfico de acceso común (common traffic channel ctch), evitando así el uso de canales de tráfico dedicados (dedicated traffic channel dtch).
- **Signaling Radio Link Protocol (SRLP).** Provee de servicios de señalización al RLP, siendo necesario el uso de canales de señalización dedicados (dedicated signaling channel dsch).

- **Signaling Radio Burst Protocol (SRBP).** Se encarga de entregar mensajes de señalización al RBP, haciendo uso de un canal de señalización común (Common Signaling Channel csch).

The PLDCF MUX and QoS Sublayer.

Las principales actividades que desempeña el PLDCF MUX and QoS Sublayer es coordinar el multiplexado y demultiplexado de instancias PLICF, así como proveer de la calidad en los servicios para las mismas [Ref. 4.8].

4.2.2.3 Canales Cdma2000.

4.2.2.3.1 Convención de Nombres para canales lógicos.

Las siglas del nombre de un canal lógico lo forman tres letras, las cuales van seguidas de la terminación “ch” que hace referencia a la palabra “channel”.

La siguiente tabla muestra los significados de las letras utilizadas para obtener los nombres de los canales lógicos, en ella se indica que la primer letra de las siglas hace referencia si el canal es utilizado para forward o el reverse link, la segunda letra nos dice si el canal es común o dedicado; mientras que la tercer letra indica el tipo de información que transporta, ya sea de tráfico, de la subcapa MAC o de señalización.

Primer Letra	Segunda Letra	Tercer Letra
f = Forward r = Reverse	d = Dedicated c = Common	t = Traffic m = MAC s = Signaling

Tabla 4.1 Convención de Nombres para Canales Lógicos [Ref. 4.6].

4.2.2.3.2 Canales Lógicos usados por PLICF.

Son los canales lógicos utilizados por las entidades PLICF's para poder ofrecer sus servicios, siendo estos los siguientes:

Canales de Tráfico Dedicados (Dedicated Traffic Channel f/r-dtch). Es un canal lógico utilizado tanto en el forward como en el reverse link para llevar información de tráfico de un determinado usuario.

Canales de Tráfico Comunes (Common Traffic Channel f/r-ctch). Este canal también es utilizado tanto en el forward como en el reverse link y se encarga del envío de ráfagas de información. El acceso a la información de este canal es compartido entre varias estaciones móviles y sólo una instancia PLICF.

Canales MAC Dedicados (Dedicated MAC Channel f/r-dmch_control). Este canal es usado para el envío de mensajes de control MAC punto a punto dirigido a una sola instancia PLICF.

Canal MAC Común para el Reverse Link (Reverse Common MAC Channel r-cmch_control). Es un canal que sólo es utilizado en el reverse link y se encarga del envío de mensajes MAC, información que es compartida entre varios usuarios.

Canal MAC Común para el Forward Link (Forward Common MAC Channel f-cmch_control). Este canal es utilizado por la estación base para envío de información de mensajes MAC siendo este canal punto-multipunto.

Canal de Señalización Dedicado (Dedicated Signaling Channel dsch). Lleva información de señalización de las capas superiores hacia una sola instancia PLICF.

Canal de Señalización Común (Common Signaling Channel csch). Lleva información de señalización de las capas superiores siendo ésta compartida entre varias estaciones móviles y una instancia PLICF.

4.3.3 Capa Física.

4.3.3.1 Ensanchamiento de la información.

Una de las principales características del sistema cdma2000 es que cuenta con una velocidad de chip de 3.6864 Mcps, siendo necesario 3.75 MHz de ancho de banda, que es tres veces el requerido en los sistemas IS-95 (1.25MHz). Cdma2000 también puede soportar velocidades de transmisión de $N \times 1.2288$ Mcps, con valores para $N= 3, 6, 9$ y 12 .

Dentro de los sistemas cdma2000 son utilizadas dos técnicas de modulación para poder esparcir la información, siendo éstas las siguientes:

- Direct-Spread Modulation (Modulación por Espectro Extendido).
- Multicarrier Modulation (Modulación Multiportadora).

Direct-Spread Modulation. En este tipo de modulación los símbolos son esparcidos dependiendo de la velocidad de transmisión, ocupando sólo una portadora con un ancho de banda de $N \times 1.25$ MHz.

Multicarrier Modulation. En esta modulación los símbolos son demultiplexados y transmitidos en señales separadas durante el forward link, utilizando N portadoras y cada una con un ancho de banda de 1.25 MHz. En cuanto al esparcimiento de la información de un usuario en el reverse link, éste se lleva a cabo al usar sólo una portadora con un ancho de banda de 3.75MHz.

En la siguiente figura se ejemplifican ambas técnicas de modulación con una $N=3$

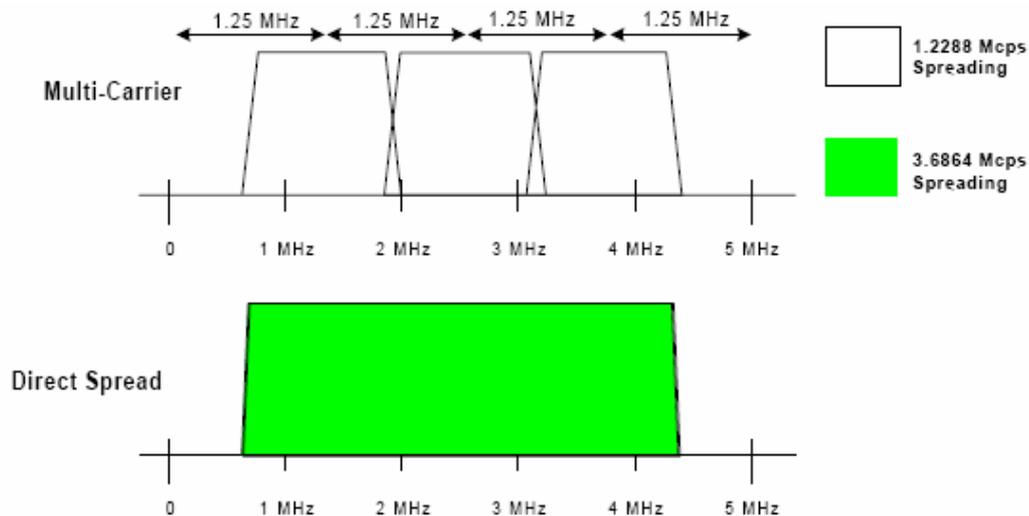


Fig. 4.8 Modulación Multi-portadora y Modulación Direct Spread [Ref. 4.6].

La capa física dentro del sistema cdma2000 se encarga de los servicios de codificación y modulación requeridos por la subcapa PLDCF Mux and QoS; para ello se requiere el uso de canales tanto dedicados como comunes para el forward y reverse link.

Los canales dedicados para el forward y reverse link son canales que llevan información punto a punto entre una estación base y un móvil en particular; mientras que en los canales comunes, la información se lleva de modo punto-multipunto entre una estación base y múltiples móviles.

El rango de velocidades que se logran obtener en los sistemas cdma2000 en base al ancho de banda utilizado se muestra en la siguiente figura.

Ancho de banda del Canal (MHz)	Velocidad de Transmisión en el Forward (kb/s)	Velocidad de Transmisión en el Reverse (kb/s)
1 x 1.25	9.6 - 307	9.6 - 307
3 x 1.25	9.6 - 1037	9.6 - 1037
6 x 1.25	9.6 - 2074	9.6 - 2074
9 x 1.25	9.6 - 2458	9.6 - 2074
12 x 1.25	9.6 - 2458	9.6 - 2074

Tabla 4.2 Anchos de Banda y Velocidades de Transmisión para el Forward y Reverse link en Cdma2000 [Ref. 4.9].

4.3.3.2 Forward Link

4.3.3.2.1 Canales Físicos del Forward Link.

Los sistemas cdma2000 cuentan de manera esencial con los mismos canales que en los sistemas cdmaOne, siendo estos: los canales piloto, de sincronía, de voceo y de tráfico; sin embargo en cdma2000 le son agregados canales adicionales para llevar a cabo acciones específicas y lograr un mejor desempeño del sistema. En la siguiente figura se muestra la estructura de canales para el forward link.

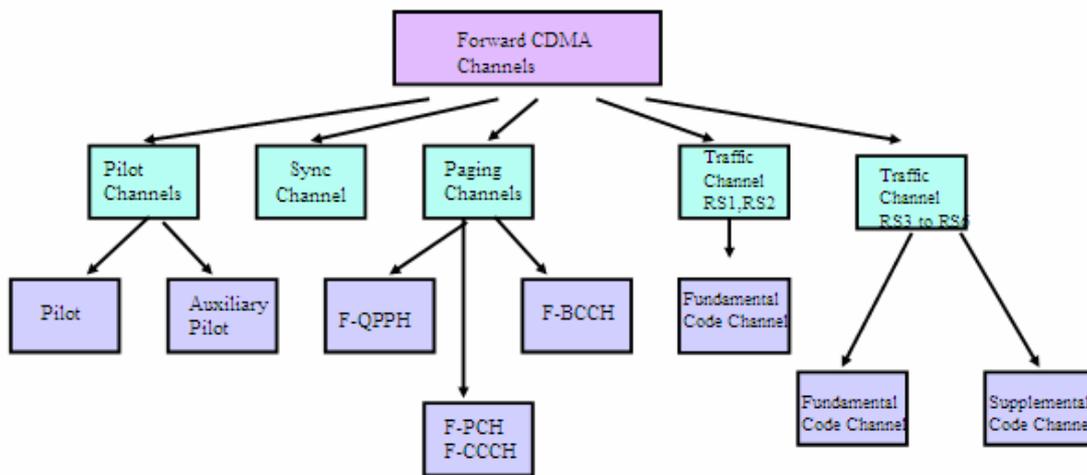


Fig. 4.9 Forward Link en Cdma2000 [Ref 4.10].

A continuación se presentan los canales utilizados por el forward link dentro de la capa física.

Canal Piloto (Pilot Channel F-PICH). Se encarga de dar la información de tiempo y fase a los móviles de una célula. El canal piloto envía una secuencia de ceros, siendo ésta secuencia el código Walsh cero (W_0), pero con un offset distinto para cada célula, al igual que en los sistemas IS-95.

Canal Piloto Auxiliar Dedicado (Dedicated Auxiliary Pilot Channel F-DAPICH). Un canal piloto auxiliar es generado para un móvil en particular, aumentando de esta forma la cobertura y la velocidad de transmisión hacia dicho móvil.

Canal de Sincronía (Sync Channel F-SYNC). El canal de sincronía es utilizado por las estaciones móviles para adquirir el tiempo de sincronía del sistema, utilizando para ello el código Walsh 32 (W_{32}).

Canal de Voceo (Paging Channel F-PCH). Este canal es utilizado en el envío de información de control, mensajes de asignación de canales, mensajes de acknowledgment, así como requerimientos de estatus. La velocidad de transmisión a la que trabajan estos canales es la misma que en los sistemas IS-95B siendo de 9.6kbps ó 4.8 kbps.

Canal de Voceo Rápido (Quick Paging Channel F-QPCH). Este tipo de canal es usado por una estación base cuando necesita estar en contacto con algún móvil en modo slotted, gastando de esta forma menos energía. Este mensaje es enviado 80 ms antes que el enviado por el canal de voceo con el propósito de alertar a los móviles a escuchar el voceo.

Canal Común para Control (Common Control Channel F-CCCH). Este canal es usado para establecer la comunicación entre la capa 3 y los mensajes de la subcapa MAC.

Canal Fundamental (Fundamental Channel F-FCH). Son canales transmitidos con velocidad variable, siendo estos canales equivalentes a los de tráfico en los sistemas IS-95. Estos canales usan códigos ortogonales y frames de 20 y 5ms. Un frame de 20 ms es capaz de soportar las velocidades de transmisión que corresponden al Rate Set 1 (9.6, 4.8, 2.7 y 1.5 kbps) y al Rate Set2 (14.4, 7.2, 3.6, 1.8 kbps).

Canal Suplementario (Forward Supplemental Channel F-SCH). Son canales que soportan servicios de transmisión de datos, siendo la red la que se encarga de coordinar el envío de los paquetes. Este tipo de canales soportan una velocidad de transmisión en un rango de 9.6 a 307.2 kbps.

Canal Dedicado para Control (Dedicated Control Channel F-DCCH). Su principal función es el envío de información de señalización.

4.3.3.2.2 Características del Forward Link.

El forward link cuenta con canales piloto, de sincronía y de voceo al igual que los sistemas cdmaOne; mientras que para el transporte de tráfico son utilizados de manera específica los canales fundamentales para la información de voz, canales suplementarios para datos y los canales de control dedicados F-DCCH para señalización e información en el control de potencia [Ref 4.2].

4.3.3.2.2.1 Diversidad en la Transmisión.

El hacer uso de recursos de diversidad ayuda a reducir la potencia de transmisión requerida para el envío de información, mejorando de esta forma la capacidad del sistema. La diversidad de transmisión en el forward link puede darse mediante la diversidad multiportadora y por la diversidad espectro extendido.

Diversidad de Transmisión Multiportadora.

La diversidad multiportadora se da en el forward link al utilizar una modulación donde un subconjunto de portadoras son transmitidas sobre diferentes antenas.

Dentro de una transmisión multiportadora con $N=3$ (3×1.25 MHz), la información codificada es separada en tres cadenas de datos paralelas, y cada una de

éstas cadenas va a ser transmitida en diferente portadora, requiriéndose para su transmisión de una antena por cada una de ellas.

Las principales características al hacer uso de un enlace multiportadora son las siguientes [Ref. 4.8]:

La información codificada es también demultiplexada haciendo uso de varias portadoras cada una con un ancho de banda de 1.25MHz.

- La diversidad en frecuencia equivale a esparcir la señal sobre una portadora de banda ancha.
- A cada canal del forward link puede serle colocado un código Walsh idéntico sobre cada portadora.

Diversidad de Transmisión por Espectro Directo.

Este tipo de diversidad se lleva a cabo al separar en dos la información codificada y siendo estas cadenas transmitidas por antenas diferentes. Un código ortogonal es usado por cada antena para esparcir la información y así evitar la interferencia por desvanecimiento entre las dos cadenas.

4.3.3.2.2 Modulación Ortogonal.

En cdma2000 los canales físicos son modulados por códigos Walsh para tratar de reducir o eliminar el ruido entre células, por eso ante la limitación que representa la cantidad de códigos Walsh disponibles es necesario utilizar la modulación QPSK antes de efectuar el esparcimiento de la información, dando como resultado el incremento en la cantidad de códigos Walsh útiles en un factor de dos. Para ello cada dos bits de

información es mapeado por sólo un símbolo QPSK. Otra forma de poder generar códigos Walsh adicionales es aplicarles una máscara a los códigos Walsh iniciales, obteniendo así códigos llamados quasi-ortogonales [Ref. 4.8].

4.3.3.2.3 Control de Potencia.

Dentro del sistema cdma2000 se implementa un Fast-Forward Power Control (FFPC) para el control de potencia en el forward link. Cdma2000 especifica un fast closed loop power control (control de potencia de lazo cerrado rápido) a 800Hz, proponiendo dos esquemas de control de potencia:

- **Single-Channel Power Control.** Control de potencia que se basa en el desempeño que tengan tanto los canales F-FCH y F-SCH a altas velocidades de transmisión.
- **Independent Power Control.** El control de potencia para los canales F-FCH y F-SCH es determinado en base a la ganancia por separado de cada uno de ellos.

Las estaciones móviles en el forward link de los sistemas cdma2000 son capaces de soportar un control de potencia de lazo interno y externo (inner and outer loop power control) para los canales de tráfico. El outer loop estima el valor de la señal a ruido de cada canal de tráfico asignado mediante el Frame Error Rate (FER). Por su parte el inner loop compara la señal a ruido recibida del canal de tráfico del forward con el correspondiente outer loop setpoint para determinar el valor del control de potencia a ser enviado cada 1.25 ms sobre el Reverse Power Control Subchannel (Subcanal de Control de Potencia en el Reverse Link) [Ref. 4.11].

4.3.3.2.4 Modulación y Spreading.

Un sistema cdma2000 con $N=1$ es totalmente compatible con los sistemas IS-95, pudiendo utilizar ambos sistemas los mismos canales para el forward link al ser requerido el mismo ancho de banda.

En cdma2000, a los datos de los usuarios con modulación de espectro extendido se les aplica un scrambling mediante el uso de secuencias PN largas, seguido de un mapeo con secuencias PNI y PNQ. Posteriormente la señal es amplificada agregándole también información de control de potencia para entonces ser esparcida mediante el uso de códigos Walsh, para luego ser filtrada y modulada.

Por su parte en los sistemas multiportadora antes de realizarle a un usuario en particular el proceso de scrambling, su información es demultiplexada en N portadoras, pudiendo N tomar los valores de 3, 6, 9 y 12. Cada portadora de manera individual es entonces mapeada por las secuencias PNI y PNQ, para después serle aplicada una ganancia. Posteriormente se le agrega información de control de potencia para luego ser esparcida por un código Walsh a una velocidad de transmisión de 1.2288 Mcps, para entonces pasar por un filtro pasabanda y ser modulada mediante QPSK.

Los sistemas cdma2000 multiportadora reutilizan el espectro de frecuencias del sistema IS-95, coexistiendo ambos sistemas al codificar los canales de manera ortogonal

[Ref. 4.8].

4.3.3.2 Reverse link.

4.3.3.2.1 Canales Físicos del Reverse Link.

Los sistemas cdma2000 al igual que en cdmaOne cuentan con canales de acceso y de tráfico; siendo agregado en los sistemas cdma2000 un canal piloto que le permite al

sistema ser más eficiente al poder llevar a cabo una demodulación coherente de la información de los usuarios.

La siguiente figura muestra la estructura de canales para el reverse link:

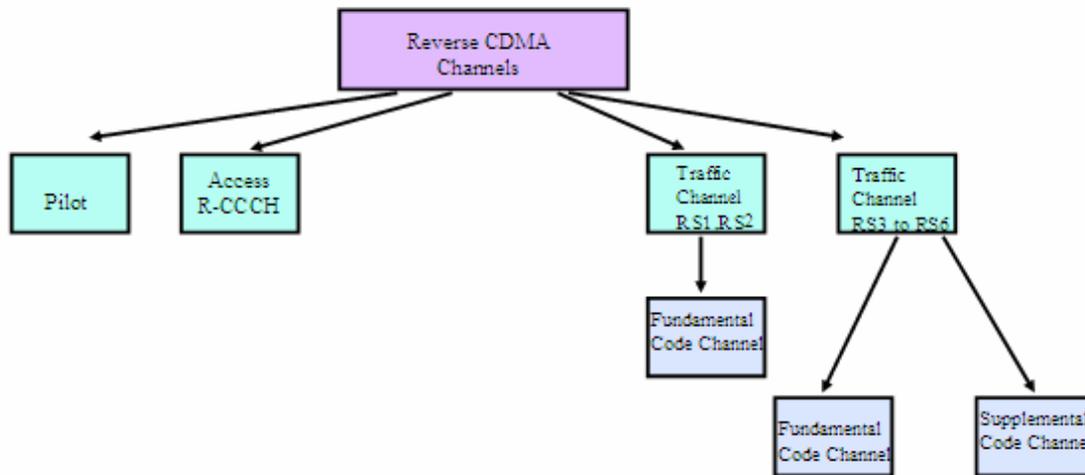


Fig. 4.10 Reverse Link en Cdma2000 [Ref. 4.10].

Canal Piloto (Pilot Channel R-PICH). Este canal lleva un valor de referencia coherente e información para el control de potencia en el proceso de multiplexado del forward link; además en este canal las estaciones móviles insertan un Reverse Power Control Subchannel sobre el R-PICH para dar información sobre la calidad del forward link, información que es recibida a una velocidad de transmisión de 1 bit cada 1.25 ms.

Canal de Acceso (Access Channel R-ACH) and Reverse Common Control Channel (R-CCCH). Son canales utilizados para establecer comunicación entre la capa 3 y los mensajes de la subcapa MAC, información que es enviada por los móviles a las estaciones base.

Canales Fundamentales y Suplementarios (Fundamental and Supplemental Channels). El tráfico de voz y datos son transportados en el reverse link sobre los canales R-FCH y R-SCH

Canal Dedicado para Control (Dedicated Control Channel R-DCCH). Estos canales se encargan de enviar información de control a un móvil en específico durante el reverse link.

4.3.3.2.2 Características del Reverse Link.

En cdma2000 una estación móvil utiliza varios canales al mismo tiempo para multiplexar y transmitir datos sobre el reverse link, cubriendo principalmente dos funciones: el envío de mensajes MAC y el envío de información de voz y de datos. El reverse link en cdma2000 además cuenta con una detección coherente y un fast forward link power control.

4.3.3.2.2.1 Canal Piloto Continuo. El reverse link cuenta con una señal piloto continua, que es utilizada por las estación base para llevar a cabo búsquedas multiruta, rastreo y demodulación coherente, además de ser usado para obtener la calidad de enlace para propósitos de control de potencia.

4.3.3.2.2.2 Canales de Datos Independientes. El reverse link usa dos tipos de canales físicos (canales fundamentales y suplementarios), optimizando de esta forma el sistema al poder proveer servicios de manera simultánea, pues los canales son codificados por separado.

4.3.3.2.2.3 Control de Potencia. Hay tres componentes para el control de potencia en el reverse link: open loop (lazo abierto), closed loop (lazo cerrado) y outer loop (lazo externo).

En el control de potencia mediante el open loop la potencia a transmitir se basa en la potencia recibida por el móvil, compensado las pérdidas por ruta entre la estación móvil y la estación base.

El control de potencia mediante el closed loop consiste de un lazo de retroalimentación con una velocidad de 800bps desde la estación base al móvil, esto para proveer la potencia de transmisión al móvil. Por su parte, el outer loop power control sirve para ajustar el closed loop power control.

4.3.3.2.4 Longitud de los Frames. Cdma2000 usa frames de 5 y 20 ms para el control de información en canales dedicados y canales fundamentales, mientras que para voz y datos sólo utiliza frames de 20 ms.

4.3.3.2.5 Modulación en el Reverse link.

El reverse link usa modulación direct sequence spreading con una velocidad de chips de $N \times 1.2288$, para valores de $N=1, 3, 6, 9$ y 12 , con anchos de banda de $1.2288, 3.6864, 7.3728, 11.0592$ y 14.7456 Mcps respectivamente.

4.3.3.2.6 Detección Coherente en el Reverse Link.

La detección coherente puede mejorar el desempeño en el reverse link en 3dB en comparación a una recepción no coherente usada en los sistemas cdmaOne [Ref. 4.8].

4.3.3.3 Ventajas de CDMA2000.

Incremento en la capacidad de voz. La capacidad de los sistemas mejora al contar el forward link con un control de potencia rápido y diversidad en la transmisión; por su parte en el reverse link al contar una detección coherente contribuye también al mejoramiento de la capacidad del sistema.

Sincronización. La sincronía de las estaciones base para llevar a cabo la transmisión del forward link se basan en sistemas satelitales como GPS, Galileo o

GLONASS; mientras que en el reverse link se sincroniza en base a la primera componente multiruta usada por una estación móvil. [Ref. 4.13]

Al estar sincronizadas todas las estaciones base se obtiene una mejora en la adquisición de canales y búsqueda de una nueva célula durante el proceso de hand-off.

Control de Potencia. En cdma2000 los canales son controlados tanto en el forward como reverse link con una frecuencia de 800 Hz, mientras que en sistemas IS-95 el control de potencia sólo se lleva a cabo en el reverse link.

Diversidad en la transmisión. La diversidad en la transmisión consiste en demultiplexar y modular la información en dos señales ortogonales y cada una de ellas es transmitida por una antena diferente a la misma frecuencia. En el receptor se reconstruye la señal original usando la diversidad de las señales.

Canales de Voz y Datos. En cdma2000 los canales de tráfico incluyen varios canales físicos cada uno utilizado para transportar determinada información, obteniendo así una mejora en el desempeño del sistema.

Los canales fundamentales (F-FCH) transportan voz, datos y señalización; los canales suplementarios (F-SCH) sólo son utilizados para soportar envío de información de datos; mientras que los canales de control dedicado (F-DCCH) son usados para señalización.

4.3 1xEV-DO.

Cdma2000 1xEV-DO es una tecnología IMT-2000 reconocida como tal durante la conferencia de Stockholm en 2001, siendo la primer red comercial desarrollada por SK Telecom en enero del 2002; por su parte KT Freetel de Korea introdujo sus servicios

cuatro meses después en mayo del 2002, mientras que Monet Mobile Networks fue la primer red 1xEV-DO de Estados Unidos en octubre de 2002. [Ref. 4.14]

Cdma2000 1xEV-DO es la primera fase evolutiva de los sistemas cdma2000, siendo sus características especificadas por el 3GPP2 bajo el título de IS-856 conocida también como HDR (High Data Rate) [Ref. 4.15].

En este sistema las estaciones base son llamadas Access Networks (AN) y las estaciones móviles como Access Terminals (AT) [Ref. 4.16].

Dentro de las siglas 1xEV-DO el prefijo 1x hace referencia al uso de portadoras con un ancho de banda de 1.25 MHz, EV hace alusión a EVolution, mientras que DO significa Data Optimized; indicando que 1xEV-DO fue diseñado para hacer más eficiente la transferencia de datos con respecto a cdma2000 [Ref. 4.15].

La principal diferencia de 1xEV-DO con respecto a cdma2000 es la velocidad de transmisión que puede entregar, así la velocidad del forward link puede llegar a ser hasta 10 veces mayor que en IS-95 y tres veces mayor que cdma2000, ya que 1xEV-DO cuenta con un mejor sistema de Multiplexado por división de tiempo (Time Division Multiplexing TDM); así pues durante la transmisión de información hacia una estación base la estación móvil emplea la potencia que requiere para obtener la mayor velocidad de transmisión posible para un usuario en particular.

En los sistemas 1xEV-DO las estaciones base y routers de la red son dinámicos al tomar la decisión de qué estación móvil será la siguiente que envíe información, asignando a los usuarios los time slots que requiera en base a los cambios en las condiciones de los canales de radiofrecuencia [Ref 4.16].

Las estaciones base en sistemas 1xEV-DO envían y reciben información de los móviles a diferentes velocidades, lo anterior con el objetivo de optimizar el ancho de banda disponible; pudiendo variar la velocidad de transmisión en el forward link entre

38.4 a 2457.6 kbps, mientras que en el reverse link es en el rango de 9.6 y 156.3 kbps [Ref. 4.15].

4.3.1 Forward Link en 1xEV-DO.

Los sistemas 1xEV-DO utilizan QPSK como técnica de modulación para las velocidades de transmisión bajas y 8PSK ó 16QAM para velocidades de transmisión altas. En la siguiente figura se muestra el proceso de codificación llevado a cabo en el forward link en sistemas 1xEV-DO [Ref. 4.16]:

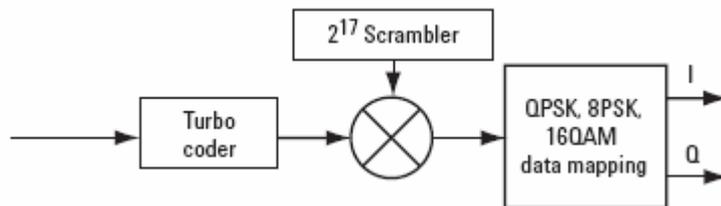


Fig. 4.11 Codificación para los Canales de Tráfico en el Forward Link [Ref. 4.16].

En este esquema se puede observar que los datos de entrada son codificados con turbo códigos, logrando con ello un mejor desempeño en 3dB con respecto a los códigos convolucionales utilizados en los sistemas cdma2000. Una vez efectuada la codificación, los datos pasan por un scrambler para finalmente ser mapeados por secuencias PNI y PNQ antes de efectuar la modulación.

1xEV-DO usa un esquema que le permite a las estaciones base rápidamente adaptar su velocidad de transmisión dependiendo de la actividad de los usuarios; para que esto sea posible las terminales miden constantemente las condiciones del canal en base a las señales piloto recibidas e indicar la velocidad máxima de transmisión que se es capaz de recibir.

En la siguiente tabla son mostradas en un rango de 38.4 y 2457.6 kbps las doce velocidades de transmisión para el forward link. En esta tabla se observa que la velocidad de 614.4 kbps aparece repetida, pero con distinto número de time slots (cada uno con duración de 1.67ms) usados para el envío de información [Ref 4.15].

Data Rate (kbps)	Slots	Bits	Code Rate	Modulation
38.4	16	1,014	1/5	QPSK
76.8	8	1,014	1/5	QPSK
153.6	4	1,014	1/5	QPSK
307.2	2	1,014	1/5	QPSK
614.4	1	1,014	1/3	QPSK
307.2	4	2,048	1/3	QPSK
614.4	2	2,048	1/3	QPSK
1,228.80	1	2,048	1/3	QPSK
921.6	2	3,072	1/3	8-PSK
1,843.20	1	3,072	1/3	8-PSK
1,228.80	2	4,096	1/3	16-QAM
2,457.60	1	4,096	1/3	16-QAM

Tabla 4.3 Velocidades de Transmision para el Forward Link [Ref. 4.15].

Cuando las condiciones de RF son buenas no es necesaria demasiada codificación durante la modulación, siendo utilizada para estos casos 16-QAM (Quadrature Amplitude Modulation). Por su parte, si las condiciones del canal son pobres entonces QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) es usada, pero si las condiciones mejoran entonces la técnica de modulación y la velocidad de transmisión es modificada. Por lo tanto las condiciones de RF son monitoreadas de manera constante, determinando la modulación, codificación y velocidad de transmisión de cada time slot [Ref.4.15].

La codificación incrementa la redundancia para los casos en los que la velocidad de transmisión es baja, esto con el objetivo de asegurar que los paquetes sean decodificados por el móvil; sin embargo si el móvil es capaz de decodificarlos antes de

que los times slots redundantes sean recibidos, entonces se envía un mensaje para indicar a la estación base que no es necesario el envío del resto de los time slots.

Los sistemas 1xEV-DO para el forward link cuentan con los siguientes canales: canales piloto, canales MAC, canales de tráfico y de control.

- **Canal Piloto.** Al igual que en el sistema cdma2000 sirve como referencia coherente para la demodulación de los canales MAC y de los canales de tráfico.
- **Canales MAC.** Estos canales se encargan de entregar información de control entre la capa de enlace y las aplicaciones.
- **Canales de Tráfico.** Estos canales se encargan de llevar paquetes con información de los usuarios una vez que recibe un mensaje DRC (data rate control) por parte del reverse link, indicando la velocidad de transmisión a la que puede ser enviada la información.
- **Canales de control.** Se encargan de llevar mensajes de control dentro del sistema, pudiendo también ser utilizados como canales de tráfico para los usuarios.

4.3.2 Reverse Link en 1xEV-DO.

El reverse link también cuenta con algunas diferencias en relación a los sistemas cdma2000, ya que mientras éstos cuentan con un subcanal dedicado a el control de potencia; los sistemas 1xEV-DO siempre transmiten a la misma potencia, por lo tanto no es necesario su control y en lugar de eso utiliza un canal llamado Data Rate Channel (DRC) transmitido cada $1.667\mu\text{s}$ desde el móvil, que indica a la red la velocidad de transmisión más alta que puede ser soportada en ese momento sobre el forward link para poder optimizar los enlaces [Ref 4.16].

La siguiente tabla muestra las velocidades de transmisión que soporta el reverse link.

Data Rate (kbps)	Bits/Physical Layer Packet	Code Rate	Modulation
9.6	256	1/4	BPSK
19.2	512	1/4	BPSK
38.4	1,024	1/4	BPSK
76.8	2,048	1/4	BPSK
153.60	4,096	1/2	BPSK

Tabla 4.4 Velocidades de Transmisión para el Forward Link [Ref. 4.15].

En el reverse link de los sistemas 1xEV-DO son agregados dos nuevos canales al sistema en relación a cdma2000, siendo estos: el Acknowledge Channel (ACK) y el Reverse Rate Indication Channel

- **Canal de Reconocimiento (Acknowledge Channel ACK).** Este canal se encarga del envío de mensajes ante la recepción adecuada de paquetes de información.
- **Canal Indicador de la Velocidad de Transmisión en el Reverse (Reverse Rate Indication Channel RRI).** Canal que es usado por la estación móvil para indicar a la red la velocidad de transmisión en el Reverse Traffic Channel, permitiendo a las estaciones base decodificar la transmisión sin necesidad de ningún detector de velocidad de transmisión [10].

4.4 1xEV-DV.

1xEV-DV es una segunda fase de evolución para los sistemas cdma2000 propuesta por Motorola, mejorando de manera significativa la velocidad de transmisión en servicios de voz y datos. De las siglas 1xEV-DV el prefijo 1x hace referencia al uso

de portadoras con ancho de banda de 1.25 MHz, EV hace alusión a EVolution, mientras que DV significa Data and Voice.

En 1xEV-DV son reutilizados del sistema cdma2000 los protocolos de señalización y Link Access Control (LAC) de la capa 2, así como procesos ofrecidos por la capa 3. Por su parte las especificaciones del reverse link son idénticas al de sistemas cdma2000. Así pues la siguiente figura muestra la estructura de capas del sistema 1xEV-DV, observando que sólo le fue agregada un control Forward Packet Data Channel (F-PDCH) en relación a la estructura cdma2000.

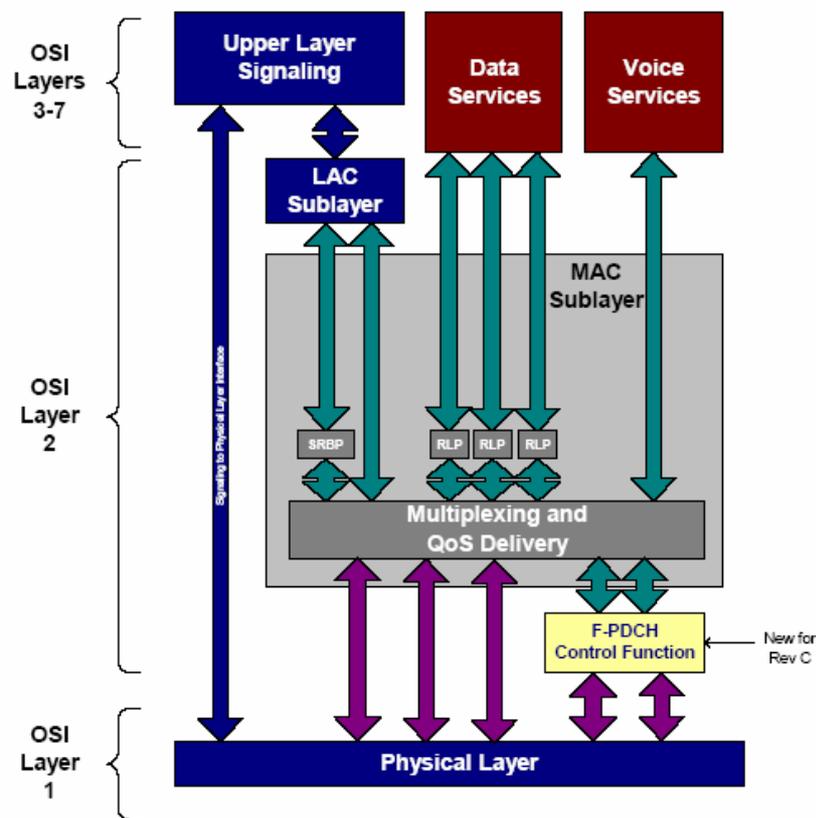


Fig 4.12 Estructura de Capas para 1xEV-DV [4.17].

En sistemas 1xEV-DV al igual que en 1xEV-DO la modulación y codificación es dinámica al tratarse de un esquema donde las estaciones base asignan a un usuario la mejor modulación (QPSK, 8-PSK, ó 16-QAM) y codificación (códigos convolucionales o turbo códigos) en base a las condiciones del canal; pudiendo alcanzar

los sistemas 1xEV-DV una velocidad de transmisión máxima en el forward link de 3.072 Mbps, y de 451.2 kbps para el reverse link.

1xEV-DV usa códigos convolucionales sólo para voz y datos, mientras que para los canales suplementarios (que sólo envían datos) son utilizados los turbo códigos, al ser mayor su velocidad de transmisión.

4.4.1 Forward link en 1xEV-DV.

En el forward link del 1xEV-DV para llevar a cabo el proceso de paquetizado de información fueron agregados dos nuevos canales con respecto a cdma2000, siendo estos canales: el Forward Packet Data Channel (F-PDCH) y el Forward Packet Data Control Channel (F-PDCCH) [Ref 4.18].

- **Canal de Datos Paquetizados en el Forward (Forward Packet Data Channel F-PDCH).** Es un canal que informa a los móviles la velocidad de transmisión a la que trabajarán los canales de tráfico.
- **Canal de Control de Datos Paquetizados en el Forward (Forward Packet Data Control Channel F-PDCCH).** Es un canal de control del forward link que se encarga de dar a la estación móvil información al Forward Packet Data Channel para que determine la velocidad de transmisión. Esta información incluye un MAC ID del móvil, el tamaño del paquete de información, el número de slots a enviar y el índice del código Walsh a utilizar. [Ref. 4.17].

La siguiente tabla muestra las velocidades de transmisión de los canales Forward Packet Data, en ella se observa cómo el tamaño del paquete y la duración del frame de

radiofrecuencia son combinados para dar como resultado las diferentes velocidades de transmisión.

		Número de intervalos por sub-paquete		
		1	2	4
Bits por paquete en el F-PDCH	408	326.4 kbps	163.2 kbps	81.6 kbps
	792	633.6 kbps	316.8 kbps	158.4 kbps
	1560	1248.0 kbps	624.0 kbps	312.0 kbps
	2328	1862.4 kbps	931.2 kbps	465.6 kbps
	3096	2476.8 kbps	1238.4 kbps	619.2 kbps
	3864	3091.2 kbps	1545.6 kbps	772.8 kbps

Tabla 4.5 Velocidades de transmisión para 1xEV-DV [Ref. 4.17]

De la tabla anterior, el número de slots por subpaquete representa la duración de un frame de radiofrecuencia (slot= 1.25 ms, 2 slots=2.5ms y 4 slots= 5ms). Esta forma de variar la duración de los frames y su tamaño da por resultado el poder obtener velocidades de transmisión de 3.1Mbps, siendo este mecanismo de transmisión tomado a partir de los sistemas 1xEV-DO.

4.4.2 Reverse Link en 1xEV-DV.

Dentro de los sistemas 1xEV-DV son agregados en el reverse link dos canales de control para poder soportar la operación del canal F-PDCH, estos canales son: Reverse Channel Quality Indicator Channel (R-CQICH) y Reverse Acknowledgement Channel (R-ACKCH).

- **Canal Indicador de Calidad en el Reverse (Reverse Channel Quality Indicador Channel R-CQICH).** Es un canal utilizado por un móvil para indicar a la estación base la calidad con que cuenta el canal.
- **Canal de Reconocimiento en el Reverse (Reverse Acknowledgement R-ACKCH).** Este canal es utilizado por los móviles para indicarle a la estación base si el paquete enviado en el canal F-PDCH ha sido satisfactoriamente decodificado [Ref 4.17].

Por su parte para transportar información de tráfico son utilizados los mismos canales que los empleados en cdma2000 [Ref. 4.17].

CDMA2000 es un sistema flexible al basar su estructura en el modelo OSI, permitiendo una suave evolución al irle agregando mecanismos para poder proveer de más y mejores servicios. Así pues en el siguiente capítulo se presentan las conclusiones del presente trabajo de investigación.