

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

ESCUELA DE INGENIERÍA

CONTROL Y OPTIMIZACION DE UNA CENTRAL DE CONMUTACION CELULAR

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
ESPECIALISTA EN ELECTRONICA Y TELECOMUNICACIONES**

WASHINGTON FERNANDO PADILLA ALARCON

DIRECTOR: ING. PABLO HIDALGO

Quito, Octubre 2000

DECLARACION

Yo, Washington Fernando Padilla Alarcón, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley, Reglamento de Propiedad Intelectual y por la normatividad institucional vigente.



Fernando Padilla Alarcón

CERTIFICACION

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Fernando Padilla, bajo mi supervisión.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Pablo Hidalgo', is written over a horizontal line. The signature is stylized and cursive.

Ing. Pablo Hidalgo
DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi director, el Ing. Pablo Hidalgo por todo su tiempo, colaboración y apoyo para la realización de esta tesis de grado. De manera especial agradezco al Ing. Jefferson Vega, por sus valiosas ideas que ayudaron a la culminación del presente trabajo.

DEDICATORIA

La presente tesis de grado está dedicada a mis padres, en especial a mi madre por todo su amor, aliento y apoyo incondicional, a mis hermanas por estar siempre pendientes, a mi novia por su paciencia y a mis amigos de siempre por su preocupación.

CONTENIDO

RESUMEN	1
PRESENTACION	2
1. CONMUTACION TELEFONICA	4
1.1. EVOLUCION DE LA RED TELEFONICA	4
1.2. ESTRUCTURA Y CONCEPTOS DE UNA CENTRAL DE CONMUTACION TELEFONICA	13
1.2.1. BLOQUE DE SEÑALIZACION	17
1.2.2. BLOQUE DE CONTROL	18
1.2.3. BLOQUE DE INTERCONEXION	19
1.2.3.1. CONMUTACION TEMPORAL	20
1.2.3.2. CONMUTACION ESPACIAL	23
1.2.3.3. CONMUTACION POR ETAPAS	26
1.3. FUNDAMENTOS DEL SISTEMA CELULAR	28
1.3.1. SERVICIOS MOVILES TERRESTRES	28
1.3.2. NACIMIENTO DEL CONCEPTO CELULAR	33
1.3.3. HISTORIA DE LA ASIGNACION DEL ESPECTRO A 800 MHz	36
1.3.4. ESTRUCTURA DEL SISTEMA CELULAR	37
1.3.5. ESTANDARES PARA SISTEMAS CELULARES	42
1.4. OFICINA DE CONMUTACION DE TELEFONIA CELULAR	56
1.4.1. COMPLEJO DE CONTROL CENTRAL NT40 (CCC NT40)	57
1.4.2. COMPLEJO CENTRAL SUPER NODO (SN)	60
1.4.3. COMPLEJO CENTRAL SUPER NODO DE TAMAÑO MEJORADO (SNSE)	61
1.4.4. ARQUITECTURA DE LA CENTRAL CELULAR DMS-MTX	64
1.4.4.1. INTERFACES EN LA CENTRAL CELULAR	66
1.4.4.2. NUCLEO DEL DMS	68
1.4.4.3. MENSAJERIA DE LA CENTRAL DMS-BUS	70
1.4.4.4. RED DE CONMUTACION	72
1.4.4.5. MODULOS PERIFERICOS	73
1.4.4.6. PROCESADOR PERIFERICO DE ENLACE (LPP)	77
1.4.4.7. CONTROLADORES DE ENTRADA Y SALIDA (IOC)	78
1.4.4.8. ELEMENTOS ADICIONALES DE UNA CENTRAL CELULAR	79
1.4.4.9. COMO TRABAJA EL ROAMING	80

1.5. SEÑALIZACION ENTRE CENTRALES	85
1.5.1. SISTEMA DE SEÑALIZACION R2	87
1.5.1.1. SEÑALIZACION DE LINEA	88
1.5.1.2. SEÑALIZACION DE REGISTRO	93
1.5.2. SISTEMA DE SEÑALIZACION N°7 – SS7	98
1.5.2.1. PUNTOS DE SEÑALIZACION	98
1.5.2.2. TIPOS DE ENLACES DE SEÑALIZACION SS7	100
1.5.2.3. ARQUITECTURA DEL PROTOCOLO SS7	103
2. PROCESAMIENTO DE LLAMADAS	117
2.1. AMPS TIPOS DE CANALES Y SUS FUNCIONES	117
2.1.1. CANAL DE CONTROL DE SEÑALIZACION DIRECTA (FOCC)	120
2.1.1.1. MENSAJES DE CONTROL DE LA UNIDAD MOVIL	122
2.1.1.2. MENSAJES DE ENCABEZADO	127
2.1.2. CANAL DE CONTROL DE SEÑALIZACION INVERSA (RECC)	133
2.1.2.1. MENSAJE DE RESPUESTA DE BUSQUEDA	134
2.1.2.2. MENSAJE DE ORIGINACION	136
2.1.2.3. MENSAJE DE CONFIRMACION DE ORDEN Y MENSAJE DE ORDEN	136
2.1.3. SUPERVISION Y SEÑALIZACION DE LLAMADAS ANALOGICAS	137
2.1.3.1. CANAL DE VOZ ANALOGICO DIRECTO (FVC)	140
2.1.3.2. CANAL DE VOZ ANALOGICO DE REVERSA (RVC)	144
2.1.4. TRANSICION A DIGITAL	145
2.2. PROCESO DE AUTENTICACION	146
2.3. TDMA TIPOS DE CANALES Y SUS FUNCIONES	150
2.3.1. BENEFICIOS Y VENTAJAS DEL DCCH	153
2.3.2. MODO DE OPERACION DE TDMA	158
2.3.3. CANAL DE TRAFICO DIGITAL IS-136 (DTCH)	163
2.3.4. DESCRIPCION GENERAL DEL CANAL DE CONTROL DIGITAL	169
2.3.4.1. DCCH HACIA DELANTE (F-DCCH)	170
2.3.4.2. DCCH DE REVERSA (R-DCCH)	174

2.3.5. CAPAS DEL CANAL DE CONTROL DIGITAL	175
2.3.5.1. CAPA 1 O CAPA FISICA	177
2.3.5.2. CAPA 2 O CAPA DE ENLACE DE DATOS	187
2.3.5.3. CAPA 3 O CAPA DE RED	191
3. OPTIMIZACION DEL SISTEMA CELULAR	211
3.1. CICLO DEL CRECIMIENTO DEL SISTEMA	212
3.2. CICLO DE OPTIMIZACION	212
3.3. PERSPECTIVAS DEL RENDIMIENTO DEL SISTEMA	213
3.4. CONCEPTOS DE FALLAS FUERTES VS LEVES	215
3.5. DEPENDENCIAS FUNCIONALES Y ANOMALAS	216
3.6. OPTIMIZACION DE PROCESOS	217
3.6.1. OPTIMIZACION DE LOS PROCESOS DE HANDOFF	218
3.6.1.1. INTRODUCCION AL HANDOFF	218
3.6.1.2. TIPOS DE HANDOFF POR DESTINO DESIGNADO	221
3.6.1.3. DIAGRAMA GENERAL DEL FLUJO DE HANDOFF	223
3.6.1.4. LOGICA Y PROCESO DEL HANDOFF	228
3.6.1.5. AMBIENTE DEL HANDOFF	230
3.6.1.6. OPTIMIZACION DEL HANDOFF	234
3.6.2. OPTIMIZACION DE LOS PROCESOS DE TRAFICO	243
3.6.2.1. FUNDAMENTOS DE TRAFICO	243
3.6.2.2. DISTRIBUCION DEL TRAFICO	251
3.6.2.3. PLANIFICACION DEL TRAFICO	256
3.6.2.4. OPTIMIZACION DEL TRAFICO	266
3.6.3. OPTIMIZACION DE LOS PROCESOS DE MOVILIDAD	271
3.6.3.1. ASIGNACION DE LOS TONOS DE SUPERVISION Y CODIGOS DE COLOR	273
3.6.3.2. OPTIMIZACION DE LA MOVILIDAD EN EL SISTEMA	278
3.6.4. OPTIMIZACION DE LOS PROCESOS DE RADIO FRECUENCIA	285
3.6.4.1. AMBIENTE DE RF EN LOS SISTEMAS CELULARES	285
3.6.4.2. OPTIMIZACION DE RF	293

3.6.5. RESULTADOS DE LA OPTIMIZACION	297
3.6.5.1. REGULACION DEL SERVICIO CELULAR	298
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	304
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	308
ANEXO A	312
ANEXO B	316
ANEXO C	512

RESUMEN

Esta tesis abarca los conceptos que se deben tener en cuenta para llegar a mejorar y optimizar el servicio de la comunicación telefónica celular desde el punto de vista de los parámetros que se manejan en una central de conmutación celular.

Se comienza con la descripción de la arquitectura de una central de conmutación celular para los sistemas AMPS/TDMA, tecnologías aplicadas actualmente en el Ecuador. También se realiza una breve descripción de los sistemas de señalización más utilizados para la comunicación entre centrales telefónicas. Además, debido a que en el país se manejan procesos de llamadas mixtas, es decir analógicas y digitales, se describen los estándares que intervienen en este tipo de llamadas.

Una vez sentadas las bases teóricas para entender el panorama celular, se analizan los procesos más importantes que inciden en el rendimiento de un sistema telefónico celular, los cuales tienen un impacto directo en la calidad de servicio que las operadoras celulares están brindando a sus usuarios. Se procede a realizar la descripción de estos procesos explicando primero el significado de cada uno de ellos dentro de la red telefónica celular, para luego plantear los diferentes caminos que se pueden seguir para la optimización de los mismos mediante el control y el monitoreo de la central celular.

PRESENTACION

Desde los comienzos del Sistema de Telefonía Móvil Celular en el Ecuador, a partir de la concesión de las bandas de frecuencia por parte de la Superintendencia de Telecomunicaciones a las dos Operadoras Locales en el año 1993, el crecimiento de la demanda del servicio ha ido de la mano con el rápido desarrollo de la tecnología dentro de este campo.

A pesar de que actualmente las redes celulares en Ecuador brindan un servicio tanto analógico como digital a sus abonados, el porcentaje de digitalización del servicio celular se encuentra aproximadamente en el 60 %. Esto ha permitido la introducción de beneficios propios de la tecnología digital, tales como el servicio de mensajería corta, identificación del número que origina la llamada, navegación por internet, etc; obligando a las operadoras a actualizar constantemente sus redes con el fin de competir sin inconvenientes en un mercado internacional altamente agresivo.

La telefonía celular puede ser tratada desde varios puntos de vista. En lo que respecta a la presente tesis, se realiza un estudio de la manera en que se puede mejorar el servicio de comunicación celular mediante la optimización de los principales procesos que intervienen en el establecimiento de las llamadas, en base a los parámetros que se manejan en la oficina de conmutación de telefonía móvil (MTSO). El MTSO es el corazón del sistema móvil celular por cuanto provee de la coordinación central y la administración celular.

Para alcanzar este objetivo se han desarrollado tres capítulos más el aporte de información suplementaria de los respectivos anexos. El capítulo 1 hace referencia a la conmutación telefónica, desde la evolución de la red telefónica hasta el tipo de señalización que se utiliza entre oficinas centrales.

En el capítulo 2 se describen los estándares utilizados en el Ecuador para el procesamiento de las llamadas celulares, y se revisa brevemente el tema de la

autenticación del servicio móvil para evitar el fraude, producto de la clonación de los teléfonos celulares.

El capítulo 3 se centra en el estudio de la optimización del sistema celular, haciendo mención a los parámetros mínimos de calidad del servicio que las Operadoras deben cumplir, y los procesos de optimización más comúnmente utilizados.

En el capítulo 4 se presenta las conclusiones y recomendaciones, para finalmente indicar las referencias bibliográficas y los anexos respectivos.

CAPITULO 1: CONMUTACION TELEFONICA

1.1. EVOLUCION DE LA RED TELEFONICA

El desarrollo de la industria de las telecomunicaciones, la disminución de los costos reales de los servicios, y el aumento en disponibilidad, confiabilidad, seguridad y conectividad de éstos ha sido producto de avances en diversos campos del conocimiento. Aunque muchos de estos avances han tenido su origen en el uso militar, otros de igual o mayor importancia tuvieron sus inicios en aplicaciones civiles como es el caso del teléfono. El primer sistema de comunicación a larga distancia fue el telégrafo; en 1884 el servicio de telegrafía ya se encontraba bien establecido y el teléfono llevaba ocho años, para entonces aproximadamente 350.000 teléfonos habían sido fabricados. (1)

Mientras la mayor parte de la actividad de desarrollo estuvo dedicada a los instrumentos básicos del teléfono y a la transmisión, la magnitud y naturaleza del tema de la conmutación telefónica estaba apenas iniciando a ser entendida.

Por años la conmutación había sido necesaria para asociar los aparatos de telégrafo a las líneas. Aquellas relativamente pocas líneas, iban entre oficinas de telegrafía de grandes ciudades, así como entre ciudades y países. La conmutación en estas oficinas buscaba principalmente permitir a las compañías telegráficas prestar el servicio adecuadamente sobre una base de tiempo compartido entre oficinas.

El teléfono llevó una nueva dimensión al servicio de telecomunicaciones. La voz humana significaba comunicaciones más personales, y con ella una demanda inherente de servicio privado e instantáneo. Esto añadió otra dimensión al servicio, ya que la comunidad atendida por el tablero de conmutación se encontraba ahora dispersa con alambres, por lo menos uno para cada suscriptor.

La complejidad en los comienzos de la telefonía no era vista hasta que dos o más abonados deseaban comunicarse, por lo que iban creciendo el número de usuarios, el sistema de transmisión o estructura física se tornaba difícil y más costosa, requiriendo muchos pares de hilos de cobre para establecer las distintas conexiones y elegir el usuario con el cual se deseaba hablar; llegando a ser como una malla o red de pescar, tal como se indica en la figura 1.1.

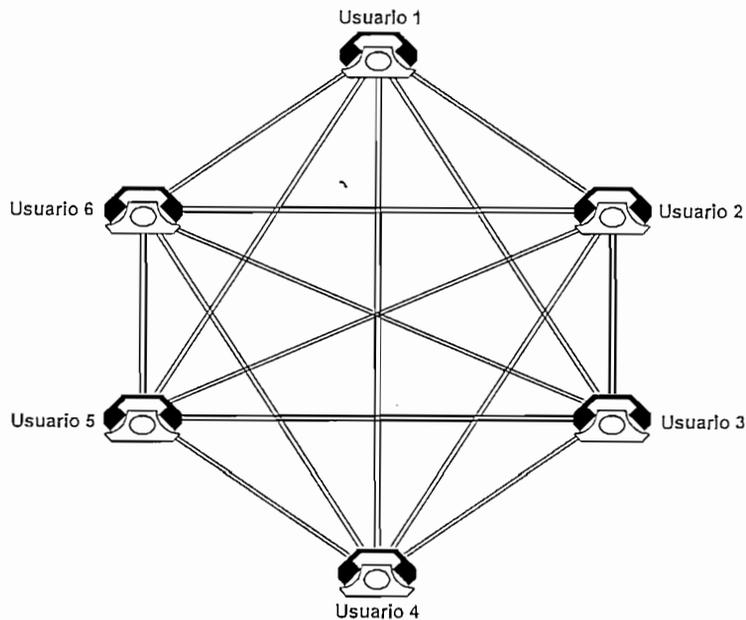


Fig. 1.1: Principios del enlace telefónico (2)

Para simplificar el problema del número de líneas telefónicas, inicialmente se emplearon conmutadores manuales. Cuando el número de conexiones es pequeño esto puede resultar sencillo, como se muestra en la figura 1.2.

El objetivo de los conmutadores manuales era reemplazar la cantidad de líneas por simples conexiones dentro del conmutador, pero con el crecimiento de la red el trabajo también se tornaba complicado. Inicialmente, para conmutar las pocas líneas telefónicas, fueron adaptados los tableros con agujeros de conexión dispuestos en coordenadas, usados en aquel tiempo para servicios de telegrafía y alarmas.

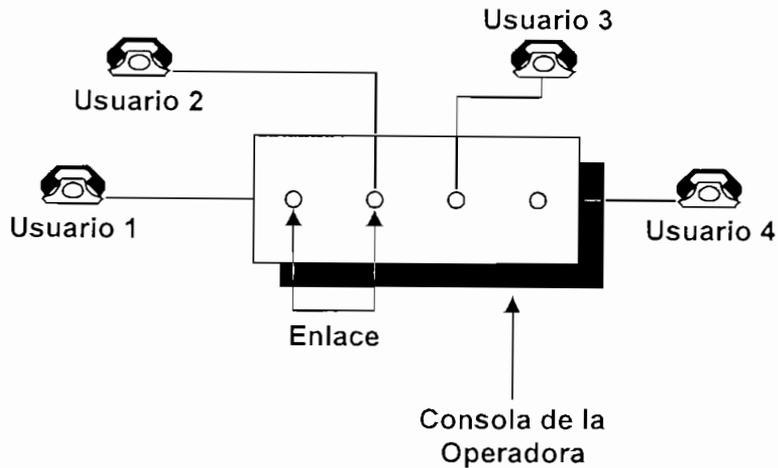


Fig. 1.2: Conmutación manual entre dos abonados (3)

El servicio se solicitaba mediante alarmas que anunciaban los requerimientos de conexión. Sin embargo, el número de suscriptores de teléfono creció a una tasa tan alta que se volvió evidente que sería necesario algo más adecuado a las necesidades del servicio telefónico. Un ejemplo de un *switch* manual real en sus comienzos se muestra en la figura 1.3.

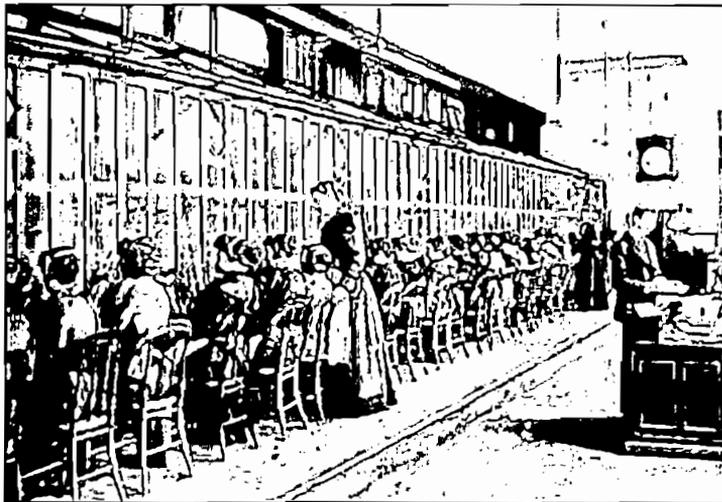


Fig. 1.3: Switch con tablero de cables (4)

Después, el conmutador manual fue reemplazado por las centrales de conmutación (Centrales Locales), conformadas como un núcleo de una estrella

(tal como eran los conmutadores manuales) y sus enlaces que consistían las líneas telefónicas, como se ilustra en la figura 1.4.

La central de conmutación telefónica pasó a ser el dispositivo que realiza de manera automática las conexiones para establecer las llamadas entre los abonados. Para esto fue necesario desarrollar un lenguaje mucho más complejo o sistema de señalización para las centrales de conmutación automáticas, con el objetivo de establecer y liberar las comunicaciones.

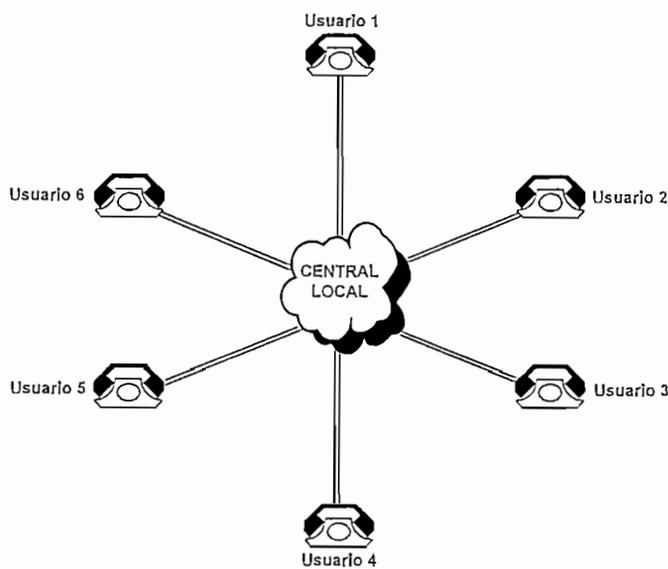


Fig. 1.4: Configuración de una red telefónica con central local (2)

El desarrollo tecnológico y la necesidad de disminuir la distancia de las líneas telefónicas dieron paso a los concentradores de abonado, cuyo concepto es el proceso de selección remota para realizar la conexión de la línea telefónica (más corta) y la central local a través de un enlace o medio de transmisión que tiene una eficiencia más alta y reducir así los reclamos por falla en las líneas telefónicas.

El sistema fue creciendo, dando forma a lo que sería la red telefónica local, la cual es el conjunto de centrales locales, enlaces y líneas telefónicas o enlaces de abonado dentro de una localidad (ciudad o pueblo).

Hasta los años setenta (3) la red telefónica usada en todo el mundo consistía de conmutadores analógicos conectados por sistemas de transmisión analógicos. El conmutador de matriz electromecánica, fue el precursor de los *switches* modernos, donde las líneas telefónicas fueron conectadas a la matriz por pares de cables y cada línea fue dividida y conectada a la entrada y salida de la matriz, tal como se indica en la figura 1.5.

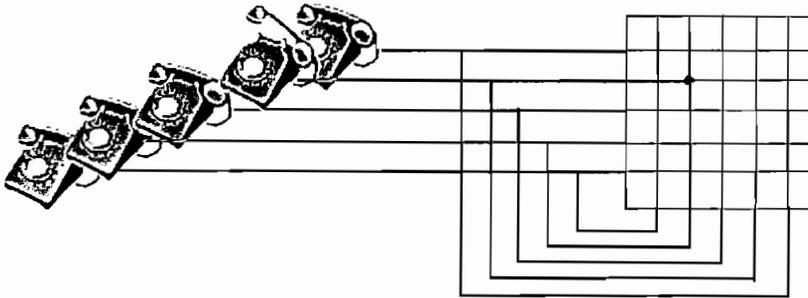


Fig. 1.5: Switch Electromecánico (4)

Debido a la masificación del servicio telefónico el ruido de transmisión se convirtió en uno de los principales problemas de la red telefónica, influyendo notablemente en la calidad de las mismas. Este problema fue resuelto en la década de los setenta mediante la introducción de la transmisión digital en la red telefónica analógica, y estas redes que estaban conformadas por sistemas de conmutación analógica y transmisión digital se denominaron redes híbridas, las cuales evolucionaron a las redes digitales integradas que se caracterizan por estar formadas por sistemas de conmutación y transmisión digital, dejando como único elemento analógico la estación telefónica y su enlace con la central de conmutación.

Los rápidos avances en los servicios de informática y telecomunicaciones, así como su integración, han permitido un tratamiento similar en la digitalización de los datos, la voz y las imágenes, esto conduce a una nueva red que ofrece a los usuarios la posibilidad de intercambiar, desde un único terminal, todos estos servicios gracias a la Red Digital de Servicios Integrados (ISDN).

Esta masificación demandaba centrales telefónicas de mayor capacidad para soportar más líneas telefónicas, por lo que fue necesario establecer varias centrales y emplear enlaces para transmitir el volumen de llamadas o tráfico entre los abonados que pertenecían a diferentes centrales locales. Estos nodos o centrales locales son interconectados por enlaces, la resultante se denomina red en malla (ver figura 1.6).

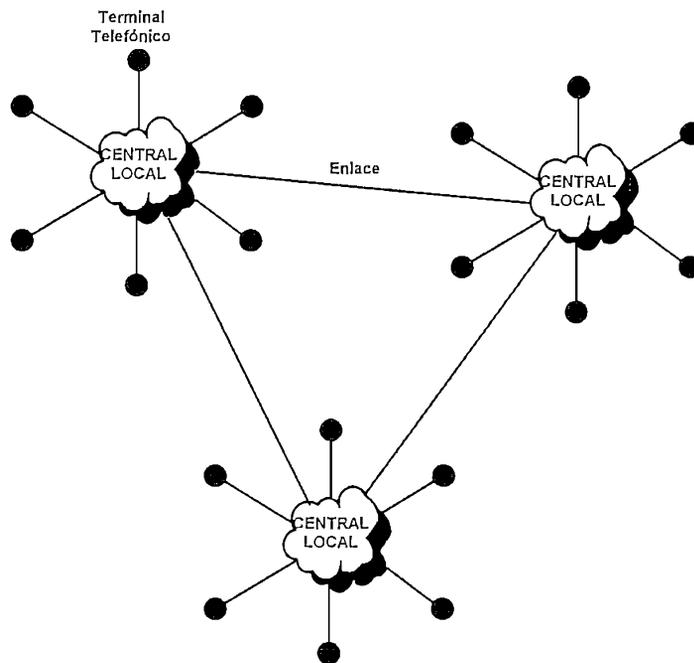


Fig. 1.6: Red telefónica local en malla(2)

Existen dos tipos básicos de nodos, dependiendo si son para conectar los terminales de un servicio o si son dispositivos que permiten interconectar los nodos de acceso. Estos nodos son los siguientes:

- **Nodo de Acceso:** Estos nodos en la red física o red de transmisión están compuestos por centrales locales, concentradores de abonados, sistemas de gestión (multiplexores flexibles) y multiplexores digitales (PDH y SDH).¹

¹ PDH: Jerarquía Digital Plesiócrona
SDH: Jerarquía Digital Síncrona

- **Nodo de Tránsito:** Estos nodos en la red física están formados por centrales de tránsito, multiplexores digitales (PDH y SDH) y sistemas de distribución digital (*cross-connect*).

Los nodos de una red están interconectados por medio de enlaces, los cuales son los medios de transmisión o sistemas de líneas digitales o analógicas entre dos puntos.

El crecimiento de la ciudad exige un aumento en la demanda de líneas y teléfonos y por ende el número de centrales locales, ya que económicamente se justifica distribuir la cantidad de clientes entre varias centrales locales, en lugar de conectar líneas telefónicas muy largas a una central.

Entre los clientes de cada central existe la posibilidad de comunicarse entre sí, por lo tanto el número de enlaces aumentará, complicando el sistema de conexiones y de transmisión así como el costo del mismo, por lo que la solución es realizar una configuración en estrella entre las centrales, agrupándose en una central que se llamará central de tránsito o tándem, como lo indica la figura 1.7.

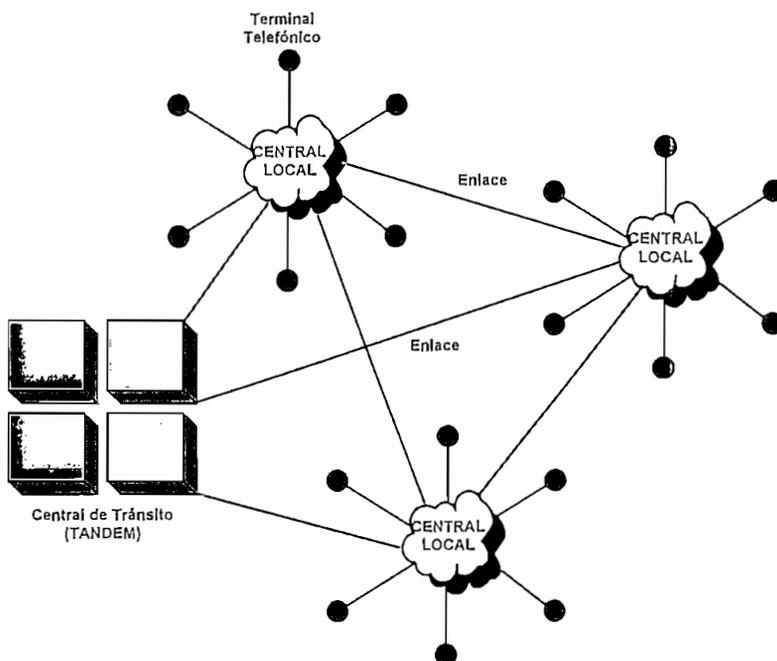


Fig. 1.7: Red de tránsito (2)

Es importante anotar que a la central de tránsito sólo se conectan las centrales locales y otras centrales de tránsito y no las líneas telefónicas de abonado. Generalmente una central de este tipo puede elegir entre varias vías de enlace para establecer sus conexiones, lo que ofrece máximas posibilidades para realizar la conexión del abonado llamado.

Con el desarrollo de los equipos y su capacidad de proceso, es posible tener dentro de la misma central telefónica las funciones de central local y de tránsito para ser aplicada dentro de ciudades cuya densidad telefónica no justifique tener los dos tipos de función separados.

El usuario de la red telefónica desea también conectarse entre diferentes ciudades y a nivel internacional, por lo que se requiere de nuevas centrales de tránsito denominadas centrales de larga distancia, las que permiten conectar las centrales locales o tándem de otras ciudades.

El sistema como se puede observar se hace cada vez más complejo, y para poder manejar esto de una manera ordenada de acuerdo a su importancia, se estructura una jerarquía de centrales de conmutación.

La denominación de las jerarquías depende de la ubicación geográfica, en Norteamérica se utiliza la jerarquía ATT y en Europa, Africa y Sudamérica se utiliza la jerarquía del CCITT² (5).

Las jerarquías mencionadas constan de cinco clases, tal como se muestra en el cuadro 1.1.

² CCITT: Comité Consultivo Internacional sobre Telefonía y Telegrafía. Actualmente UIT – Unión Internacional de Telecomunicaciones, que es el equivalente europeo de la Comisión Federal de Comunicaciones FCC de los Estados Unidos.

CLASE	JERARQUIA ATT	JERARQUIA CCITT
1	Centro Regional	Centro Cuaternario
2	Centro Seccional	Centro Terciario
3	Centro Primario	Centro Secundario
4	Centro Interurbano	Centro Primario
5	Oficina Terminal	Central Local

Cuadro 1.1: Jerarquías telefónicas

En la red telefónica nacional del Ecuador se aplica la jerarquía del CCITT, la cual es ilustrada en el diagrama 1.8.

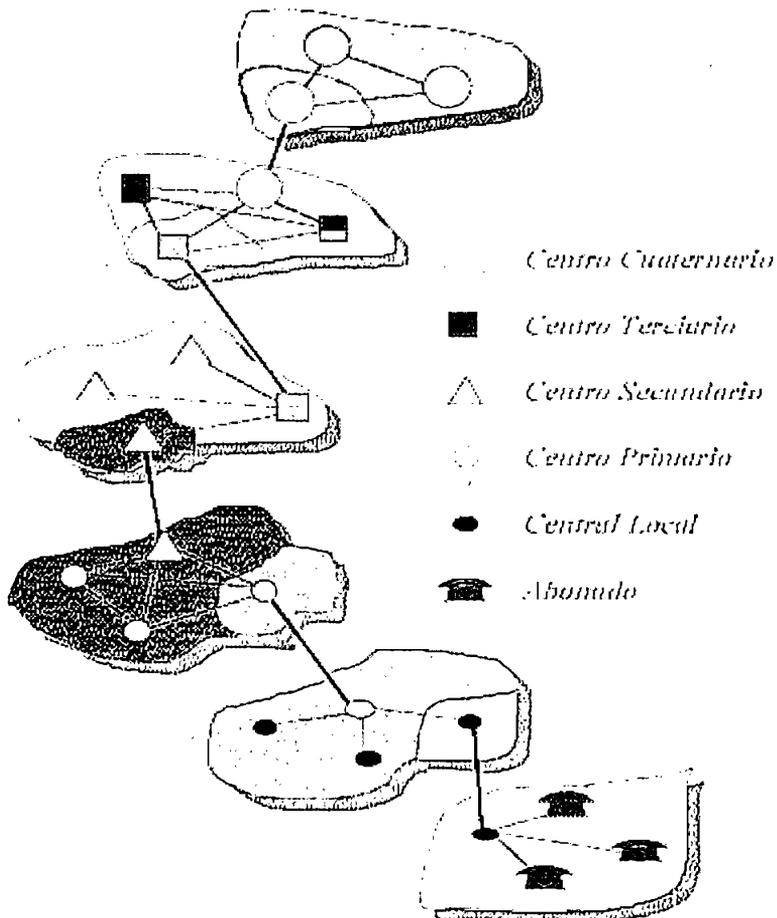


Fig. 1.8: Jerarquía telefónica CCITT (6)

Donde:

- **Central Local:** Agrupa los abonados individuales de un área determinada.
- **Centro Primario:** Es una central local que se promueve para manejar el tráfico desde y hacia las centrales locales.
- **Centro Secundario:** Es un centro primario que permite interconectar otros centros primarios entre sí.
- **Centro Terciario:** Agrupa o interconecta centros secundarios.
- **Centro Cuaternario:** Es aquel que permite el intercambio de tráfico entre centros terciarios.

1.2. ESTRUCTURA Y CONCEPTOS DE UNA CENTRAL DE CONMUTACIÓN TELEFONICA

De los elementos que conforman la estructura de una Red de Telecomunicaciones, la conmutación es la más transparente para el usuario, sin embargo, representa el elemento más importante en términos del ofrecimiento de servicios.

La historia de la conmutación telefónica se ubica exactamente en la introducción y desarrollo de las tecnologías electromecánicas en Norte América. En 1889, Almon B. Strowger, se dio cuenta que las operadoras telefónicas daban a los usuarios del sistema telefónico señales falsas de ocupado y números equivocados, por lo que desarrolló un *switch* automático cuya patente se le otorgó el 10 de marzo de 1891 (tal como se muestra en la figura 1.9), y el 3 de noviembre de 1892 la primera central de conmutación Strowger fue inaugurada para el servicio público con alrededor de 75 usuarios. (7)

(No Model.)

3 Sheets—Sheet 1.

A. B. STROWGER.
AUTOMATIC TELEPHONE EXCHANGE.

No. 447,918.

Patented Mar. 10, 1891.

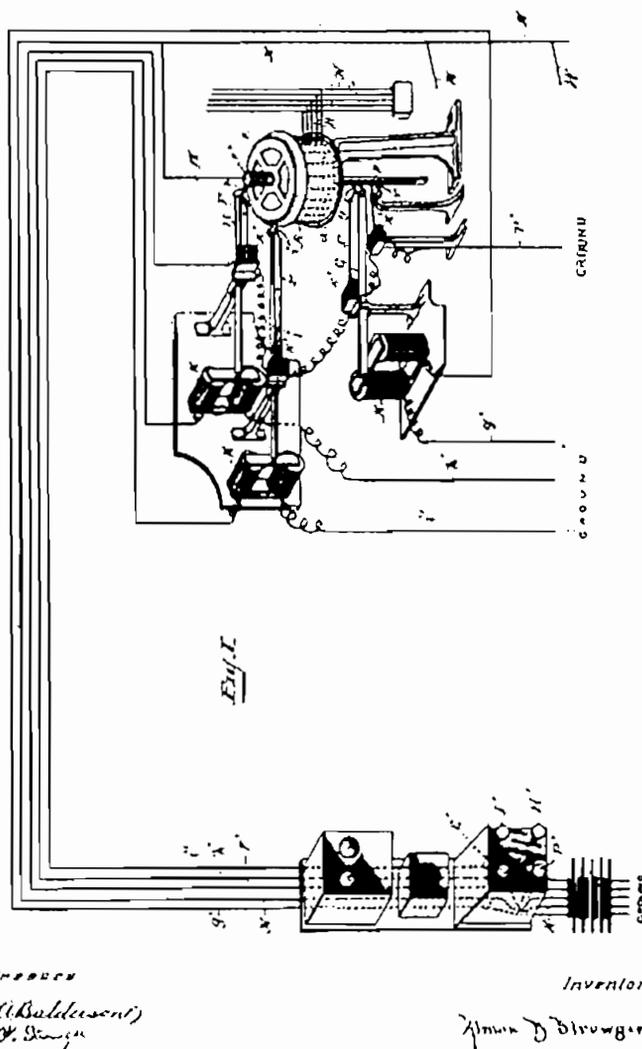


Fig. 1.9: Switch Strowger (8)

El sistema Strowger usaba dispositivos mecánicos y fue el primer *switch* que no requería de operadoras, sirvió como estándar de los sistemas de conmutación en el mundo por alrededor de 50 años. Pero la mayor desventaja de la conmutación Strowger fue la gran cantidad de espacio que ocupaba y el alto consumo de energía eléctrica durante la operación de la hora de tráfico; otro de sus inconvenientes fue el uso de partes eléctricas sujetas a desgaste a más de que los contactos eléctricos eran sensibles a daños y a la suciedad. Esto dio como

resultado que el mantenimiento de este conmutador fuera una labor muy extenuante. (8)

El *switch* Strowger como todos los sistemas de la época, fueron basados en tecnologías analógicas, convirtiendo las ondas de sonido (conversación) en señales eléctricas con la variación de la frecuencia y la amplitud. Las señales analógicas fueron conectadas a través de un gran número de interruptores individuales en la Oficina Central. Cada llamada telefónica requería de una cadena de conexiones separadas de *switches*, las cuales permanecían dedicadas mientras duraba la llamada.

Siguiendo con los diferentes mecanismos de conmutación, otros tipos de dispositivos de conmutación analógica se desarrollaron por ese tiempo, incluyendo el *switch* de barras cruzadas, el sistema de conmutación electrónico (ESS – *Electronic Switching System*), y el sistema con control de programa almacenado (SPC – *Stored Program Control*). Todos estos sistemas analógicos utilizan técnicas de conmutación espacial que conectan y desconectan contactos físicos a través de una matriz de "*switchpoints*". Los sistemas analógicos tienden a ser lentos, grandes y más dificultosos de mantener que los sistemas que emplean tecnología digital.

El *switch* de barras cruzadas realizaba la conmutación mediante una matriz de barras electromagnéticas que hacían las conexiones de manera más rápida y silenciosa que el *switch* Strowger. Además, era de menor tamaño y se hizo más común en la década de los 40's (7). El *switch* de barras cruzadas era más flexible que los sistemas semejantes ya que podía reintentar una conexión si ocurría un bloqueo, pero aún continuaba consumiendo mucha energía y todavía usaba contactos físicos los cuales se deterioraban eventualmente.

Los sistemas de conmutación electrónica aprovecharon los desarrollos en semiconductores y marcaron los primeros usos de la tecnología de las computadoras para las operaciones y su influencia en la reducción de los costos. Las centrales con ESS o SPC administran la actividad de la conmutación usando

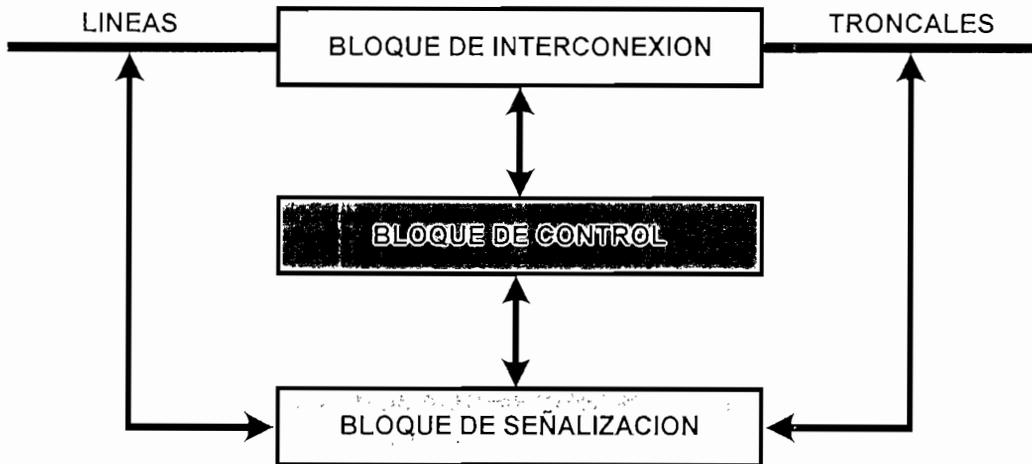


Fig. 1.10: Diagrama básico del sistema de conmutación (6)

1.2.1. BLOQUE DE SEÑALIZACIÓN

En una red telefónica existe la necesidad de establecer un lenguaje entre los elementos que la constituyen para dotar a la misma de un grado de inteligencia que permita que un abonado se comuniqué con cualquier otro de la red. El encargado de dotar a la red de ese lenguaje es el bloque de señalización, el cual se encarga de procesar la información que le indica al nodo de conmutación las acciones que debe tomar para realizar el establecimiento de una llamada.

Las categorías de información que maneja este bloque son:

- Señales de alerta
- Señales de supervisión
- Señales de direccionamiento
- Señales de control

A estas categorías se las conoce como protocolos y sistemas de señalización. El proceso de estas señales depende del fabricante, pero en general son manejadas por tarjetas de línea, tarjetas de troncal y el procesador que se requiera para el funcionamiento de esas tarjetas.

La señalización de la red indica que un abonado desea servicio, proporciona los datos necesarios para identificar al abonado distante que se solicita, para enrutar debidamente la llamada; también proporciona supervisión de la llamada a lo largo de su trayectoria. La señalización da adicionalmente al abonado cierta información de estado, por ejemplo, el tono de invitación a marcar, tono de ocupado (retorno de ocupado) y timbrado. Los pulsos de medición para el cobro de la llamada se pueden considerar también como una forma de señalización.

1.2.2. BLOQUE DE CONTROL

Realiza el procesamiento de información de las llamadas, y es el bloque más complejo del sistema de conmutación, ya que debe existir una total coherencia entre la arquitectura de la central y la tecnología que se va a aplicar.

Aquí se define la arquitectura del control del sistema, ya que dependerá del hardware que se requiera para satisfacer las necesidades que cubra las demandas del sistema. Además la importancia del bloque de control está en que no solo se encarga de manejar los procesos de conmutación, sino otras funciones vitales como son: la administración de los procesadores (equipo de administración, memoria, control lógico y periféricos de entrada/salida), el control de la matriz de conmutación, y el procesamiento de la información de la llamada propiamente dicha; es un bloque necesario para el proceso de la llamada ya que es donde se analiza la información proveniente del sistema de señalización.

Para que el procesamiento de la información de las llamadas responda adecuadamente a los requerimientos básicos que se necesitan para proporcionar un camino para el flujo de mensajes entre dos usuarios involucrados, el software del sistema de conmutación debe cumplir con los siguientes pasos:

- Detectar un requerimiento de servicio.
- Interpretar los dígitos marcados o definir la identidad del abonado llamado.
- Alertar al abonado llamado.
- Establecer el trayecto interno de la comunicación.

- Desconectar la llamada.
- Tarifación de la llamada.

1.2.3. BLOQUE DE INTERCONEXIÓN

Conocido como red de conmutación, donde la función principal es realizar la conexión de la llamada mediante la interconexión de un conjunto de entradas y un conjunto de salidas, estableciendo un camino interno de comunicación, donde las entradas y salidas son las líneas de abonado, circuitos de servicio y troncales.

El empleo de la tecnología digital en las redes de conmutación trajo consigo las ventajas propias de esta tecnología, como son: un incremento en la velocidad de operación, aprovechamiento de los medios de transmisión, mayor flexibilidad, mayor confiabilidad y disminución del tamaño de los equipos. Con esta tecnología se dio soporte a facilidades adicionales y servicios de valor agregado, tanto para los usuarios como para la propia explotación de la red.

Estas ventajas hicieron que la operación y el mantenimiento de la red se simplifique, facilitando la expansión del sistema, y un aspecto importante, esto provocó la disminución en los costos de instalación.

Las centrales de conmutación digital realizan principalmente conexiones por conmutación de circuitos a 64 Kbps, y se utiliza básicamente dos tipos de conmutación: conmutación temporal y conmutación espacial. Pero cualquiera que sea la estructura y funcionamiento de la red de conmutación digital, las entradas y salidas serán tramas de bits, las cuales contendrán la información en los canales que establecerán las comunicaciones bidireccionales digitales dentro de la central. La información puede ser datos o muestras de señales analógicas codificadas mediante la técnica del PCM³.

³ PCM: *Pulse Code Modulation* (MIC – Modulación por Impulsos Codificados)

La red de conmutación digital realiza conmutación entre buses multiplexados en el tiempo. Para que haya conexión entre diferentes intervalos de tiempo en diferentes buses, se requiere tanto conmutación temporal como espacial.

Una conexión a través de la red de conmutación implica un intercambio de información entre un canal de entrada y un canal de salida. Este intercambio se logra mediante una cierta secuencia de conmutación temporal y espacial. Como una llamada normal está en progreso durante muchas tramas PCM, esta secuencia deberá repetirse una vez por cada trama PCM durante toda la llamada. Esto requiere un cierto tipo de control cíclico, logrado por memorias de control.

1.2.3.1. CONMUTACION TEMPORAL

La conmutación temporal permite la conexión entre cualquier canal del circuito entrante y cualquier canal del circuito saliente, trabaja sobre el principio de conmutar una entrada en particular a una salida en particular a un cierto intervalo de tiempo, tal como se muestra en la figura 1.11.

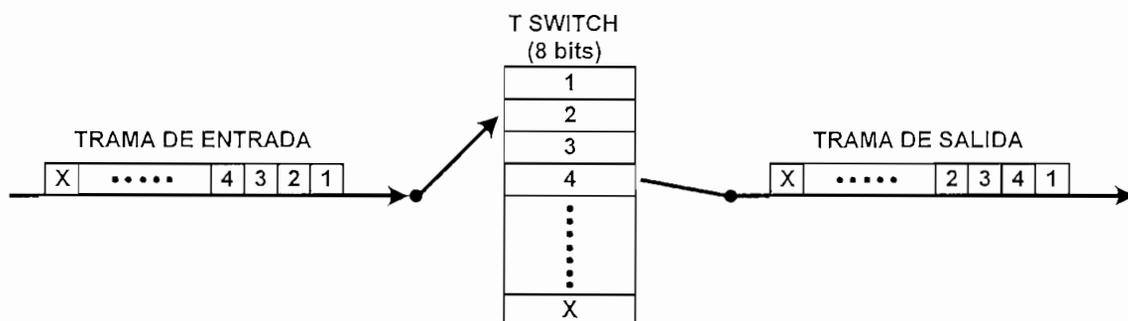


Fig. 1.11: Conmutación temporal (6)

El dato de entrada es reordenado (conmutado) de acuerdo con la instrucción de la memoria de control tal que cada *slot* de tiempo entrante es conectado al *slot* de tiempo saliente deseado. Por lo que para realizar esta operación se requieren de dos memorias en el conmutador: una memoria intermedia o de datos para almacenar la información entrante y una memoria de control encargada de direccionar la información hacia la salida.

La conmutación temporal se la puede realizar de dos maneras según la disposición de los tipos de memorias: conmutación temporal por control en la salida y conmutación temporal por control en la entrada.

- ***Conmutación temporal por control en la salida***

En este tipo de conmutación las muestras que llegan se almacenan ordenadamente en la memoria intermedia, y el camino que deben seguir es determinado por los datos que se encuentran en la memoria de control.

Las palabras en la memoria intermedia están relacionadas a los canales de los circuitos entrantes, ya que si los circuitos comprenden m canales con n bits por canal, la memoria intermedia comprende m palabras con n bits por palabra. Esto implica que la información contenida en los m canales de entrada se irán almacenando cíclicamente en la memoria intermedia según como vayan apareciendo en el circuito entrante, y se mantendrán invariables durante toda una trama. Se puede notar con esto que la lectura de la memoria intermedia es comandada por la memoria de control, y por ende la lectura de la memoria de control también es cíclica.

La memoria intermedia consta de dos circuitos de direccionamiento, tanto para la escritura como para la lectura. La figura 1.12 ilustra el proceso para establecer la conexión del canal k del circuito entrante al canal k' del circuito saliente, por lo que la información I del circuito entrante debe ser entregado en el tiempo correspondiente al canal k' del circuito saliente.

Para cada canal de información correspondiente a un determinado intervalo de tiempo se deberá considerar los tiempos de escritura y lectura de su información. Por ejemplo, en el tiempo de escritura del canal k , se escribe en la palabra k de la memoria intermedia la información contenida en este canal. En cambio, en el tiempo de lectura del canal k' , se lee la palabra k' de la memoria de control que contendrá la dirección de la palabra k de la memoria

intermedia (que habrá sido escrita previamente) transfiriendo su contenido al canal k' del circuito saliente.

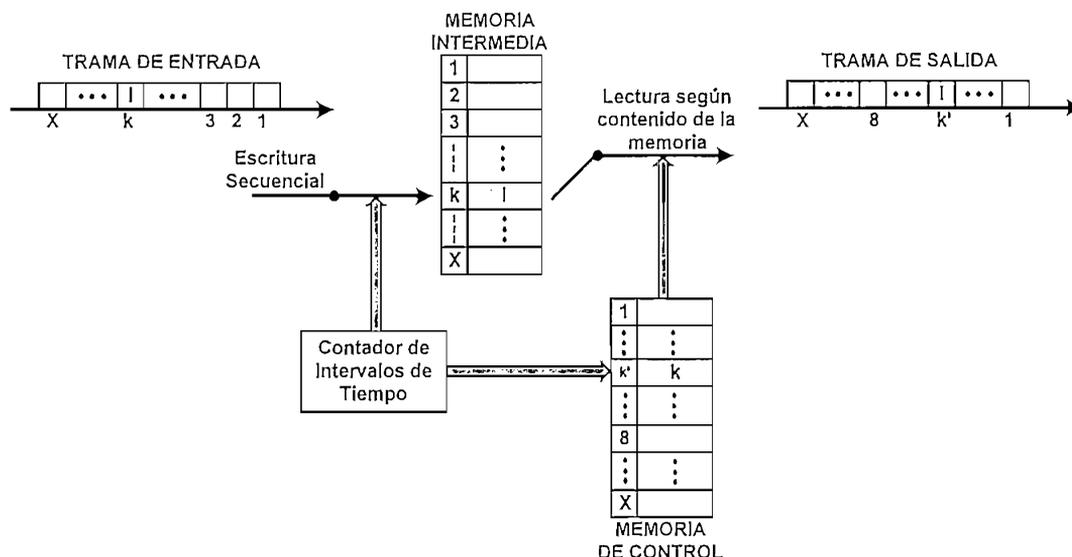


Fig. 1.12: Control en la salida (6)

- **Conmutación temporal por control en la entrada:**

Este tipo de conmutación es análogo al anterior, ya que en la conmutación temporal por control en la salida la escritura es cíclica y la lectura es controlada; y por control en la entrada la escritura es controlada y la lectura es cíclica.

Las muestras de los canales de una trama son almacenadas en la memoria intermedia según las comunicaciones a establecerse, es decir, de acuerdo a la dirección determinada por la memoria de control previamente programada por el procesador. La salida de la información se da por un proceso de lectura cíclica de la memoria intermedia.

En el proceso se describe la conexión del canal k de la trama entrante, al canal k' de la trama saliente, tal como se indica en la figura 1.13.

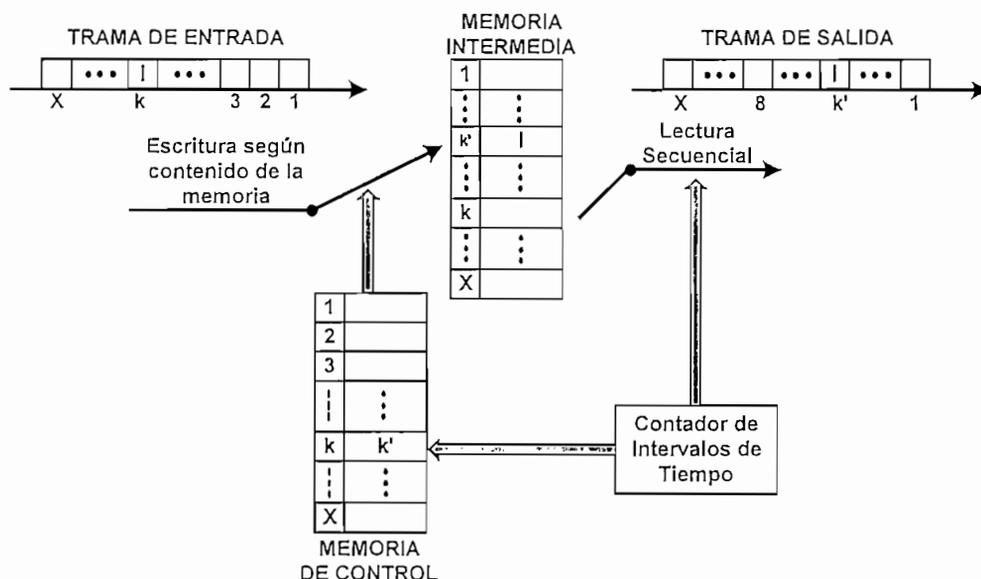


Fig. 1.13: Control en la entrada (6)

En el tiempo de escritura del canal k se lee la palabra k de la memoria de control, la cual va a contener la dirección de la palabra k' de la memoria intermedia. De esta manera se escribirá en la posición k' de la memoria intermedia la información del canal k de la trama entrante. En el tiempo de lectura del canal k' se leerá la información de forma cíclica de la memoria intermedia, de este modo se leerá la información de la palabra k' y se la transferirá al canal k' de la salida correspondiente.

En estos tipos de conmutación temporal, la memoria de control y la memoria intermedia son del mismo tipo, y son no bloqueables si la memoria intermedia puede soportar el número total de canales.

1.2.3.2. CONMUTACION ESPACIAL

Los conmutadores telefónicos originalmente fueron todos espaciales, esto es, el conmutador conectaba físicamente un circuito a otro con una conexión en espacio. Los *switches* espaciales fueron usados para conectar usuarios sólo por la duración de la llamada, tal que los enlaces pudieran ser usados por otros usuarios después de que la llamada ha sido completada. Ahora, aunque una

conexión física usualmente no ocurre (porque los *switches* son dispositivos de multiplexación de tiempo), dos teléfonos son conectados por una ruta dedicada por la duración de la llamada.

En un conmutador digital del tipo espacial por división de tiempo existe solamente cambio de soporte físico (PCM), por lo que no hay posibilidad de conmutar intervalos de tiempo. Los intervalos de tiempo de los canales conservan su posición en el tiempo y lo que hacen es cambiar de trama, por lo que la conexión se realiza entre canales de la misma posición o rango; por ejemplo, conecta todos los intervalos de tiempo de entrada k con todos los intervalos de salida k y la conexión a través del conmutador solamente se mantiene mientras dura el intervalo.

Uno de los problemas serios de los conmutadores espaciales es la sincronización, por lo que para mantenerla se requiere de un perfecto sincronismo de los circuitos entrantes a la matriz con el reloj del conmutador.

Este conmutador es implementado mediante un juego de compuertas que actúan a manera de una matriz de puntos de cruce. Cada punto debe estar cerrado sólo durante un intervalo de tiempo, en caso de un canal de un PCM $3.9 \mu\text{seg}$ y debe volver a cerrarse una vez dentro de cada trama (cada $125 \mu\text{seg}$), para así no perder información procedente de una entrada a una salida.

Para mantener un camino se requiere de una memoria de control de escritura y lectura que contenga la información de los puntos que se deben cerrar en un determinado intervalo de tiempo, estas memorias de control son de lectura cíclica, mientras que la escritura, que depende del tráfico, es llevada a cabo de manera aleatoria por el procesador.

Existen dos clases de conmutadores espaciales definidos por la memoria de control, dependiendo de la forma de determinar el punto de cruce de la entrada que se desea unir con la salida respectiva:

- **Control por la salida:** Existe una memoria de control por cada salida y en ella se consigna cual de las entradas se desea enrutar hacia dicha salida en un determinado intervalo de tiempo.
- **Control por la entrada:** Existe una memoria de control asociada a cada PCM de entrada y en ella se escribe a cual de las salidas se debe hacer la conmutación.

Representando de la manera más general el conmutador espacial, éste se compone de M entradas y N salidas, disponiéndose de $M \cdot N$ compuertas AND y N compuertas OR dispuestas de tal forma que cualquiera de las entradas puede ser encaminada a cualquiera de las salidas (ver figura 1.14). En un intervalo de tiempo dado se pueden establecer tantas conexiones simultáneas como salidas disponga el conmutador.

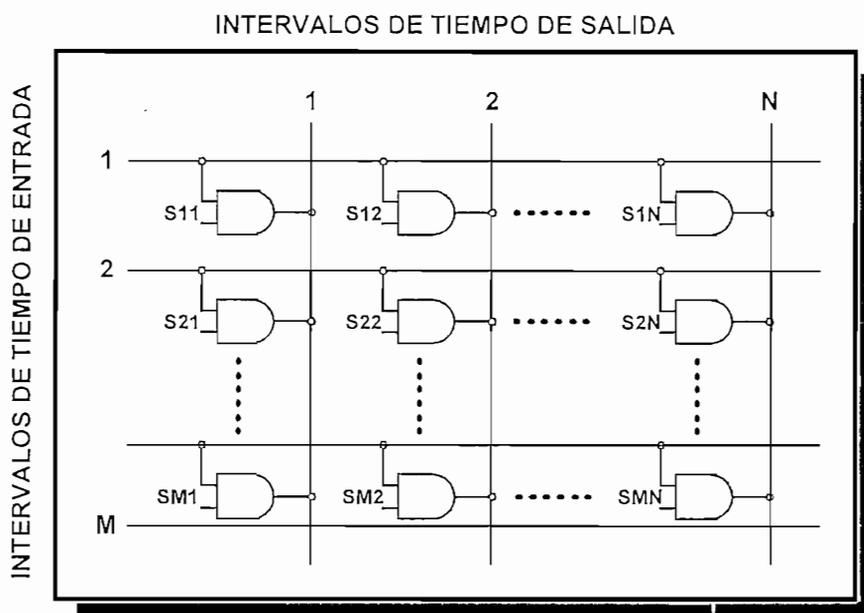


Fig. 1.14: Conmutador espacial $M \cdot N$ (3)

El conmutador espacial constituye, por sí mismo una red de conexión, pero su utilización aislada encuentra serios inconvenientes. Por una parte están los problemas de sincronismo y de cableado cuando se trata de realizar grandes

conmutadores, y por otra parte es preciso insistir en que no se puede establecer conexión entre canales de diferente rango en el tiempo, tarea que es realizada por el conmutador temporal.

1.2.3.3. CONMUTACION POR ETAPAS

Como se mencionó anteriormente, la función en general de una red de conexión en los sistemas de conmutación digitales es soportar, mediante una o más etapas de conmutación de canales en el espacio y en el tiempo, el establecimiento de comunicaciones digitales a través de la central.

Las redes de conmutación se componen de un conjunto de etapas de conmutación temporal T y etapas de conmutación espacial S interconectadas entre sí formando circuitos complejos cuya estructura y funcionamiento determinará las características de capacidad, retardo, accesibilidad y bloqueo de la red en su conjunto.

Existen diferentes combinaciones de conmutadores tipo T y conmutadores tipo S, que dan como resultado redes de conmutación con diferentes cualidades. Se puede tener redes de conmutación de una etapa o varias etapas, pero las redes de una sola etapa y de dos etapas presentan unas limitaciones muy estrechas en cuanto a bloqueo y a accesibilidad. Debido a esto en la práctica se emplean conmutadores de tres etapas al menos, donde las más comunes son:

- La estructura STS (espacio-tiempo-espacio).
- La estructura TST (tiempo-espacio-tiempo).

En los primeros momentos del desarrollo de la conmutación digital la red STS tuvo una gran aceptación. La red STS es un conmutador de tres etapas, cuyas etapas de entrada y salida son conmutadores espaciales con sus memorias de control, y en la etapa intermedia están los conmutadores temporales correspondientes al número de intervalos de tiempo de salida del conmutador de la etapa de entrada (igual al número de intervalos de tiempo de entrada del

conmutador de la etapa de salida) con sus memorias intermedias y sus memorias de control.

En la estructura STS para establecer una llamada mediante la conexión de un canal de un circuito entrante con un canal de un circuito saliente y viceversa, en primer lugar el control debe buscar una palabra de memoria intermedia libre para establecer los caminos de ida y vuelta de los canales involucrados. Por otro lado, el control escribirá la información en las palabras correspondientes de la memoria de control de las matrices espaciales.

Como se puede observar, el inconveniente en este arreglo es encontrar una palabra de memoria intermedia libre respecto a los canales a conmutar, por lo que la probabilidad de bloqueo será menor cuanto mayor sea el número de memorias intermedias y del número de puntos de conexión en los conmutadores espaciales. Además, los sistemas con estructuras STS necesitan dispositivos sincronizadores más complejos antes de entrar a la red de conexión para colocar en fase los circuitos entrantes y salientes.

El arreglo TST no fue muy utilizado al principio debido a que inicialmente las memorias eran muy costosas, aunque en la actualidad es el arreglo más utilizado. La red TST requiere de un mayor número de puntos de memoria por el hecho de tener dos etapas de conmutación temporal T.

En este tipo de arreglo, antes de acceder a la primera etapa T se lleva a cabo un multiplexaje previo y una conversión serie-paralelo, donde se considera que hacia o desde los conmutadores temporales entran o salen múltiplex de primer orden (32 intervalos de tiempo). En la práctica los intervalos de tiempo que ingresan son mucho más grandes, de 256 ó 512 intervalos después de la multiplexación y la conversión serie-paralelo en el terminal central; lo cual no influye en el principio de funcionamiento del conmutador. Esto va de acuerdo a la capacidad requerida y la optimización del costo del conmutador.

Se disponen de dos tipos de memorias: memorias intermedias que almacenan las informaciones entrantes y salientes, las memorias de control que gobiernan las memorias intermedias además de controlar la matriz de puntos de cruce. Las etapas conmutadoras de entrada y salida son controladas por la salida y la entrada respectivamente.

El factor más determinante de bloqueo en este tipo de arreglo de conmutación es encontrar dos intervalos de tiempo distintos internos libres para realizar las conexiones de ida y vuelta. Un intervalo de tiempo interno estará libre respecto a una conexión si las palabras de las memorias de control asociadas con las memorias intermedias requeridas no se encuentran ocupadas. A pesar de esto debe anotar que en la red TST es más sencillo la selección de un camino para la conversación ya que sólo necesita encontrar un intervalo de tiempo libre.

1.3. FUNDAMENTOS DEL SISTEMA CELULAR

1.3.1. SERVICIOS MOVILES TERRESTRES

Los primeros servicios de radio móvil terrestre no celulares han existido desde 1946 (9). La primera operación de este tipo se realizó en St. Louis, y permitió el desarrollo de las primeras regulaciones de la FCC (*Federal Communications Commission* de los EUA) unos pocos años después de iniciado este servicio. Estos sistemas pioneros fueron estructurados de manera similar a la transmisión por televisión, utilizaban un solo transmisor de gran potencia para cubrir un área de hasta alrededor de 50 Km. de diámetro, y para conectar las llamadas con la red telefónica terrestre se lo hacía de forma manual mediante una operadora.

Unas de las muchas razones para el desarrollo de los sistemas móviles telefónicos celulares y la expansión de los mismos en muchas ciudades fueron las limitaciones operacionales de los sistemas móviles telefónicos convencionales, ya que a medida que crecía la demanda por el servicio de teléfonos móviles, los proveedores de servicio descubrieron que las suposiciones básicas de ingeniería utilizadas en las redes terrestres no se aplicaban a los sistemas móviles. Mientras

las llamadas telefónicas terrestres promediaban por lo menos 10 minutos, las llamadas desde unidades móviles normalmente duraban 90 segundos; por lo que cuando se esperaba asignar cincuenta o más teléfonos a un canal, las probabilidades de que un usuario obtuviera tono de marcación, llegaba a niveles inaceptables. Como consecuencia de esto las limitaciones principales de los sistemas móviles convencionales se podrían resumir en las siguientes: limitada capacidad de servicio, pobre rendimiento del servicio e ineficiente utilización del espectro de frecuencia.

- ***Limitada capacidad de servicio***

Un sistema móvil telefónico convencional es usualmente diseñado para la selección de uno o más canales de una frecuencia específica repartidos para uso en zonas geográficas autónomas.

El área de cobertura para la comunicación dentro de cada zona es normalmente planificada para que sea lo más grande posible, lo cual significa que la potencia de transmisión deberá ser tan alta como lo permitan las especificaciones estandarizadas. Como se muestra en la figura 1.15, el inconveniente en esto se presentaba cuando un usuario que se encontraba hablando por un canal dentro de una zona determinada y llegaba al límite del área de cobertura atendida por la radio base a través de la cual se estaba comunicando, perdía la comunicación y debía reinicializarla una vez que llegaba nuevamente a una zona con buen nivel de señal, eventualmente a través de otra radio base y otro canal.

De esta forma se llega al punto crucial, del cual, como se verá más adelante, surge la diferencia básica entre los sistemas móviles convencionales y los celulares; se establecerá qué es lo que pasa con una comunicación en curso cuando se llega al límite del alcance de la estación radio base a través de la cual se ha establecido.

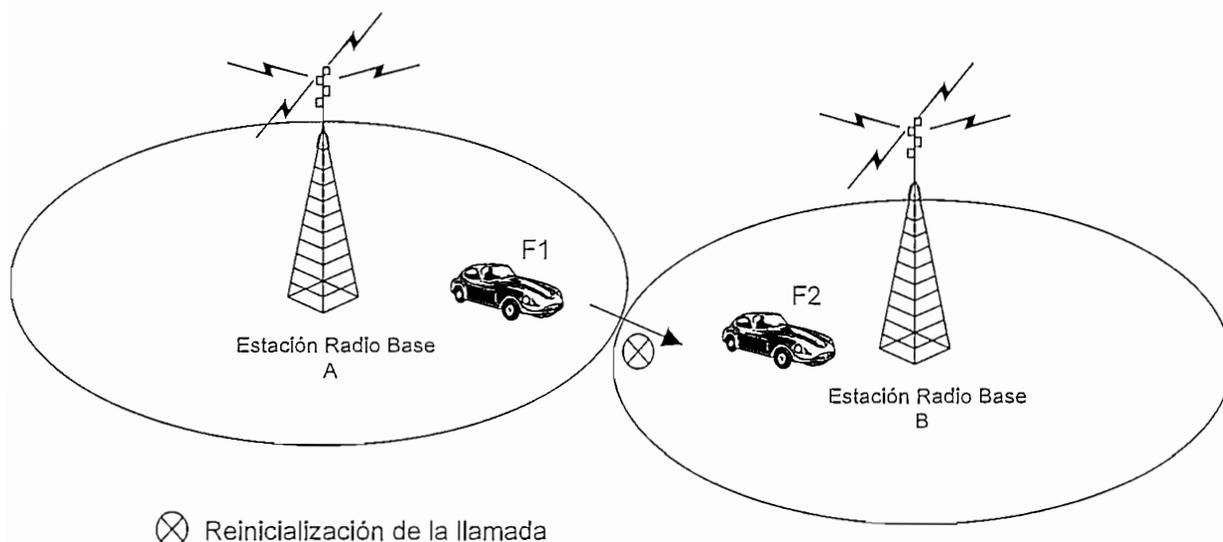


Fig. 1.15: Sistema Móvil Convencional (10)

- **Pobre rendimiento del sistema**

En el pasado, un total de 33 canales fueron asignados a tres sistemas telefónicos móviles:

- Servicio Telefónico Móvil (MTS - *Mobile Telephone Service*), al que se le incorporó un operador de telefonía móvil que se encargaba de la conmutación de llamadas entre el sistema público y el sistema móvil.
- Sistemas MJ y MK que son Servicios Telefónicos Móviles Mejorados (IMTS - *Improved Mobile Telephone Service*), que fueron el siguiente paso de la tecnología ya que incorporaron el sistema de conmutación automático que reemplazó al operador móvil.

MTS operaba alrededor de los 40 MHz y MJ operaba a 150 MHz; ambos provistos de 11 canales; IMTS MK operaba a 450 MHz y provisto de 12 canales. Estos 33 canales debían cubrir un área de 50 millas de diámetro. En 1976, la ciudad de Nueva York tenía 6 canales de MJ sirviendo a 320

usuarios, con otros 2400 usuarios esperando en la lista. La ciudad de Nueva York también tenía 6 canales de MK sirviendo a 225 usuarios, con otros 1300 usuarios esperando en la lista. El gran número de usuarios ocasionó que se produzca una alta probabilidad de bloqueo durante las horas de ocupación. Aunque el rendimiento del servicio fue indeseable, la demanda fue tremenda, siendo necesario la creación de un sistema de alta capacidad para teléfonos móviles. (10)

- **Ineficiente utilización del espectro de frecuencia**

En un sistema móvil telefónico convencional, la medida de la utilización de la frecuencia M_o es definida como el número máximo de usuarios que pueden ser servidos por un canal en hora pico. La ecuación 1.1 da una idea de cómo se encontraba el tráfico en aquella época. (10)

$$M_o = \frac{\text{No.usuarios}}{\text{canal}} \quad (\text{sistema convencional}) \quad (\text{Ec. 1.1})$$

⇒ se tenía lo siguiente:

$$M_o = \begin{cases} 53 \text{ usuarios/canal} & (\text{sistema MJ}) \\ 37 \text{ usuarios/canal} & (\text{sistema MK}) \end{cases}$$

Asumiendo un tiempo promedio de llamada de 90 segundos y aplicando el modelo Erlang B, se puede calcular la probabilidad de bloqueo como sigue: se usan 6 canales sirviendo a dos diferentes sistemas con diferente número de usuarios mostrados en la ecuación 1.1, entonces la carga ofrecida A es de:

$$A = \frac{\text{tiempo promedio de llamada (min)} \times \text{total de usuarios}}{60 \text{ min}} \quad (\text{erlangs}) \quad (\text{Ec. 1.2})$$

$$A_1 = \frac{1.30 \times 320}{60} = 6.93 \text{ erlangs} \quad (\text{sistema MJ})$$

$$A_2 = \frac{1.30 \times 225}{60} = 4.875 \text{ erlangs (sistema MK)}$$

En el cuadro 1.2 se presenta una muestra del modelo Erlang B:

A, erlangs													
B													
N	1.0 %	1.2%	1.5%	2%	3%	5%	7%	10%	15%	20%	30%	40%	50%
1	.0101	.0121	.0152	.0204	.0309	.0526	.0753	.111	.176	.250	.429	.667	1.00
2	.153	.168	.190	.223	.282	.381	.470	.595	.796	1.00	1.45	2.00	2.73
3	.455	.489	.535	.602	.715	.899	1.06	1.27	1.60	1.93	2.63	3.48	4.59
4	.869	.922	.992	1.09	1.26	1.52	1.75	2.05	2.50	2.95	3.39	5.02	6.50
5	1.36	1.43	1.52	1.66	1.88	2.22	2.50	2.88	3.45	4.01	5.19	6.60	8.44
6	1.91	2.00	2.11	2.28	2.54	2.96	3.30	3.76	4.44	5.11	6.51	8.19	10.4
7	2.50	2.60	2.74	2.94	3.25	3.74	4.14	4.67	5.46	6.23	7.86	9.80	12.4
8	3.13	3.25	3.40	3.63	3.99	4.54	5.00	5.60	6.50	7.37	9.21	11.4	14.3
9	3.78	3.92	4.09	4.34	4.75	5.37	5.88	6.55	7.55	8.52	10.6	13.0	16.3
10	4.46	4.61	4.81	5.08	5.53	6.22	6.78	7.51	8.62	9.68	12.0	14.7	18.3
11	5.16	5.32	5.54	5.84	6.33	7.08	7.69	8.49	9.69	10.9	13.3	16.3	20.3
12	5.88	6.05	6.29	6.61	7.14	7.95	8.61	9.47	10.8	12.0	14.7	18.0	22.2
13	6.61	6.80	7.05	7.40	7.97	8.83	9.54	10.5	11.9	13.2	16.1	19.6	24.2
14	7.35	7.56	7.82	8.20	8.80	9.73	10.5	11.5	13.0	14.4	17.5	21.2	26.2
15	8.11	8.33	8.61	9.01	9.65	10.6	11.4	12.5	14.1	15.6	18.9	22.9	28.8
16	8.88	9.11	9.41	9.83	10.5	11.5	12.4	13.5	15.2	16.8	20.3	24.5	30.2
17	9.65	9.89	10.2	10.7	11.4	12.5	13.4	14.5	16.3	18.0	21.7	26.2	32.2
18	10.4	10.7	11.0	11.5	12.2	13.4	14.3	15.5	17.4	19.2	23.1	27.8	34.2
19	11.2	11.5	11.8	12.3	13.1	14.3	15.3	16.6	18.5	20.4	24.5	29.5	36.2
20	12.0	12.3	12.7	13.2	14.0	15.2	16.3	17.6	19.6	21.6	25.9	31.2	38.2

Cuadro 1.2: Tabla de Erlang-B

Con los valores A_1 y A_2 , y observando el cuadro de Erlang B se tiene valores de probabilidad de bloqueo de: $B_1 = 40\%$ (sistema MJ) y $B_2 = 20\%$ (sistema MK), respectivamente. Como se puede ver casi la mitad de las llamadas en el sistema MJ serán bloqueadas, lo que indica la alta probabilidad de bloqueo.

Si se tienen valores superiores promedios a los 90 seg. por llamada, entonces la probabilidad de bloqueo puede ser aún más crítica. Para reducir este parámetro, se debería reducir el valor de la medida de utilización del espectro de frecuencia M_0 mostrado en la ecuación 1.1.

Como se puede concluir, el sistema convencional no utiliza eficientemente el espectro ya que cada canal puede solo servir a un usuario a la vez en el área entera. El sistema celular mide de manera diferente la utilización del espectro de frecuencia.

1.3.2. NACIMIENTO DEL CONCEPTO CELULAR

La creciente demanda y la deficiente calidad del servicio existente hicieron que los proveedores de servicio de telefonía móvil investigaran la manera de mejorar la calidad del servicio y que los sistemas soportaran más usuarios.

De estos estudios nació en la industria una idea innovadora llamada el **reuso de frecuencia** con el fin de poder realizar más de una conversación a la vez por canal; es decir, si se disponía de un pequeño número de canales de radio para los sistemas de telefonía móvil se tenía que encontrar la manera de reutilizarlos para dar una mejora al sistema. La idea del reuso de frecuencia trajo consigo la reestructuración del sistema de telefonía móvil con lo que nació el **concepto celular**.

Con el concepto celular se estructuró la red telefónica móvil de manera muy diferente, ya que en lugar de utilizar un transmisor de gran potencia, se instaló numerosos transmisores de menor potencia para cada una de las áreas en las que se divide una región de cobertura. Estas áreas se denominan células, las mismas que se representan con formas hexagonales, aunque en realidad tienden a tener formas muy irregulares.

Esto se ilustra en la figura 1.16, la cual muestra una región reservada para 14 celdas, divididas en dos grupos o **clusters** de N celdas cada uno (en este caso $N = 7$). Un conjunto separado de canales es asignado a cada celda, en un **cluster** de celdas. Pero este conjunto de canales se usa en el grupo 1 y es reasignado al grupo 2, dando como resultado un espectro compartido; por lo que se puede dar cuenta que ningún canal se vuelve a utilizar dentro de un **cluster**. Todos los terminales celulares pueden sintonizar algún canal asignado y el equipo especial

de radio, usado en la estación base celular, que mantiene las pistas de los móviles conforme se mueven, asignando una nueva frecuencia cuando alguna estación móvil se encuentra cruzando el límite de las celdas.

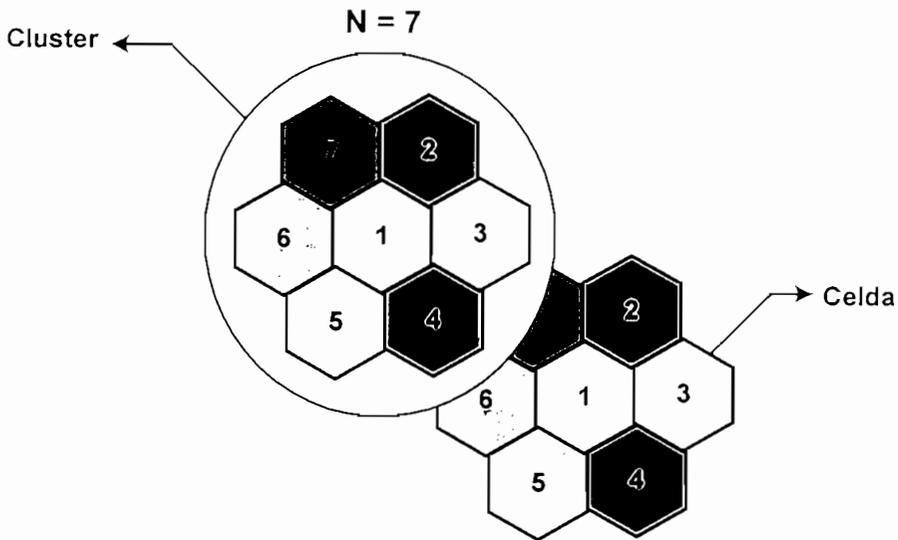


Fig. 1.16: Reuso de frecuencias

Los problemas de interferencia que se originaban en las unidades móviles que utilizaban el mismo canal en áreas adyacentes demostraron que no podían reutilizarse todos los canales en cada celda. Esto llevó consigo a la conclusión de que la interferencia no se debía a la distancia entre las áreas de cobertura, sino más bien a la distancia entre las áreas y el radio de las mismas, lo cual fue una premisa muy importante, ya que se observó que al reducir el radio de un área de cobertura (reducir la potencia del transmisor) la cantidad de clientes potenciales aumentaba de manera considerable. En otras palabras, al reducir el área de cobertura se tenían que aumentar más celdas para cubrir la misma zona geográfica, por lo que se tenía un mayor reuso de frecuencias lo que significaba un aumento de usuarios en la misma zona. Con esto se estimó de que al reducir el radio de las áreas a unos cuantos cientos de metros se podría dar servicio a millones de clientes.

La otra cara de la moneda era que al querer implementar esta idea las implicaciones de costos hacían que el concepto de crear sistemas completos con

numerosas áreas pequeñas fuera poco práctico, surgiendo entonces la necesidad de darle otro enfoque a este inconveniente y superar este problema. Esto hizo que los operadores desarrollaran la idea de la **distribución celular**, entendiéndose como una forma de mantener la demanda creciente en un área activa de servicio.

Cuando se satura un área se utiliza esta idea para reutilizar las frecuencias distribuyendo un área en otras más pequeñas, tal como se muestra en la figura 1.17.

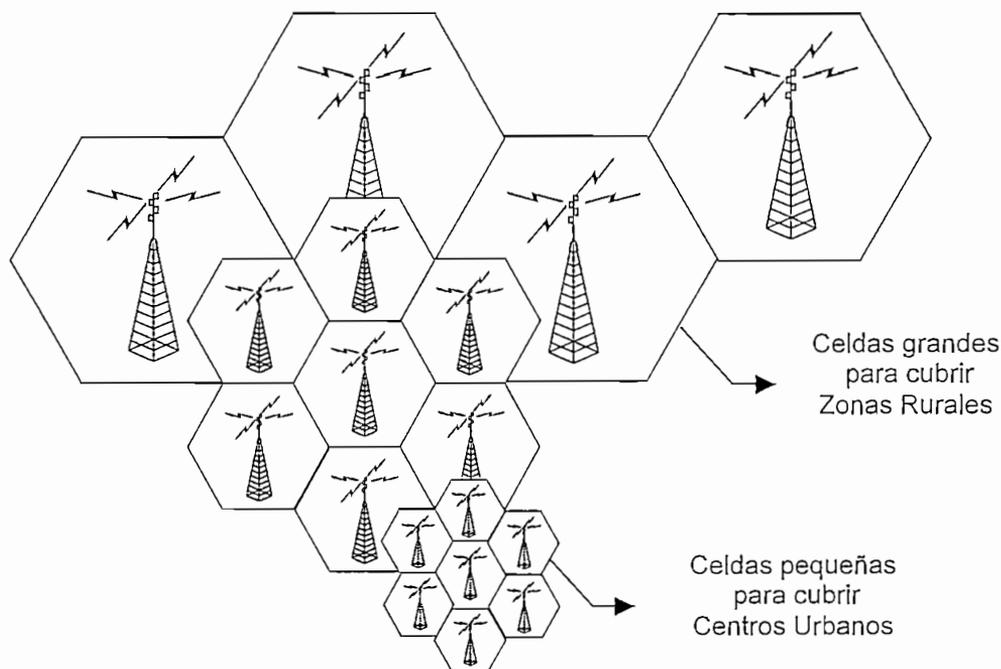


Fig. 1.17: Distribución Celular (11)

De esta manera los centros urbanos pudieron distribuirse en tantas áreas como fuera necesario para prestar niveles aceptables de servicio en las regiones de tráfico pesado, al tiempo que pudieron utilizarse celdas menos costosas y más grandes para cubrir regiones rurales remotas.

Hasta aquí se ha considerado solamente la existencia de celdas omnidireccionales, con una forma que teóricamente se ha dibujado como hexagonal; otra posibilidad que permite un mayor reuso de las frecuencias, aumentando la densidad de celdas sin modificar la cantidad de torres de las estaciones base, es el uso de antenas direccionales para la implementación de celdas sectorizadas⁴. Con lo cual, cada sector actúa como una celda diferente sin que se incrementen los costos de infraestructura, evitando la necesidad de tener que recurrir a multiplicar el número de sitios de las estaciones base y de reducir las potencias para disminuir los alcances de interferencia.

A pesar de todos estos avances aún se tenía otro problema, y era aquel que se presentaba cuando un teléfono móvil se trasladaba de un área a otra durante una llamada. Como se recordará en los sistemas móviles convencionales la llamada se interrumpía al pasar por áreas adyacentes, por lo que esto no era una opción aceptable. Entonces, para terminar de dar forma al concepto celular se creó en la red celular el proceso del *handoff* (conmutación automática de celdas) y reposición de llamadas.

El proceso de *handoff* o conmutación automática de celdas significa que la llamada es transferida automáticamente de un canal a otro a medida que el teléfono móvil cruza las celdas adyacentes. El *handoff* es totalmente transparente al usuario.

1.3.3. HISTORIA DE LA ASIGNACION DEL ESPECTRO A 800 MHz

La decisión de la FCC para elegir los 800 MHz fue debido a las severas limitaciones del espectro de las bandas a baja frecuencia. Los servicios de emisoras FM operan en la vecindad de los 100 MHz, los servicios de televisión inician su operación a 41 MHz y se extienden a los 960 MHz.

⁴ En el Ecuador actualmente se utilizan celdas omnidireccionales y de 3 sectores para las diferentes áreas de cobertura.

Los sistemas aire a tierra usan frecuencias desde los 118 MHz hasta 136 MHz, la aviación militar usa desde los 225 MHz a los 400 MHz. Los servicios móviles marítimos están localizados en la vecindad de los 160 MHz. También los servicios de estación fijas están asignados en porciones de la banda de los 30 MHz a 100 MHz. Por lo tanto, fue difícil para la FCC asignar un espectro en las porciones bajas de los 30 MHz a 400 MHz ya que los servicios para esta banda llegó a ser tan “saturada”. En otra banda, la transmisión de radio móvil no puede ser aplicada a 10 GHz o encima porque se tienen pérdidas severas en el camino (*path*) de propagación, desvanecimiento *multipath*, y efectos como la actividad lluviosa hacen que éste sea un medio impropio para las comunicaciones móviles.

Afortunadamente, los 800 MHz fue originalmente asignada a los canales de la televisión educacional, y a mediados de los 70's (10) se dividió la carga entre los mismos. Esta situación abrió arriba de la banda de los 800 MHz hasta cierto punto, y la FCC asignó un sistema de 40 MHz en los 800 MHz a los sistemas móviles radio celulares.

1.3.4. ESTRUCTURA DEL SISTEMA CELULAR

Una vez vistos los conceptos que dieron origen al sistema celular, se puede decir que los sistemas celulares fueron diseñados para conectar a los usuarios de radio o teléfonos móviles unos con otros y con la red telefónica pública conmutada (PSTN – *Public Switched Telephone Network*).

El sistema celular ofrece a las estaciones telefónicas móviles o portátiles el mismo servicio que se presta a las estaciones fijas a través de líneas convencionales; en forma muy general, se puede decir que un sistema celular de comunicaciones está compuesto por los siguientes elementos (ver figura 1.18)

- La red telefónica pública conmutada
- La central celular
- Las celdas de cobertura
- Los aparatos celulares de los clientes.



Fig. 1.18: Sistema Celular

Una vez que el cliente esté suscrito a la compañía que administra el servicio celular y el aparato está programado con los parámetros técnicos adecuados, entonces el teléfono celular es capaz de emitir una señal hacia la central celular, la cual lo identifica como cliente y le autoriza ejecutar la comunicación.

Inmediatamente, según los datos recopilados, la central identifica si se trata de una llamada hacia un celular, hacia un teléfono fijo o si es internacional. Lo anterior permite que la señal se canalice a la central telefónica correspondiente y se haga efectiva la comunicación.

- ***Red telefónica pública conmutada***

La Red Telefónica Pública Conmutada está compuesta por redes locales, redes del área de la central y red de largo alcance que interconecta los teléfonos; es decir, por las redes primaria, secundaria y de abonado que van desde la central de conmutación fija hasta el teléfono; y otros dispositivos de comunicaciones en todo el mundo. Las redes celulares se conectan a la

PSTN para enrutar las llamadas móviles a teléfonos de línea terrestre para crear una red eficiente y de fácil expansión.

- ***Central de conmutación celular***

La Central de Conmutación Celular o Centro de Conmutación Móvil (MSC – *Mobile Switching Center*) es el cerebro de todo el sistema celular, controla el enrutamiento de las llamadas entre abonados celulares o entre éstos y los abonados fijos; determina la célula que provee un mejor servicio para un abonado determinado, identifica la ubicación de cada abonado dentro del sistema, detecta y registra los abonados visitantes (pertenecientes a otra red) y tarifa las llamadas realizadas, entre muchas otras funciones.

A la Central Celular se la puede ver como una computadora modular que utiliza paquetes de software diseñados para aplicaciones específicas de telecomunicaciones, la cual se compone de numerosas tarjetas y módulos periféricos que se alojan en bastidores similares a un gabinete.

- ***Celdas de cobertura***

Las estaciones bases celulares (BSC - *Base Station Controller*) o celdas proveen la interfaz entre la central celular y las unidades móviles. Las celdas efectivamente son concentradoras de radios que proveen operaciones analógicas y digitales que sirven a un gran número de usuarios usando pocos canales.

La estación base es siempre modular en su construcción. La figura 1.19 muestra los componentes básicos de una estación base.

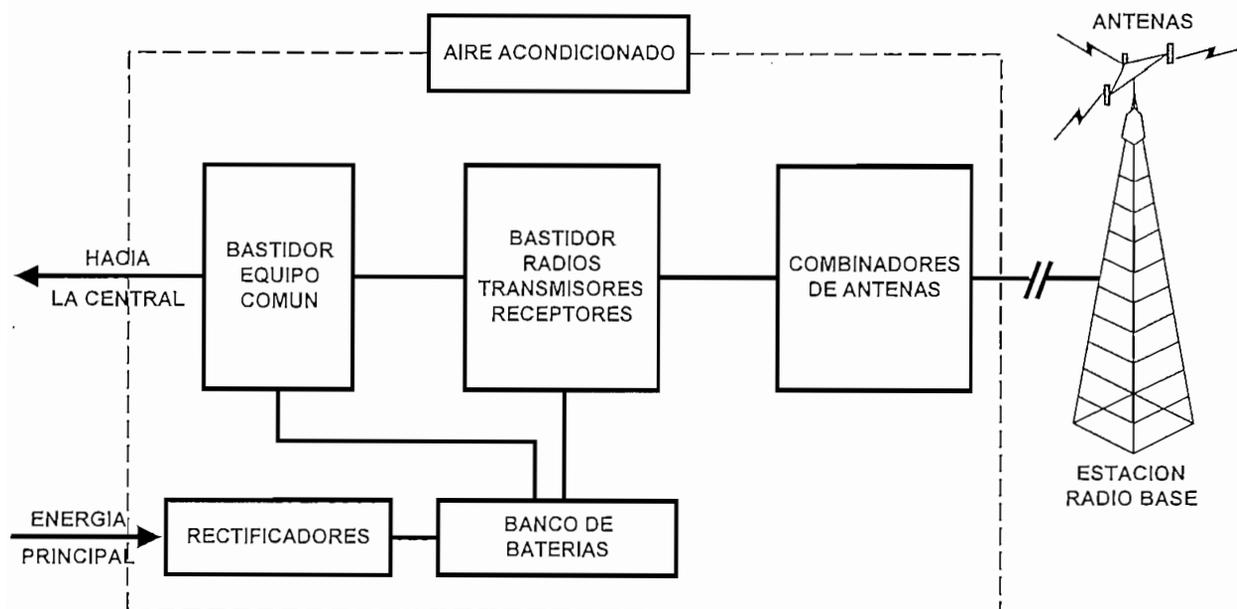


Fig. 1.19: Estación Base Celular

Como se podrá observar en el gráfico, el hardware ubicado en las celdas incluye: las fuentes de alimentación, el bastidor de equipo común, el bastidor de radios y las antenas.

- **Fuentes de alimentación:** Suministran la energía necesaria para el funcionamiento de los equipos. Por ejemplo, en las celdas urbanas se tienen, además de la energía eléctrica, un banco de baterías de respaldo, en las celdas rurales en vez del banco de baterías se utilizan generadores; aunque se pueden utilizar tanto baterías como generadores en todas las celdas para una mayor protección.
- **Bastidor de equipo común:** Es la interfaz entre la central de conmutación y la estación base, provee una mensajería confiable, además también supervisa varios parámetros del sistema ya que contiene equipo para monitoreo de la celda.
- **Bastidor de radios:** Los equipos de radio o transceptores son responsables de preparar la información de la señal en un formato adecuado para la transmisión de la misma, y al recibir la señal desde las

antenas por el receptor, decodificarla a un formato más comprensible a partir del cual la información pueda extraerse fácilmente.

- **Antena:** Son las responsables de transmitir y recibir las ondas de radio. El tipo de antenas es determinante para determinar el tamaño y el área de cobertura de la estación base celular.

- **Aparatos celulares**

Se componen de una unidad de control y un transceptor para transmitir y recibir las ondas de radio hacia y desde la celda. Se tienen los siguientes tipos de unidades móviles:

- **Portátiles:** Se los conoce como teléfonos celulares. Son terminales de menor tamaño (0.6 Vatios), que permiten que el usuario lo lleve consigo permanentemente. Equipo ideal para las ciudades.
- **Móviles:** Son equipos con mayor potencia (3.0 Vatios) que los portátiles, y comúnmente se instalan en los automóviles. Aunque no pueden ser removidos de su lugar, estos equipos son capaces de captar una señal más débil, y por consiguiente operar con cobertura más amplia. Son ideales para viajes por carretera.
- **Fijos:** Son equipos con mayor potencia (3.0 Vatios) que los portátiles, y comúnmente se instalan en los edificios, oficinas o apartamentos. Son ideales como línea telefónica inmediata, con posibilidad de extensiones.
- **Transportables:** son de mayor tamaño y peso que un modelo portátil, pero con la potencia de un modelo móvil. Ideales para personas que necesiten potencia de señal en zonas rurales.

Los teléfonos deben funcionar según el estándar que manejan las operadoras en cada país, dicha recomendación permitirá al cliente que su servicio

evolucione de acuerdo a las necesidades personales y a las demandas del sistema por contar con mejores características, como son las de añadir otros servicios especiales o adicionales a los que ya se brindan, convirtiendo el servicio celular básico en una herramienta de mayor valor y utilidad para el usuario, por lo que a continuación se va a describir los estándares celulares.

1.3.5. ESTANDARES PARA SISTEMAS CELULARES

A finales de la década de los 70's, la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) solicitó que se desarrollara un estándar nacional antes de otorgar licencias para sistemas celulares. En 1981 la FCC liberó la banda de 800 a 900 MHz para el servicio de telefonía celular, usando el AMPS (*Advanced Mobile Phone Service* – Servicio Telefónico Móvil Avanzado) como estándar para éste tipo de servicio de comunicación inalámbrica; autorizando solamente 40 MHz del espectro. Las frecuencias asignadas se las dividió en dos grupos de 20 MHz con canales celulares de 30 KHz de ancho de banda que tienen un espaciamiento dúplex de 45 MHz. Estos grupos de frecuencias fueron identificados como bloque A y bloque B, conocidos también como banda A y banda B. (12)

A partir de esto a los Estados Unidos se lo dividió en territorios con permiso de operación celular repartidos en 333 MSA (Áreas de servicio metropolitano) y más de 300 RSA (Áreas de servicio rural), y en cada una de estas áreas operaban las dos compañías celulares aprobadas.

Después de la rápida aceptación del público de los sistemas celulares al final de los 80's, se hizo obvio que se requería capacidad adicional en la mayoría de los mercados, siendo los mercados con mayores problemas Los Angeles, Chicago y New York. El 24 de julio de 1986 la FCC asignó 10 MHz adicionales, lo que se conoció como espectro expandido para uso celular, y es representado con las letras A', A'' y B'. (12)

El espectro total asignado para celulares se fijó en 50 MHz, asignando 25 MHz al operador A y 25 MHz al operador B, con 12.5 MHz usados para el enlace hacia

delante y 12.5 MHz para el enlace hacia atrás; separados 45MHz para un canal de radio frecuencia (ver figura 1.20).

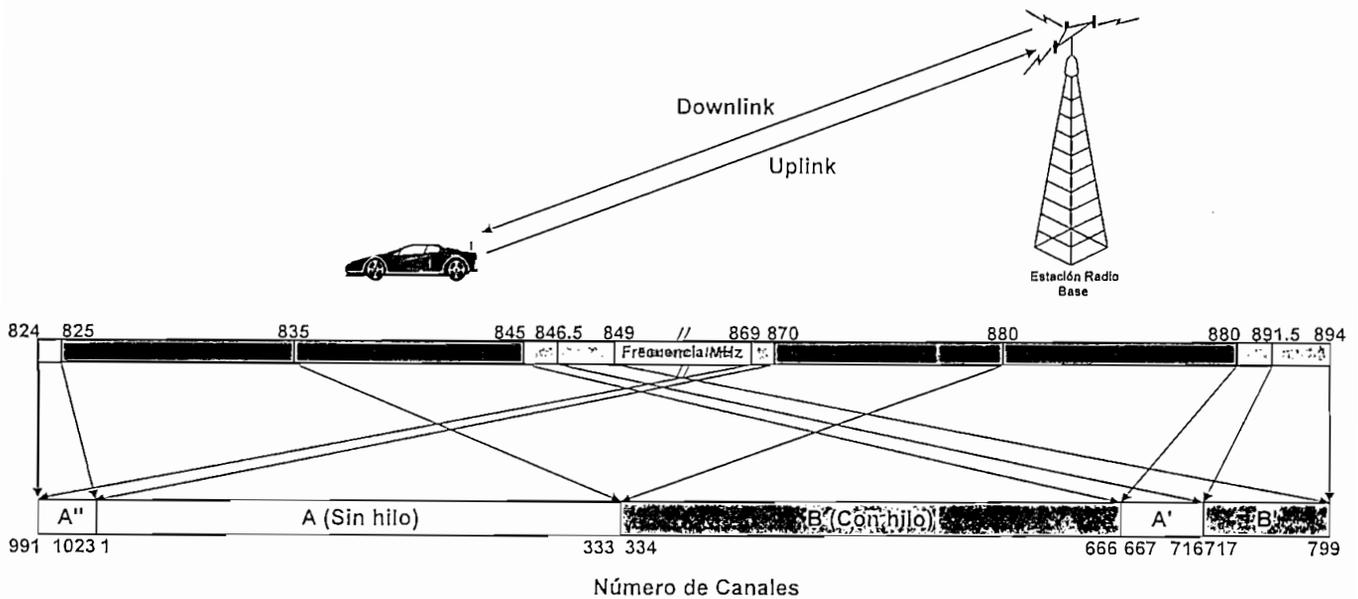


Fig. 1.20: Espectro del APMS (13)

- Un bloque de frecuencia autorizado por un operador contiene 416 canales.
- Un canal incluye una frecuencia de transmisión inversa (*Uplink*) y una frecuencia de transmisión directa (*Downlink*).

En el cuadro 1.3 se presenta de manera resumida las frecuencias de transmisión para el móvil y la base:

BANDA	MOVIL	BASE	SISTEMA
A	824 – 835, 845 – 846.5	869 – 880, 890 – 891.5	Sin hilo
B	835 – 845, 846.5 - 849	880 – 890, 891.5 - 894	Con hilo

Cuadro 1.3: Frecuencias para el AMPS/TDMA

El operador B o *wireline* (con hilo) al principio debía ser una compañía telefónica “con hilo” que ya estuviera dando servicio en el mercado. El operador A o *non-wireline* (sin hilo) podía ser cualquier otra entidad comercial. Hoy en día estas restricciones ya no se aplican y cualquier operador puede comprar u operar un sistema A o B.

La familia de estándares AMPS estaba concebida para ser solo otro estándar de radio - telefonía. El espectro se fijó de 825 a 890 MHz, el concepto de celular permitió asignaciones fijas de tamaños de células que podían tener un mínimo de una milla de diámetro. No obstante, esta reducción de tamaño requiere de *handoffs* más rápidos, además de que las estaciones bases deben ser capaces de manejar registros y solicitudes de acceso de las unidades móviles; en zonas urbanas grandes este problema generó cuellos de botella en la capacidad.

Las limitaciones de la primera generación de sistemas celulares provocaron modificaciones en los estándares como fueron un aumento en la capacidad y una reducción del costo. En los Estados Unidos, en donde ya existía un estándar único, las necesidades para transmisión avanzada como el requerimiento de más canales, acceder a un código de conversación eficiente y corrección de errores, fueron los motivos que impulsaron la siguiente generación de acceso celular inalámbrico.

AMPS es un estándar de facto en algunos países de América Latina, es muy común en la cuenca del Pacífico y también se encuentra en África y en la antigua Unión Soviética; es decir, AMPS se encuentra en todos los continentes excepto Europa y la Antártica, lo que significa que más de la mitad de los teléfonos celulares en el mundo operan de acuerdo a estos estándares, los cuales, desde 1988, han sido mantenidos y desarrollados por el comité TR-45 de la TIA (*Telecommunications Industry Association* / Asociación de Industrias de Telecomunicaciones). La TIA es un grupo que desarrolla estándares para la industria para una amplia variedad de productos de telecomunicaciones acreditado por la ANSI (*American National Standards Institute* / Instituto Americano de Estándares Nacionales).

Desde sus humildes comienzos, AMPS ha crecido para acomodarse a la tecnología celular digital, a la operación analógica de banda angosta (NAMPS) y modificaciones residenciales. Más recientemente, los sistemas de comunicación personal (PCS) en las bandas de 1800-2200 MHz han sido agregados a los estándares para CDMA y TDMA⁵, claro que estas adiciones han sido realizadas manteniendo una compatibilidad con el modo de operación en AMPS. (14)

Algunos de los más importantes estándares analógicos y digitales son:

- ***IS-3 Celular Analógico***

Es el estándar celular analógico original AMPS, que después sería reemplazado por el estándar ANSI EIA/TIA-553 y el estándar IS-91 de la TIA.

- ***EIA/TIA-553 Celular Analógico***

Es la versión ANSI del estándar celular analógico. Generalmente corresponde a un paso antes del IS-91, y no tiene soporte para NAMPS.

- ***IS-54 TDMA Celular Digital***

Estándar semidigital de segunda generación que se aplica en un sistema celular con canales de voz digitales y que envía tres conversaciones en un canal, utilizando la tecnología TDMA. Los planes futuros son tener 6 conversaciones en un canal celular, doblando así la capacidad.

- ***IS-88 Celular Analógico de Banda Angosta***

El NAMPS es la segunda generación de los sistemas celulares analógicos, y fue diseñado para resolver el problema de la baja capacidad de llamadas del AMPS. Fue estandarizado inicialmente por la TIA en el estándar IS-88, y

⁵ CDMA / TDMA: Acceso Múltiple por División de Código / Acceso Múltiple por División de Tiempo.

ahora incorporado en el IS-91. Es un sistema desarrollado y soportado por Motorola en adelanto al TDMA, propuesta como una solución provisional pre-digital que tuvo una aceptación limitada en la industria. El NAMPS envía tres conversaciones en un canal celular utilizando multiplexación de división de frecuencia, utiliza un canal de señalización digital especial subaudible para medir y controlar la calidad, compensando el ancho de banda estrecho y baja proporción de C/I inherente a los canales de voz de 10 KHz ⁶.

- ***IS-91 Celular Analógico y PCS***

Es la versión de la TIA del estándar de celular analógico, incorporando la funcionalidad del IS-88, del IS-94 y también operación en la banda PCS.

El IS-91A especifica la operación del NAMPS y, además, ciertas mejoras al AMPS que pueden instrumentarse, independientemente de si se desea operar el NAMPS. Estas mejoras incluyen envío de mensajes cortos, transportación de ID, indicación de espera de correo de voz, soporte de autenticación.

No todas las funciones del IS-91A están instrumentadas en todos los teléfonos, y no todos los fabricantes de infraestructura celular dan soporte a IS-91A. Sin embargo, la mayoría de los sistemas que utilizan las funciones del IS-91A no implementan el NAMPS.

- ***IS-94 Celular dentro de edificaciones***

Un estándar para operación dentro de edificaciones de sistemas analógicos celulares usando potencias extremadamente bajas, Ahora incorporado en el estándar IS-91.

⁶ C/I: *Carrier-to-Interference Ratio*. Relación normalmente expresada en dB, de una señal en particular comparada con otra señal interferente sobre la misma frecuencia.

- ***IS-95 CDMA Celular Digital***

Un sistema celular digital que envía entre 10 y 20 conversaciones por un canal digital combinando canales celulares de 30 KHz en un simple canal de 1.25 MHz y utilizando multiplexación por división de código para combinar y recuperar las conversaciones individuales.

- ***IS-136 TDMA Celular Digital con Canal de Control Digital***

Es la siguiente generación del estándar IS-54, que además del canal de control analógico incluye un control de canal mas avanzado, conocido como el canal de control digital.

Antes de continuar es importante recalcar que los estándares de la industria, los estándares provisionales (IS - *Interim Standard*) y los estándares finales (designados por la EIA), son publicados por la misma EIA.

Adicionalmente, dentro de los sistemas analógicos se tiene el Sistema de Comunicación Total de Acceso (TACS - iniciado en 1985), que es la versión del AMPS en el Reino Unido que ha sido diseñado para operar en una banda de 900 MHz sobre frecuencias europeas. Suministrado por Motorola, Ericsson y Nokia, el TACS se distribuye en Europa, Africa, Medio Oriente y Asia. Las diferencias principales que tiene con el AMPS son los 25 KHz y una señalización de 8 Kbps, a diferencia de los 30 KHz del AMPS.

Por 1986 se inició la versión sueca del AMPS, conocido como Sistema Nórdico de Telefonía Móvil (NMT) que opera en frecuencias europeas a 450 MHz y 900 MHz e inicialmente fue implementado por Ericsson y Nokia en Escandinavia. Existen diversas características del sistema NMT que difieren del AMPS, una es la presencia de una señal de supervisión de voz fuera de banda procesada a través de la unidad móvil, en la que se realizan las mediciones de señal a ruido en la estación base con el fin de determinar si hay necesidad de hacer *handoff*. El NMT utiliza un sistema de seguridad de identidad del abonado como medida contra

fraudes, que funciona de manera similar a la autenticación del IS-136. La separación de los canales es de 25 KHz y la señalización es de 1.2 Kbps.

Otra versión del AMPS es el JTACS, que es la versión japonesa del estándar TACS del Reino Unido. Los canales de voz tienen un ancho de 25 KHz y operan con una desviación de 9.5 KHz y señalización de 8 Kbps. La versión de banda angosta del estándar analógico TACS es el NTACS, el cual fue impulsado por Motorola. El NTACS funciona con una desviación de 5 KHz y una separación entre canales de 12.5 KHz.

El Sistema Celular Digital japonés (JDC) mejora la capacidad del JTACS permitiendo tres conversaciones en un canal de 25 KHz. El JDC es conocido como Sistema Celular Digital del Pacífico (PDC), y usa los conceptos de radio del digital AMPS (D-AMPS) mientras que su arquitectura de red es similar al Sistema Global para Comunicaciones Móviles (GSM) de Europa.

Continuando con la evolución de los estándares, se desarrollaron los estándares de segunda y tercera generación. Entre los de segunda generación se tienen los siguientes: IS-41, IS-54 (TDMA), GSM y IS-91; y entre los de tercera generación se tienen: IS-136A y IS-95A (800 MHz)/J-STD-008 (1900 MHz)⁷.

Las operaciones entre sistemas fueron implementadas en el estándar IS-41, que fue desarrollada por el comité TR-45.2 de la TIA. Una versión preliminar del IS-41 fue publicada en 1988 con las subsecuentes revisiones. El IS-41B fue publicado en 1991 y se lo estudió ampliamente. El IS-41C fue publicado en 1997 para sistemas celulares digitales y soporta *handoff* entre sistemas, autenticación, conexión de red y cierto tipo de transporte de funciones.

Hay dos tipos de comunicaciones incluidas en el IS-41, y son:

⁷ ANSI J-STD-008; Estándar común de la EIA/TIA y el ANSI para servicios PCS CDMA, que da los requerimientos de compatibilidad entre estación personal y estación base que extiende las características del IS-95/IS-95A para abarcarlas en la banda PCS de 1.8 a 2.1 GHz.

- Comunicación entre proveedores de servicios celulares adyacentes.
- Comunicación entre localidades separadas geográficamente.

Los estándares de segunda generación introducen tecnología digital, y el primer método de acceso celular digital fue el TDMA. La primera implementación de celular D-AMPS utilizaba TDMA, cuyo estándar es el IS-54 de la TIA, que de hecho fue sólo un estándar semidigital, ya que el sistema aún debía utilizar el canal de control analógico de la EIA/TIA 553 para procesamiento de llamadas. Los canales de voz digitales del TDMA se introdujeron junto con el soporte total de canales de FM AMPS, así, el IS-54 agregó capacidad al canal de voz pero no para el canal de control, ni intenta introducir funciones nuevas importantes que requerirían un mejor mensaje de canal de control. Eso se dejó para la tercera revisión del IS-54, el IS-54C, que se denomina IS-136. El IS-136 es la siguiente generación la cual utiliza también TDMA en el canal de control.

TDMA, como se define en el IS-54 y el IS-136, triplica la capacidad de las frecuencias celulares, dividiendo un canal celular de 30 KHz en 6 *slots* de tiempo, los cuales soportan 3 usuarios en alternación estricta. Sistemas futuros posiblemente utilicen codificadores de voz de velocidad media, lo cual permitirá 6 usuarios en un canal de 30 KHz. El IS-54 y su versión posterior IS-136, utiliza la misma banda de frecuencia y asignaciones de canal individual de AMPS.

La necesidad de manejar un estándar común para la comunicación móvil de los distintos sistemas analógicos europeos e interactuar con la red de servicios integrados (ISDN), llevó a la ETSI-GSM⁸ recomendar el estudio del GSM desde junio de 1982. En 1991, el nombre original de Grupo Especial Móvil fue adaptado a Sistema Global para Comunicaciones Móviles, y no fue hasta julio de 1992 cuando los primeros teléfonos celulares GSM estuvieron disponibles y las primeras redes entraron comercialmente en funcionamiento (10).

⁸ ETSI: Instituto de Estándares de Telecomunicaciones de Europa. El ETSI es la contraparte europea del ANSI, y ayuda a la integración de las telecomunicaciones en Europa.
GSM: Grupo Especial Móvil. Es el estándar de aplicación europea del TDMA, actualmente conocido como Sistema Global para Comunicaciones Móviles.

Al sistema GSM originalmente se le asignó el rango de frecuencias de 890 a 960 MHz (al igual que los primeros sistemas analógicos TACS y NMT-900), divididas en dos bandas de 25 MHz separadas 45 MHz, lo cual también es el ancho de banda entre las frecuencias de transmisión y de recepción:

- 890 a 915 MHz: el móvil transmite, la estación base recibe.
- 935 a 960 MHz: la estación base transmite, el móvil recibe.

El número total de canales analógicos es de 124, y cada canal es de 200 KHz; en cambio, la capacidad digital para cada canal de 200 KHz es de 8 usuarios TDMA. GSM también opera en la banda de 1.8 GHz de la Red de Comunicación Personal (PCN) creada por el Departamento Británico de Comercio e Industria (BDTI), después de una solicitud del Reino Unido en 1990 de implementar el servicio PCN utilizando los estándares GSM modificados para funcionar en la banda de 1.7 a 2.3 GHz. Como resultado de esto actualmente se define al sistema GSM a 1.8 GHz como Sistema Celular Digital a 1800 MHz (DSC-1800):

- 1710 a 1785 MHz: el móvil transmite, la estación base recibe.
- 1805 a 1880 MHz: la estación base transmite, el móvil recibe.

La seguridad en GSM gira alrededor de la tarjeta de abonado SIM CARD (Tarjeta del módulo de identidad del usuario), que consiste en una tarjeta con un número personal de identificación o PIN. La tarjeta, contiene entre otros parámetros, la identidad internacional móvil del usuario (IMSI - *International Mobile Subscriber Identity*), así como la clave individual de autenticación del usuario y el algoritmo de autenticación. La red denegará el acceso al usuario si ha incumplido los términos del contrato o su tarjeta ha sido reportada como robada.

Cuando se intenta acceder al sistema, la estación móvil se identifica en la red, recibe un número aleatorio, que junto con la clave individual, se usan para calcular la respuesta, invocando el algoritmo de autenticación. El resultado se envía a la red y se compara con la versión local computarizada para autorizar el acceso, la red envía un número clave al móvil (que se usa como clave de cifrado

por el emisor y transmisor) que la almacena y la envía en el primer mensaje a la red. El móvil usa la clave de cifrado usando el algoritmo confidencial almacenado en la tarjeta del usuario SIM, además del número aleatorio y la clave individual. La clave de cifrado se computa en la red y así no se envía ninguna información confidencial desprotegida vía radio; por lo que una vez que se ha recibido la confirmación, y la red y la estación móvil conocen la clave de cifrado, la red usa un modo de cifrado y se codifican/decodifican todos los mensajes.

Continuando con la descripción de los diferentes estándares y sistemas para telefonía celular, dentro de los sistemas de tercera generación también se tiene a los sistemas digitales CDMA o Acceso Múltiple por División de Código, la cual es una técnica avanzada de transmisión digital sobre ondas de radio. El CDMA utiliza códigos matemáticos en vez de frecuencias o ranuras de tiempo para transmitir conversaciones inalámbricas, ofreciendo mayores beneficios a los usuarios, incluyendo (15):

- Calidad de voz semejante a la comunicación con hilo tradicional.
- Un amplio rango de servicios de datos incluyendo la transmisión de voz y datos simultáneamente.
- Eliminación virtual de caída y bloqueo de llamadas.
- Por estudios realizados, el período de vida de la batería es de cinco horas funcionando y de más de dos días de inactividad.
- Los teléfonos CDMA tienen circuitería de procesamiento de señales que compiten con el número de transistores encontrados en un microprocesador 486 de Intel.
- Capacidad de la red de diez o más veces que la capacidad analógica, dependiendo del nivel de movilidad en el sistema.
- Utiliza alrededor de la mitad del número de celdas que la tecnología analógica u otras formas de tecnologías digitales.
- Privacidad y seguridad en cuanto al riesgo de fraude.

El CDMA no es una tecnología nueva, durante décadas fue utilizada para encriptar los sistemas de comunicación por satélite de los militares. Luego fue

desarrollada y comercializada por la empresa *Qualcomm Inc*, debido a su gran potencial en el área de las comunicaciones inalámbricas. En respuesta a la arrolladora demanda global para los sistemas de comunicación celular, la adaptación de CDMA a las aplicaciones celulares se inició en los 80's y en julio de 1993 la TIA estandarizó los sistemas celulares digitales basados en CDMA como IS-95, el cual es un sistema totalmente compatible con AMPS.

El sistema CDMA ha sido ampliamente utilizado a nivel mundial por fabricantes de infraestructura de redes, aparatos telefónicos y equipos de prueba. Esos proveedores de equipo incluyen a Lucent Technologies (anteriormente AT&T Network Systems), Motorola, Northern Telecom, NEC, Fujitsu, Panasonic, Sony, Hewlett-Packard, Oki y otros más, quienes han invertido grandes cantidades de dinero en la comercialización de CDMA.

En los Estados Unidos el CDMA es un estándar digital dominante, lo que permite que los concesionarios seleccionen libremente la tecnología de su preferencia. De hecho, nueve de las 12 compañías más importantes de telefonía celular han seleccionado CDMA para sus nuevas redes digitales, así como también varios de los ganadores más grandes de licencias PCS⁷ de los bloques A y B (*Sprint Spectrum, PrimeCo, Ameritech, GTE y Centennial*), al igual que más del 70% de los POP's (clientes potenciales) representados por los ganadores de la licitación del Bloque C de PCS. (15)

En Hong Kong comenzó por primera vez el servicio comercial de CDMA en 1995. La sólida tecnología es ahora ofrecida en Corea (con dos *carriers* ofreciendo el servicio) y Pennsylvania. Varios mercados entrarán muy pronto al servicio comercial de CDMA, tales como, Vancouver, BC, Singapur, Filipinas, India, China, Argentina, Chile, Brasil, así como California, Washington, Texas, Illinois, Nueva York y otros mercados importantes en los Estados Unidos. De hecho, la única región donde CDMA no está presente es Europa, donde las políticas proteccionistas del gobierno prohíben a los concesionarios ofrecer cualquier tecnología no haya sido desarrollada por europeos, como GSM

Para la implementación del estándar IS-95 de CDMA no se requiere de una planificación de frecuencias para utilizar el espectro eficientemente y ofrecer el servicio a muchos usuarios, ya que todos los usuarios sobre el ancho de banda de un *carrier* de radio frecuencia de 1.25 MHz pueden compartir el mismo espectro de frecuencias debido a que cada conversación de un usuario es diferenciada por la utilización de los códigos digitales únicos. Debido a esto cada celda CDMA puede usar la misma banda de 1.25 MHz en todos los sectores con un factor de reuso $N = 1$.

Si un sistema CDMA es adyacente a cualquier otro sistema inalámbrico, una banda de guarda es requerida para separar a los sistemas CDMA de los sistemas Non-CDMA. La banda de guarda es definida como la mínima separación de frecuencia requerida tal que el nivel de interferencia causado por un usuario analógico sea menos que el nivel de ruido térmico en cada receptor CDMA, por lo que en la figura 1.21 se puede observar el ancho de banda requerido para el primer *carrier* CDMA. La banda de guarda necesita ser implementada a cada extremo del espectro total CDMA, en otras palabras, no se la necesita antes y después de cada *carrier* CDMA contiguo individual.

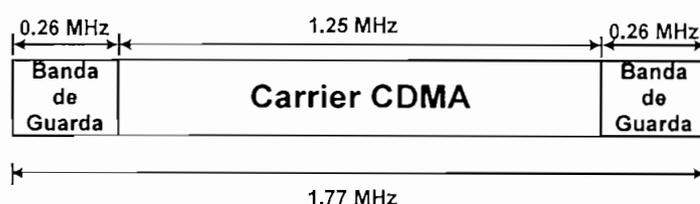


Fig. 1.21: Carrier CDMA (12)

Hay diferentes anchos de banda para las bandas de guarda en los diferentes sistemas analógicos adyacentes. Un sistema AMPS adyacente requiere una banda de guarda de 0.26 MHz en cada lado del *carrier* CDMA, un sistema NAMPS adyacente requiere una banda de guarda de 0.56 MHz y un sistema TACS adyacente requiere de una banda de guarda de aproximadamente 0.55 MHz.

El sistema CDMA maneja con mayor eficiencia el control de potencia en los enlaces *downlink* y *uplink*, ajustando con mayor precisión y rapidez los elementos dinámicos del sistema; tal como la carga de la celda, el desvanecimiento *multipath* y la proximidad de los móviles a la estación base. Los móviles CDMA transmiten solamente la mínima potencia requerida para mantener el enlace, tal que la potencia promedio transmitida es mucho menor que la requerida para las tecnologías analógica y digital TDMA, traduciéndose en el alargamiento del tiempo de vida de la batería de los teléfonos celulares.

Por último, se va a describir brevemente el sistema PCS, al cual se le ha considerado como el resultado del éxito inalámbrico en los pasados 10 años. Organizaciones de normas, vendedores y operadores han evaluado las maneras de asegurar que los beneficios inalámbricos que se tienen en sus mercados actuales, puedan aplicarse potencialmente a la población entera. El resultado es un concepto que se define como Servicios Personalizados de Comunicación.

El PCS incluye una amplia variedad de servicios de comunicaciones móviles, portátiles y auxiliares a personas o negocios. A pesar de la dificultad para encontrar una definición al término PCS, es importante resaltar que no es un servicio, sino una familia de servicios cuya filosofía primordial es la integración de las comunicaciones. PCS permite que cualquier persona use cualquier servicio, en cualquier momento y en cualquier lugar, basándose en sus necesidades personales; ya que las características que cada suscriptor desea son configurados individualmente.

El espectro de PCS se divide en tres categorías amplias: banda angosta, banda ancha y banda sin licencia. PCS de banda angosta opera en los 900MHz e incluye todos los tipos de buscapersonas convencionales, buscapersonas de dos vías, mensajería en tiempo no real, *e-mail* y otros. PCS de banda ancha opera en los 2GHz e incluye telefonía digital celular y telefonía básica inalámbrica; es decir, servicios de comunicación en tiempo real. PCS sin licencia es un bloque reservado de 20 MHz para aplicaciones que podrían incluir tanto servicios de voz como servicio de datos.

Debido al gran interés que tuvo en Norteamérica, la FCC asignó 3 MHz del espectro de radio próximo a 900 MHz para PCS de banda estrecha (901-902, 930-931 y 940-941 MHz.) y 140 MHz del espectro próximo a 2 GHz (1850 a 1990 MHz) para PCS de banda ancha. Los estándares para PCS en los Estados Unidos están siendo desarrollados por los subcomités del comité T1 de la ATIS (Alianza para las Soluciones de la Industria de las Telecomunicaciones Móviles), el comité TR-46 de la TIA y el comité 802 del IEEE (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos). Las redes de prueba estaban funcionando en 1993, y la subasta por el espectro de frecuencias fue realizada por la FCC y comenzó en diciembre de 1994; cuyas bandas quedaron designadas de acuerdo a la figura 1.22.

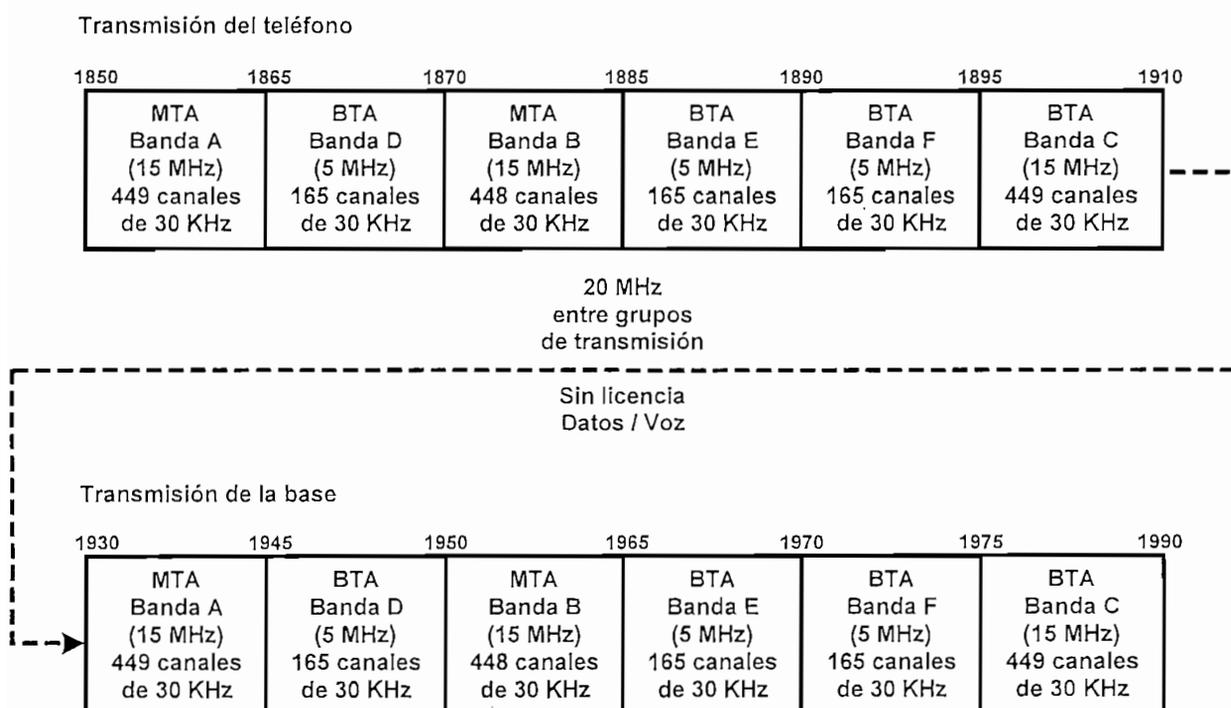


Fig. 1.22: Espectro PCS (16)

A las áreas de cobertura del sistema PCS, la FCC las definió bajo los siguientes términos:

- **Area de Comercio Metropolitano (MTA):** Son principalmente grandes ciudades del país donde se centra la mayor actividad comercial de una región geográfica.
- **Area de Comercio Básico (BTA):** Son subconjuntos de las MTA's, y representan una serie de distritos donde la actividad comercial se centra alrededor de un pueblo o ciudad pequeña en la región geográfica.

Cabe anotar que el sistema PCS-1900 es la versión Norteamericana del servicio basado en GSM DCS-1800 de Europa.

NOTA: En el Anexo A se presenta un resumen de las tecnologías celulares utilizadas en el mundo hasta diciembre de 1999.

1.4. OFICINA DE CONMUTACIÓN DE TELEFONIA CELULAR

La diferencia fundamental entre las redes de tipo fijo y móvil es la forma de acceso al abonado. Lo que en la red fija es el bucle de abonado, en una red móvil es el acceso por radio.

El *switch* celular controla enteramente todas las operaciones del sistema celular. Es una "sofisticada computadora" que realiza diferentes funciones como conmutar las llamadas para conectar un usuario móvil a otro usuario móvil o a la red telefónica pública. Usa troncales de voz similares a las troncales de voz que conectan a las compañías telefónicas fijas. También contienen enlaces de datos que proveen la supervisión entre el procesador y el *switch* y entre las celdas y el procesador; además los *carriers* de los enlaces de radio llevan la voz y la señalización entre la unidad móvil o teléfono celular y el sitio de la celda, entre otras funciones.

Las tecnologías utilizadas en los sistemas celulares y sus estándares varían de acuerdo a la región o país. La telefonía celular en el Ecuador es un mercado

relativamente nuevo, por lo que se maneja de manera simultánea tanto la tecnología analógica como la tecnología digital.

Los tipos de centrales que manejan las operadoras locales se basan en el concepto de familia o series y proporcionan una amplia gama de funciones de conmutación digital y operaciones de red.

Los sistemas centralizados más grandes en telefonía celular corresponden a Motorola EMX 100 Plus, Ericsson AXE 10 y Northern Telecom International DMS-MTX. Las operadoras telefónicas celulares en el Ecuador basan sus operaciones en las tecnologías de las empresas Ericsson y de Northern Telecom.

Para entender la manera en que funciona una central de conmutación celular, como ejemplo se procederá a describir la tecnología de Northern Telecom, que presenta la familia de centrales conocida como DMS-MTX (*Digital Multiplex System – Mobile Telephone Exchange*), cuya característica es cumplir con los requerimientos de confiabilidad, facilidad y aplicacionabilidad, además de ser capaz en sus diseños, de adaptarse e incorporarse a nuevas tecnologías. Estas facilidades son conseguidas gracias a su modularidad, utilizada en el desarrollo del software y hardware.

Los tres tipos de control central que pueden ser configurados en el sistema DMS-MTX son: CCC NT40, Super Nodo (SN - *Super Node*) ó Super Nodo de Tamaño Mejorado (SNSE - *Super Node Size Enhanced*).

1.4.1. COMPLEJO DE CONTROL CENTRAL NT40 (CCC NT40)

La central basada en el complejo de control central NT40 es la primera generación de la familia DMS que consiste de una arquitectura con duplicidad de elementos; es decir, el NT40 se forma de dos planos o espejos, tal como se muestra en el diagrama 1.23.

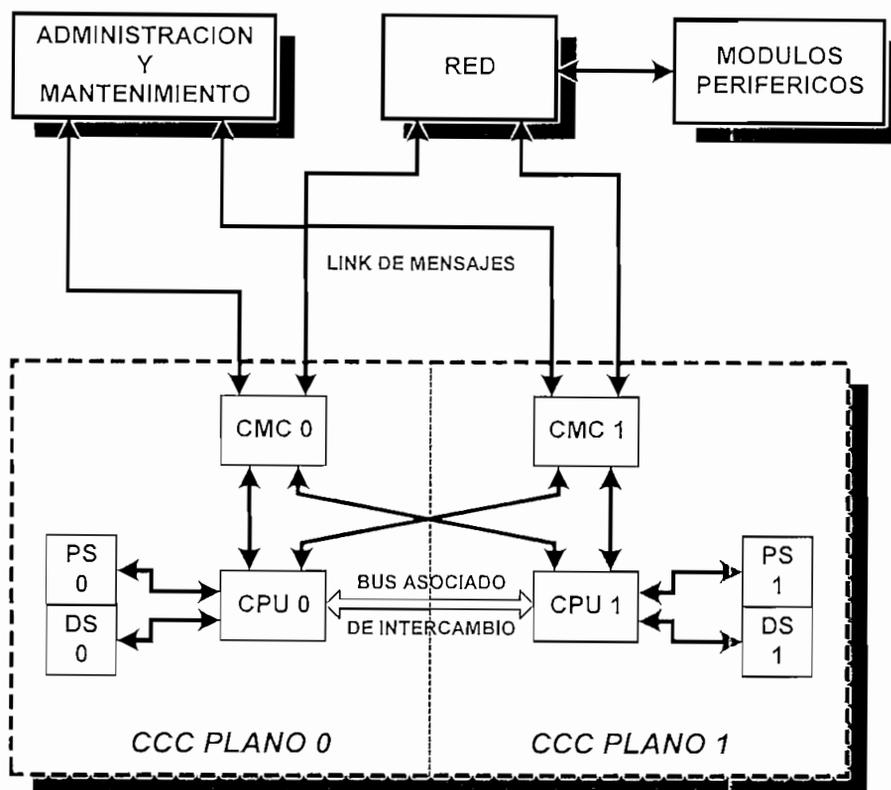


Fig. 1.23: Arquitectura CCC NT40 (9)

Donde:

- **Unidad Central de Procesamiento (CPU)**

Contiene la lógica necesaria para controlar las operaciones del DMS, es decir realiza el procesamiento de las llamadas y demás operaciones de la red. Tiene acceso a cada CMC⁹ y está dedicado a los módulos de memoria donde los programas almacenados están ubicados.

Está equipado con dos buses paralelos independientes a los puertos de memoria: uno hacia el PS (Almacenamiento de Programas) y otro hacia el DS (Almacenamiento de Datos); el hecho de que estos buses estén separados mejora la fiabilidad / seguridad del software y la capacidad en tiempo real del

⁹ CMC: Controlador Central de Mensajes

sistema, por ejemplo, datos erróneos en el DS no corrompen las instrucciones del programa. El CPU puede operar en dos modos básicos: *Duplex* y *Simplex*.

En el modo *duplex*, ambos CPU's están en línea y corriendo en micro-sincronismo, un CPU está activo y el otro está inactivo (*standby*). Cada CPU compara los datos y paridad vía el bus de intercambio asociado, si una desigualdad es detectada una interrupción de inconsistencia es generada, pero mientras están corriendo en sincronización cada CPU está haciendo exactamente las mismas cosas durante cada instante de tiempo. La unidad de memoria de ambos CPU's contienen, y son actualizados, con idéntica información. La mayor diferencia entre los procesadores activo e inactivo es que sólo el procesador activo está usando el CMC para enviar mensajes al equipo periférico, ya que el procesador inactivo no tiene capacidad de comunicación al equipo periférico, sólo el procesador activo tiene el control del sistema DMS.

El modo *simplex* es el modo anormal de operación, ya que un CPU está en línea y controlando el sistema y el otro CPU está apagado y no es actualizado. En el modo *simplex* no hay sincronización, por lo que el bus de intercambio asociado no es usado para detectar inconsistencias de errores. Sin embargo, cada CPU tiene incorporado un auto chequeo lógico para detectar condiciones de error.

- ***Unidad de Controlador Central de Mensajes (CMC)***

Maneja el flujo de mensajes entre la red, las áreas de operación y mantenimiento, y la unidad central de procesamiento. El CMC provee el reloj maestro y la sincronización al sistema, además el reloj de calendario al CPU.

- ***Unidad de Almacenamiento de Datos***

Asociada con cada CPU y además contiene la información temporal de cada llamada, los datos del usuario y los parámetros de oficina.

- **Unidad de Almacenamiento de Programas**

Igualmente asociado con cada CPU, contiene instrucciones de los programas que necesita el CPU para realizar el procesamiento de las llamadas, además de las tareas de mantenimiento y administración.

1.4.2. CONTROL CENTRAL SUPER NODO (SN)

La configuración SN es la segunda generación de la familia DMS de Northern Telecom, es fácilmente y rápidamente adaptable a nuevas tecnologías de procesadores más poderosos. El SN es una central celular digital diseñada para redes inalámbricas grandes, donde el número de puertos y usuarios móviles soportados por un simple SN está basado en la topología de la red, el software y el hardware del sistema.

El NT40 y el DMS SN tienen los mismos elementos funcionales:

- El componente de control (CCC NT40 / Núcleo del DMS SN)
- El componente de mensajería (CMC NT40 / BUS del DMS SN)
- La red de conmutación, los módulos periféricos (PM y XPM¹⁰)
- El controlador de entrada/salida (IOC).

Debido a esto es que las centrales NT40 existentes pueden ser actualizadas a centrales SN/SNSE¹¹ para proveer más capacidad de llamadas y soportar características adicionales y servicios reemplazando el CPU y el CMC del NT40 con el núcleo y el bus de mensajería del DMS.

La central DMS SN necesita tres armarios para alojar el núcleo del DMS (módulo de computación y módulo de carga del sistema), el bus de mensajería del DMS, la

¹⁰ XPM: Módulo Periférico Extendido. Nombre genérico para módulos periféricos (PM) que tienen dos procesadores: un procesador maestro y un procesador de señalización.

¹¹ SN/SNSE: Super Nodo/Super Nodo de Tamaño Mejorado.

matriz de conmutación y el procesador periférico de enlace. Esto es mostrado en la figura 1.24.

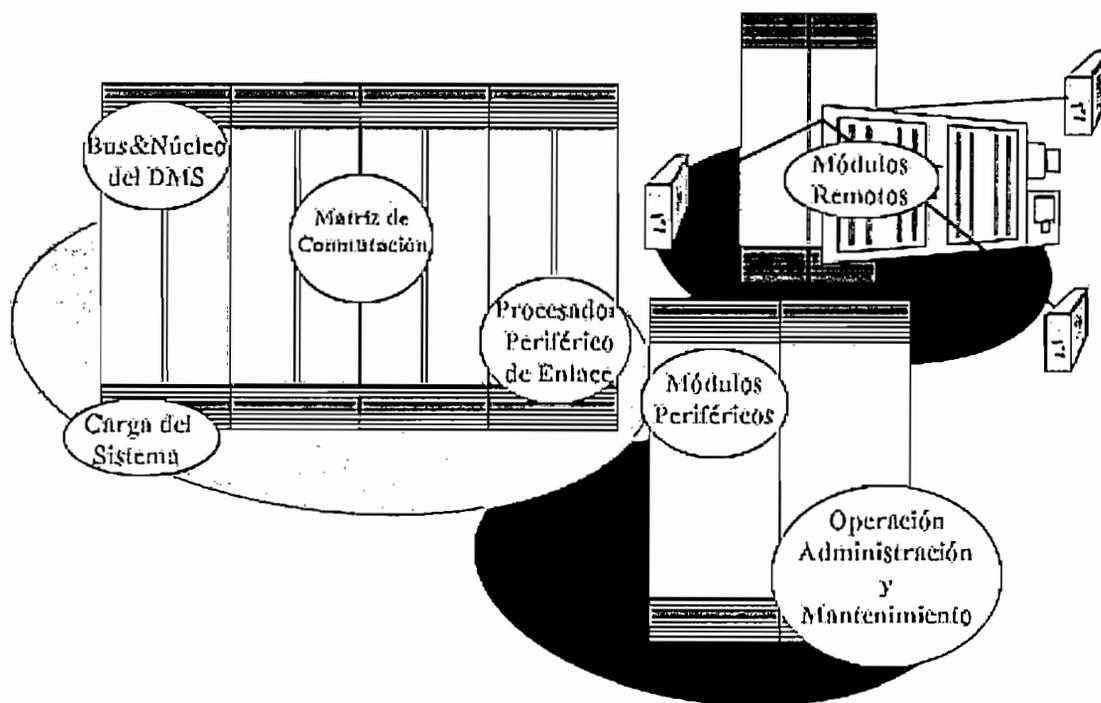


Fig. 1.24: Control Central Super Nodo SN (17)

1.4.3. CONTROL CENTRAL SUPER NODO DE TAMAÑO MEJORADO (SNSE)

Esta generación está diseñada para proveer un costo efectivo a *switch* pequeños basados en la tecnología de DMS SN de red mejorada para cubrir los requerimientos de mercados inalámbricos pequeños y tamaño medio. Una configuración básica del DMS SNSE provee una matriz de conmutación de 16000 canales y por sobre las 14 unidades de interfaz de enlaces para señalización número 7.

El DMS SNSE usa la tecnología del Super Nodo y soporta todas las características del SN a una capacidad reducida de procesamiento de llamadas. Por lo que el SNSE solamente requiere de un armario, haciéndolo ideal para mercados que no requieren de una capacidad total de puertos como el SN, tal como se indica en la figura 1.25.

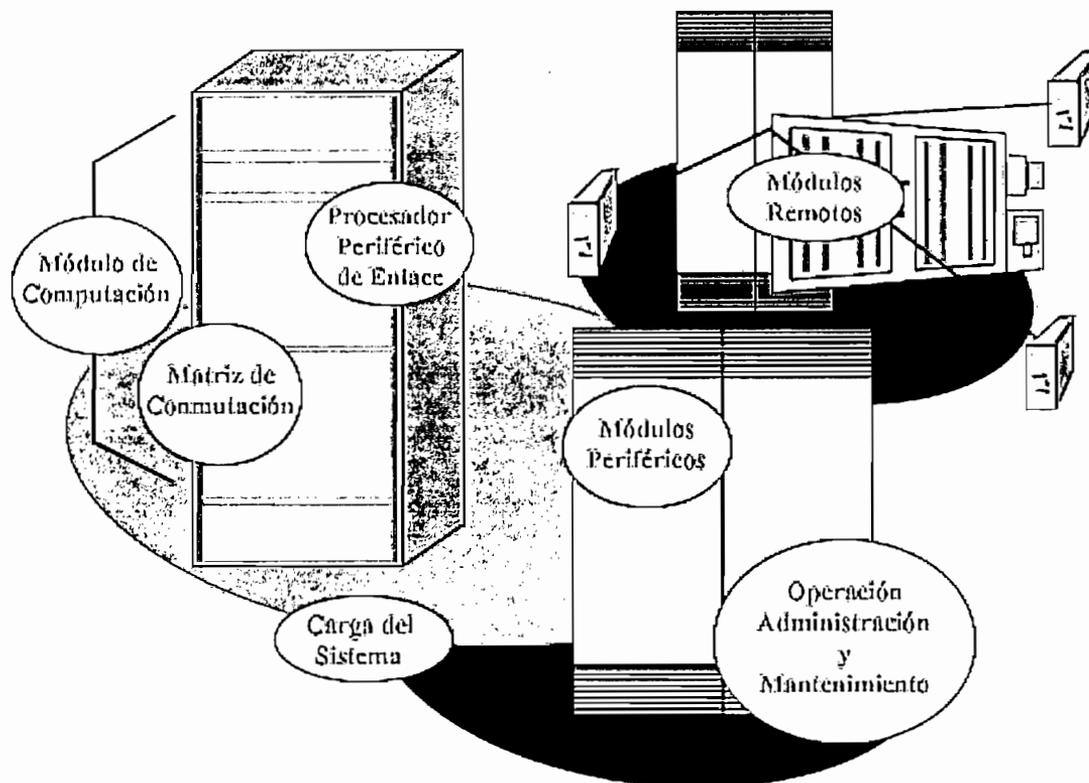


Fig. 1.25: Control Central Super Nodo Compacto (17)

Los atributos que presentan la familia DMS-MTX son los siguientes:

- **Procesamiento Distribuido**

El concepto de la tecnología del DMS es contar con diseños modulares tanto en hardware como en software, por lo que cada módulo cuenta con su microprocesador programado para manejar las funciones relacionadas con el módulo específico. El objetivo de estos microprocesadores es liberar de funciones y ahorrar tiempo a la unidad de procesamiento central maestro. Este procesamiento distribuido permite que la unidad central maestra realice las funciones de procesamiento de alto nivel.

- ***Control de Programa Almacenado***

La familia DMS-MTX está controlada por un programa almacenado que da servicio a aplicaciones locales, de larga distancia o combinada. Los programas que se requieren para el procesamiento de las llamadas son almacenados en los procesadores, los cuales son controlados por el procesador central maestro. El procesador central maestro controla las operaciones del DMS consultando y ejecutando los programas almacenados necesarios para cumplir con su función.

- ***Multiplexación Digital***

La información digital es llevada a través de 32 canales mediante el acceso múltiple por división de tiempo TDMA. Como el sistema DMS es un sistema completamente de conmutación digital, se requiere que todas las señales analógicas se codifiquen en señales digitales antes de entrar al sistema. La capacidad de implementar la conmutación por división de tiempo en una red digital mejora la flexibilidad de la matriz de conmutación.

- ***Enlaces de Fibra Óptica***

La tecnología de la fibra óptica es aprovechada y es utilizada para llevar varias tramas E1 en la red de conmutación digital.

- ***Entrada de Troncales***

En los sistemas DMS se encuentran disponibles la información de línea o troncal en la central. Cuando se realiza una llamada el sistema utiliza los datos del usuario para determinar por donde enrutar la conversación.

Como se puede observar en los atributos, todos los medios que entran o salen de la red llevan información digital, el DMS conmuta las conexiones de voz a través de un red totalmente digital.

1.4.4. ARQUITECTURA DE LA CENTRAL CELULAR DMS-MTX

El DMS-100 soporta una amplia variedad de Sistemas de Comunicación Personal (PCS) y tecnologías de interfaz de aire celular como son el Sistema Móvil Telefónico Avanzado (AMPS), el Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA) y el Acceso Múltiple por División de Código (CDMA) (17).

La arquitectura de la central celular DMS-MTX para los estándares AMPS/TDMA es mostrada en la figura 1.26.

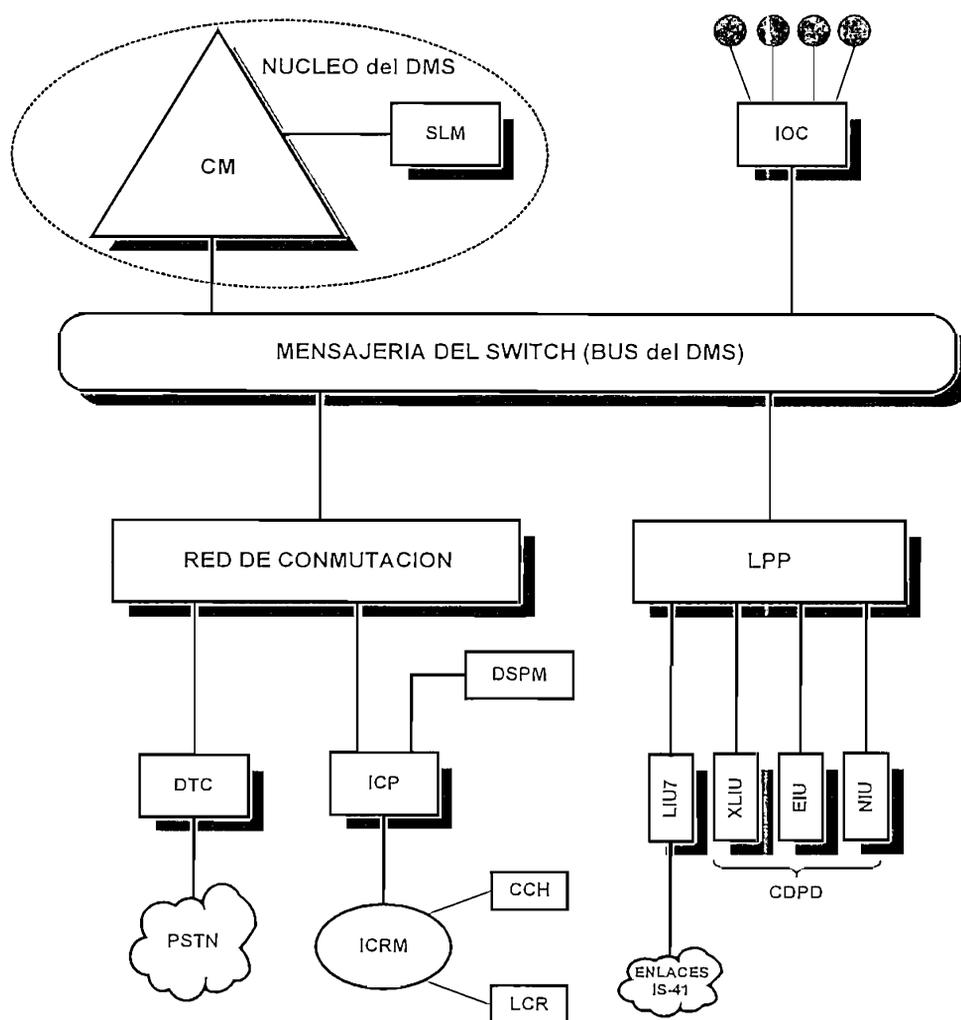


Fig. 1.26: Arquitectura del DMS-MTX

El DMS-100 es una plataforma de servicios integrados que soporta las revisiones del estándar IS-41 que hace posible el *Roaming* automático, el *handoff* entre sistemas, entrega de llamadas, entrega de características remotas, entrega de mensajería corta, validación y autenticación. Además soporta X.25, conectividad flexible a la red SS7, posee funcionalidad de OA&M (Operación, Administración y Mantenimiento), entre otras características que reduce los costos de desarrollo proveyendo servicios alámbricos e inalámbricos.

Antes de iniciar una descripción de los diferentes bloques que componen la Central Celular, es necesario describir la jerarquía de señales digitales que utiliza Nortel para la transmisión de voz y datos.

La jerarquía eléctrica de señales digitales, identificada por las siglas DS (*Digital Signal*), es usada para clasificar la velocidad de las capacidades de líneas y troncales. El nivel básico de velocidad es el DS-0 a 64 Kbps. DS-0 es el estándar de la palabra de 8 bits muestreada a 8000 veces por segundo, dando la tasa de 64 Kbps, la cual representa sólo uno de los 24 canales en una señal DS-1 de 1.544 Mbps.

Esta jerarquía digital se representa por niveles, es decir, DS-1 significa Señal Digital de Nivel 1. La tasa del DS-1 puede ser elevada a niveles superiores incrementando cada vez más la multiplexación de señales DS-1 en señales DS-2. Esto puede también ser realizado en el nivel DS-2 a señales DS-3, etc.

El DS-2 es el equivalente de 4 DS-1 multiplexados, el DS-3 es igual a 7 DS-2 multiplexados y los DS-4's son iguales a 6 DS-3 multiplexados. El DS-4 es el nivel más alto de velocidad de la red de cerca de 274 Mbps, y las tasas de transmisión digital que son superiores a este nivel no son asignadas a la clasificación de DS's.

El resumen de las jerarquías de las señales digitales es presentado en el cuadro 1.4.

Nombre de la señal	Velocidad de la señal	Nº de Canales
DS-0	64 Kbps	1
DS-1	1.544 Mbps	24
DS-2	6.312 Mbps	96
DS-3	44.736 Mbps	672
DS-4	274.176 Mbps	4032

Cuadro 1.4: Jerarquías de Señales Digitales (18)

Adicionalmente, Nortel utiliza el DS-30 y el DS-512 en el DSM-MTX. El DS-30 tiene 32 canales con una velocidad de transmisión de 2.56 Mbps, donde los canales 0 y 16 se utilizan para señalización, lo que deja 30 canales para voz y datos.

El DS-512 es la señal digital utilizada en los enlaces de transmisión de fibra óptica, implementado en los sistemas DMS SN y SNSE. Un enlace DS-512 es equivalente a 16 enlaces DS-30.

1.4.4.1. INTERFACES EN LA CENTRAL CELULAR

Los interfaces que tiene el SNSE se los puede dividir en externos e internos, los cuales existen entre el núcleo de la Central y el resto del sistema DMS-100. La descripción de los mismos se indica a continuación:

- **Interfaces Externos**

Los interfaces externos manejan enlaces DS-30 a los controladores de entrada/salida y a ciertos módulos periféricos. Además se disponen de enlaces de fibra óptica DS-512 a los módulos periféricos extendidos, a procesos con futuras aplicaciones y a módulos periféricos que soporten este tipo de enlaces.

Se disponen de los siguientes interfaces externos:

- ***Interfaz DS-30***

Consiste de un enlace de datos de 32 canales, cada canal lleva 10 bits de datos, ocho de los cuales forma el canal de datos primarios a 64 Kbps y es usado para codificar el PCM o la información de la señalización. Hay un bit de paridad y un bit de datos de supervisión. El bit de supervisión es acumulado sobre las 40 tramas DS-30 para formar el mensaje de supervisión del canal.

El flujo de datos del mensaje de supervisión del canal es utilizado para pasar la información de supervisión ente los periféricos.

- ***Interfaz DS-30 a los XPM, MTM¹² e IOC***

Los XPM's y el MTM pasan voz, señalización y datos de mantenimiento sobre los enlaces DS-30. El caso generalizado es que 30 canales son utilizados para circuitos PCM's con voz o datos, un canal es usado para señalización entre los XPM's o el MTM y el DMS-BUS, y un canal es utilizado para mantenimiento y enlaces de mensajes inter-periféricos.

El IOC usa el DS-30 para proveer un único interfaz de mensajes. Este DS-30 no es usado como un flujo PCM normal, sino más bien como un único enlace de 2.048 Mbps dedicado a señalización.

- ***Interfaz DS-512***

El interfaz DS-512 es el formato estándar para enlaces de fibra óptica, usados para interconectar los subsistemas en el SNSE. Un interfaz DS-512 es equivalente a 16 enlaces DS-30, multiplexados sobre una fibra óptica. Los enlaces DS-512 son usados para interfaz del núcleo al BUS del DMS y del BUS a la matriz de conmutación en el sistema de tamaño Super Nodo total.

¹² MTM: Módulo Troncal de Mantenimiento.

Para el SNSE se disponen de subtasas (SR - *subrate*) del interfaz DS-512 denominadas SR-128 de 128 canales.

Los enlaces DS-512 también son usados para interfaz de los módulos periféricos XPM a la red de conmutación.

- ***Interfaces Internos***

Los interfaces internos en el SNSE son los siguientes:

- Los enlaces de fibra óptica a SR-128 son los principales interfaces internos al núcleo.
- Enlaces SR-128 de fibra óptica de la matriz de conmutación al BUS del DMS.
- Enlaces DS-30 de cobre conectan los IOC's al BUS del DMS.

Una vez descritos los tipos de enlaces e interfaces del DMS-MTX de Nortel, se va a proceder a describir los bloques que componen el DMS-100. Los principales componentes del *switch* son: el núcleo del DMS (módulo de computación y carga del sistema) y el DMS-BUS (central de mensajes o mensajería del *switch*).

1.4.4.2. NUCLEO DEL DMS

Es la fuente de cómputo y memoria del *switch*. Es responsable del almacenamiento de la información del usuario, el procesamiento de las llamadas, el mantenimiento y la sanidad de la central, y de la carga y entrega de los programas. El núcleo está conformado por dos componentes principales: el módulo de computación (CM – *Computing Module*) y el módulo de carga del sistema (SLM – *System Load Module*), además la arquitectura del núcleo incluye dos planos para seguridad adicional, tal como se muestra en la siguiente figura 1.27.

El módulo de computación provee las funciones de procesamiento de llamadas de alto nivel del sistema DMS. Coordina el procesamiento de llamadas y las acciones de la red de conmutación y los módulos periféricos, por lo que compara y mantiene la integridad entre las unidades activa e inactiva.

En el núcleo del DMS se produce la carga y descarga los programas desde el SLM que es donde se encuentran las unidades de disco fijo. El bus de intercambio asociado (MEB – *Made Exchange Bus*) es el medio a través del cual los dos CPU realizan las operaciones de redundancia, con lo que los CPU's verifican constantemente sus modos de operación.

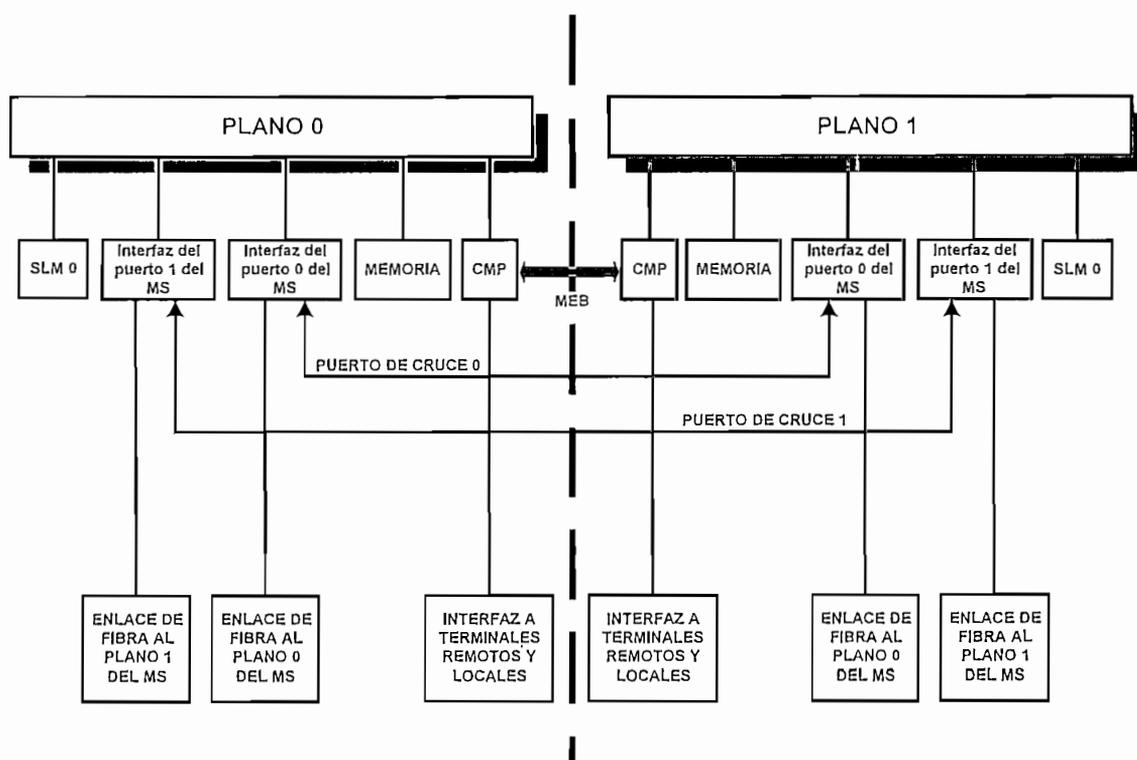


Fig. 1.27: Núcleo de la Central

Cuando los dos CPU's en el módulo de computación están funcionando en sincronismo, al CPU que está controlando el sistema se lo llama activo y al otro como inactivo (el reloj del CPU activo es utilizado por ambos CPU's), y la capacidad de detección de errores es deshabilitada para acelerar las operaciones.

En cambio, cuando los procesadores principales en el módulo de computación no están trabajando en sincronismo, cada CPU usa su mismo reloj y la capacidad de detección de errores es habilitada. El módulo de computación está conectado a la mensajería del *switch* a través de enlaces DS-512 de intercomunicación de fibra óptica.

1.4.4.3. MENSAJERIA DE LA CENTRAL DMS-BUS

El BUS actúa como un hub que reúne todos los componentes del sistema. Provee la comunicación entre los procesadores del CM y los módulos periféricos, el controlador de entrada/salida y del procesador periférico de enlace.

El DMS-BUS concentra y distribuye los mensajes en la Central Celular, y como todo componente, por razones de seguridad consta de dos centrales de mensajería. Además, el BUS permite al Super Nodo adaptarse a versiones anteriores de la familia DMS.

El BUS tiene incorporado dos buses internos: el bus del procesador y el bus de transacción. El bus del procesador es usado por la mensajería de la central para el control y la comunicación con todos los componentes del BUS del DMS. El bus de transacción se utiliza para transmitir los mensajes de puerto a puerto entre los subsistemas, como por ejemplo, el núcleo del *switch*, los componentes de entrada y salida adjuntos al BUS, etc.

A los demás componentes del BUS se los conoce como subsistemas, los cuales son indicados en la figura 1.28. El subsistema de la memoria y el procesador configuran y mantienen a los demás componentes de la mensajería de la central. Todo el software utilizado en el BUS reside en la memoria y el procesador; además, la detección y corrección de errores están siempre disponibles por la memoria del BUS del DMS.

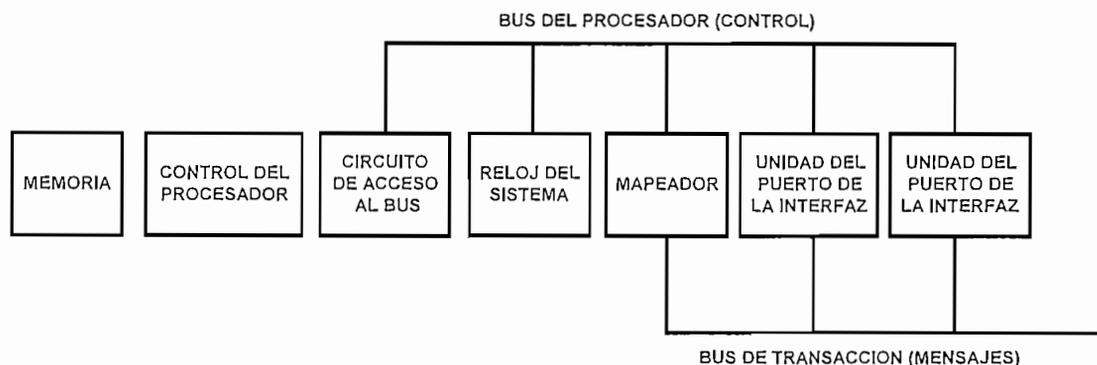


Fig. 1.28: Mensajería de la Central

El control del procesador administra todo el conjunto del rendimiento del BUS del DMS y es del mismo tipo que el procesador usado en el núcleo del DMS. Los mensajes recibidos y enviados por el control del procesador a través del bus de transacción son administrados por el circuito de acceso al bus. El control del procesador tiene un control total sobre el bus del procesador y controla otros componentes del BUS.

Las unidades del puerto del interfaz proveen enlaces DS-30 (hacia los procesadores periféricos de enlace) y DS-512 (hacia el núcleo), y controlan el interfaz del bus de transacción para los diferentes subsistemas que conectan al DMS-BUS. Con estos puertos se gana acceso al bus de transacción cuando ha sido recibida una petición por el subsistema sirviente, entonces es dado el control a la unidad de puerto de la interfaz, ubica el mensaje del subsistema sobre el bus de transacción y confirma que el mensaje ha sido recibido.

El mensaje que viaja por el bus de transacción incluye una dirección de cabecera y el cuerpo del mensaje en su estructura, la dirección de cabecera puede ser una referencia de dirección física o lógica. La dirección física se refiere a la dirección de un interfaz del subsistema controlado por una unidad de puerto de la interfaz específica, y la dirección lógica es una referencia no específica para un subsistema al que debe ser trasladada a una dirección física. La traslación de dirección lógica a física lo realiza el mapeador del DMS-BUS, el mapeador

contiene el mapa de las direcciones lógicas a físicas y redistribuye el mensaje con una dirección física.

El reloj del sistema se encuentra en el BUS, y es el que realiza las funciones de sincronización y temporización para el núcleo y la mensajería del DMS-MTX. El reloj del sistema sincroniza la central celular y puede servir como la fuente principal de reloj de la red para llevar el sincronismo en el sistema y toda la red funcione a la misma frecuencia.

1.4.4.4. RED DE CONMUTACION

La red de conmutación es una matriz de conmutación digital que actúa como un interfaz entre el *switch* y los periféricos, usando multiplexación por división de tiempo, por lo que los componentes de la red realizan multiplexación, señalización, auto pruebas y sincronismo.

La primera función de la red de conmutación es proveer conectividad desde el BUS del DMS a los periféricos, y de periférico a periférico. Es decir, provee conexiones de voz y datos entre los módulos periféricos y caminos de mensajes a los componentes del DMS BUS por medio de canales PCM de 64 Kbps (conmuta mensajes de control a los módulos periféricos, y extrae los mensajes entrantes de los enlaces de los módulos periféricos enviándolos al módulo de computación). La conexión entre la matriz y los componentes del BUS son enlaces DS-512 de fibra óptica (la matriz soporta servicios que requieren un ancho de banda mayor a 64 Kbps), y la conexión entre la matriz y los otros periféricos puede ser enlaces DS-30 de cobre o DS-512 de fibra óptica.

Se dispone de las siguientes capacidades para la matriz de conmutación:

- 16k (Super Nodo SE)
- 32k (Super Nodo y Super Nodo SE)
- 64k (Super Nodo)
- 128k (Super Nodo)

La matriz de conmutación está formada por tarjetas de puntos de cruce, organizadas en forma de buses. El bus horizontal conecta las tarjetas de puntos de cruce a otras tarjetas en la repisa, y el bus vertical conecta las tarjetas de puntos de cruce a otras tarjetas en otras repisas. La función primaria de las tarjetas de puntos de cruce es transferir la información entre los buses verticales y los buses horizontales.

El modo en que opera la matriz de conmutación permite a la arquitectura de buses tener una capacidad total no bloqueable de conmutación, garantizando la disponibilidad de tener un camino desde cualquier enlace entrante a cualquier enlace no ocupado en la matriz, a pesar de que cualquier otra llamada esté en progreso.

Como todo hardware en la central, por razones de seguridad dos planos de la matriz de conmutación son siempre configuradas, y todas las conexiones realizadas a través de la misma son establecidas simultáneamente en ambos planos. Los módulos periféricos conectados a la matriz están enlazados en puertos idénticos de los planos, asegurando que cualquier camino de la red esté todavía disponible en el caso de que falle un plano.

1.4.4.5. MODULOS PERIFERICOS

Los módulos periféricos proveen de un interfaz entre la red de conmutación y las facilidades salientes a la Central Celular que son las que brindan las facilidades de transmisión analógica y digital para conectar a las líneas de los usuarios, las troncales para establecer la comunicación entre dos sistemas de conmutación (PSTN, PBX, etc.) y otros circuitos misceláneos.

Los módulos periféricos se adaptan a las características del formato de multiplexación por división de tiempo de 32 canales de 2.56 Mbps que es el que utiliza el sistema DMS-MTX. De la misma manera los módulos periféricos sirven de interfaz entre la Central Celular y los canales de radio frecuencia.

Cada módulo periférico contiene su propio procesador que está bajo el control del CPU principal en el módulo de computación, y realiza las tareas de procesamiento local y controla el flujo de mensajes entre sí mismo y núcleo del DMS. Esto alivia al procesador principal de muchas tareas como el establecimiento y terminación de las llamadas.

Existen diferentes tipos de módulos periféricos para el DMS-MTX 100, los principales son:

- ***Periféricos Celulares Inteligentes (ICP)***

Proveen un interfaz entre la red de conmutación y la estación base por medio de enlaces E1. Está diseñado para el control de los equipos periféricos de las celdas como son: el módulo de procesamiento digital de señales (DSPM), el módulo remoto celular integrado (ICRM), los radios y el monitoreo de la integridad del rendimiento ya que el ICP aumenta la capacidad de llamadas. Realiza el seteo de las llamadas para móviles analógicos y digitales, dispone de un receptor de tonos universales que identifica y procesa tonos Multifrecuencia y DTMF.

Otra función del ICP es la asignación de canales en los procesos de *handoff / handover* incluyendo la selección de recursos de canales analógicos versus digitales, y ofrece una asistencia entre el operador y las actividades de las estaciones bases ya que el ICP reporta las fallas y otros estatus al módulo de computación.

- ***Módulo Remoto Celular Integrado (ICRM)***

Es un módulo periférico ubicado en la celda que provee un interfaz entre el ICP y los radios. El ICRM está diseñado para soportar equipos de radio frecuencia analógicos y digitales, por lo que provee la multiplexación de los circuitos para el flujo digital a los radios individualmente, así como también las funciones comunes de control. Sincroniza los *carriers* entre la celda y el ICP;

para validar la mensajería y proveer de una plataforma de conexión para los equipos de la celda.

- ***Módulo de Procesamiento de Señales Digitales (DSPM)***

Realiza la codificación y decodificación de voz a velocidad baja de bits y provee el acceso múltiple por división de tiempo. El DSPM realiza las siguientes funciones:

- Codificación de voz VSELP (*Vector Sum Excited Linear Prediction*) que es una variación del CELP (*Code Excited Linear Prediction*) que es el algoritmo codificador de voz designado por la IS-54B para comunicaciones celulares digitales.
- Realiza control de errores y suministra cancelación de eco, necesario por el inherente retraso que existe en las redes celulares.
- Los canales son multiplexados o demultiplexados a un simple canal de 64 Kbps.
- Provee de un camino directo de comunicación entre el grupo de procesamiento digital de señales y el radio asignado.
- Realiza un proceso de reducción de ruido debido a la retroalimentación y ajusta los niveles de audio para transmitir y recibir hacia la red y hacia la estación móvil, además de un ajuste de nivel de audio transmisión / recepción hacia la red y hacia la estación móvil.
- Realiza un análisis de BER del canal de control inverso, es decir, mientras esté sirviendo una celda, el DSPM continuamente está monitoreando el BER del tren de datos TDMA entrantes, y periódicamente comunica la tasa de errores a los radios.

- Cada grupo DSPM soporta tres conversaciones estadísticamente asociadas con un radio.
- Se dispone de un interfaz DS-30 entre el ICP y el DSPM.

Para comprender de mejor manera lo explicado anteriormente, a continuación se presenta la figura 1.29.

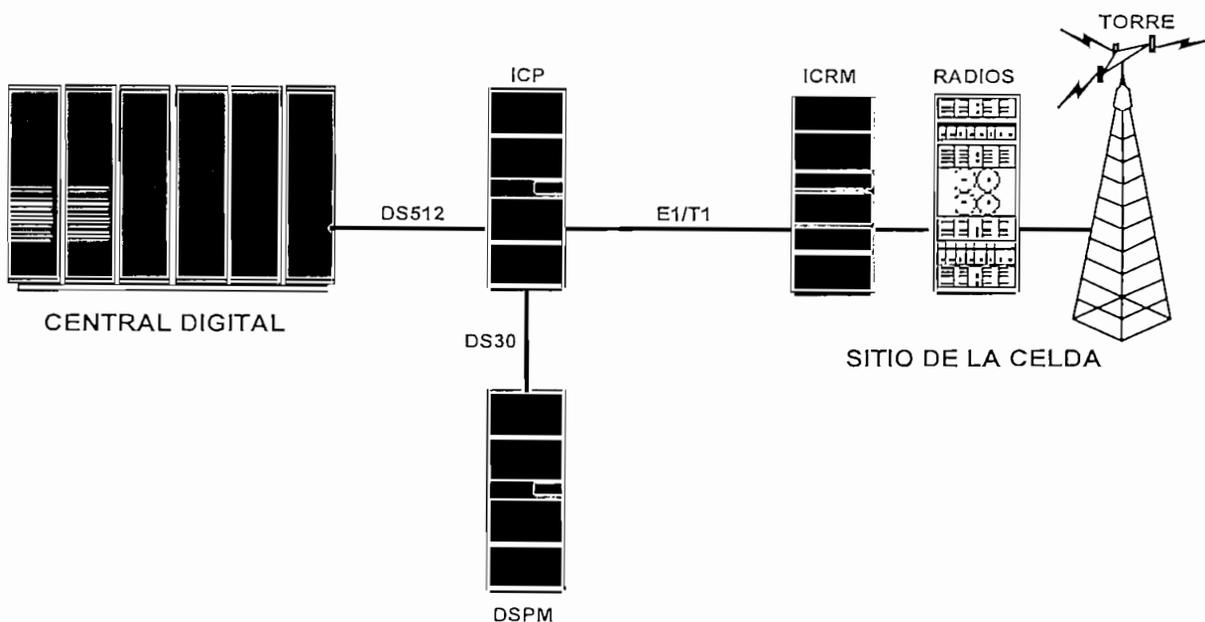


Fig. 1.29: Conexión Central – Celda

- **Controlador Troncal Digital (DTC)**

Provee un interfaz entre la red de conmutación y la red telefónica conmutada pública PSTN. El controlador troncal digital es un periférico dual (dos unidades) diseñado para proveer las funciones necesarias para soportar terminaciones troncales a la red telefónica pública PSTN y hacia otras operadoras celulares. Las unidades duales operan en modo *hot-standby*, es decir, una unidad está activa proveyendo el procesamiento necesario y las funciones de control; mientras la otra unidad es un espejo que está lista para entrar en función en caso de que la unidad principal falle.

- ***Módulo de Troncal de Mantenimiento***

Un módulo troncal de mantenimiento provee un interfaz entre la central y los equipos de pruebas y servicio. El módulo troncal acepta troncales analógicas, circuitos digitales de servicio o ambos, por lo que procesa las señales hacia (desde) un formato PCM. Actúa como un centro de conmutación para el control de mensajes entre la central y las pruebas individuales, revisando el estado de los canales de conversación realizando un chequeo de control de errores.

1.4.4.6. PROCESADOR PERIFERICO DE ENLACE (LPP)

El procesador periférico de enlace no es un módulo periférico propiamente dicho, es un equipo modular que consiste de módulos periféricos basados en procesadores pequeños. Estos PM's pueden trabajar juntos o separados y soportar un amplio rango de aplicaciones avanzadas y servicios. Algunos de los servicios que soportan los PM's del LPP son:

- Frame Relay y manejo de paquetes en aplicaciones como X.25.
- Nodos de señalización por canal común CCS7 y enlaces de señalización, como punto de conmutación de servicio (SSP), punto de transferencia de señalización (STP) y puntos de control de servicio (SCP).
- Interfaz con redes de área local para operaciones integradas, funciones de operación, administración y mantenimiento.

Los LPP's hacen que la Central Celular soporte una aplicación o servicio o un grupo de aplicaciones o servicios, y cada LPP contiene dos módulos periféricos: un módulo de interfaz de enlace (LIM) y unidades específicas de aplicación (ASU). El módulo de interfaz de enlace sirve como un hub de comunicaciones, soportando la mensajería en el LPP (entre el LIM y los ASU's) y entre el LPP y la central. Las unidades específicas de aplicación son un grupo de componentes de

hardware y de software que soportan una función para cada aplicación o servicio en particular, y los principales tipos de ASU's son:

- Unidad de interfaz de enlace de señalización número 7 (LIU7), que procesan los mensajes CCS7 que entran y salen hacia (desde) un LPP a través de un enlace de señalización individual.
- Unidad de interfaz Ethernet (EIU), que conecta a la central a una red de área local basada en Ethernet.
- Unidad de interfaz de enlace Ethernet, que combina el uso de LIU7 y EIU; y además genera mensajes TCP/IP.
- Unidad de interfaz Frame Relay.
- Unidad de interfaz de red (NIU), que provee accesos canalizados para algunos tipos de servicios y aplicaciones como enlaces de voz DS-30 entre la matriz de conmutación y algún tipo de unidad específica de aplicación.
- Unidad de interfaz de enlace X.25 (XLIU), que provee protocolos para el procesamiento de manejo de paquetes.

1.4.4.7. CONTROLADORES DE ENTRADA Y SALIDA (IOC)

Los controladores de entrada y salida IOC conectan una variedad de dispositivos de entrada y salida con la unidad central de procesamiento del control central por medio de enlaces de mensajes a la mensajería de la central. Estos dispositivos incluyen, unidades de cintas magnéticas, unidades de disco, enlaces de datos, unidades de vídeo e impresoras.

1.4.4.8. ELEMENTOS ADICIONALES DE UNA CENTRAL CELULAR

Una vez descritos los bloques que componen una central de conmutación celular, se debe tomar en cuenta otros elementos que en los sistemas inalámbricos son muy comunes, los cuales son bases de datos que se encuentran en una central, y que son revisadas antes de establecer una llamada.

Las bases de datos más comunes son las siguientes:

- ***Registro de Localización Local (HLR - Home Location Register)***

El HLR almacena la información completa de los teléfonos que pertenecen a la central local. Esta información incluye: número de identificación del equipo móvil, número de directorio, la clase de servicio que posee el usuario, el país y el último lugar donde ha sido usado el teléfono (área de registro).

- ***Registro de Localización Visitante (VLR - Visitor Location Register)***

El VLR contiene la información o el perfil de los teléfonos pertenecientes a la central local y de los teléfonos *roamer*¹³. Cuando el sistema visitado detecta un *roamer*, el VLR le pregunta al HLR si es un teléfono asignado para asegurarse de que es un usuario válido, luego de lo cual recibirá la información necesaria desde el HLR distante para controlar la llamada.

El VLR temporalmente almacena la última ruta conocida del móvil, la potencia recibida, servicios especiales del usuario y más. Con esto la central sabe donde está el móvil y podrá tramitar las llamadas de manera normal.

¹³ Roamer: Proviene de la palabra *roam* que significa transitar. *Roamer* es el término con el cual se identifican los usuarios celulares que pertenecen a una central A, y por motivos de movilidad se registran en una central B como usuarios visitantes.

- ***Centro de Autenticación (AC - Authentication Center)***

Es una base de datos de seguridad que maneja claves de autenticación y encriptación (GSM, PCS-1900, y ciertos sistemas celulares que soportan estos servicios). La autenticación verifica el móvil de un usuario con un desafío complejo y una rutina de contestaciones. La red envía un número generado randómicamente al móvil, y éste calcula un número que es almacenado enviando la respuesta de regreso. Sólo si el *switch* recibe la respuesta esperada la llamada es procesada. El centro de autenticación almacena todos los datos necesarios para autenticar una llamada y entonces encriptar los mensajes de tráfico de voz y señalización.

- ***Registro de Identidad del Equipo (EIR - Equipment Identity Register)***

El EIR es otra base de datos que lista los teléfonos robados, números idénticos de teléfonos fraudulentos y equipos con problemas. Es una herramienta para denegar el servicio o para realizar un seguimiento del equipo con problemas.

- ***Centro de Mantenimiento y Operación (OMC - Operation Maintenance Center)***

El OMC realiza el control de la red, monitorea todos los aspectos de un sistema celular. Todos los OMC's están trabajando las 24 horas del día.

1.4.4.9. COMO TRABAJA EL *ROAMING*

Roaming es el término utilizado para teléfonos inalámbricos mientras se están moviendo de un lugar a otro. Es un proceso que permite a los usuarios ser autorizados para acceder al servicio mientras están viajando, y para mantener un rastro de la ubicación de un usuario y el estado para la entrega de llamadas a ese usuario.

Existen tres elementos básicos para que la red tenga la capacidad del *roaming*:

- Los sistemas de radio para conectar los usuarios a la red. Esto incluye teléfonos móviles y celdas.
- Los sistemas de conmutación para enrutar las llamadas. Esto incluye las centrales de conmutación móviles, la red telefónica pública conmutada y la red de señalización.
- Las bases de datos para almacenar los perfiles de los usuarios. Los perfiles contienen información acerca de un usuario como la ubicación actual, el estado y las características del usuario.

Estos elementos se pueden apreciar en la figura 1.30.

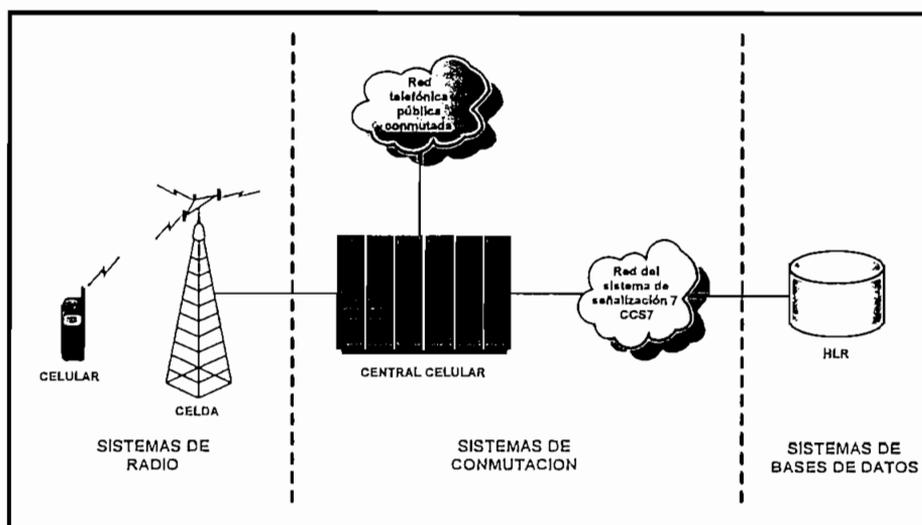


Fig. 1.30: Elementos de la red (19)

- **Ciclo de registraci3n**

Un ciclo de registraci3n autoriza al tel3fono para ser usado, y mantiene la pista de la ubicaci3n de los tel3fonos seg3n como vayan viajando alrededor de la red. El proceso es como sigue:

1. Cuando el móvil está encendido envía un mensaje de datos hacia la celda. El mensaje contiene el número de identificación personal (MIN) y el número serial electrónico (ESN). La celda envía esta información a la central celular, la cual será llamada "central servidora".
2. La central compara el MIN con una tabla que contiene todos los MIN's en la red. Determinará cual base de datos contiene el perfil del usuario. Esta base de datos es llamada HLR, la cual puede estar integrada en la misma central o en una plataforma separada.
3. La central envía el mensaje de datos al HLR a través de la red de señalización, notificando al HLR que un usuario ha requerido el servicio de la central.
4. Cuando el HLR recibe el mensaje, chequea el MIN y el ESN. Si los números son válidos, el HLR graba la ubicación del teléfono y retorna un mensaje que contiene el perfil del usuario. El perfil contiene información acerca del servicio y las características que tiene el usuario. La lista de servicio indicará si el usuario puede hacer o recibir llamadas, y la lista de características indicará si el usuario tiene traspaso de llamadas, llamada en espera, llamada tripartita y algunas otras características.
5. Cuando la central celular sirviente recibe el mensaje de retorno, crea un registro en el VLR para almacenar el perfil del usuario. Esta central se referirá a este VLR como el usuario que hace y recibe llamadas en la central.

Si el usuario viaja a otra central celular, este proceso se inicia nuevamente. Cuando el HLR recibe una notificación que el usuario se ha movido, envía un mensaje para cancelar el VLR en el último *switch* que ha visitado.

En la figura 1.31 se presenta un diagrama ilustrando del ciclo de registraci3n:

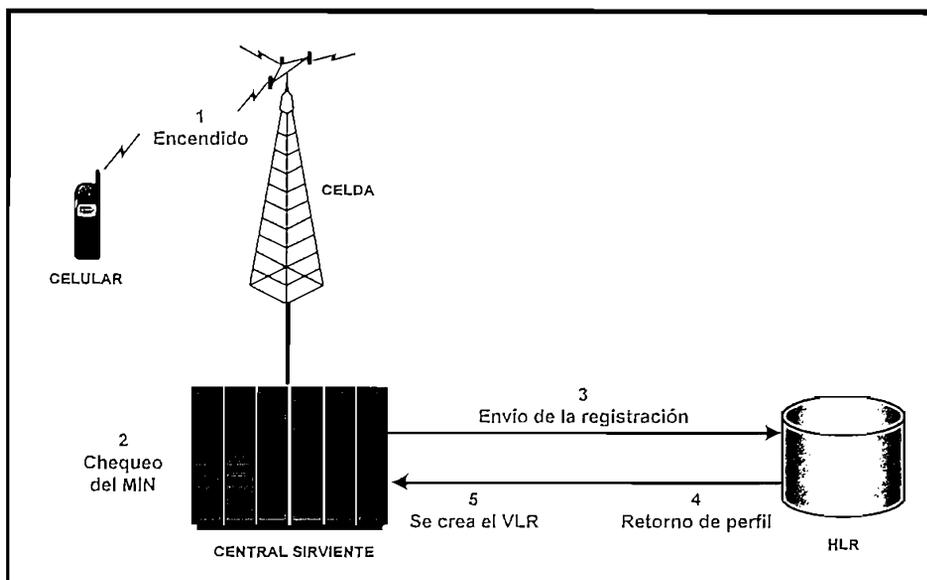


Fig. 1.31: Ciclo de Registración (19)

- **Originación de llamadas**

Una vez que el usuario se ha registrado apropiadamente en el sistema sirviente, pueden ubicar llamadas salientes a cualquier número que esté autorizado a marcar. Esto puede incluir números locales, números de larga distancia y números internacionales.

Muchos servicios inalámbricos proveen restricción de marcación de números internacionales para *roamers* visitantes. Para algunas llamadas salientes, la central puede revalidar al usuario con otro mensaje al HLR.

- **Entrega de llamadas**

La entrega de llamadas ocurre cuando alguien llama a un teléfono celular. El siguiente ejemplo asume que la persona es *roaming* en un sistema lejos de su sistema local y ha sido ya pasado a través del ciclo de registración (el HLR sabe donde el usuario es *roaming*).

El proceso es el siguiente:

1. Alguien llama de un teléfono convencional al número telefónico del teléfono celular.
2. La llamada es enrutada a la central local del usuario, y ésta envía una pregunta al HLR para determinar la ubicación del teléfono.
3. El HLR sabe la ubicación del teléfono y envía un mensaje de datos a través de la red de señalización al sistema visitado, requiriendo un número temporario para enrutar la llamada.
4. La central visitada asocia un número de directorio local temporario (TLDN) con el usuario, retornándolo al HLR. Este TLDN será un número local para la central sirviente; por ejemplo, si el usuario es *roaming* en Guayaquil, el TLDN será un número temporario de Guayaquil. El HLR envía el número de directorio local temporario a la central local, y la central local enruta la llamada a través de la red telefónica pública al número de directorio local temporario de la central sirviente.
5. Cuando la central visitada recibe una llamada a ese número de directorio local temporario, envía la llamada al teléfono.

El número de directorio local temporario es un número telefónico regular que es enrutable a la red pública. La central visitada usualmente asigna los números de directorio local temporario cuando recibe el requerimiento de enrutamiento desde el sistema local. Además, la central visitada utiliza un temporizador para determinar cuanto tiempo se mantiene el número de directorio local temporario asociado con ese usuario.

El proceso anterior se lo ilustra en la figura 1.32.

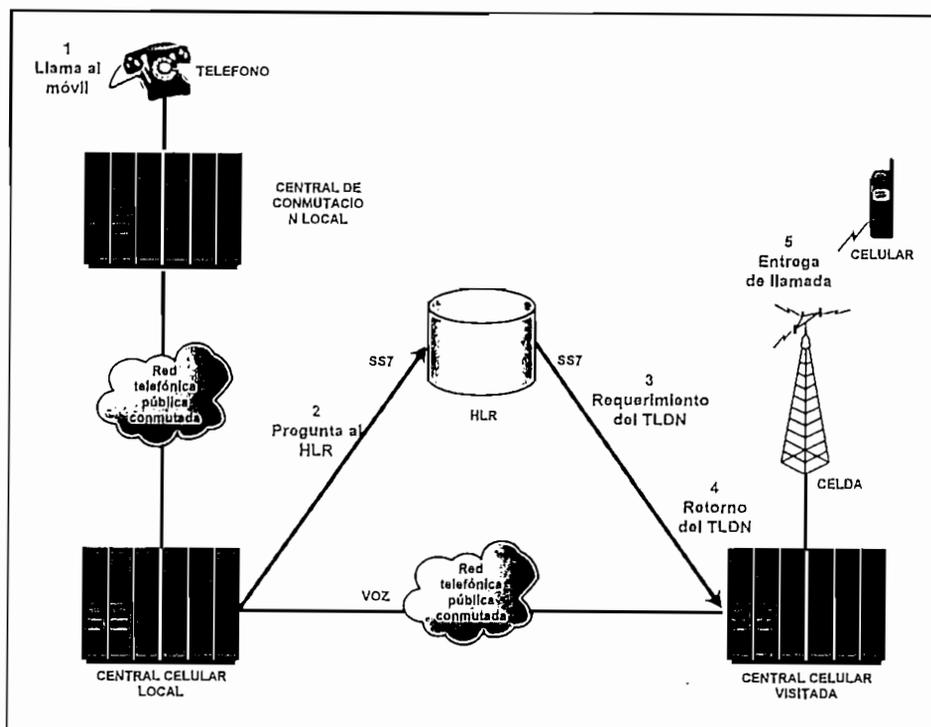


Fig. 1.32: Entrega de Llamadas (19)

1.5. SEÑALIZACION ENTRE CENTRALES

La señalización es el intercambio de información entre los componentes requeridos para controlar, enrutar, establecer y mantener una llamada.

La interconexión previa establecerá comunicación entre los dos equipos que compartían recursos, datos y señales de control a través de un enlace físico y lógico.

Se distinguen básicamente dos tipos de señalización cuando de un enlace troncal se trata:

- Señalización Multifrecuencial MFC-R2
- Señalización No 7 – SS7

- **Señalización Multifrecuencial MFC – R2**

Es un sistema de señalización por canal Asociado (CAS), lo que significa que para cada canal de voz va asociado una señalización y la información del estado del canal. Es decir, en CAS se dispone de 30 canales de datos más uno de señalización por cada enlace, tal como se muestra en la figura 1.33.

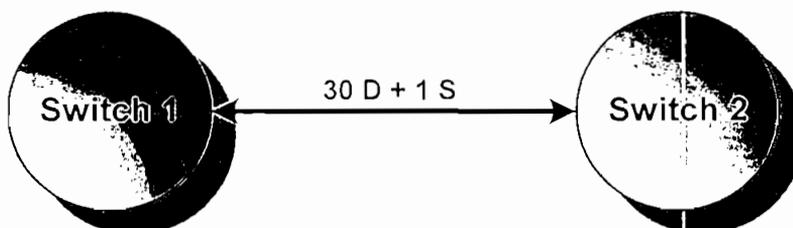


Fig. 1.33: Señalización CAS (20)

- **Señalización No 7 – SS7**

Es un sistema de señalización por Canal Común (CCS), que emplea un único canal dedicado en el intercambio de información de señalización para todos los canales de datos que se asocian al enlace establecido entre los dos sistemas principales. Esto se ilustra en la figura 1.34.

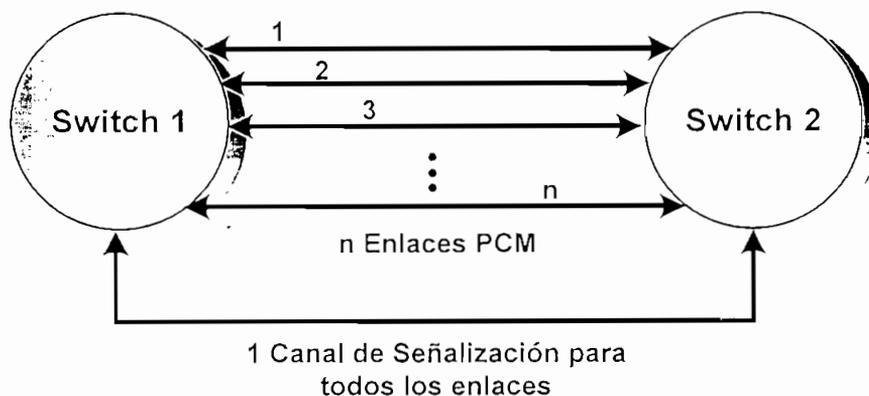


Fig. 1.34: Señalización SS7 (20)

1.5.1. SISTEMA DE SEÑALIZACIÓN R2

Es un sistema de señalización por canal asociado conocido también como compilado de multifrecuencia (MFC), donde tonos de solicitud son enviados en una dirección sobre una troncal y tonos de reconocimiento son recibidos desde el lugar de destino. Con la señalización R2 la información de señalización se transmite por el mismo par de cables que se utiliza para la voz, dónde de manera general para establecer una llamada se siguen los siguientes pasos:

- La central terminal detecta el descuelgue.
- Se envía el tono de discar.
- Se aceptan los números discados (tonos o pulsos).
- Se indica a los centros de conmutación cercanos y remotos que establezcan la llamada.
- Se da los tonos de repique o de ocupado.
- Se realiza la conexión del circuito cuando el abonado llamado responde.

El sistema de señalización R2 utiliza dos tipos de señales, necesarias para establecer las conexiones de llamada:

- Señalización de línea.
- Señalización de registro.

Esto se puede representar en el gráfico 1.35.

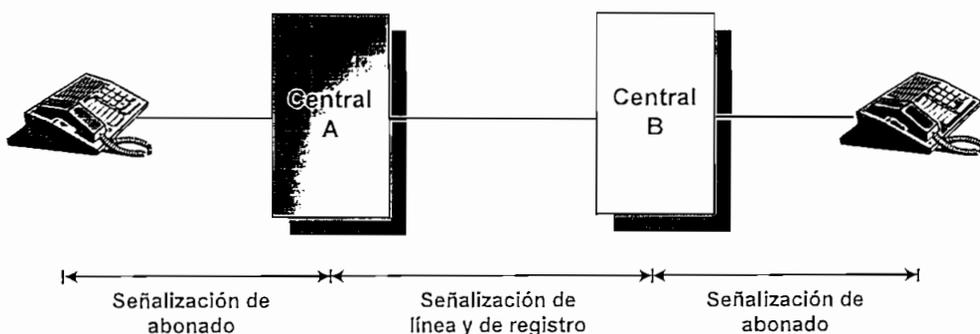


Fig. 1.35: Tipos de señalización (21)

1.5.1.1. SEÑALIZACION DE LINEA

Es el traspaso de información entre dos centrales para el establecimiento, uso y terminación de la llamada sobre una troncal. Las señales de línea son señales de supervisión.

El sistema R2 utiliza dos versiones para la señalización de línea:

- Versión analógica.
- Versión digital.

- ***Señalización de línea analógica***

La señalización de línea analógica está destinada a ser utilizada en circuitos de portadoras, como se conoce a los multiplexores analógicos (FDM – multiplexor por división de frecuencia), transmitiéndose enlace por enlace todas las señales de supervisión.

Para los servicios de onda portadora no es apropiada la señalización dentro de la banda del canal telefónico (300 a 3400 Hz), concibiéndose la señalización fuera de banda con la frecuencia 3825 Hz para Europa y 3700 Hz para los Estados Unidos. Debido a esto, la señal vocal y la señalización en sí viajan por la misma vía pero en distintas bandas, por ello no se interfieren y se puede efectuar el proceso de tarifa del tiempo de comunicación mediante señales hacia atrás.

El código utilizado para la transmisión de las señales de línea se fundamenta en el empleo del método por cambio de estado de bajo nivel. Cuando el circuito se encuentra en estado de reposo, se transmite permanentemente en ambos sentidos por los canales de señalización un tono de bajo nivel. Este tono se interrumpe en el sentido hacia delante en el momento de la toma, y en el sentido hacia atrás cuando el abonado llamado responde; produciéndose de esta manera los diferentes estados del circuito descritos en el cuadro 1.5.

La conexión se libera cuando se reanuda el tono hacia delante (abonado que llama cuelga), restableciéndose el tono en el sentido hacia atrás. La ausencia o presencia del tono caracteriza en una condición dada a la señalización de línea.

Estados del circuito	Condición de señalización de línea	
	Hacia adelante	Hacia atrás
Reposo (libre)	Tono presente	Tono presente
Toma	Tono ausente	Tono presente
Indisponible	Tono ausente	Tono presente
Respuesta	Tono ausente	Tono ausente
Abonado llamado cuelga	Tono ausente	Tono presente
Liberación	Tono presente	Tono presente o ausente
Bloqueo	Tono presente	Tono ausente

Cuadro 1.5: Estados del circuito para la señalización de línea analógica (22)

- **Señalización de línea digital**

Utiliza dos canales de señalización para transmitir la información de señalización, y también la supervisión del circuito. En el caso de los sistemas PCM a 2.048 Mbps la información de señalización de los 30 circuitos vocales se transmite en el intervalo de tiempo 16.

Los canales de señalización por circuito telefónico se denominan a_f y b_f en el sentido hacia adelante (establecimiento de la llamada) y a_b y b_b en el sentido hacia atrás (contestación de la llamada).

La aplicación más importante de la transmisión PCM, es utilizar de forma múltiple rutas de transmisión mediante procedimientos de multiplexado por división de tiempo (TDM), distinguiéndose básicamente dos formas de multiplexado:

- Multiplexado PCM, que combina PCM con TDM para formar una señal multiplexada de salida, a partir de varias señales de entrada analógicas.

- Multiplexado de señales digitales, que agrupa o segrega señales de entrada y salida de velocidades binarias bajas en señales binarias más elevadas.

La señal digital multiplexada forma una trama E1 con 32 intervalos temporales enumerados del 0 al 31 (ver gráfico 1.36), que se caracteriza principalmente por las funciones de los *slots* 0 y 16:

- El primer byte del E1 ó *slot* 0 es usado para la palabra de alineamiento de trama ó para la palabra de alarma.
- El intercambio de señalización en las direcciones hacia delante y hacia atrás se la realiza por medio de los bits **a b c d** del *slot* 16, los cuales indican el estado de una llamada telefónica.

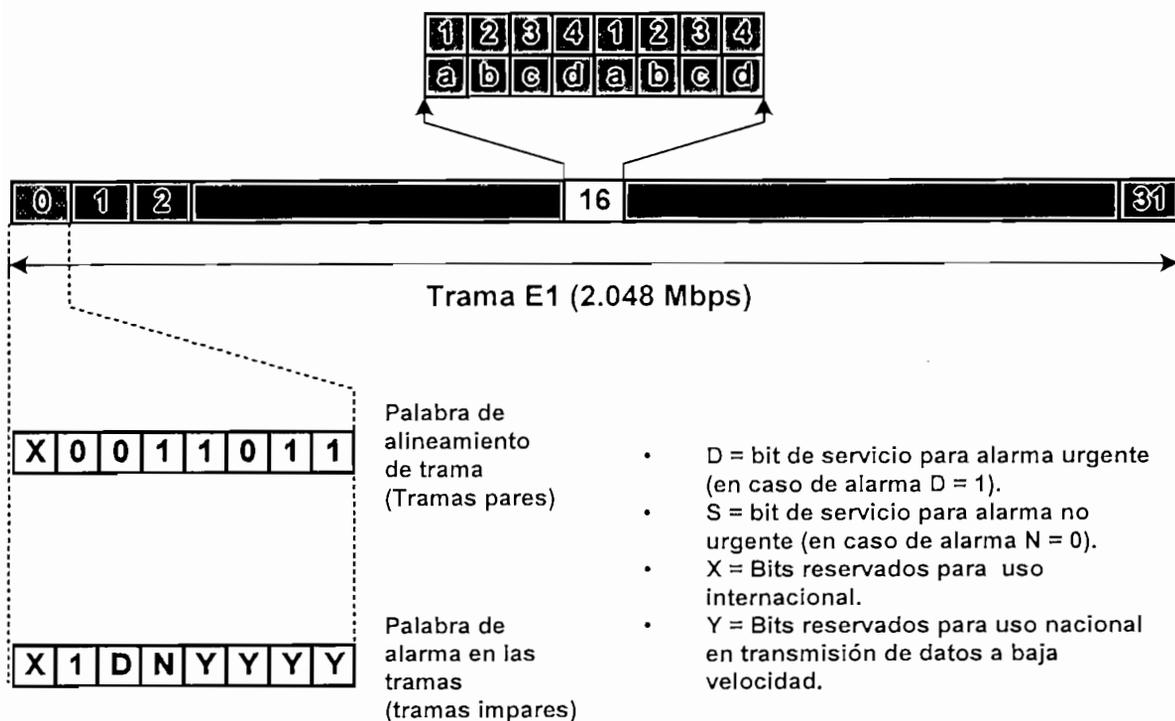


Fig. 1.36: Formato de la trama E1

A un canal telefónico se le asignan 4 bits del intervalo de tiempo 16, y por lo tanto por cada trama solamente se puede transmitir la información de la señalización de dos canales telefónicos. Por este motivo el intervalo de tiempo 16, está insertado o forma parte de una multitrama (16 tramas E1 numeradas del 0 al 15) que comprende los 16 intervalos de tiempo número 16 para señalizar los 30 canales de voz.

Los 4 primeros bits del *slot* 16 de la primera trama ó trama cero forman la palabra de alineación de multitrama, y los 4 siguientes bits la palabra de alarma de pérdida de sincronismo de multitrama, tal como se muestra en la figura 1.37.

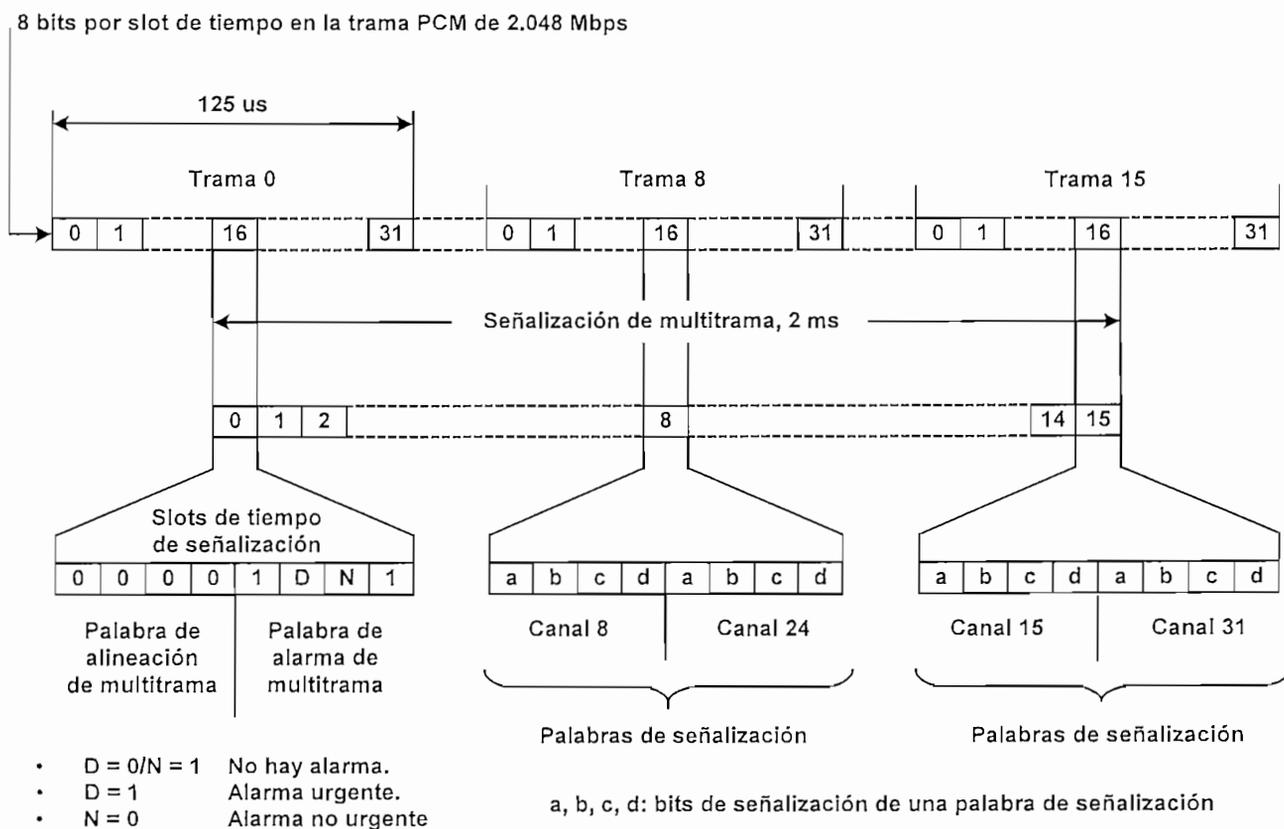


Fig. 1.37: Formato de la multitrama

La estructura de la señalización de multitrama es mostrada en el cuadro 1.6.

Número de Trama	Bits en el <i>slot</i> de tiempo del canal 16			
	a	b	c	d
0	0	0	0	0
1	Canal telefónico 1			
2	Canal telefónico 2			
3	Canal telefónico 3			
4	Canal telefónico 4			
5	Canal telefónico 5			
6	Canal telefónico 6			
7	Canal telefónico 7			
8	Canal telefónico 8			
9	Canal telefónico 9			
10	Canal telefónico 10			
11	Canal telefónico 11			
12	Canal telefónico 12			
13	Canal telefónico 13			
14	Canal telefónico 14			
15	Canal telefónico 15			

Cuadro 1.6: Bits del slot de tiempo 16 de una multitrama para CAS (23)

Los eventos tales como levantar o colgar el auricular, son señalizados con los bits *a b c d* del canal 16 (CAS), por lo que en el cuadro 1.7 se puede observar los diferentes estados del circuito.

Estado del circuito	Código de señalización			
	Hacia adelante		Hacia atrás	
	a _f	b _f	a _b	b _b
Libre (IDL)	1	0	1	0
Toma (SZG)	0	0	1	0
Confirmación de toma (SZA)	0	0	1	1
Contestación (ANS)	0	0	0	1
Abonado llamado cuelga (CLB)	0	0	1	1
Abonado llamante cuelga (CLF)	1	0	0/1	1
Liberación/Reposo (REL)	1	0	1	0
Bloqueo (BLO)	1	0	1	1

Cuadro 1.7: Señalización de línea digital R2 (24)

De manera global los bits *c* y *d* tienen asignados los valores 0 y 1 para que la palabra 0000 no sea simulada en ningún caso por los datos de señalización..

En condiciones normales se tiene lo siguiente:

- El canal a_f identifica la condición de funcionamiento del equipo de conmutación de salida y refleja la condición de la línea del abonado que llama.
- El canal b_f sirve para indicar la existencia de una avería en el sentido hacia adelante al equipo de conmutación de llegada.
- El canal a_b indica la condición de la línea del abonado llamado (gancho conmutador colgado o descolgado).
- El canal b_b indica si el equipo de conmutación de llegada se halla en el estado de reposo o de conmutación.

Para aclarar de mejor manera estos conceptos, en el cuadro 1.8 se presenta un pequeño esquema con la secuencia de una llamada:

Señal	Sentido
Libre	←→
Toma	→
Confirmación de toma	←
Contestación	←
Abonado llamado cuelga	←
Desconexión	→
Retorno libre	←

Cuadro 1.8: Secuencia de una Llamada

1.5.1.2. SEÑALIZACION DE REGISTRO

A la señalización de registro se la conoce como compelida ya que presenta una secuencia obligada de registros, que ocurre entre un registro hacia delante y un registro hacia atrás en los extremos opuestos de un enlace entre las respectivas centrales.

Básicamente la diferencia entre la señalización de línea y la de registro es la siguiente: la señalización de línea controla el uso de la troncal, y la señalización de registro pasa la información acerca de la llamada a lo largo de la troncal.

Cada señal entre registradores se materializa mediante el uso de combinaciones multifrecuencia, transmitiéndose simultáneamente dos frecuencias seleccionadas entre seis posibles que están dentro de la banda de voz. La señalización de registro se completa cuando la central de destino ha recibido toda la información requerida para enrutar la llamada, y la central originante ha sido informada por medio de una señal hacia atrás, para conectar el PCM. Si la central de destino no puede completar la llamada, una señal hacia atrás puede ser enviada para indicar la razón por la que la llamada no pudo ser completada, y finalizar la señalización de registro.

En general, la siguiente información es enviada en las señales de registro:

- Direccionamiento (Número de abonado A y B)
- Tipo de abonado (operadora normal, etc.)
- Estado de abonado (libre, ocupado, etc.)

Las señales de dirección enviadas entre las centrales están segregadas en dos grupos por cada sentido de transmisión, los cuales son:

- **Grupos I y II:** Llevan las señales hacia delante y utilizan combinaciones de un par de frecuencias en la banda de 1380 Hz a 1980 Hz.
- **Grupos A y B:** Son los acuses de recibo de los grupos I y II, y llevan las señales hacia atrás mediante combinaciones de un par de frecuencias en la banda de 540 Hz a 1140 Hz.

Las frecuencias asignadas a los grupos son representadas en el cuadro 1.9.

RANGOS DE FRECUENCIA				
SEÑAL	Grupos I y II Señales hacia adelante		Grupos A y B Señales hacia atrás	
	Frecuencia baja (Hz)	Frecuencia alta (Hz)	Frecuencia baja (Hz)	Frecuencia alta (Hz)
1	1380	1500	1020	1140
2	1380	1620	900	1140
3	1500	1620	900	1020
4	1380	1740	780	1140
5	1500	1740	780	1020
6	1620	1740	780	900
7	1380	1860	660	1140
8	1500	1860	660	1020
9	1620	1860	660	900
10	1740	1860	660	780
11	1380	1980	540	1140
12	1500	1980	540	1020
13	1620	1980	540	900
14	1740	1980	540	780
15	1860	1980	540	660

Cuadro 1.9: Combinaciones multifrecuencia (26)

El ciclo compellido toma lugar de la siguiente manera:

- Después de tomar el enlace saliente, el registro hacia delante envía la primera señal, mediante un tono multifrecuencial hacia delante.
- El registro hacia atrás en el próximo intercambio detecta la señal hacia delante, determina su significado y envía una señal hacia atrás que actúa como un acuse de recibo de la señal hacia delante. La señal hacia atrás puede también enviar información adicional.
- El registro hacia adelante detecta la presencia de la señal hacia atrás, determina su significado, y responde removiendo la señal hacia delante (desconecta el tono multifrecuencia).

- El registro hacia atrás detecta la extracción de la señal hacia delante y, en respuesta, remueve su señal hacia atrás (desconecta el tono multifrecuencia hacia atrás).
- El registro hacia delante detecta la ausencia de la señal hacia atrás y puede ahora enviar la próxima señal hacia delante.

Los grupos I, II, A y B del cuadro 1.9 tienen su propio significado según la combinación de frecuencias que posean:

- En las combinaciones hacia delante se tiene lo siguiente:

Comb	Des.	Grupo I	Des.	Grupo II
1	I-1	Dígito 1	II-1	Abonado común
2	I-2	Dígito 2	II-2	Abonado con tasación inmediata
3	I-3	Dígito 3	II-3	Equipo de mantenimiento
4	I-4	Dígito 4	II-4	Telefonía pública local
5	I-5	Dígito 5	II-5	Operadora
6	I-6	Dígito 6	II-6	Equipo de comunicación de datos
7	I-7	Dígito 7	II-7	Telefonía pública de larga distancia
8	I-8	Dígito 8	II-8	Reservado internacional
9	I-9	Dígito 9	II-9	Reservado internacional
10	I-10	Dígito 0	II-10	Reservado internacional
11	I-11	Requerido cancelación de eco	II-11	Reservado nacional
12	I-12	Solicitud de dígitos no aceptada	II-12	Reservado nacional
13	I-13	Reservado	II-13	Reservado nacional
14	I-14	Inserción de cancelación de eco	II-14	Reservado nacional
15	I-15	Fin de dígitos	II-15	Reservado nacional

Cuadro 1.10: Grupos de señales hacia delante (27)

- En las combinaciones hacia atrás se tiene lo siguiente:

Comb.	Des.	Grupo A	Des.	Grupo B
1	A-1	Enviar próximo dígito grupo I	B-1	Reservado para uso nacional
2	A-2	Enviar primer dígito grupo I	B-2	Parte llamada está ocupada
3	A-3	Dirección completa, paso a la recepción de señales grupo B	B-3	Línea del usuario con número cambiado
4	A-4	Congestión	B-4	Congestión
5	A-5	Enviar categoría llamante	B-5	Libre sin tasación
6	A-6	Reservado	B-6	Libre con tasación al contestar
7	A-7	Enviar dígito n-2	B-7	Número vacante
8	A-8	Enviar dígito n-3	B-8	Abonado fuera de servicio
9	A-9	Enviar dígito n-1	B-9	Reservado nacional
10	A-10	Reservado nacional	B-10	Reservado nacional
11	A-11	Reservado internacional	B-11	Reservado internacional
12	A-12	Reservado internacional	B-12	Reservado internacional
13	A-13	Reservado internacional	B-13	Reservado internacional
14	A-14	Reservado internacional	B-14	Reservado internacional
15	A-15	Reservado internacional	B-15	Reservado internacional

Cuadro 1.11: Grupos de señales hacia atrás (28)

En la figura 1.38 se presenta un ejemplo de una secuencia de llamada.

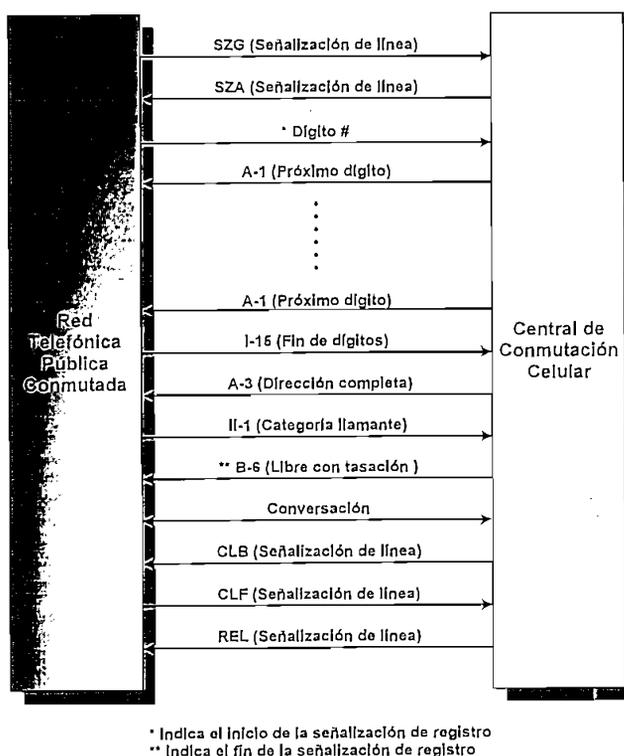


Fig. 1.38: Establecimiento de una llamada R2

1.5.2. SISTEMA DE SEÑALIZACION N°7 – SS7

El sistema de señalización N° 7 es un sistema de señalización por canal común. Es decir, utiliza un canal de señalización común para todos los circuitos, en vez de tener señalización asociada a cada canal de tráfico. La señalización por canal común puede usar facilidades analógicas (CCITT #6) o digitales (CCITT #7). En el primer caso la señalización se transfiere mediante el uso de módems a 4800 bps (típico), para enviar los datos codificados. Si se usan las facilidades digitales no se requiere de módems y la tasa de datos puede ser de 56 o 64 Kbps. (28)

La señalización consiste en uno o más enlaces de señalización, que pueden utilizar diferentes rutas para tener mayor flexibilidad y seguridad. Típicamente, un enlace de señalización sencillo puede manejar varios cientos de circuitos. La señalización ocurre fuera de banda sobre canales dedicados, que comparado con la señalización en banda usando tonos de señalización multifrecuencia, provee de las siguientes ventajas:

- Tiempo de seteo de las llamadas más rápido.
- Mayor eficiencia de uso de los circuitos de voz.
- Soporte para servicio de redes inteligentes.
- Mejor control sobre el uso fraudulento de la red.

1.5.2.1. PUNTOS DE SEÑALIZACION

Cada punto de señalización en la red SS7 es únicamente identificada por un código de punto numérico. Los códigos de punto son llevados en los mensajes de señalización intercambiados entre los puntos de señalización para identificar la fuente y destino de cada mensaje. Cada punto de señalización usa ruteos para seleccionar el camino de señalización apropiado para cada mensaje.

Hay tres tipos de puntos de señalización en la red SS7 (ver figura 1.39):

- SSP (Punto de conmutación de servicio)
- STP (Punto de transferencia de señal)
- SCP (Punto de control de servicio)

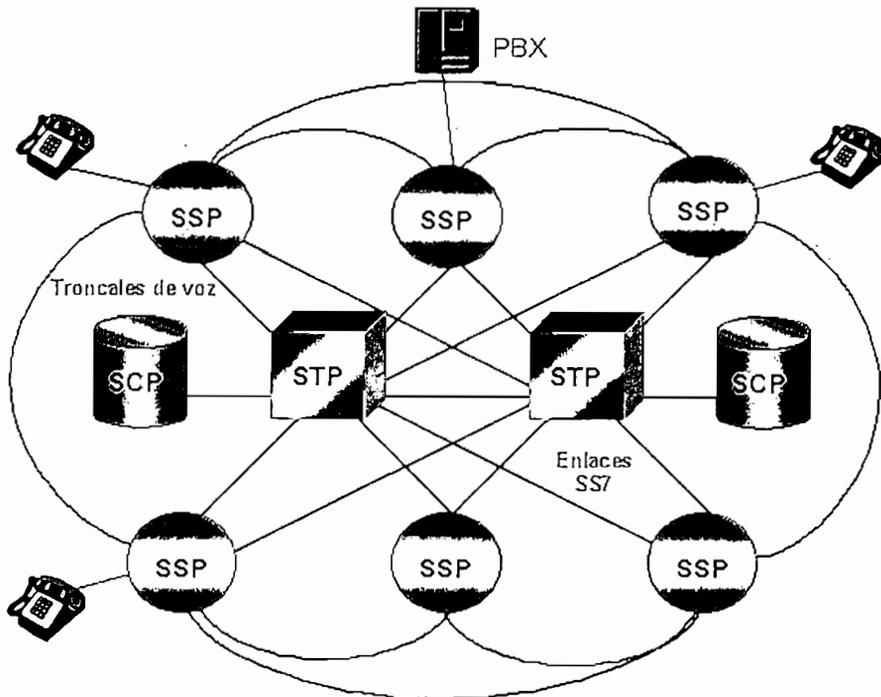


Fig. 1.39: Puntos de señalización SS7 (29)

Los SSP's son centrales telefónicas finales o tándem que originan, terminan o pasan las llamadas. Un SSP envía mensajes de señalización a otros SSP's para setear, manejar y liberar circuitos de voz requeridos para completar una llamada. También pueden enviar un mensaje de interrogación a un SCP, que son bases de datos que proveen de la información necesaria acerca de capacidades avanzadas que sirven para determinar como enrutar una llamada (por ejemplo, las llamadas 1-800). Un SCP envía una respuesta al SSP originante conteniendo el número(s) de enrutamiento asociado con el número marcado. Un número de enrutamiento alternativo puede ser usado por el SSP si el número primario está ocupado o la llamada no es contestada dentro de un tiempo específico.

Los STP's son los conmutadores de paquetes de la red SS7, recibiendo y enrutando los mensajes de señalización entrantes hacia los destinos apropiados.

También pueden actuar como un muro de fuego para proteger los mensajes SS7 intercambiados con otras redes.

Debido a lo delicado que puede resultar una red con sistema de señalización SS7, el tráfico es compartido a través de todos los enlaces en el conjunto de enlaces. Si uno de los enlaces falla, el tráfico de señalización es enrutado sobre otro enlace. Número 7 provee corrección de errores y capacidad de retransmisión para permitir que el servicio continúe en el caso de que puntos de señalización o enlaces fallen.

1.5.2.2. TIPOS DE ENLACES DE SEÑALIZACION SS7

Los enlaces de señalización son organizados lógicamente por tipo de enlace (desde el A hasta el F) de acuerdo a sus usos en la red SS7, los cuales están representados en la figura 1.40.

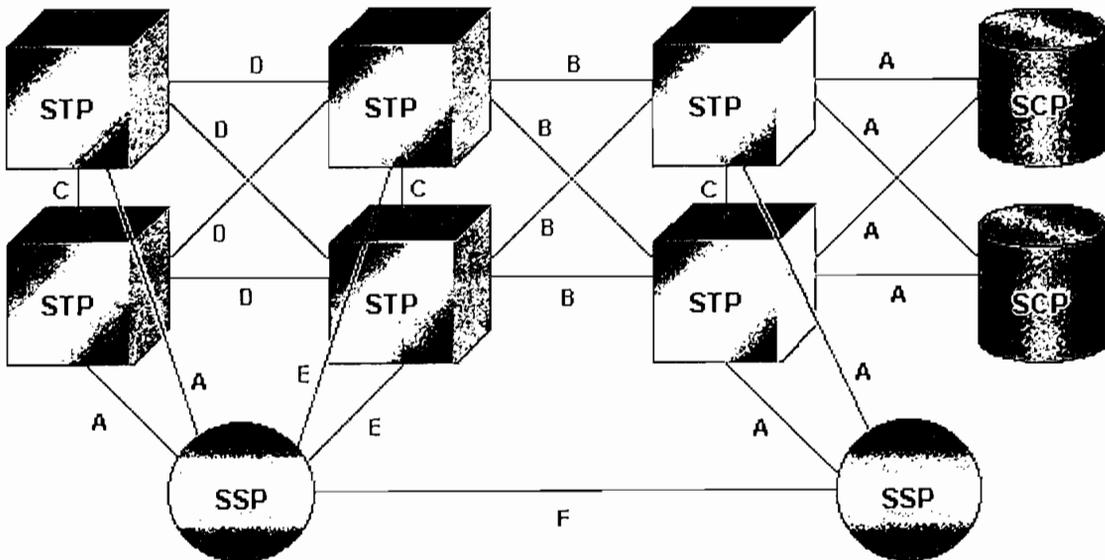


Fig. 1.40: Tipos de enlaces de señalización SS7 (30)

Las funciones específicas de los enlaces y los tipos de nodos con los cuales ellos interactúan son descritos a continuación:

- ***Enlaces A***

Llamados enlaces de acceso, conectan un punto final de señalización (un SCP o SSP) a un STP. Estos enlaces llevan el tráfico primario de la red SS7, y solamente los mensajes que se originan de o se destinan a puntos finales de señalización son transmitidos por un enlace A.

- ***Enlaces B***

Llamados enlaces puente, conectan pares acoplados de STP's a otros pares acoplados de STP's del mismo nivel jerárquico (por ejemplo, los STPS's de una red a los STP's de otra red). La distinción entre un enlace B y un enlace D es bastante arbitraria, por esta razón, tales enlaces pueden ser referidos como enlaces B/D.

- ***Enlaces C***

Llamados enlaces de cruce, conectan STP's a realizando funciones idénticas dentro de un par acoplado. Un enlace C es usado solamente cuando un STP no tiene otra ruta disponible a un punto final de destino debido a falla(s) del enlace, por lo que mejoran la seguridad de la señalización de la red.

- ***Enlaces D***

Llamados enlaces diagonal, interconectan STP's de diferentes niveles jerárquicos los cuales son puntos de transferencia de señalización primarios y secundarios (por ejemplo, STP regional a STP local).

- ***Enlaces E***

Llamados enlaces extendidos, conectan un SSP a un STP alternativo. Los enlaces E proveen un respaldo de conectividad a la red SS7 en el caso de

que los STP's propios del SSP no puedan ser alcanzados por medio de los enlaces A.

- **Enlaces F**

Llamados enlaces completamente asociados, conectan dos puntos finales de señalización (SSP's).

El cuadro 1.12 resume las características de los enlaces:

Enlaces SS7	
Enlace A	STP-SSP misma red STP-SCP misma red
Enlace B	STP-STP mismo nivel jerárquico
Enlace C	STP-STP pares acoplados
Enlace D	STP-STP diferente nivel jerárquico
Enlace E	STP-SSP diferentes redes / STP STP-SCP diferentes redes / STP
Enlace F	SSP-SSP misma red

Cuadro 1.12: Enlaces SS7 (31)

De manera general, los seis tipos de enlaces pueden agruparse en tres categorías o modos de señalización:

- **Modo asociado:** Enlace fijo sin posibilidad de otra ruta, están entre las centrales locales (entre SSP's) que se entienden con una de tránsito (enlace F).
- **Modo no asociado:** Los mensajes no pasan de manera directa entre origen y destino, sino que pasan a través de varios puntos de señalización.
- **Modo cuasi asociado:** Es un caso limitado del modo no asociado de señalización. La diferencia está en que la trayectoria tomada por un mensaje a través de la red está predeterminada.

1.5.2.3. ARQUITECTURA DEL PROTOCOLO SS7

La arquitectura del sistema de señalización SS7 se basa en el modelo de capas de la estructura OSI (Interconexión de Sistemas Abiertos) de la ISO (Organización de Estándares Internacionales).

SS7 consta de diferentes partes diseñadas para proveer diferentes servicios dentro de la red. Las partes principales se muestran en la figura 1.41.

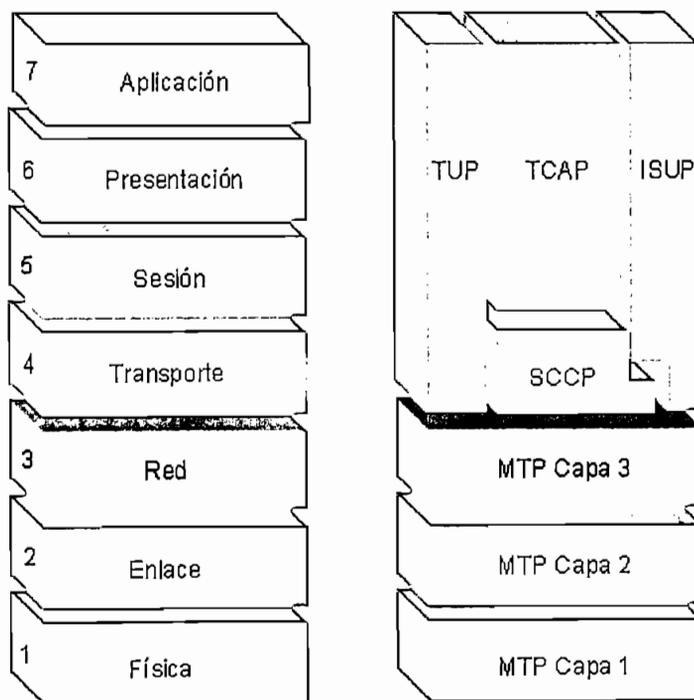


Fig. 1.41: Arquitectura del SS7 (32)

1. Parte de Transferencia de Mensaje (MTP)

Las funciones del MTP están separadas en tres niveles funcionales. Su propósito es transferir mensajes de forma segura a favor de las partes de usuario a lo largo de la red SS7, manteniendo el servicio a pesar de posibles fallas en la red.

- **MTP nivel 1**

Es el nivel del enlace de datos de señalización, y es equivalente a la capa física del modelo OSI. Define las características físicas, eléctricas y funcionales del enlace de señalización digital. Las interfaces físicas definidas incluyen E1 (2.408 Mbps), DS-1 (1.544 Mbps), V.35 (64 Kbps), DS-0 (64 Kbps) y DS-0A (56 Kbps).

- **MTP nivel 2**

Es el nivel del enlace de señalización o control de enlace, y asegura la transmisión exacta punto a punto de un mensaje a través de un enlace de señalización. Las funciones del nivel 2, junto con el nivel 1 como portador, proveen un enlace de señalización para una transferencia confiable de mensajes SS7 entre dos puntos. Cuando un error ocurre en un enlace de señalización, el mensaje (o conjunto de mensajes) es retransmitido. El MTP nivel 2 es equivalente a la capa enlace de datos del modelo OSI.

Un mensaje SS7 es llamado unidad de señal (SU). Hay tres tipos de unidades de señales: unidad de señal de relleno (FISU – *Fill In Signal Unit*), unidad de señal del estatus del mensaje (LSSU – *Link Status Signal Unit*) y unidad de señal del mensaje (MSU – *Message Signal Unit*).

- a) **FISU (*Fill In Signal Unit*)**

Las unidades de señal de relleno son transmitidas sobre un enlace de señalización en ambas direcciones a menos que otra unidad de señal (MSU o LSSU) esté presente.

Monitorean el desempeño del enlace, ya que debido a que el CRC (chequeo de redundancia cíclica) es calculado por cada FISU, la calidad del enlace de señalización es chequeada de manera continua por los puntos finales del enlace.

Básicamente los FISU's llevan solo información de nivel 2, y son utilizados para mantener la conexión del enlace de señalización en ausencia de tráfico real. El formato de este mensaje es el siguiente:

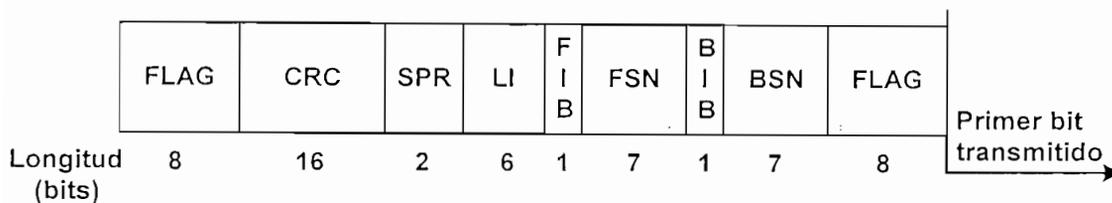


Fig. 1.42: Formato del mensaje FISU

Los campos del mensaje FISU significan lo siguiente:

- **FLAG:** Bandera que limita el mensaje (01111110).
- **CRC:** 16 bits de chequeo que se utilizan para determinar si los mensajes han sido recibidos correctamente.
- **LI:** (*Length Indicator*), el valor de este campo determina el tipo de unidad de señal, e indica la cantidad de octetos los cuales siguen al LI y preceden al CRC.
- **BSN:** (*Backward Sequence Number*), indica la secuencia de mensajes transmitidos hacia atrás, ya que es usado como un acuse de recibo de la unidad de señal por el punto de señalización remoto.
- **BIB:** (*Backward Indicator Bit*), solicita repetición de mensaje ya que indica que hubo un acuse de recibo negativo.
- **FSN:** (*Forward Sequence Number*), indica la secuencia de los mensajes transmitidos hacia delante.

- **FIB:** (Forward Indicator Bit), es usado en la recuperación de errores como el BIB.
- **SPR:** Bits de reserva para futuras aplicaciones.

De esta descripción se puede notar que los campos BSN/BIB y FSN/FIB son usados para confirmar el recibo de las unidades de señal (SU's) y asegurar que ellos son recibidos en el orden en el cual ellos fueron transmitidos.

b) LSSU (*Link Status Signal Unit*)

Las unidades de señal del estatus del enlace llevan la información del enlace entre los puntos de señalización a ambos extremos del enlace. Indican la ocurrencia de situaciones de emergencia de los enlaces y los procedimientos de alineación y reconfiguración. El formato de este mensaje es el siguiente:

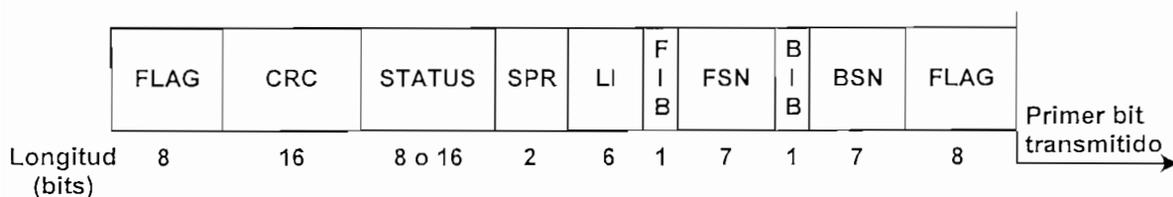


Fig. 1.43: Formato del mensaje LSSU

Debido a que estos mensajes son enviados solamente entre los puntos finales del enlace de señalización, los LSSU's no requieren cualquier información de direccionamiento.

c) MSU (*Message Signal Unit*)

Las unidades de señal de mensajes llevan toda la señalización asociada con el control de la llamada y la administración de la red. Todos los MSU's

tienen ciertos campos en común, pero otros difieren de acuerdo al tipo de mensaje, diferenciados por el octeto de información de servicio (SIO). El direccionamiento y la información del MSU están contenidas en el campo de información de señalización (SIF). El mensaje MSU es indicado a continuación:

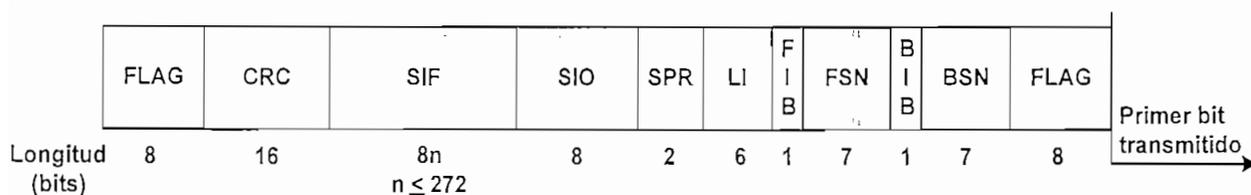


Fig. 1.44: Mensaje MSU

El campo SIO contiene tres tipos de información:

- 4 bits usados para indicar el tipo de información contenida en el campo SIF, referida como el indicador de servicio. Los valores más usados son mostrados en el cuadro 1.13.

Valor	Función
0	Administración de la red de señalización (SNM)
1	Pruebas y mantenimiento de la red de señalización
3	Parte de control de la conexión de señalización (SCCP)
4	Parte de usuario de telefonía (TUP)
5	Parte de usuario de RDSI (ISUP)

Cuadro 1.13: Indicadores de servicio (33)

- 2 bits para indicar si el mensaje es destinado para uso en redes nacionales o internacionales.
- Los 2 bits restantes son usados para identificar una prioridad en un mensaje, de 0 a 3, empezando con 3 la prioridad más alta. La prioridad del mensaje es considerada solamente bajo condiciones de

congestión, no se controla el orden en el cual los mensajes son transmitidos. Mensajes de baja prioridad pueden ser descartados durante períodos de congestión. Los mensajes de prueba del enlace de señalización reciben una prioridad más alta que los mensajes de seteo de llamada.

El campo SIF en un MSU contiene la etiqueta de enrutamiento y la información de la señalización (mensajes de datos SCCP, TCAP e ISUP). Los LSSU's y los FISU's no contienen ni etiqueta de enrutamiento ni un SIO ya que ellos son enviados entre dos puntos de señalización conectados directamente.

- ***Flujo de mensajes***

El flujo de mensajes de capa 2 se da de la siguiente manera, cuando una unidad de señal está lista para la transmisión, el punto de señalización incrementa el FSN por 1 (FSN = 0 ... 127). El valor del CRC es calculado y añadido al mensaje hacia delante. Al recibir el mensaje, el punto de señalización remoto chequea el CRC y copia el valor del FSN dentro del BSN del próximo mensaje disponible programado para el retorno de transmisión del punto de señalización de inicio. Si el CRC es correcto, el mensaje de retorno es transmitido. Si el CRC es incorrecto, el punto de señalización remoto indica un acuse de recibo negativo accionando el BIB previo el envío del mensaje de retorno. Cuando el punto de señalización originante recibe el acuse de recibo negativo, retransmite todos los mensajes hacia delante, comenzando con el mensaje corrupto, con el FIB accionado.

En la figura 1.45 se presenta un ejemplo que contiene una transferencia de mensajes MTP nivel 2.

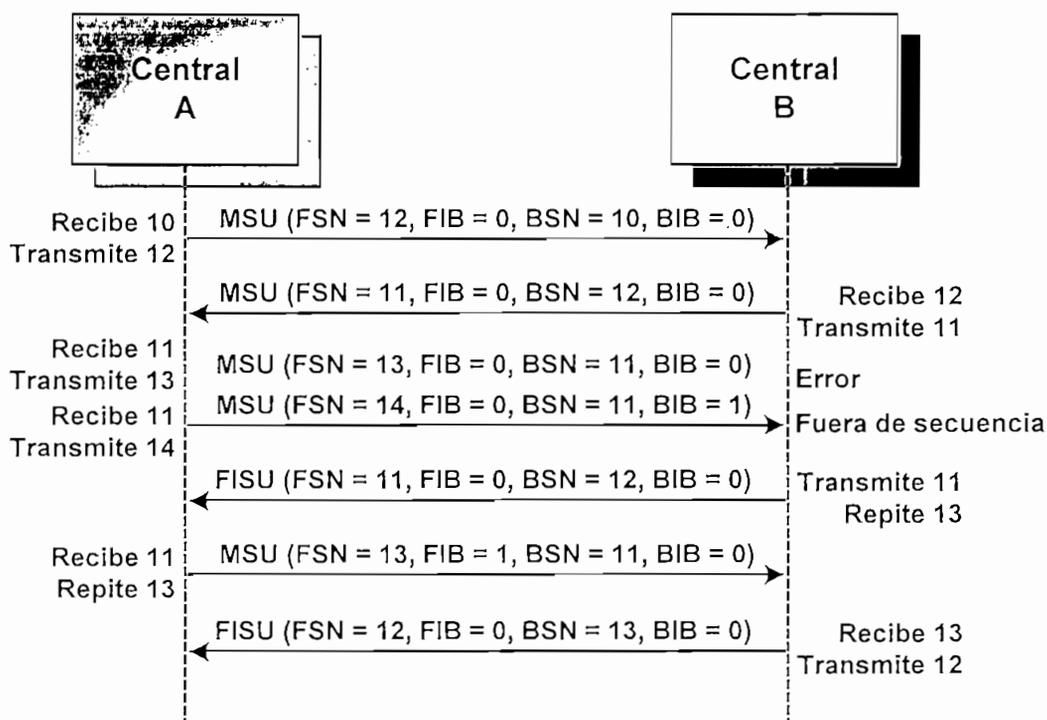


Fig.1.45: Transferencia de mensajes MTP capa 2

- **MTP nivel 3**

Es la capa de red de señalización y provee el enrutamiento de mensajes entre los puntos de señalización en la red SS7. Esta capa es equivalente en funciones a la capa red del modelo OSI.

La MTP nivel 3 enruta los mensajes basados en la etiqueta de enrutamiento en el campo SIF del MSU. La etiqueta de enrutamiento identifica el originador del mensaje, la destinación prevista del mensaje, y un campo referido a la selección del enlace de señalización el cual es usado para distribuir el tráfico de mensajes sobre el conjunto de posibles enlaces y rutas.

El cuadro 1.14 muestra la distribución de los octetos de la etiqueta de enrutamiento.

Grupo	Función	Nº de octetos
Código de punto de destino (DPC)	Contiene la dirección del nodo al cual el mensaje está siendo enviado.	2 (14 bits)
Código del punto de origen (OPC)	Contiene la dirección del originador del mensaje.	3 (14 bits)
Selección del enlace de señalización (SLS)	Distribuye la carga entre las rutas redundantes.	1 (4 bits)

Cuadro 1.14: Etiqueta de enrutamiento (33)

Los códigos de puntos son direcciones numéricas las cuales únicamente identifican cada punto de señalización en la red SS7. Cuando el DPC en un mensaje indica el recibimiento del punto de señalización, el mensaje es distribuido a la parte de usuario apropiada (por ejemplo, ISUP o SCCP) especificado por el indicador de servicio en el SIO. La selección del enlace saliente está basada en la información en el DPC y el SLS.

El SLS es usado para lo siguiente:

- Asegurar la secuencia del mensaje. Dos mensajes cualquiera enviados con el mismo SLS siempre arribarán al destino en el mismo orden en el cual ellos fueron enviados originalmente.
- Permitir igual carga en la compartición de tráfico a través de todos los enlaces disponibles.

2. Parte de Usuario de Telefonía (TUP)

En algunas partes del mundo, la parte de usuario de telefonía soporta los servicios convencionales del procesamiento básico de las llamadas. TUP típicamente maneja circuitos analógicos, pero en muchos países la parte de usuario de ISDN ha reemplazado a TUP para la administración de las llamadas.

3. Parte de Usuario de ISDN (ISUP)

La parte de usuario de ISDN define el protocolo y las funciones de señalización requeridas para setear, administrar y liberar circuitos troncales que llevan voz y datos sobre la red telefónica pública conmutada y demás. ISUP es usada para tramitar llamadas ISDN y no ISDN, por lo que ciertamente puede ser vista como una evolución de TUP, que deberá eventualmente reemplazarla en las redes donde aún se dé servicio telefónico mediante las funciones de señalización de control de llamada bajo TUP.

El nivel ISUP tiene un interfaz con la parte de control de conexión de la señalización (SCCP), para permitir que ISUP utilice SCCP para señalización de extremo a extremo.

La información de ISUP es llevada en el campo de información de señalización de un MSU. El campo de información de señalización contiene la etiqueta de enrutamiento seguido de un código de identificación de circuito (CIC), el cual indica el circuito troncal reservado por la central originante para llevar la llamada. El CIC es seguido del campo tipo de mensaje, que define el contenido de lo que resta el mensaje ISUP.

En ISUP se disponen de una serie de mensajes que fluyen entre centrales cuando del establecimiento de una llamada se trata bajo un escenario en particular, pero a continuación se va a describir la secuencia básica de mensajes que se presentan durante el proceso normal de tramitación de una llamada:

- ***Mensaje de dirección inicial (IAM)***

Un mensaje de dirección inicial (IAM) es enviado en la dirección hacia delante por cada central involucrada para completar el circuito entre la entidad llamante y la entidad llamada hasta conectar el circuito a la central de destino.

Un IAM contiene el número de la entidad llamada y puede contener el nombre y el número de la entidad llamante.

- ***Mensaje completo de dirección (ACM)***

Un mensaje completo de dirección (ACM) es enviado en la dirección de retorno para indicar que el remoto final de un circuito troncal ha sido reservado. La central originante responde a un mensaje ACM conectando la línea de la entidad llamante a la troncal para completar el circuito de voz desde la entidad llamante a la entidad llamada. La central originante envía también un tono de timbrado a la línea de la entidad llamante.

- ***Mensaje de respuesta (ANM)***

Cuando una entidad llamada contesta, la central de destino termina el tono de timbrado y envía un mensaje de respuesta (ANM) a la central originante. La central originante inicia la facturación después de verificar que la línea de la entidad llamante está conectada a la troncal reservada.

- ***Mensaje de liberación (REL)***

Un mensaje de liberación (REL) es enviado en cualquier dirección indicando que el circuito ha sido liberado debido a un indicador de causa especificado. Un REL es enviado por la entidad llamante o la entidad llamada cuelga la llamada. También es enviado en la dirección si la línea de la entidad llamada está ocupada.

- ***Mensaje de liberación completa (RLC)***

Un mensaje de liberación completa (RLC) es enviado en la dirección opuesta del mensaje de liberación (REL) como acuse de recibo de la liberación del remoto final de un circuito troncal, indicando además el fin del ciclo de facturación correspondiente.

Para aclarar de mejor manera la tramitación básica de llamadas ISUP, en el gráfico 1.46 se ejemplifica la secuencia de mensajes anteriormente descritos.

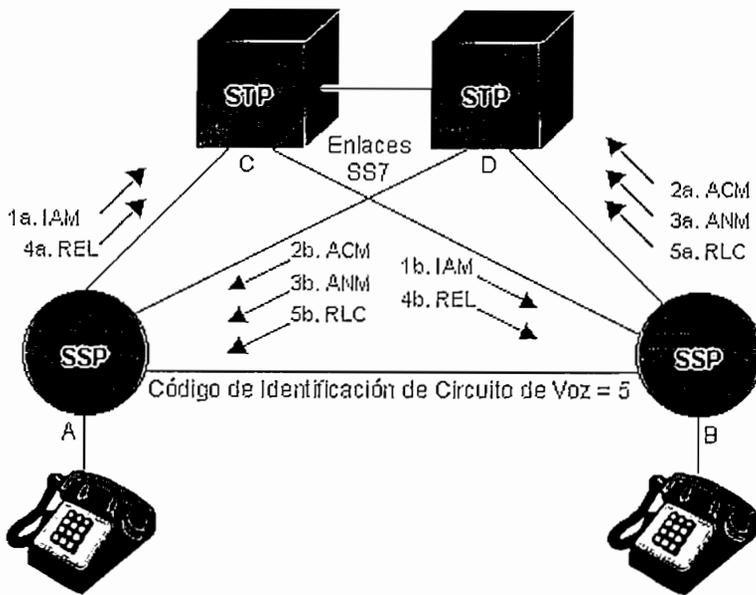


Fig. 1.46: Realización de una llamada SS7 (29)

- La central A analiza los dígitos marcados y determina si es necesario enviar la llamada a la central B.
- El SSP originante transmite un mensaje de dirección inicial ISUP (IAM) para reservar un circuito troncal libre desde la central A y la central B (1a). El IAM incluye el OPC, DPC, CIC (igual a 5 para este ejemplo), los dígitos marcados, y opcionalmente el nombre y los números de la entidad llamante.
- La central A elige uno de sus enlaces (AC) y transmite el mensaje a su STP local, éste recibe el mensaje IAM e inspecciona su etiqueta de enrutamiento y determina que debe ser enrutado a la central B (1b), vía el enlace CB.
- La central B recibe el mensaje y examina el número marcado, determina que sirve a la entidad llamada, y que línea está disponible para el

- timbrado. La central B timbra la línea de la entidad llamada y transmite un mensaje completo de dirección ISUP (ACM) a la central A (2a) vía su STP local, para indicar que el remoto final del circuito troncal ha sido reservado.
- El STP enruta el ACM a la central originante (2b) la cual timbra la línea de la entidad llamante y conecta a la troncal para completar el circuito de voz desde la entidad llamante a la entidad llamada.
 - En el caso de que las centrales no estuvieran conectadas directamente con troncales, la central originante transmite un IAM para reservar un circuito troncal a una central intermedia. La central intermedia envía un ACM como acuse de recibo de la solicitud de reservación del circuito y entonces transmite un IAM para reservar un circuito troncal a la otra central. Este proceso continúa hasta que todas las troncales requeridas para completar el circuito de voz desde la central originante a la central de destino estén reservadas.
 - Cuando la entidad llamada levanta el teléfono, la central B termina el tono de timbrado y transmite un mensaje de respuesta ISUP (ANM) a la central A vía su STP local (3a).
 - El STP enruta el ANM a la central A (3b) la cual verifica que la línea de la entidad llamante está conectada a la troncal reservada y, si es el caso, se inicia la facturación.
 - Si la entidad llamante cuelga primero, la central A envía un mensaje de liberación ISUP (REL) para liberar la circuito troncal entre las centrales (4a). El STP enruta el REL a la central B (4b). Si la entidad llamada cuelga primero, o la línea está ocupada, la central B envía el REL a la central A indicando la causa de la liberación (liberación normal u ocupada).
 - Recibido el REL, la central B desconecta la troncal de la línea de la entidad llamada, colocando la troncal a estado libre, y transmite un

mensaje completo de liberación ISUP (RLC) a la central A (5a) como acuse de recibo del final remoto del circuito troncal.

- Cuando la central A recibe (o genera) el RLC (5b), termina el ciclo de facturación y setea la troncal a estado libre, preparándose para una próxima llamada.

Cabe recalcar que los mensajes ISUP pueden sólo ser transmitidos durante la fase de conexión de la llamada.

4. Parte de Control de la Conexión de Señalización (SCCP)

El nivel SCCP provee de funciones adicionales a la parte de transferencia de mensajes (MTP) para el control del establecimiento de conexiones lógicas, con el objeto de prestar servicios de red sin conexión y servicios de red con conexión, para transferir información de señalización relacionada con el circuito y no relacionada con el circuito.

Mientras que el MTP nivel 3 provee códigos de puntos para permitir a los mensajes ser direccionados a puntos de señalización específicos, el SCCP provee de números de subsistema para permitir a los mensajes ser direccionados a aplicaciones específicas en estos puntos específicos. SCCP es usado como la capa de transporte para servicios basados en TCAP tales como teléfono gratuito (800/888), tarjeta de llamada, portabilidad de número local, *roaming* inalámbrico y servicios de comunicación personal (PCS).

Para comunicaciones móviles existen las siguientes aplicaciones:

- Registro de ubicación local (HLR).
- Registro de ubicación visitante (VLR).
- Centro de conmutación móvil (MSC).
- Centro de autenticación (AC).
- Servicio de mensajería corta (SMS).

El indicador de servicio del SIO es codificado en 3 para el SCCP, cuyos mensajes son contenidos dentro del SIF de un MSU, y el SIF contiene la etiqueta de enrutamiento seguido por el contenido de los mensajes SCCP.

5. Parte de Aplicación de las Capacidades de Transacciones (TCAP)

El nivel TCAP permite el desarrollo de servicios de red inteligentes avanzados soportando el intercambio de información no relacionada con conexiones entre los puntos de señalización usando el servicio de conexiones lógicas SCCP. Un SSP utiliza TCAP para preguntar a un SCP para determinar el número de enrutamiento asociado con un número marcado 800, 888 o 900. El SCP usa el TCAP para retornar una respuesta conteniendo el número de enrutamiento de regreso al SSP.

Un ejemplo es el acceso a bases de datos para servicios de telefonía móvil celular, en el que cuando un usuario viaja a un área de un nuevo centro de conmutación móvil, el VLR solicita la información del perfil de servicio del HLR del usuario usando la información de la parte de aplicación móvil llevada dentro de los mensajes TCAP.

CAPITULO 2: PROCESAMIENTO DE LLAMADAS

El procesamiento de llamadas en la telefonía terrestre aprovecha la existencia de un circuito de cuatro cables entre estaciones de abonados. En la telefonía celular, se quiere realizar las mismas funciones de procesamiento de llamadas sin hilos, sobre un enlace de radio. En los sistemas celulares existen canales de control con el fin de identificar la unidad móvil y para el establecimiento de llamadas en canales de voz; además, estos canales de control permiten proporcionar funciones en una forma eficiente. Para la realización de una llamada se maneja una serie de mensajes de control, los cuales son enviados desde el momento en que el teléfono está presente en el sistema celular, e incluso durante la llamada. Dichos mensajes de control también dan soporte a funciones especiales del sistema de telefonía móvil, como son el *handoff*, control de potencia y otros servicios adicionales.

2.1. AMPS TIPOS DE CANALES Y SUS FUNCIONES

AMPS es un sistema de acceso de tipo analógico para telefonía celular, conocido también como FDMA (Acceso Múltiple por División de Frecuencia), asignando un canal de voz a un usuario a la vez, tal como se indica en la figura 2.1.

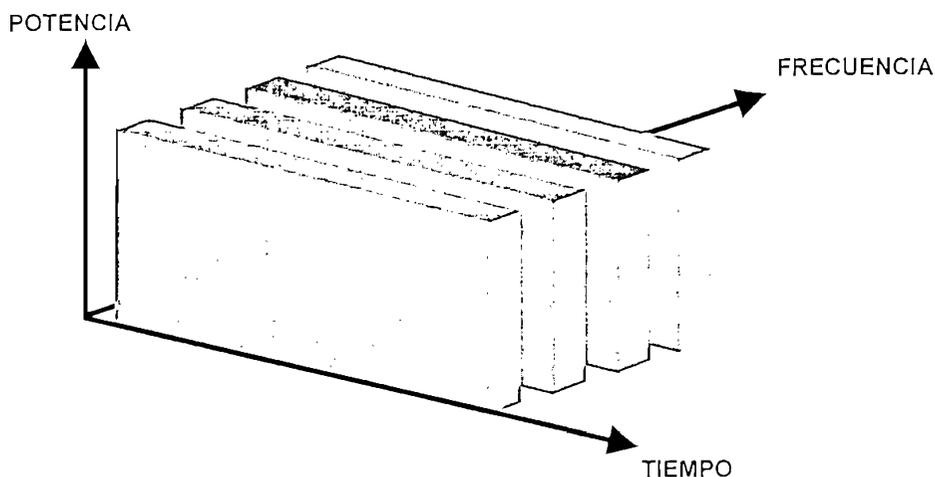


Fig. 2.1: Frequency Division Multiple Access (35)

La Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) en los Estados Unidos asignó un espectro de frecuencias desde 824 MHz a 849 MHz para la transmisión desde el móvil a la estación base, y de 869 MHz a 894 MHz para la transmisión desde la estación base al móvil. Los canales de radio tienen un ancho de banda de 30 KHz y son modulados en FM; el control de llamadas es realizado sobre canales de control que transmiten a una velocidad de 10 Kbps. La distribución del espectro celular para APMS se la puede observar en la figura 2.2.

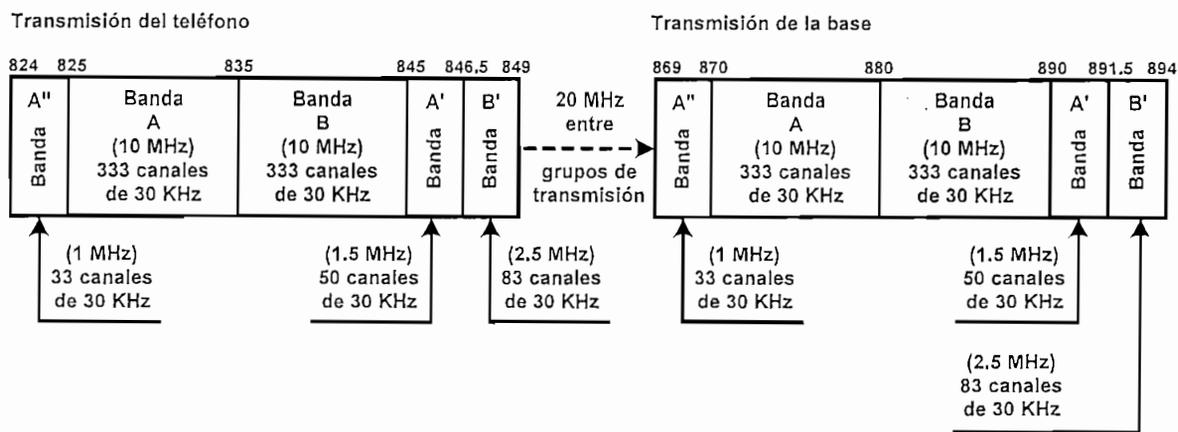


Fig. 2.2: Tipos de canales en AMPS (36)

Como se puede observar hay 832 canales (en las bandas A y B) asignados a la banda celular. Cada canal consiste de dos frecuencias con un espaciamiento dúplex de 45 MHz, tal como se indica en la figura 2.3. Estos canales se dividen en dos bandas, la banda A puede ser utilizada por portadoras inalámbricas y la banda B puede ser utilizada por portadoras alámbricas.

Cada banda cuenta con 21 canales de control también denominados como establecimiento, búsqueda o acceso; estos canales se utilizan para fines de establecimiento de llamadas y no portan señales de voz. En el *downlink* va la información del sistema de transmisión y notificación de llamadas entrantes, y en el *uplink* las unidades móviles lo utilizan para solicitar acceso al iniciar las llamadas. Los sistemas TDMA también pueden utilizar otros canales de control digital dedicados.

Los 395 canales restantes en cada banda son canales de voz que se utilizan para la comunicación durante las llamadas.

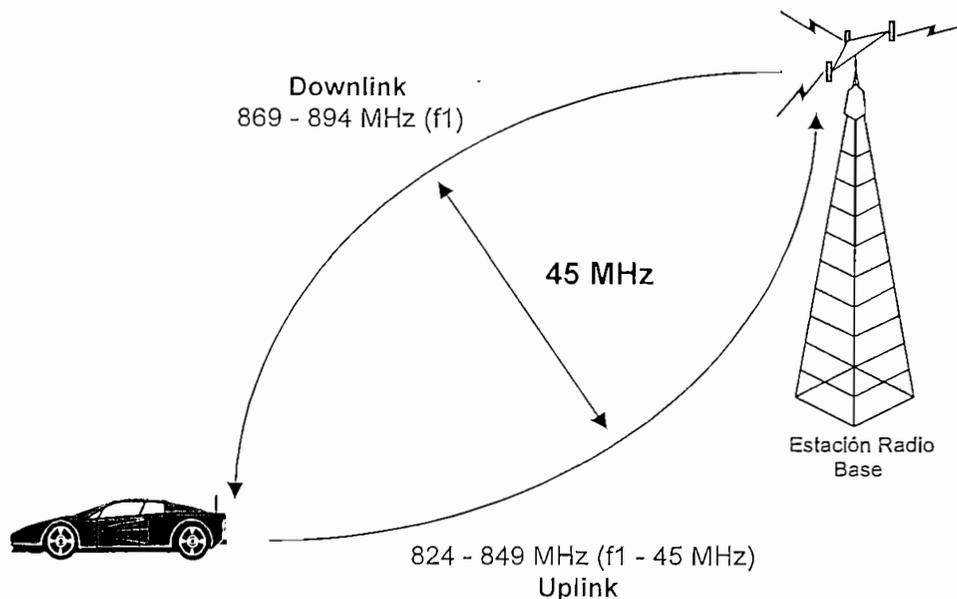


Fig. 2.3: Frecuencias de portadora

Fundamentalmente un canal de control es utilizado para fines de señalización, el cual está conformado de un par de frecuencias:

- Canal de Control hacia Delante (FOCC - *Forward Control Channel*).
- Canal de Control de Reversa (RECC - *Reverse Control Channel*).

Los canales de control de señalización directa (FOCC) o *downlink* de la estación base a los usuarios son de flujo continuo de datos, estos canales son monitoreados de manera automática por los teléfonos celulares cuando no están ocupados en una llamada. El FOCC lleva información del sistema como: el número de identificación del sistema (SID)¹, el número de canales búsqueda que

¹ La FCC asignó un número único a cada portadora celular, los operadores de la banda A generalmente cuentan con un SID impar y los operadores de la banda B generalmente cuentan con SID pares

utiliza el sistema, las capacidades digitales del sistema y demás información importante.

Los canales de control de señalización de reversa (RECC) o *uplink* de los usuarios a la estación base celular, son ráfagas intermitentes de los usuarios. Estos canales son utilizados por los teléfonos para transmitir mensajes al sistema como respuestas de búsqueda, solicitudes de acceso, registro, etc.

2.1.1. CANAL DE CONTROL DE SEÑALIZACION DIRECTA (FOCC)

El FOCC es un flujo continuo de datos que se genera a una velocidad de transmisión de 10 Kbps \pm 0.1 Bps (10). Cada canal de control hacia delante consiste de tres flujos de información discreta:

- **Flujo A:** Leído por las unidades móviles cuyo bit menos significativo de su MIN² es 0.
- **Flujo B:** Leído por las unidades móviles cuyo bit menos significativo de su MIN es 1.
- **Bit de Ocupado/Libre (O/L):** Indica el estado actual del RECC para controlar el acceso al sistema.

La mensajería del canal de control analógico (ACCH) fue inicialmente regida por el estándar IS-3 y luego modificado por el estándar IS-54. De acuerdo al estándar interino IS-54B de la EIA/TIA para los sistemas de telecomunicaciones móviles celulares de los Estados Unidos, la transmisión del FOCC debe ser tal como se indica en la figura 2.4.

² MIN: Número de Identificación del Móvil. Es un número binario de 34 bits derivado de un número telefónico de 10 dígitos.

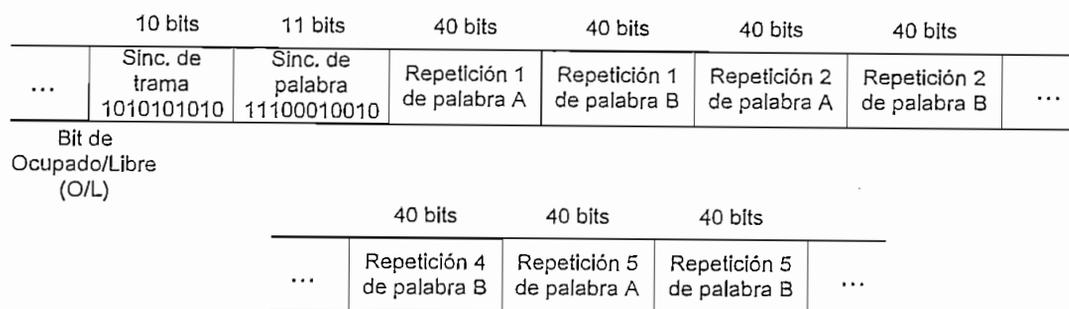


Fig. 2.4: Trama del FOCC (38)

Una unidad móvil determinada lee únicamente uno de los mensajes intercalados (A o B), y en cada fila se insertan los bits de ocupado/libre (O/L). El flujo de ocupado/libre contiene bits de ocupado y libre que se utilizan para indicar el estado actual del canal de control de reversa; el RECC está ocupado si el bit de O/L es igual a 0 y libre si es 1. El bit O/L está ubicado al inicio de cada secuencia de sincronismo de trama, sincronismo de palabra, palabra de datos, y después de cada 10 bits de cada palabra de datos. La unidad móvil monitorea este bit antes de intentar acceder al canal de control de reversa, si el bit O/L indica que el canal de control de reversa está ocupado la unidad móvil esperará un tiempo randómico y entonces lo intentará nuevamente. Los bits se ubican como se muestra en la figura 2.4.

Para que las unidades móviles logren la sincronización con los datos entrantes se envía: una secuencia de puntos o sincronismo de trama de 10 bits y una secuencia de sincronización de palabra de 11 bits. Las palabras de datos en el FOCC contienen 40 bits (28 bits de información y 12 bits de paridad); éstas se repiten 5 veces para asegurar la recepción acertada en ambientes pobres de RF, después se hace referencia a ella como un bloque de palabras.

Cada mensaje FOCC consiste de 463 bits: 200 bits en total de la palabra A, 200 bits en total de la palabra B, 10 bits de puntos, 11 bits de palabra de sincronismo y 42 bits de bits O/L. A 10 Kbps el tiempo de transmisión del FOCC es de 46.3 ms, por lo que cada palabra se transmitirá en 23.15 ms, obteniéndose una capacidad disponible en términos de palabras de 43,196 palabras/seg (38). Se debe anotar

que el mensaje FOCC consiste de una o más palabras de mensajes de control de la unidad móvil, mensajes de encabezado y mensajes de control de relleno. Los mensajes de control de relleno podrán insertarse entre los mensajes y entre los bloques de palabras de un mensaje de palabras múltiples.

Para propósito de análisis, el máximo número de palabras por hora es de 155500. Para los mensajes que se intenta direccionarlos a todas las unidades móviles, ambas palabras A y B en sus *s/ots* de tiempo podrían generalmente ser llevadas en el mismo mensaje, duplicando el tiempo de transmisión y el número de palabras por segundo.

El tiempo requerido para actividades que no son de búsqueda en el FOCC como la asignación del canal, los mensajes de control de relleno y los mensajes de encabezado ocupan del 19% al 38% del tiempo del FOCC, y el tiempo restante está disponible para búsqueda (del 62% al 81%). Con estos porcentajes, el canal de control puede manejar una capacidad mínima de búsqueda de cerca de 15 búsquedas/segundo y una capacidad máxima de búsqueda de alrededor de 19 búsquedas/segundo (39).

2.1.1.1. MENSAJES DE CONTROL DE LA UNIDAD MOVIL

Todas las palabras que componen los mensajes en la señalización de AMPS tienen definiciones estrictas en las especificaciones. Los mensajes de control de la unidad móvil se componen de una, dos ó cuatro palabras, las cuales son:

- **Palabra 1:** Palabra de dirección abreviada. (10)



Fig. 2.5: Palabra de dirección abreviada

- **Palabra 2:** Palabras de dirección extendida. (10)

2 bits	2 bits	10 bits	1 bit	5 bits	3 bits	5 bits	12 bits
T1T2 10	SCC	MIN2 33-24	RSVD 0	Local	OrdQ	Order	P

Fig. 2.6: Palabra de dirección extendida (SCC = 11)

2 bits	2 bits	10 bits	3 bits	11 bits	12 bits
T1T2 10	SCC	MIN2 33-24	VMAC	Chan	P

Fig. 2.7: Palabra de dirección extendida (SCC ≠ 11)

- **Palabras 3 y 4:** Primera y segunda palabra de reintento directo. (39)

2 bits	2 bits	7 bits	7 bits	7 bits	3 bits	12 bits
T1T2 10	SCC	CHANPOS	CHANPOS	CHANPOS	RSVD	P

Fig. 2.8: Palabra de reintento directo

El reintento directo es enviado en respuesta de un mensaje de originación o respuesta de búsqueda recibida sobre el RECC, y es aplicado solamente en el momento de establecer una llamada. Cuando todos los canales de voz de la celda sirviente están ocupados, se produce un bloqueo en el acceso al RECC de los abonados (bit O/L ocupado), activándose el reintento directo (siempre y cuando ésta característica esté activada en la Central Celular).

Este es un método del sistema para redireccionar la originación de la unidad móvil (o la respuesta de búsqueda) a una celda adyacente más potente. El llenado de los datos indica un máximo de seis candidatos de reintento directo por canal de control. Se debe mencionar que la acción del reintento directo es

una solución limitada para el bloqueo esporádico, y aún constituye bloqueo desde una perspectiva de ingeniería.

El significado de los campos de las palabras FOCC es la siguiente:

- **T_1T_2** : Campo de tipo. Si se envía únicamente la palabra 1 $T_1T_2 = 00$. Si se envía un mensaje de palabras múltiples $T_1T_2 = 01$ en la palabra 1, y en cada palabra adicional $T_1T_2 = 10$.
- **DCC**: Campo de código de color digital.
- **MIN1**: 24 bits que corresponden a los siete dígitos del número del celular.
- **MIN2**: 10 bits que corresponden a los tres dígitos del código de área ó área de plan de numeración (NPA)³.
- **SCC**: Código de color de SAT (canal de voz analógico).
- **Order**: Campo de orden (identifica el tipo de orden).
- **ORDQ**: Campo de calificador de orden.
- **Local**: Campo de control local.
- **VMAC**: Campo de código de atenuación móvil del canal de voz.
- **CHAN**: campo de número de canal (indica el canal de RF designado).
- **CHANPOS**: campo de posición de canal (indica la posición de un canal de control con relación al primer canal de acceso).
- **RSVD**: reservado.
- **P**: campo de paridad.

El SAT es el tono supervisor de audio, consta de tres posibles valores de tonos: 5970, 6000 y 6030 Hz, con una tolerancia de ± 15 Hz por cada tono. Cada conjunto de canales de voz en una celda es asignado a uno de los tres tonos por especificación del SCC (0, 1, o 2), el SAT es añadido al canal de voz directo y transportado por la unidad móvil sobre el canal de voz de reversa.

³ El NPA para Ecuador es el 074, por lo que la forma de marcar a un teléfono celular desde el exterior será: 074-9441002.

El campo DCC envía 2 bits sobre el FOCC, entonces es recibido por la unidad móvil y trasladada a 7 bits codificados en el DCC sobre el RECC, como es mostrado en el cuadro 2.1.

DCC Desde el FOCC	7 bits codificados del DCC sobre el RECC	SCC	
00	0000000	DCC ≠ 11 {	00 5970 Hz
01	0011111		01 6000 Hz
10	1100011		10 6030 Hz
11	1111100		11 No hay designación de canal

Cuadro 2.1: Clases de digital color code

Las combinaciones de los campos *Order*, *OrdQ* y *Local* en la palabra 2 definen varias funciones que van en el canal de control directo, y que le ordenan a un móvil en particular llevar a cabo una acción específica, como por ejemplo: una búsqueda u originación, liberación, registración, estado del reintento directo, mantenimiento, etc.

Ciertos mensajes de control de la unidad móvil también se enviarán en el canal de voz directo.

1. Mensaje de Búsqueda

La función del mensaje de búsqueda o voceo es determinar la celda servidora actual del móvil y asegurar que el móvil esté dispuesto a aceptar la llamada.

Los mensajes de búsqueda son transmitidos cuando una llamada llega a un móvil, para solicitar una respuesta desde ese móvil dentro de un área de cobertura del sistema celular. Para buscar una unidad móvil, el mensaje de control de estación móvil en el FOCC se envía como se muestra en la figura 2.9.

Es posible buscar a las estaciones locales únicamente con una sola palabra, pero generalmente se utiliza el mensaje de dos palabras.

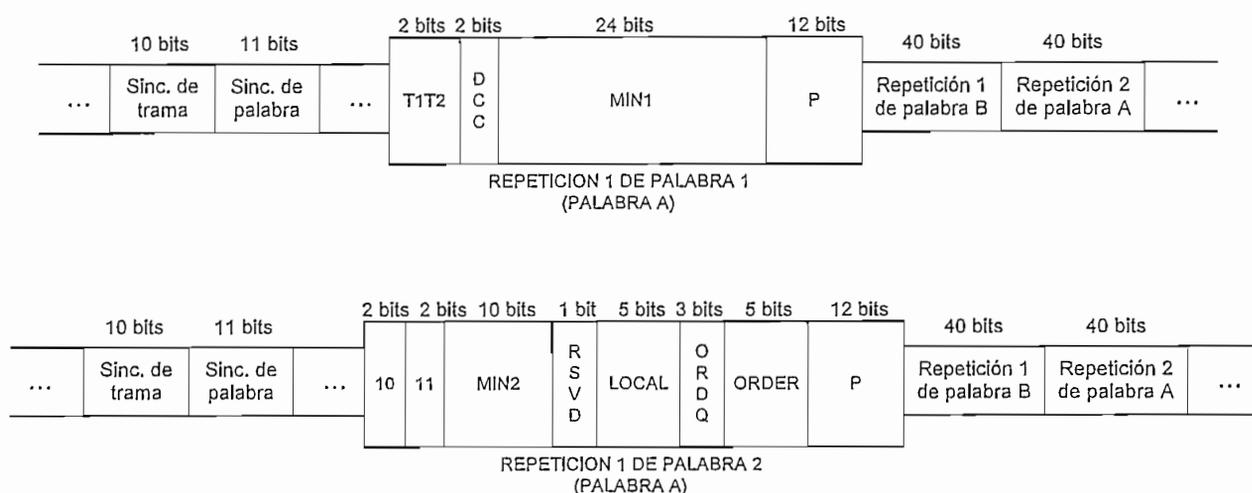


Fig. 2.9: Mensaje de búsqueda

2. Mensaje Inicial de Designación de Canal de Voz (IVCD)

El mensaje inicial de designación de canal de voz es un mensaje utilizado para asignar un móvil a un canal de voz desde el canal de control. El formato es similar al mensaje de búsqueda, pero la segunda palabra es diferente. Cada mensaje IVCD es enviado una vez por cada llamada de móvil a fijo y de fijo a móvil, y dos veces por cada llamada móvil a móvil.

En el mensaje IVCD se envía al móvil el SAT, el nivel de potencia y el número de canal. La unidad móvil responde cambiando al canal nuevo, ajustando su nivel de potencia y sintonizándose con el SAT, tal como se indica en la figura 2.10.

El móvil requiere un mensaje de dos palabras para búsqueda y designación de canal, cada palabra debe repetirse cinco veces y en ocasiones el proceso se repite. El móvil debe mantener su atención fija en el FOCC en todo momento, escuchando una posible búsqueda, un proceso que consume potencia.

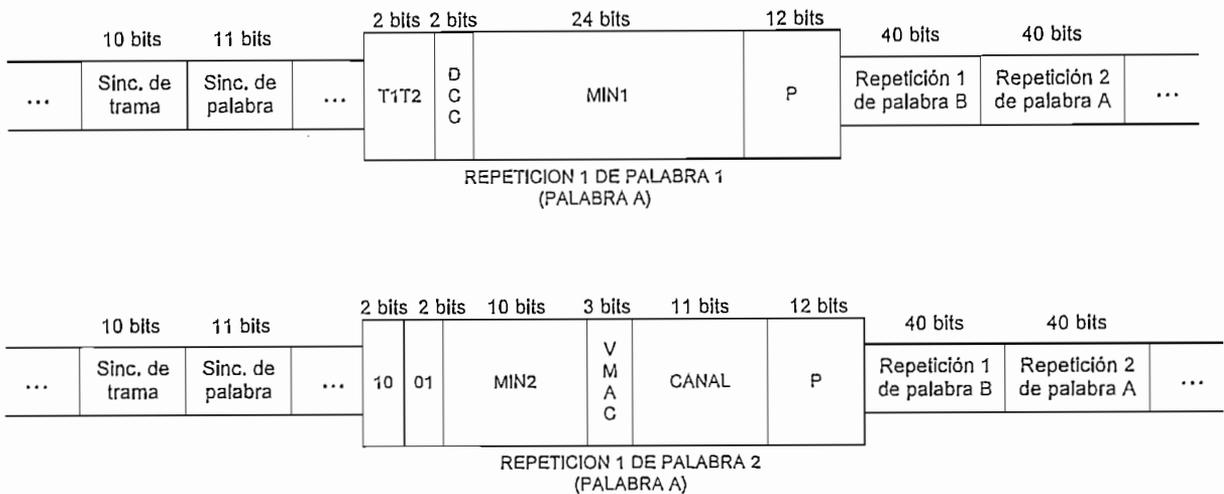


Fig. 2.10: Mensaje inicial de designación de canal de voz (IVCD)

2.1.1.2. MENSAJES DE ENCABEZADO

Los mensajes de encabezado son enviados periódicamente, y son transmitidos por todas las estaciones radio bases hacia todas las unidades móviles en las celdas, en grupos conocidos como tren mensajes de encabezado (OMT – *Overhead Message Train*).

Estos mensajes contienen información acerca del sistema, el cual puede regir o restringir la forma en que los móviles transmiten sobre el RECC. Un cambio en la información puede ser debido a un cambio en las condiciones del sistema tales como una carga fuerte de tráfico, una falla en los equipos o en los enlaces, o una acción de mantenimiento específica.

La clase funcional de los diferentes tipos de mensajes de cabecera son identificados según la combinación de bits del campo de cabecera (OHD – *Overhead*) presente en todos ellos, los cuales son indicados en el cuadro 2.2.

Código del OHD	Clase funcional
000	Identificación de registración (Reg ID)
001	Control de relleno
010	Reservado
011	Reservado
100	Acción global
101	Reservado
110	Palabra 1 del mensaje de parámetros del sistema
111	Palabra 2 del mensaje de parámetros del sistema

Cuadro 2.2: Códigos de los tipos de mensajes de cabecera

1. Mensaje de Encabezado de Parámetros del Sistema

La función del mensaje de parámetros del sistema es identificar el sistema a las unidades móviles que están intentando verificar si pueden sintonizarse a una canal de control válido. Este mensaje se transmite cada 0.8 ± 0.3 segundos y consiste de dos palabras: la primera palabra contiene la primera parte del campo de identificación del sistema, y la segunda palabra contiene el número de canales de búsqueda y el número de canales de acceso.

El formato de las palabras del mensaje de encabezado de parámetros del sistema se muestra en la figura 2.11.

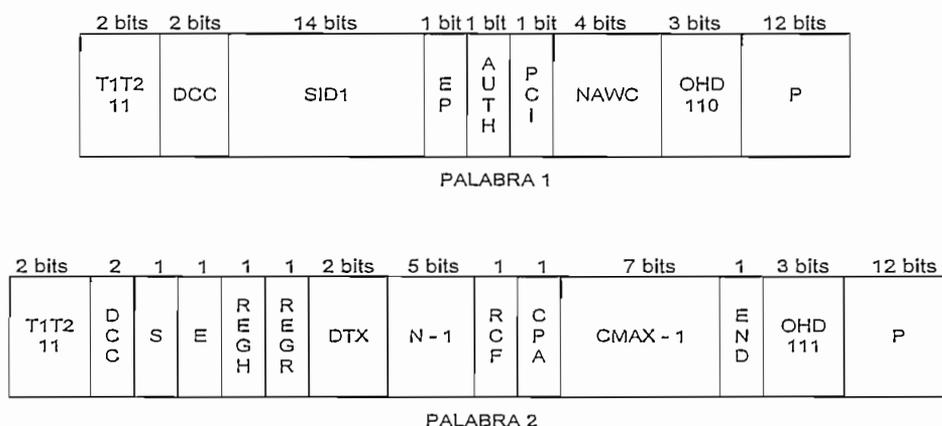


Fig. 2.11: Mensaje de encabezado de parámetros del sistema (38)

Donde:

- **T_1T_2** : Se especifica en 11 para indicar una palabra de encabezado.
- **OHD**: Campo de cabecera que describe la clase funcional (ver cuadro 2.2)
- **DCC**: Código de color digital.
- **SID1**: Primera parte del campo de identificación del sistema que indica que el sistema está siendo accesado.
- **EP**: Campo de protocolo extendido. Con el estándar IS-91A permite la implementación de funciones especiales para abonados bajo AMPS.
- **AUTH**: Se especifica en 1 si la estación base da soporte a los procedimientos de autenticación.
- **PCI**: Bit indicador de capacidad de protocolo, se especifica en 1 si el canal de control analógico puede asignar canales de tráfico digital (DTCH).
- **NAWC**: Número de palabras adicionales que llegan. En la palabra 1 se especifica en uno menos que el número total de palabras en el tren de mensajes OHD.
- **S**: Campo de número de serie. Si $S = 1$, todas las estaciones móviles envían su número serial durante un acceso al sistema.
- **E**: Campo de dirección extendida. Si $E = 1$, indica que se requiere que las estaciones móviles envíen ambos MIN's (MIN1 y MIN2) cuando se está accesando al sistema.
- **REGH**: Campo de registro para estaciones locales (1 habilita el campo y 0 lo deshabilita).
- **REGR**: Campo de registro para estaciones visitantes (1 habilita el campo y 0 lo deshabilita).
- **DTX**: Campo de transmisión discontinua. Si $DTX = 1$, el móvil puede usar el modo de transmisión discontinua sobre el canal de voz reduciendo el consumo de potencia para las unidades portátiles, caso contrario $DTX = 0$.
- **$N - 1$** : N es el número de canales de búsqueda en el sistema.
- **RCF**: Señala el procedimiento de lectura del campo de control de relleno. Si $RCF = 1$, indica al móvil leer el mensaje de control de relleno antes de acceder al sistema sobre el RECC.

entonces los móviles almacenan el valor del último número de la identificación de registración (Reg ID) recibido sobre un FOCC. La próxima identificación de registración debería ser el Reg ID más el incremento de registración.

- **CMAX-1:** Es el número máximo de canales de acceso que puede ser accesado en el sistema.
- **END:** Se especifica en 1 para indicar la última palabra del OMT.
- **RSVD:** Reservado.
- **P:** Paridad.

Como el estándar IS-54 trabaja de modo dual, da la habilidad a una unidad móvil de un usuario operar en modo digital o analógico, dependiendo de si la red celular soporta la tecnología digital. La celda transmite, como parte del mensaje de los parámetros del sistema en el tren de mensajes de cabecera, el bit del campo PCI el cual indica si canales de tráfico digitales pueden ser asignados por el canal de control analógico.

2. Mensaje de Encabezado de Acción Global

El mensaje de acción global consiste de una palabra, y se especifican algunos mensajes de este tipo insertados en el OMT como requeridos. Los principales mensajes de acción global ocupados en el sistema celular son:

a) *Mensaje de acción global de Re-exploración*

Este mensaje debe ser enviado para requerir que todos los móviles ingresen a la tarea de inicialización.

b) *Mensaje de acción global de incremento de registraci3n*

La funci3n de 3ste mensaje es indicar a las unidades m3viles del intervalo al cual la solicitud de registraci3n aut3noma deber3a ser transmitido sobre el RECC. Si los m3viles est3n equipados para registraci3n aut3noma, entonces los m3viles almacenan el valor del 3ltimo n3mero de la identificaci3n de registraci3n (Reg ID) recibido sobre un FOCC. La pr3xima identificaci3n de registraci3n deber3a ser el Reg ID m3s el incremento de registraci3n.

Este proceso le dice al móvil cuántas veces la registración debería ser enviada a la celda, tal que la central pueda seguir la ubicación del móvil. Esta característica no es usada actualmente en los sistemas celulares, sin embargo, cuando el volumen de llamadas o las celdas empiezan a incrementarse, podría facilitar la búsqueda de las unidades móviles con menos tiempo de ocupación en el establecimiento de todos los canales.

c) Mensaje de acción global de área de localización

Su función es informar a las unidades móviles IS-54B si una solicitud de registración autónoma debiese ser transmitida o no en el momento de encender o apagar el terminal.

d) Mensaje de acción global de sobrecarga

Proviene del RECC cuando hay un alto nivel de congestión.

3. Mensaje de Identificación de Registro

El mensaje de identificación de registro consiste en una palabra conteniendo el campo de identificación de registro (Reg ID), y se la envía después de cada 5 mensajes de encabezado de parámetros del sistema. Notifica a la unidad móvil el valor Reg ID del sistema (o celda).

En la figura 2.12 se indica la palabra del mensaje de identificación de registro.

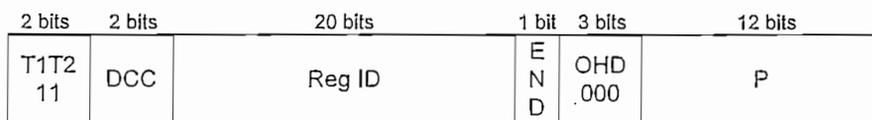


Fig. 2.12: Mensaje de identificación de registro (39)

4. Mensaje de Control de Relleno

El mensaje de control de relleno consiste en una palabra y se envía siempre que no hay otro mensaje para enviar en el FOCC. Las principales funciones son que sirve para asegurar que la unidad móvil permanezca sincronizado con la trama de datos del canal de control directo, especifica el nivel de potencia que es usado por la estación móvil cuando se accesa al sistema, contiene el código de atenuación móvil del canal de control (CMAC) el cual define el nivel de potencia del móvil sobre el canal de control asignado y los códigos de color digitales suplementarios (ver figura 2.13).

Este mensaje se elige de tal manera que al enviarse, la sincronización de palabra de 11 bits (11100010010) indicada en la figura 2.4 no aparecerá en el flujo de mensajes, independientemente del estado del bit O/L.

2 bits	2 bits	6 bits	3 bits	2 bits	2 bits	2 bits	1 bit	1 bit	3 bits	12 bits
T1T2 11	DCC	010111	CMAC	SDCC1	11	SDCC2	1	W F O M	OHD 001	P

Fig. 2.13: Mensaje de control de relleno (38)

Además se puede observar que se tiene un bit llamado WFOM que significa esperar mensaje de encabezado. El bit WFOM permite a los móviles verificar el sistema que da servicio antes de cada acceso al sistema, por lo que si está activo cada móvil es requerido para chequear el SID transmitido en cada mensaje de parámetros del sistema. Para sistemas vecinos que comparten el mismo SID, esta verificación es hecha usando el mensaje Reg ID añadido a cada OMT para cada parámetro enviado por el canal de control para la celda especificada.

Los campos SDCC1 y SDCC2 son código de color digital suplementarios, y son utilizados para expandir el DCC pero siempre y cuando las unidades móviles soporten esta característica.

2.1.2. CANAL DE CONTROL DE SEÑALIZACIÓN INVERSA (RECC)

El canal de control de señalización de reversa es un flujo de datos que se envía desde el móvil a la celda ocasionalmente. La velocidad de transmisión de este flujo es de 10 Kbps \pm 1.0 bps. Los mensajes comienzan con el precursor de ocupación RECC que consiste en una secuencia de 30 bits para sincronización, una secuencia de sincronización de palabra de 11 bits y 7 bits del DCC codificado recibido del canal de control de señalización directo (ver cuadro 2.1).

Cada palabra de información contiene 48 bits (36 bits de datos y 12 bits de paridad) que se repite 5 veces, por lo que cada bloque de palabras contiene 248 bits. El acceso es controlado por el bit O/L del FOCC y cada mensaje RECC puede consistir de un flujo máximo de datos que contiene un precursor de ocupación más cinco bloques de palabras (A, B, C, D y E) haciendo un total de 1248 bits por trama, como se muestra en la figura 2.14.

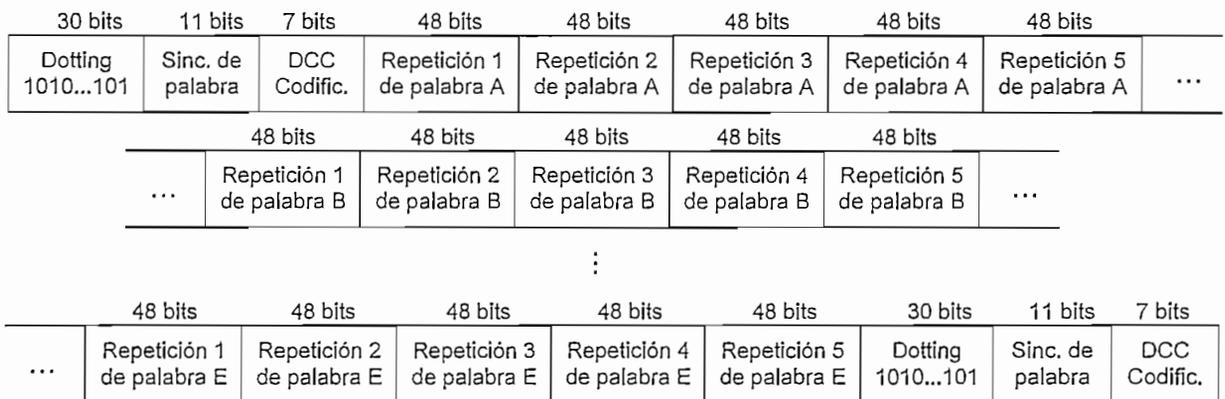


Fig. 2.14: Trama del RECC (10)

Como la trama consta de 1248 bits, el tiempo de transmisión es de 124.8 ms. Bajo condiciones normales el canal de control de señalización inversa puede manejar aproximadamente 7 respuestas/segundo, y en condiciones de alta interferencia la capacidad se puede reducir hasta aproximadamente 3 respuestas/segundo.

Los tipos de mensajes transmitidos sobre el canal de control de reversa son:

- Mensaje de respuesta de búsqueda.
- Mensaje de originación.
- Mensaje de confirmación de orden.
- Mensaje de orden.

Las funciones de cada palabra del RECC son las siguientes:

- **Palabra A:** Es una palabra de dirección abreviada, y es enviada siempre para identificar al móvil.
- **Palabra B:** Es una palabra de dirección extendida, y será enviada en solicitud desde la central o en una situación de *roaming*. En adición, los campos *Order*, *OrdQ* y *Local* son mostrados en esta palabra para indicar una acción específica.
- **Palabra C:** Es usada para validar a los usuarios elegibles y maneja cuatro subpalabras: palabra del número de serie electrónico (ESN – *Electronic Serial Number*), palabra de autenticación, palabra de confirmación de orden de “desafío único” y palabra de desafío de la estación base.
- **Palabras D y E:** Son la primera y segunda palabra de la dirección llamada.

2.1.2.1. MENSAJE DE RESPUESTA DE BUSQUEDA

Cuando en el canal de control de señalización directa FOCC se envían los mensajes de búsqueda y de parámetros del sistema, la unidad móvil debe enviar la respuesta sobre el RECC como se muestra en la figura 2.15.

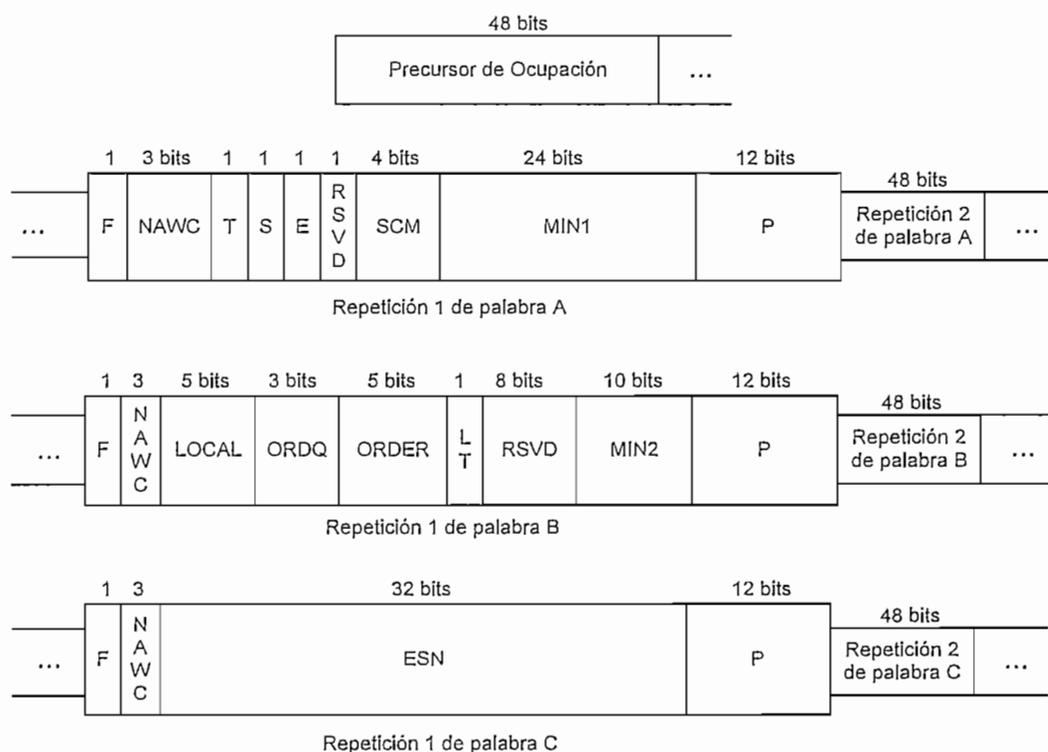


Fig. 2.15: Mensaje de Respuesta de Búsqueda (38)

Donde:

- **F:** Indicación de primera palabra. Se especifica en 1 si es la primera palabra y 0 para todas las palabras subsecuentes.
- **NAWC:** número de palabras a seguir.
- **T:** Se especifica en 1 para indicar originación u orden y en 0 para indicar respuesta de orden o respuesta de búsqueda.
- **S:** Se especifica en 1 para enviar la palabra del número de serie, caso contrario en 0.
- **E:** Campo de dirección extendida. Se especifica en 1 para indicar si se envía la palabra de dirección extendida, caso contrario en 0.
- **SCM:** Campo de marca de clase de estación móvil.
- **LT:** Campo de código del último intento.

En la figura 2.15, en la palabra C se tiene que enviar el ESN si se supone que en el FOCC se requiere que el móvil lo transmita, caso contrario, se transmitirá la

palabra de autenticación, la palabra de confirmación de orden de “desafío único” ó la palabra de desafío de la estación base.

2.1.2.2. MENSAJE DE ORIGINACIÓN

Como se pudo observar en el mensaje de respuesta de búsqueda, el móvil debe enviar las palabras A, B y C. Cuando el móvil desea llamar a un número dado, además de las palabras de respuesta de búsqueda que contienen el MIN y el ESN del móvil originante, el móvil debe enviar las palabras D y E que contienen los dígitos marcados de la parte de terminación. Los formatos de las palabras D y E son indicados en las figuras 2.16 y 2.17.

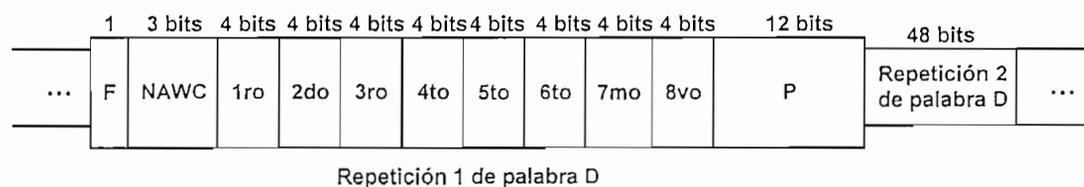


Fig. 2.16: Primera palabra de la dirección llamada (38)



Fig. 2.17: Segunda palabra de la dirección llamada (38)

En la palabra E, el campo NAWC debe ser igual a 0 ya que es la última palabra.

2.1.2.3. MENSAJE DE CONFIRMACIÓN DE ORDEN Y MENSAJE DE ORDEN

En el mensaje de confirmación de orden la unidad móvil responde o confirma una orden sobre el RECC en respuesta a un requerimiento. En sí, las confirmaciones de orden se presentan de manera general por diferentes tipos de solicitudes que

puedan soportar los móviles y el sistema. Un caso de confirmación es la confirmación de orden alerta de auditoría, que se da en respuesta de un mensaje de orden de auditoría que fue enviado con el propósito de localizar un móvil para entregar un mensaje corto. Una confirmación de orden de mensaje en espera se da en respuesta de una indicación de mensaje en espera sobre canal de control analógico. La confirmación de orden de interrogación única, que se da en respuesta de un mensaje de orden de interrogación única enviado al móvil para iniciar el algoritmo de autenticación. Otro caso es la confirmación de orden de alerta abreviada, aplicada al caso de los teléfonos con extensiones celulares.

Los mensajes de orden se los puede definir como órdenes que da la unidad móvil para que sean realizadas por las celdas y la central. Estas órdenes son tareas específicas para continuar con algún proceso ya iniciado.

2.1.3. SUPERVISION Y SEÑALIZACION DE LLAMADAS ANALOGICAS

Al canal de voz en general se lo puede definir como el principal medio para la comunicación, por lo que para que se produzca una llamada es necesario la presencia de señalización que indique y supervise el comportamiento del canal designado.

Mientras la llamada está en proceso, se transmiten los siguientes tonos de supervisión y señalización:

- ***Tono de audio de supervisión (SAT – Supervisory Audio Tone)***

Como se vio anteriormente el SAT consta de tres tonos: 5970, 6000 y 6030 Hz. Es usado como una indicación de la calidad de la llamada telefónica y también para asegurar que el canal no ha sido “capturado” por un usuario en otra celda. Cuando una llamada está en progreso y el SAT no es detectado por la celda o la unidad móvil, el audio es silenciado, y si el SAT se pierde por más de 5 segundos la llamada es terminada. Las características del SAT son:

- Cada celda tiene asignado un SAT entre los tres indicados.
- El tono de SAT es añadido a cada canal de voz directo (FVC – *Forward Voice Channel*) por la celda. La unidad móvil lo detecta, filtra y modula el SAT sobre el canal de voz de reversa (RVC – *Reverse Voice Channel*) con este mismo tono.
- El SAT es suspendido durante la transmisión de datos en banda, similar al FOCC/RECC.
- El SAT no es suspendido cuando un tono de señalización (ST) es enviado.
- La transmisión de audio recibida deberá ser silenciada si el SAT y el SCC medidos no concuerdan uno del otro.

La manera en que confirma que el móvil ha tenido éxito en el canal de voz indicado se da cuando el SAT producido por el canal de voz y transportado por el móvil, es visto en el canal de voz de reversa por el transceptor del canal de voz. El sistema responde bajo la suposición de que el móvil ha obedecido sus comandos.

El SAT en sí actúa como una protección en contra de la interferencia cocanal. Esta interferencia, si es más fuerte que la señal deseada se podría introducir como una conversación foránea, causando molestia y riesgo en la privacidad de los canales de voz analógicos. Para evitar esto, en la figura 2.18 se indica un ejemplo de distribución de las frecuencias de SAT.

Durante una llamada, el móvil continuamente transmite el SAT asignado al *cluster* dentro del cual el teléfono está localizado. Las otras dos frecuencias de SAT son asignadas a los *clusters* adyacentes.

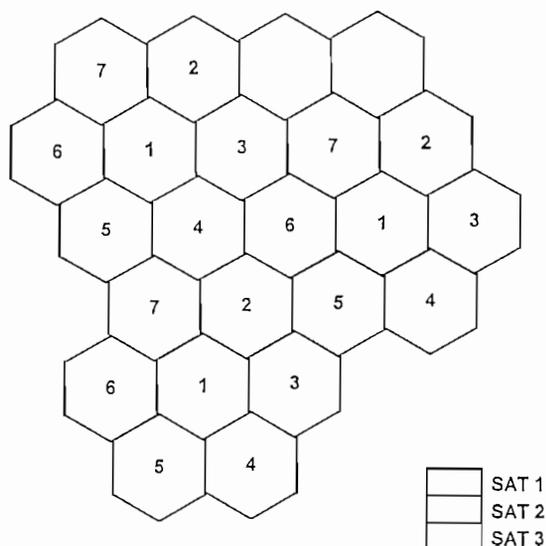


Fig. 2.18: Distribución del SAT

- **Señalización en el canal de voz analógico**

Son datos en banda amplia emitidos mediante el método conocido como silencio y ráfaga, donde se envían ráfagas a 10 Kbps hacia y desde la unidad móvil (38). Las características de los mensajes de silencio y ráfaga son:

- Emiten comandos a la unidad móvil (activación, desactivación, *handoff*) ó para informarle de ciertas funciones (por ejemplo, la llamada en espera).
- Durante una secuencia de silencio y ráfaga, el audio y el SAT se interrumpen temporalmente.
- Las ráfagas de datos portan el mensaje.

- **Tonos de señalización (ST – Signaling Tone)**

Los tonos de señalización son tonos a 10 KHz transmitidos por la unidad móvil a través del canal de voz de reversa para confirmar ciertos comandos y órdenes recibidos desde la estación base durante los siguientes casos:

- Confirmación de orden de *handoff* de 50 ms.
- Activación de funciones de 400 ms.
- 1.8 seg. para indicar que el abonado ha colgado.
- Continuo para indicar tono de llamada.

Por ejemplo, la manera en que el sistema sabe si el abonado ha contestado un teléfono que timbra, se da cuando después de la orden de alerta, el móvil empieza a timbrar y produce un tono de señal continuo en el canal de voz de reversa, el abonado contesta y el tono de señal desaparece y la central accesa.

2.1.3.1. CANAL DE VOZ ANALOGICO DIRECTO (FVC)

Durante el período de una llamada el FVC es usado para señalización. El FVC es un flujo enviado por la estación base a la unidad móvil por medio del método de silencio y ráfaga, se genera a una velocidad de 10 Kbps \pm 0.1 bps. En el inicio de la transmisión del FVC, se utiliza una secuencia de puntos de 101 bits que da el sincronismo largo indicando que la trama empieza, luego todas las secuencias de puntos serán de 37 bits (1010...101) que darán el sincronismo corto (indica la repetición de cada sincronismo de palabra y de cada repetición) y una secuencia de sincronización de palabras de 11 bits (11100010010) para permitir que los móviles puedan sincronizarse con los datos entrantes.

Cada palabra contiene 40 bits y se repite 11 veces junto con la secuencia de puntos de 37 bits y de sincronización de palabra de 11 bits; a todo esto se denomina bloque de palabras. Debido a que solamente un usuario es asignado a un canal de voz, entonces el mensaje completo del canal de voz directo consta de 1032 bits. La razón por la cual se produce una repetición de 11 veces es para asegurar que el mensaje de *handoff* pueda alcanzar la unidad móvil antes que la señal se caiga debido a niveles inaceptables para el móvil. Por lo tanto el

propósito del FVC es asegurar que la unidad móvil recibirá el mensaje y no tenga la oportunidad de devolver una respuesta debido a una condición de señal débil.

El formato del FVC se presenta en la figura 2.19, mostrada a continuación:

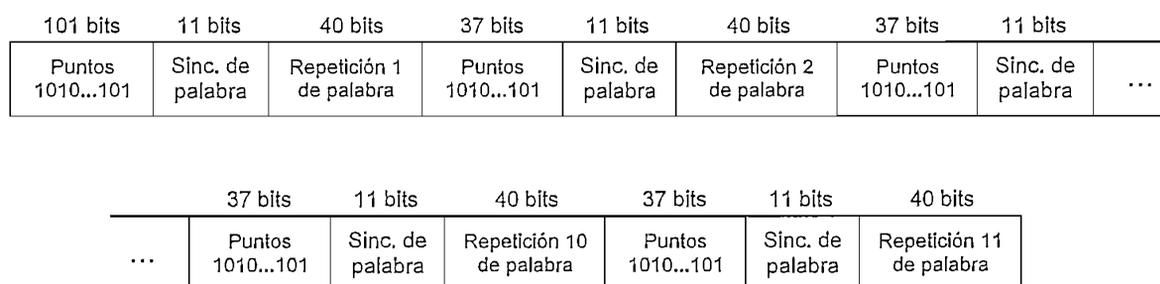


Fig. 2.19: Trama del FVC (39)

El único mensaje que es transmitido sobre el canal de voz directo es el mensaje de control de la unidad móvil, el cual se ilustra en la figura 2.20.

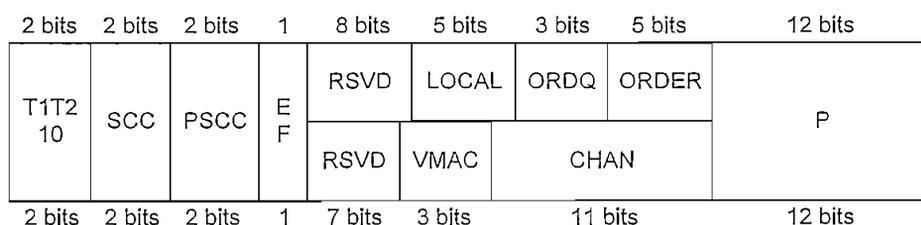


Fig. 2.20: Mensajes del FVC (38)

Donde:

- T_1T_2 : Campo de tipo.
- **SCC**: código de color del SAT.
- **VMAC**: Código de atenuación móvil del canal de voz
- **EF**: Indicador de protocolo extendido del canal directo.
- **PSCC**: Código de color de SAT presente.
- **CHAN**: canal de voz designado.

El sistema al decidir transferir un móvil por *handoff* de una celda a otra, formula el mensaje de control con una sola palabra repetida 11 veces, como se indica en la figura 2.21.

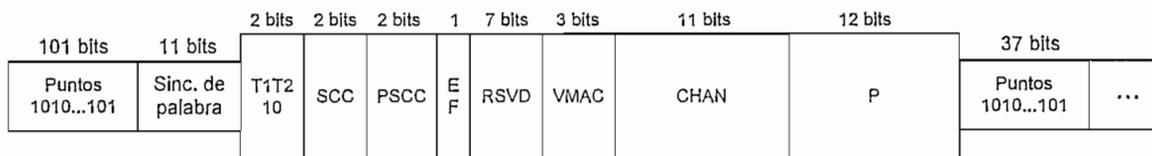


Fig. 2.21: Mensaje de handoff (39)

Este mensaje le indica a la unidad móvil que sintonice un nuevo canal analógico. Las mejoras de los estándares también permiten hacer un *handoff* a canales digitales.

Otro uso del mensaje de señalización del canal de voz directo es para cambiar el nivel de potencia de la unidad móvil; por ejemplo, si está con un nivel de potencia alto, el mensaje contenido en el FVC le dice que reduzca su potencia. La figura 2.22 ilustra el formato de éste mensaje.

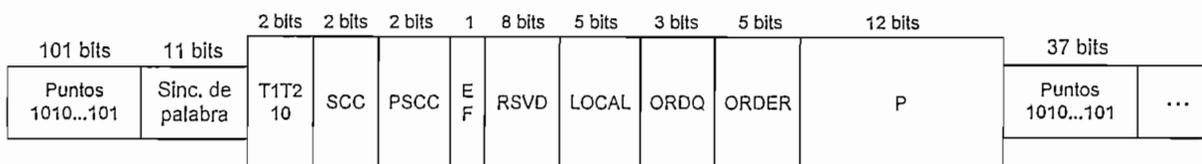


Fig. 2.22: Mensaje de nivel de potencia (39)

Las especificaciones del cambio de nivel de potencia están contenidas en los campos *LOCAL*, *OrdQ* y *ORDER*; el móvil obedece y confirma en el RVC.

Los niveles de potencia para las estaciones móviles son medidas en dBW (ERP - potencia radiada efectiva). La unidad del usuario debe ser capaz de reducir o incrementar la potencia en pasos de 4 dB por comando de la estación base que especifique el nivel de potencia de 0 a 7. Las diferentes clases para las estaciones móviles son: clase I es para móviles de 3 W, clase II es para

transportables de 1.6 W, clase III es para portables de 0.6 W y clase IV es para portables de modo dual de 0.6 W (Nota: la Clase IV realmente no está definida como una clase separada en los estándares). El cuadro 2.3 describe los niveles de potencia.

Nivel de Potencia	Código de Atenuación del móvil (MAC)	ERP (dBW) para Estaciones Móviles			
		Clase I	Clase II	Clase III	Clase IV
0	0000	6	2	-2	-2
1	0001	2	2	-2	-2
2	0010	-2	-2	-2	-2
3	0011	-6	-6	-6	-6
4	0100	-10	-10	-10	-10
5	0101	-14	-14	-14	-14
6	0110	-18	-18	-18	-18
7	0111	-22	-22	-22	-22
8	1000	-22	-22	-22	-26 ± 3dB
9	1001	-22	-22	-22	-30 ± 6dB
10	1010	-22	-22	-22	-34 ± 9dB

Cuadro 2.3: Niveles de Potencia

Todas las clases de estaciones móviles responderán a un comando CMAC, DMAC o VMAC especificando su potencia de transmisión. Los comandos significan lo siguiente:

- **CMAC:** Código de atenuación móvil del canal de control. Instruye a la unidad del usuario a atenuar al nivel de potencia especificado sobre el RECC.
- **VMAC:** Código de atenuación móvil del canal de voz. Instruye a la unidad del usuario a atenuar al nivel de potencia especificado sobre el canal de voz asignado.
- **DMAC:** Código de atenuación móvil del canal de voz digital. Instruye a la unidad del usuario a atenuar al nivel de potencia especificado sobre el canal de voz digital asignado.

2.1.3.2. CANAL DE VOZ ANALOGICO DE REVERSA (RVC)

El canal de voz de reversa es usado también en banda amplia siendo, enviado desde el móvil a la estación base. Es un flujo de datos de 10 Kbps \pm 1 bps. El RVC contiene palabras de datos de 48 bits repetidos 5 veces, la primera palabra es precedida de una secuencia de puntos 101 bits para incrementar la posibilidad de una sincronización satisfactoria y la palabra de sincronismo de 11 bits (11100010010), y las demás palabras están precedidas de una secuencia de 37 bits y la palabra de sincronismo. El formato de la trama del RVC se muestra en la figura 2.23 y como máximo se envían 2 palabras en un mensaje.



Fig. 2.23: Trama del RVC (38)

Los siguientes tipos de mensajes son enviados en un canal de voz de reversa:

- **Confirmación de orden**

Este mensaje consta de una palabra y su uso más frecuente es para confirmar las órdenes emitidas desde la estación base, los cuales se envían y reciben en modo de silencio y ráfaga provocando la interrupción de la llamada. En la figura 2.24 se indica el formato del mensaje de confirmación de orden.



Fig. 2.24: Mensaje de confirmación de orden (39)

Las unidades móviles confirman los comandos de control de potencia con éste mensaje de datos que se envía sobre el RVC, que básicamente es la orden emitida por la estación base enviada de regreso por el móvil.

- **Mensaje de dirección de destino**

Es un mensaje de dos palabras mediante el cual se establece una llamada tripartita. El formato del mensaje de dirección de destino es muy parecido al de las figuras 2.16 y 2.17.

2.1.4. TRANSICION A DIGITAL

Como se vio anteriormente, los canales de control FOCC y RECC en sistemas compatibles con el estándar IS-54, son los mismos que se utilizan en los sistemas analógicos, ya que se tiene el mismo formato de modulación, estructuración de palabras y protocolos. Además, el móvil anuncia la capacidad TDMA en RECC estableciendo el bit PCI en 1 (ver figura 2.11), y la disponibilidad de TDMA en FOCC de igual manera.

Durante el período de transición a digital, los sistemas con IS-54 utilizan los canales de control analógicos para controlar los canales de voz digitales. Los móviles IS-54 monitorearán los canales de control de AMPS cuando se activan por primera vez rastreando los 21 canales de control dedicados, generalmente los canales del lado A (313 – 333) o los canales del lado B (334 – 354), dependiendo de cómo se programe el teléfono. El móvil busca el bit indicador de compatibilidad

de protocolo (PCI) en el canal de control más potente, y si el bit PCI del FOCC está seteado a 1 el móvil se bloquea en este canal.

Cuando el móvil origina una llamada o responde a un mensaje de búsqueda, su mensaje también contiene el bit PCI en 1, lo cual indica al sistema que el móvil tiene capacidad IS-54 y si hay canales de tráfico digital se le asignará un canal de voz TDMA. En cambio, si el móvil con capacidad IS-54 se activa y monitorea los canales de control AMPS y lee el bit PCI seteado a 0, éste sabe inmediatamente que el sistema no posee capacidad TDMA, y se comporta como un teléfono AMPS.

2.2. PROCESO DE AUTENTICACION

Autenticación es el proceso por el cual la información es intercambiada entre las unidades móviles y la entidad que está realizando la autenticación, con el propósito explícito de confirmar la identidad del móvil. El objetivo primario es permitir a la red protegerse de usuarios no autorizados, de este modo asegurando que solamente los móviles válidos son concedidos para acceder a los servicios de la red.

La autenticación es realizada sobre originaciones del móvil o registraciones. El acceso al sistema se refiere a la originación de un móvil, registración o *flash* (en transferencia de llamadas, también al presionar la tecla *SEND* del teléfono cuando se tiene una llamada en espera o una llamada tripartita).

Un diagrama global de la red de autenticación se muestra en la figura 2.25.

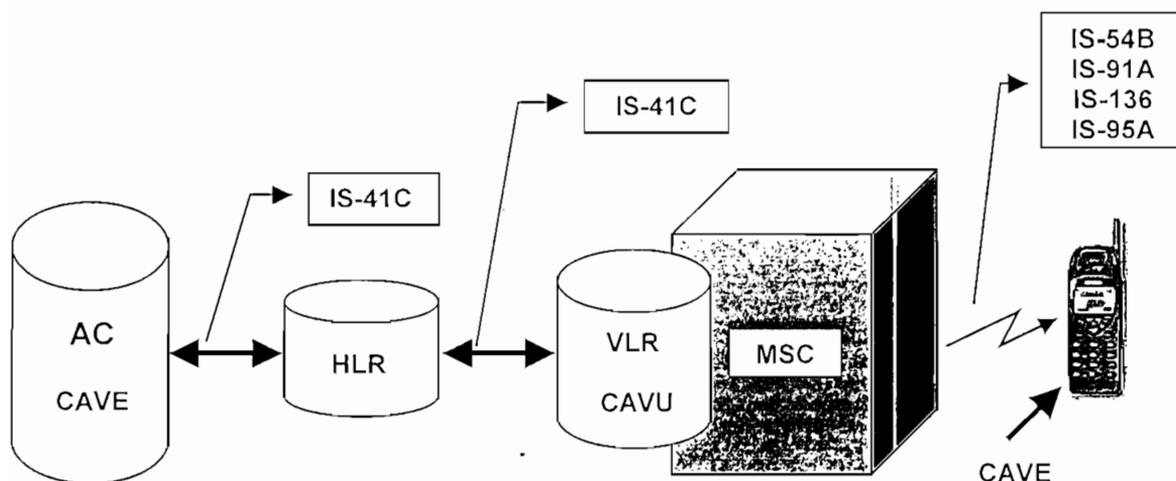


Fig. 2.25: Esquema de Autenticación

Como se observa en este gráfico, la autenticación introduce una nueva entidad a la red: el Centro de Autenticación (AC), el cual es definido por la revisión C del estándar IS-41. El enlace entre el HLR y el AC externo tiene que ser IS-41C, de la misma manera que el enlace entre el VLR y el HLR.

Los mensajes de red de autenticación usan el estándar IS-41 revisión C; este estándar está basado en el algoritmo criptográfico de la Asociación de Industrias de las Telecomunicaciones (TIA) llamado autenticación celular y encriptación de voz (CAVE - *Cellular Authentication and Voice Encryption*). Este protocolo de autenticación es usado por los estándares de interfaz aérea IS-54B, IS-91, IS-95 e IS-136.

La unidad de autenticación de la llamada y de privacidad de voz (CAVU – *Call Authentication and Voice Privacy Unit*) es la entidad funcional responsable para la ejecución del CAVE en la central. El CAVE es implementado en el AC, VLR y la estación móvil MS, y es el corazón de la autenticación y la encriptación, es usado para computar los parámetros de autenticación tanto en el móvil como en el AC. El algoritmo del CAVE corre cada vez que el móvil accesa al sistema y la central servidora (MSC-S – *Serving Mobile Switching Center*) solicita validación del móvil que accesa. En la figura 2.25 se puede observar el móvil como el AC tienen que ser equipados para correr el CAVE, mientras que el MSC necesita ser equipado

para correr el CAVE, si los datos secretos compartidos (SSD – *Shared Secret Data*) necesitan ser compartidos.

Las propiedades matemáticas del algoritmo del CAVE son tales que conocido el algoritmo combinado con los datos enviados sobre el interfaz de aire no son suficientes para deducir la llave de autenticación (A-key – *Authentication Key*).

El A-key es una serie de dígitos confidenciales el cual es conocido únicamente por la estación móvil y su centro de autenticación. El A-key es almacenado en la memoria de identificación y en la memoria de seguridad permanente del móvil, y también está almacenada en el AC asociado al móvil durante la activación del servicio. Por razones de seguridad el A-key nunca es transmitido en el enlace de radio, y nunca aparece desplegada en la pantalla del móvil. El valor del A-Key encriptada puede ser cambiada sólo bajo pedido del AC y provee una entrada variable hacia el algoritmo CAVE. El proceso de generación o actualización del SSD es el único instante en el que la A-Key es usada como una entrada hacia el algoritmo CAVE.

El parámetro SSD es un patrón de 128 bits almacenados en la memoria semipermanente del móvil, el cual es generado desde el A-key por la ejecución del algoritmo CAVE en el AC y en el móvil. De manera similar al A-key el SSD nunca es transmitido sobre el enlace de radio. El SSD es particionado en dos subconjuntos distintos de 64 bits cada uno, el SSD-A usado para los procedimientos de autenticación y el SSD-B usado como una variable de encriptación para la privacidad de voz y los mensajes de señalización. El SSD es computado solamente en el AC y en el MS ya que está basado sobre la autenticación secreta del usuario (A-key) compartido sólo entre el AC y el MS.

El AC contiene una base de datos, la cual contiene cada información de la autenticación del móvil. Todos los mensajes entrantes y salientes desde cualquier VLR/MSC al AC tienen que ser enrutados a través del HLR.

El centro de conmutación móvil sirviente tiene muchas responsabilidades en proveer la capacidad de autenticación al sistema, determina si el móvil debe generar parámetros de autenticación previa al acceso al sistema y adicionalmente el MSC-S se comunica con el usuario móvil cuando es solicitado por el AC.

El VLR, el cual en el *switch* es colocado con el MSC, toma muchas de las responsabilidades del AC para reducir la mensajería de cabecera en la red de comunicación con el AC (esto es posible compartiendo el SSD). Cuando el VLR contiene el SSD, realiza el chequeo de validación de autenticación sobre un móvil.

Dos formas de autenticación son disponibles para los móviles: autenticación de desafío global y autenticación de desafío único:

- ***Desafío global***

Quando la autenticación de desafío global está activa, una variable randómica de exploración global (RAND) y un AUTH igual a 1 son transmitidos haciendo una emisión a los móviles capaces de autenticación sobre el canal de control directo.

El parámetro RAND contiene un número randómico de 32 bits que es usado como entrada al algoritmo CAVE para la autenticación en el MS (el número randómico es cambiado por la central sirviente), adicionalmente es usado para generar el resultado de autenticación (AUTHR - *Authentication Result*) hacia el desafío global tomando más de cuatro millones de valores posibles. El RAND se transmite dentro de un mensaje de parámetros de acceso sobre un canal de control digital o sobre un OMT de un canal de control analógico, y los 8 bits más significativos del RAND se los conoce como confirmación de la variable randómica (RANDC - *Random Variable Confirmation*).

El parámetro AUTH determina si el móvil está intentando acceder al sistema, y su información en el canal de control para un interfaz aéreo puede proporcionar una indicación de la capacidad del sistema para soportar

autenticación. Cuando el campo pertinente en el canal de control directo indica que los parámetros de autenticación son requeridos, la autenticación del móvil es esperada para generar un resultado de autenticación (AUTHR) de 18 bits desde el CAVE previo a cualquier acceso al sistema. Cuando la información en el canal de control indica que los parámetros de autenticación no son requeridos, el móvil no necesita generar el AUTHR y todavía es capaz de ingresar al sistema. El AC, o el VLR si SSD es compartido, también computa el AUTHR y compara con el valor provisto por el MS, si los valores son iguales entonces la autenticación es satisfactoria.

- **Desafío único**

El AC, o el VLR si el SSD es compartido, genera una variable randómica de desafío único (RANDU - *Random Variable Unique Challenge*) de 24 bits usada en lugar del parámetro RAND, y el móvil es explícitamente desafiado a autenticar a sí mismo. El móvil calcula su respuesta, llamada parámetro de resultado de autenticación para desafío único (AUTHU - *Authentication result parameter for the Unique Challenge*) y la retorna al AC (o al VLR) donde es comparada con la respuesta esperada. El cálculo de la respuesta AUTHU es realizado por el algoritmo CAVE usando la variable RANDU. Si la autenticación durante la registración inicial falla (esto es conocido como inconsistencia en el RANDC y puede ocurrir debido a móviles fraudulentos o cuando un móvil se mueve de un sistema a otro) un único mensaje de desafío es enviada sobre el FOCC preguntando al móvil recomputar la respuesta de autenticación con el nuevo número randómico.

2.3. TDMA TIPOS DE CANALES Y SUS FUNCIONES

Los desarrollos iniciales de los sistemas celulares digitales fueron basados en el estándar IS-54B y utilizando el canal de control analógico (ACCH). Aunque el ACCH ha servido bien al mercado celular, no es capaz de proveer los servicios digitales avanzados e incrementar la capacidad requerida para los mercados actuales. La segunda generación de sistemas TDMA utilizan un canal de control

digital (DCCH) ofreciendo las siguientes mejoras a los sistemas de 800 MHz y 1900 MHz:

- Realce en la funcionalidad:
 - Selección y reelección inteligente en las celdas.
- Nuevos servicios:
 - *Sleepmode* para incrementar la vida de la batería.
 - Servicio de mensajería corta SMS punto a punto.
 - Soporte para las estructuras jerárquicas de las celdas y sistemas no públicos.
 - *Roaming* inteligente.
- Capacidad en la señalización:
 - Protocolos por capas para incrementar la flexibilidad y expandibilidad.
- Capacidad mejorada:
 - Incremento de la tasa de bits de 10 Kbps a 16.2 Kbps.
 - Incremento de la eficiencia de la codificación junto con el incremento de la eficiencia de protocolos de acceso múltiple.
 - Canal de control digital fraccional (2T + C).

El canal de control digital (DCCH) está basado en el estándar IS-136, cuya capacidad y cobertura son competitivas con otras tecnologías digitales. El estándar es compatible con IS-54B, por lo que los sistemas AMPS/TDMA pueden ser actualizados a IS-136 añadiendo un DCCH.

Cuatro documentos comprimen la especificación de información necesaria para el desarrollo de los productos basados en el estándar IS-136

- El IS-136.1 especifica:
 - Canal de control digital (DCCH).
 - Servicio de mensajería corta (SMS).
 - Activación sobre el aire (OTA).
- El IS-136.2 es una modificación del estándar TIA/EIA 627, y especifica:
 - Canal de tráfico digital (DTCH).
 - Canal de voz analógico (AVCH).
 - Canal de control analógico (ACCH).
- El IS-137 es el estándar EIA/TIA 628 modificado. Este documento direcciona los requerimientos mínimos para el *performance* de la estación móvil.
- El IS-138 es el estándar EIA/TIA 629 modificado. Este documento direcciona los requerimientos mínimos para el *performance* de las estaciones base.

Otros documentos útiles incluyen:

- IS-130: Protocolo 1 de enlace de radio para interfaz de radio de sistemas celulares TDMA a 800 MHz.
- IS-135: Servicio de datos asincrónicos y fax para sistemas celulares TDMA a 800 MHz.
- IS-41C: Operaciones de telecomunicaciones intersistema para radio celulares.
- IS-53: Descripción de las características celulares.
- IS-54B: Estándar de compatibilidad de modo dual estación móvil – estación base para sistemas celulares que introduce canal de tráfico digital y un nuevo conjunto de características como la autenticación, identificación del número llamante, indicador de mensajes en espera y privacidad de voz.
- IS-641: *Enhanced full rate speech coder* (EFRC) para interfaz de radio TDMA en sistemas celulares a 800 MHz.
- ITU E.163: Plan de numeración para servicio telefónico internacional.
- ITU E.164: Plan numérico para la era ISDN.

- ITU E.212: Plan de identificación para estaciones móviles terrenas.
- ITU F.69: El servicio de telex internacional.
- ITU I.330: Numeración ISDN y principios de direccionamiento.
- ITU I.334: Principios relacionados a los números ISDN / subdirecciones a las direcciones de capas de red del modelo de referencia ISO.
- ITU T.50: Alfabeto internacional N° 5.
- ITU X.121: Plan de numeración internacional para redes de datos públicas.
- ITU X.213: Definición de servicios de red para interconexión de redes abiertas para aplicaciones de la CCITT.
- ITU X.25: Interfaz entre el equipo terminal de datos (DTE) y el equipo de terminación de circuitos de datos (DCE) para operación de terminales en modo de paquete y conectado a la red de datos pública por circuitos dedicados.
- TIA/EIA 553: Especificación de compatibilidad entre la estación móvil y la estación fija.
- TIA/EIA 627: Sistemas celulares a 800 MHz, interfaz de radio TDMA, estándar de compatibilidad estación móvil – estación base.
- EIA/TIA 628: Sistemas celulares a 800 MHz, interfaz de radio TDMA, estándar de *performance* mínimo para estaciones móviles de modo dual.
- EIA/TIA 629: Sistemas celulares a 800 MHz, interfaz de radio TDMA, estándar de *performance* mínimo para estaciones bases que soportan estaciones móviles de modo dual.
- TSB 50: Interfaz de usuario para el ingreso de la clave para autenticación.

2.3.1. BENEFICIOS Y VENTAJAS DEL DCCH

Además de las mejoras provistas en la funcionalidad del canal de control, el DCCH soporta ventajas en los servicios descritos a continuación:

- ***Consumo reducido de batería***

En el medio ambiente del canal de control analógico hacia delante, el móvil monitorea constantemente el ACCH. Debe constantemente decodificar los

bits de la trama del FOCC para que reciba el servicio y monitorear las búsquedas. En contraste, un canal de control digital busca móviles IS-136 en tiempos predeterminados, una vez que el móvil ha sido inicialmente registrado sólo tiene que periódicamente activar el procesador de señales digitales (DSP) para leer la información comunicada sobre el *slot* de búsqueda asignado. La información contenida en el *slot* de búsqueda alertará al móvil cuando necesite activarse totalmente y salir del estado conocido como *sleepmode*; en este estado el móvil todavía toma medidas de señal recibida de los canales de control vecinos pero no los demodula hasta que el DCCH informa al móvil que lo necesita.

Los mensajes del sistema recibidos por el teléfono pueden ser búsquedas o mensajes *broadcast* (por ejemplo, actualizaciones de cambios en la celda o listas vecinas) llevados sobre el *downlink* del DCCH. El teléfono necesita decodificar la información del *downlink* sólo en intervalos, de esta manera el teléfono tiene períodos extendidos de tiempo en los cuales puede apagar algunos de sus circuitos y reducir el consumo de energía entre períodos de búsqueda.

El consumo de potencia reducida del móvil cuando está en *sleepmode* incrementa significativamente el tiempo de operación *standby* cuando el móvil está acampado sobre el DCCH. En muchos casos, la batería de un móvil IS-136 en modo de operación *standby* sobre un canal de control digital continuará dos a tres veces el tiempo *standby* tradicional de operación de un móvil sobre el canal de control analógico. Este es uno de los beneficios inmediatos más significativos que los usuarios y operadoras pueden percibir desde los desarrollos del canal de control digital.

La figura 2.26 describe el consumo de corriente de la batería en el canal de control analógico (ACCH) versus el DCCH e indica los períodos de *sleepmode* en el DCCH.

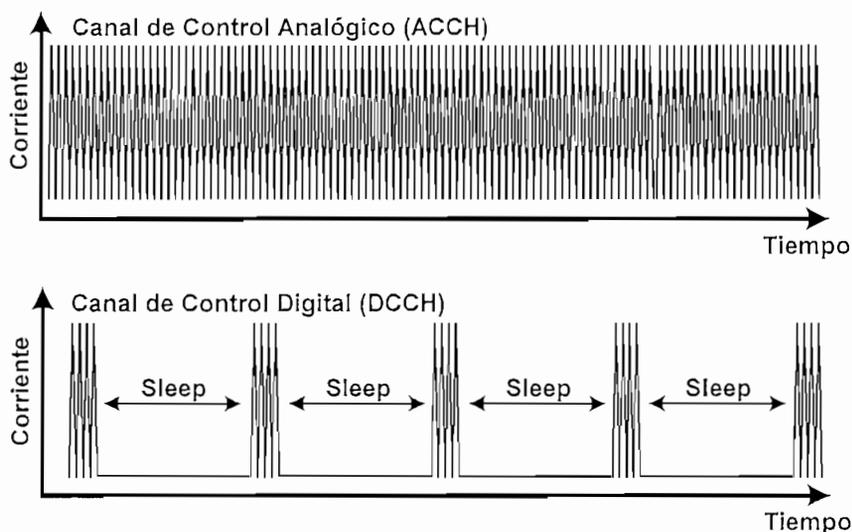


Fig. 2.26: Consumo de batería (16)

- **Asignación flexible de frecuencia del DCCH**

A diferencia del canal de control analógico, no hay restricción en la asignación de canal de un DCCH ya que se puede implementar en cualquier canal del espectro de radio frecuencia. Sin embargo, hay algunas recomendaciones en donde debería ser ubicado.

- **Selección y reelección inteligente de las celdas**

Ya que un DCCH puede existir en cualquier lugar del espectro de frecuencias, la información en cuanto a la ubicación del DCCH necesita ser comunicada al móvil. Esto se logra a través de punteros localizados en el FOCC y en la ráfaga del canal de tráfico digital. Una vez que el móvil está enganchado a un DCCH, la información sobre otros canales de control (ACCH, DCCH o ambos) en las áreas vecinas será provista al móvil a través de la lista de celdas vecinas (NCL) o lista de celdas vecinas en la multi-hiperbanda (MHNCL)⁴ la cual es almacenada en el móvil luego de la registración. Cuando otro canal de

⁴ Cada vez que NCL contiene celdas vecinas de diferente banda de frecuencias de la suya, la NCL es referida como MHNCL. Por ejemplo, una celda a 800 MHz puede tener vecinas a 1900 MHz. Si una celda contiene vecinas de la misma banda de frecuencias que la suya, entonces el NCL es referido simplemente como NCL.

control digital es requerido para ser reseleccionado, el móvil usará la información contenida en esta lista para ayudar a seleccionar la mejor celda servidora posible. Hasta 24 celdas vecinas analógicas y/o TDMA pueden estar especificadas en la NCL o MHNCL.

- ***Capacidad de búsqueda mejorada***

El canal de control digital utiliza un nuevo procedimiento de localización basado en los sistemas de búsqueda y registración. El propósito es generar más zonas de búsqueda eficientes, dando como resultado el incremento en la capacidad. Estas zonas son conocidas como áreas virtuales de localización del móvil (VMLA - *Virtual Mobile Location Area*) y el proveedor de servicio puede crear una serie de VMLA's que reflejarán las condiciones de tráfico local que están soportando.

- ***Soporte a sistemas no públicos***

Además de sistemas públicos, cada canal de control puede también soportar hasta 16 sistemas no públicos residenciales o privados. El sistema sobre el cual el móvil se registra es capturado en los registros detallados de llamadas (CDR) y puede ser usado para proveer datos a los paquetes de facturación.

- ***DCCH fraccional (2T + C)***

La tecnología de radio TDMA incrementa la capacidad del sistema dividiendo cada canal en seis *slots* de tiempo. Actualmente, un canal físico puede manejar tres llamadas de voz al mismo tiempo, en el cual cada llamada ocupa dos de los seis *slots* de tiempo. Esto es conocido como FR-TDMA (Full Rate TDMA). Un canal de control digital es implementado como un canal FR-TDMA y es asignado los *slots* 1 y 4 de la trama TDMA, los otros cuatro *slots* de tiempo o no son usados (DCCH regular) o son utilizados como canales de tráfico (DCCH fraccional o 2T + C).

- ***Roaming inteligente***

El *roaming* inteligente es un servicio que permite a los usuarios el mejor servicio posible basado en los acuerdos de *roaming* entre el proveedor de servicio local del móvil y otro proveedor de servicio a través de los sistemas de 800 MHz y 1900 MHz. El *roaming* inteligente reduce el tiempo de exploración durante la búsqueda de la estación móvil por los *carriers* a través de las diferentes bandas.

- ***Servicio de mensajería corta***

El servicio de mensajería corta es una recopilación de utilidades que proveen la habilidad de enviar mensajes de datos de tamaño limitado a 122 caracteres de texto a un teléfono celular.

- ***Sistema de identificación ID alfanumérico***

El canal de control digital puede emitir un sistema ID alfanumérico de hasta 15 caracteres de su propia elección al móvil. El ID puede ser residencial, privado o público y es mostrado al usuario en la pantalla del equipo.

- ***Soporte para EFRC (Enhanced Full Rate Codec)***

El EFRC es conocido también como un algoritmo de codificación para los canales digitales definido en la EIA/TIA IS-641. El EFRC es el primer mejoramiento realizado para sustituir al codificador de voz originalmente designado por el IS-54 para el sistema celular digital denominado VSELP (codificación predecible lineal activada por la suma de vectores), los datos son comprimidos nominalmente a 8 Kbps como lo hace el VSELP (exactamente 7.95 Kbps) lo que le permite ser incluido en los sistemas TDMA sin cambiar mayormente las instalaciones existentes.

Otro mejoramiento es que modifica los algoritmos de codificación y corrección de errores en el canal, con lo que se logra disminuir la incidencia ante interferencias. El algoritmo de codificación de voz EFRC requiere ligeramente una tasa de bits más baja que el VSELP, como resultado de esto, más bits en cada trama TDMA están disponibles para realizar la corrección de errores. El resultado neto es que el EFRC entrega un BER más bajo que el VSELP en condiciones similares del ambiente de radio frecuencia, mejorando la calidad de voz en la conversación.

2.3.2. MODO DE OPERACION DE TDMA

Como se mencionó en el capítulo I, TDMA es una técnica de transmisión digital que se basa en la tercera revisión de estándar IS-54 (IS-54C ó IS-136) la cual permite a un número de usuarios acceder a una frecuencia de canal de radio sin interferencia asignando *slots* de tiempo únicos a cada usuario en cada canal, tal como se muestra en la figura 2.27.

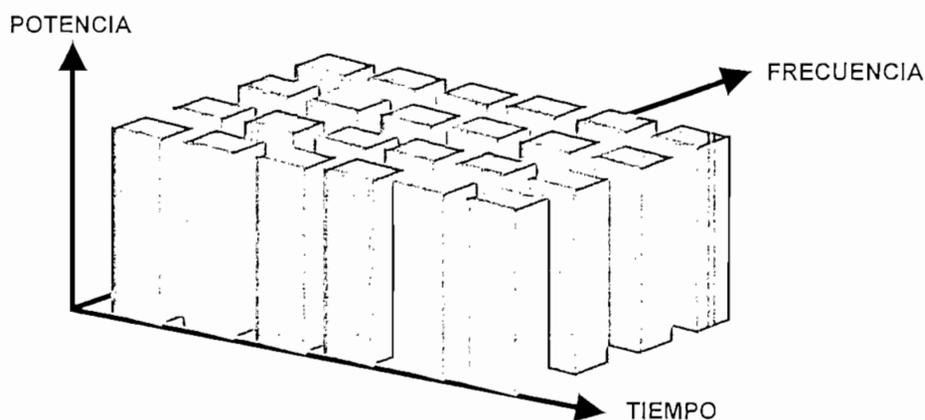


Fig. 2.27: Time Division Multiple Access

El esquema de transmisión digital TDMA multiplexa tres señales sobre un canal, aunque el actual estándar TDMA para celulares divide a un canal en seis *slots* de tiempo, con cada señal usando dos *slots*, proporcionando una ganancia en capacidad de 3 a 1 sobre AMPS. Cada llamada es asignada a un *slot* de tiempo específico para la transmisión.

Este sistema utiliza la misma banda de frecuencia y asignaciones de canal que el AMPS, es decir para los sistemas AMPS e IS-136 las señales individuales ocupan canales de 30 KHz de ancho, donde el concepto de canal incluye tanto señalización directa como señalización inversa, de modo que requiere 30 KHz en el rango de señalización inversa y 30 KHz en el rango de señalización directa.

La secuencia de numeración de canales es exactamente el mismo tanto para los rangos de señalización inversa como de señalización directa.

Se debe anotar que el sistema TDMA es también la técnica de acceso usada en el estándar digital europeo GSM, y el estándar digital japonés PDC. La razón para escoger TDMA para todos estos estándares fue que permitía algunas características vitales descritas anteriormente para la operación del sistema celular.

Para poder entender el estándar IS-136 de TDMA, se puede hacer una comparación con el modelo de capas OSI (*Open System Interconnection*), ya que el IS-136 sigue al modelo OSI en varias formas, debido a la correspondencia entre las capas (ver figura 2.28). Con el modelo OSI se crea una medida de independencia entre niveles, de tal forma que es posible hacer cambios y adiciones al nivel sin tener que cambiar el protocolo completo del sistema de comunicaciones.

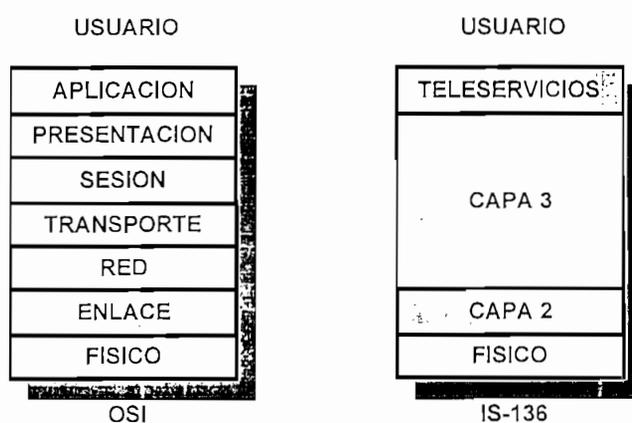


Fig. 2.28: Modelo OSI vs IS-136.28

La capa física define la modulación, la estructura de la trama de TDMA, la sincronización, el escenario para el acceso al canal de control digital y el procesamiento de llamadas. Una señal TDMA es un flujo continuo de bits divididos en tramas, transmitiéndose 25 tramas por segundo, cada trama se transmite a 48.6 Kbps o 24.3 ksímbolos/seg (16.2 Kbps por canal de voz) con una duración de 40 ms y consisten de 1944 bits o 972 símbolos (2 bits por símbolo). Cada trama está dividida en 6 ranuras o *slots* de tiempo que tienen una longitud idéntica, por lo que cada *slot* transmite 324 bits en 6.67 ms. Un bloque TDMA consiste de la mitad de una trama TDMA (*slots* 1-3 o 4-6).

La velocidad de transmisión de 48 Kbps es demasiado alta para modular la portadora y el ancho de banda de 30 KHz permitidos, por lo que para transmitir la información se utiliza modulación en cuadratura, específicamente $\pi/4$ DQPSK. Hay dos longitudes de trama:

- **Trama a velocidad total (Full-rate)**

Cada canal de tráfico utiliza dos *slots* de tiempo, el canal 1 utiliza los *slots* 1 y 4, el canal 2 utiliza los *slots* 2 y 5, y el canal 3 utiliza los *slots* 3 y 6. En este caso, los *slots* 1 y 4 contienen información para la misma unidad móvil (los *slots* 2 y 5 y los *slots* 3 y 6 funcionan de la misma manera).

Llamada 1	2	3	Llamada 1 continuación	Llamada 2 continuación	Llamada 3 continuación
-----------	---	---	------------------------	------------------------	------------------------

Fig. 2.29: Trama a TDMA-3

- **Trama a velocidad media (Half-rate)**

Cada canal de tráfico utiliza un *slot* de tiempo, el canal 1 usa el *slot* de tiempo 1, el canal 2 usa el *slot* de tiempo 2, el canal 3 usa el *slot* de tiempo 3, el canal 4 usa el *slot* de tiempo 4, el canal 5 usa el *slot* de tiempo 5 y el canal 6 usa el *slot* de tiempo 6.



Fig. 2.30: Trama a TDMA-6

Cabe recalcar que éste sistema no se ha implementado todavía en forma práctica.

Además de estas asignaciones de *slots* de tiempo, en el cuadro 2.4 se muestran los posibles arreglos de tramas TDMA que soporta el estándar IS-136, tanto para arreglos de trama de velocidad total como de velocidad media.

Arreglo	TS 1	TS 2	TS 3	TS 4	TS 5	TS 6	Tipo
Arreglo 1	1	2	3	4	5	6	Half-rate
Arreglo 2	1	2	3	1	5	6	Full-rate
Arreglo 3	1	2	3	4	2	6	Full-rate
Arreglo 4	1	2	3	4	5	3	Full-rate
Arreglo 5	1	2	3	1	2	6	Full-rate
Arreglo 6	1	2	3	1	5	3	Full-rate
Arreglo 7	1	2	3	4	2	3	Full-rate
Arreglo 8	1	2	3	1	2	3	Full-rate

Cuadro 2.4: Asignación de los slots de tiempo (45)

En general, la trama TDMA se puede representar en se muestra en la figura 2.31.

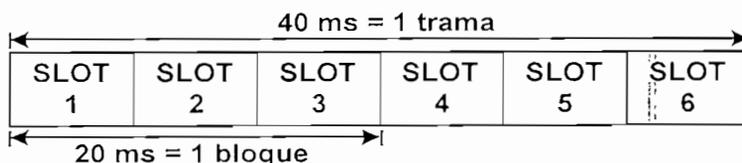


Fig. 2.31: Trama TDMA

Además, en esta capa se manejan las supertramas que consisten de 16 tramas TDMA (640 ms). Dos supertramas consecutivas, una primaria y una secundaria,

forman una hipertrama. Hay pocas diferencias entre las supertramas primaria y secundaria. La excepción a esto es que todos los mensajes usados para la notificación inicial a un móvil de un evento transmitidos en la supertrama primaria (enviados en el *slot* de búsqueda) son repetidos en la supertrama secundaria. Con esto el móvil sólo necesita leer la información en el *slot* de búsqueda en toda la otra supertrama, es decir, una vez cada 1.28 seg (39).

En la capa 2 se maneja el empaquetamiento de datos, se realiza la corrección de errores, la organización y el transporte de mensajes; por lo que se definen los formatos de los mensajes en los canales lógicos, facilitando el procesamiento de llamadas y otras funciones especiales, las cuales son:

- Monitoreo y control de los accesos incluyendo las retransmisiones requeridas.
- Decodifica los paquetes de esta capa y pasa los datos resultantes de la capa 3.
- Filtra los paquetes no destinados para el móvil.
- Controla el *sleepmode*.

En la capa 3 trascienden varios niveles de la pila OSI definiendo estructuras de mensajes para el procesamiento de llamadas, se define la administración y control de la movilidad y de los recursos del sistema. Los mensajes de señalización se originan y se terminan en esta capa, es decir, se crean y se manejan los mensajes enviados y recibidos a través del aire. El procesamiento de llamadas en la capa 3 es bastante similar en principio que el canal de control en el AMPS (aunque mucho más complejo).

La capa de teleservicios es la capa superior donde se encuentran las funciones mejoradas del IS-136. Las funciones disponibles son los servicios de mensajería corta, los servicios de datos, y demás servicios sobre el aire.

La descripción anterior se la puede representar mediante el modelo de interfaz de aire ilustrado en la figura 2.32.

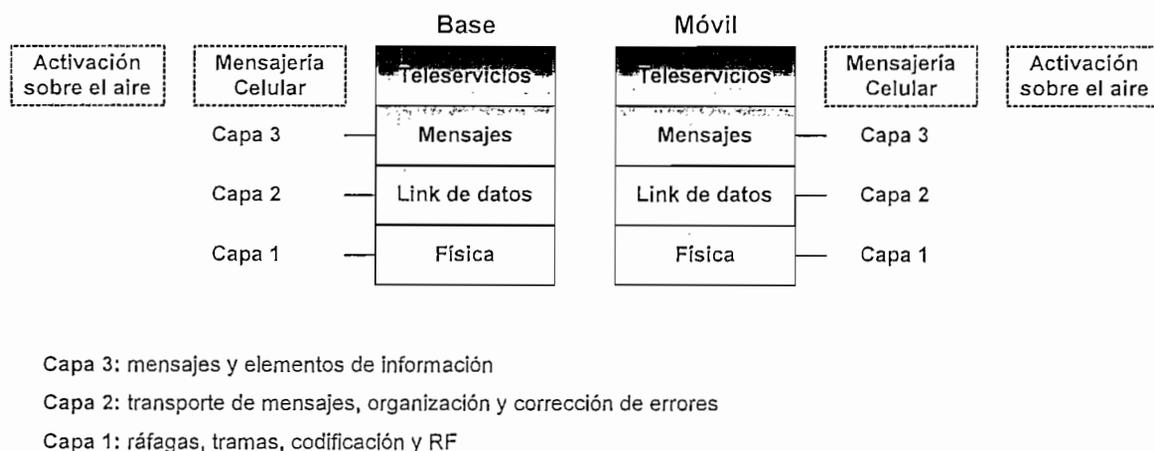


Fig. 2.32: Modelo interfaz aire (16)

2.3.3. CANAL DE TRAFICO DIGITAL IS-136 (DTCH)

Como se mencionó anteriormente cada canal de radio digital puede llevar tres conversaciones en los canales de tráfico multiplexadas en *slots* de tiempo. Un canal de control digital es introducido en los sistemas TDMA por la reprogramación de uno de esos canales de tráfico, llamado canal de tráfico digital (DTCH). El DTCH fue históricamente introducido en el estándar provisional IS-54, el cual mantenía el canal de control analógico para la realización de las llamadas. El DTCH del IS-136 es compatible con el DTCH del IS-54, y cada ranura o *slot* de tiempo contiene bits de información acerca de un canal de voz específico.

La figura 2.33 describe de manera general el par de *slots* del DTCH (*slot* 1 y 4) usados por un DCCH, y muestra cada celda dividida en sectores (A, B, C). Sólo un par de *slots* de tiempo es requerido para un DCCH en cada sector a pesar del número de radios digitales en el sector. Se debe tomar en cuenta que en la trama en que está el canal de control digital, sólo están ocupados los *slots* 1 y 4, los demás *slots* pueden o no ser usados para canales de tráfico digital si el hardware de la celda y el software de la central lo permiten.

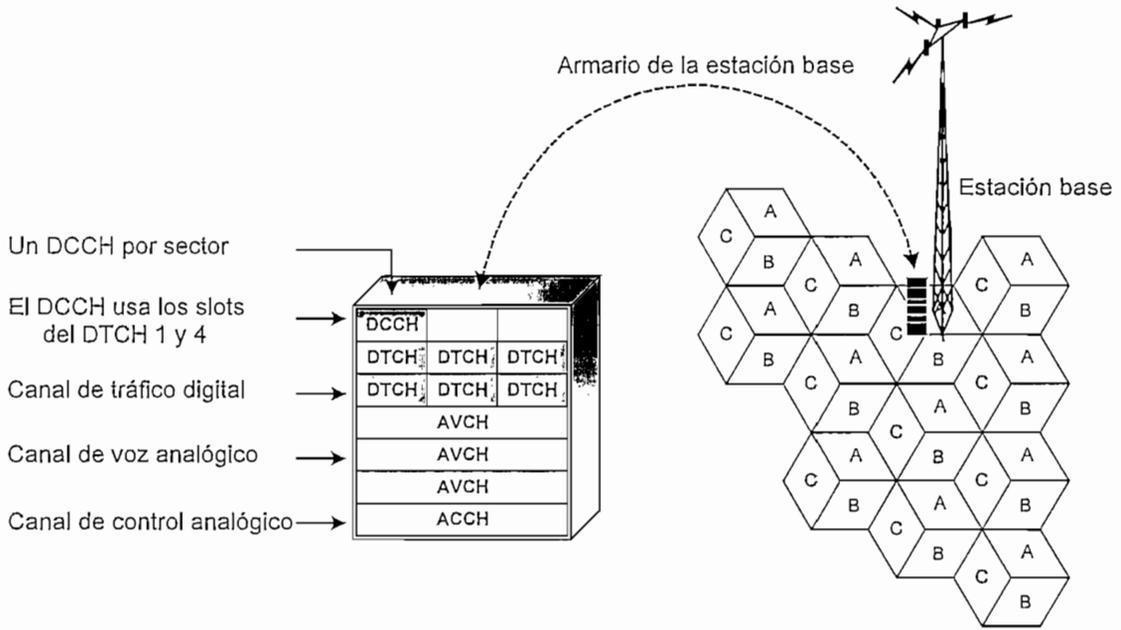


Fig. 2.33: Ubicación DCCH (16)

Hay diferentes formatos para los canales de tráfico digitales directos e inversos; a continuación se presenta el formato del DTCH tanto para el *uplink* como para el *downlink*:

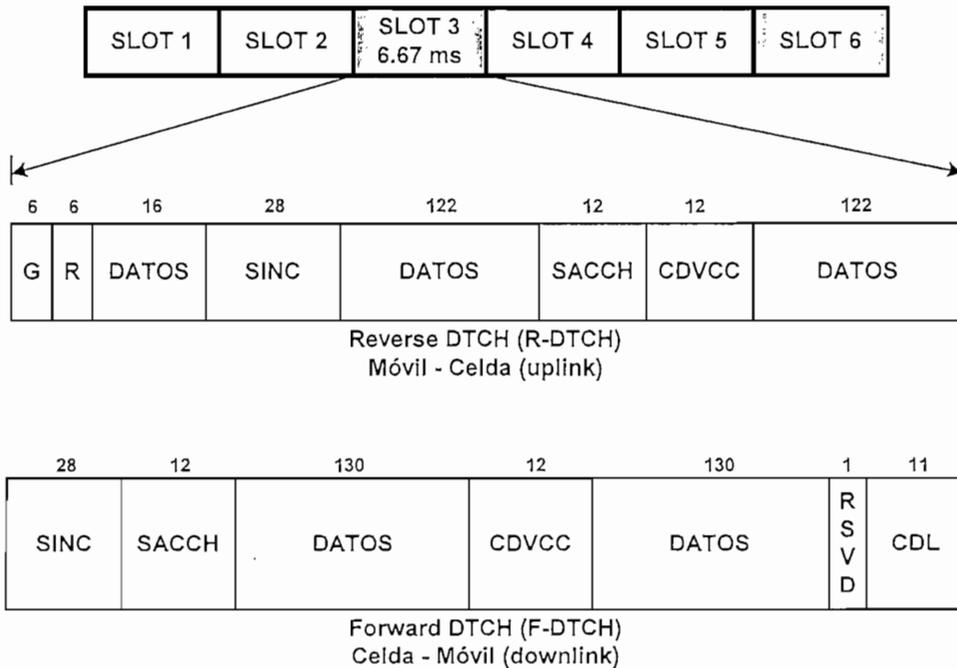


Fig. 2.34: Formato DTCH (43)

Todos los números se refieren a cantidad de bits, y cada campo de datos tiene un fin único al definir el mensaje general. Por lo que detallando los campos de la figura 2.34, se tiene lo siguiente:

- **G:** Intervalo de tiempo de guarda o protección. Este campo es usado para que exista una separación de 6 bits entre trama y trama y no se traslapen, es decir, es un margen de tiempo contra posibles superposiciones de *slots* de tiempo debido a demoras.
- **R:** Intervalo de rampa de energía. Utilizado para permitir que el móvil cambie su transmisor de la condición de apagado a encendido y que el móvil alcance los máximos niveles de energía antes de transmitir la información.
- **SINC:** Utilizado para el sincronismo de las ranuras de tiempo. Cada uno de los 6 *slots* de tiempo tienen una secuencia única de sincronización.
- **DATOS:** Contiene la información del usuario o los mensajes del canal de control asociado rápido FACCH. Los datos en los *slots* 1 y 4, 2 y 5, y 3 y 6 hacen un circuito de voz. Los campos de los datos se digitalizan y codifican en voz utilizando el algoritmo VSELP, y durante el envío de mensajes, la información de FACCH reemplaza el campo de datos de voz.
- **CDVCC:** Código de color de verificación digital codificada. El DVCC es similar al SAT en un sistema AMPS excepto que es usado sobre canales de tráfico digital. Es un código de 8 bits que se envía en cada *slot* de tiempo a / y desde el móvil y la estación base. Hay 4 bits de protección añadidos para crear el CDVCC, por lo que este campo tiene 12 bits de longitud. El CDVCC es usado para distinguir y determinar el canal actual de tráfico de los co-canales o canales de tráfico asociados.
- **FACCH:** Canal de control asociado rápido. Es una canal de señalización de silencio y ráfaga que toma los bits de datos de voz y los reemplaza con la información de la señalización. El protocolo TDMA utiliza el FACCH para el

envío de mensajes de *handoff* durante la llamada sin que el móvil tenga que regresar al canal de control. El FACCH está contenido dentro del canal de tráfico digital y no está presente dentro de todos los *slots* de tiempo, por lo que las transmisiones del FACCH no tienen mayor importancia en la calidad de la voz.

- **SACCH:** Canal de control asociado lento. Este canal no realiza *handoffs* pero lleva información de cosas como la información de la fuerza de la señal a la estación base, por lo que se utiliza para la transmisión de mensajes de control y supervisión entre la estación base y el móvil. El SACCH se utiliza principalmente para el envío de mensajes para la calidad del canal para el *handoff* asistido por el móvil (MAHO - *Mobile Assisted Handoff*); corre junto con el tráfico de voz en los *slots*, y es llamado un canal asociado ya que está asociado con el *slot* que lleva la voz. El SACCH está presente en todas los *slots* de tiempo del canal, independientemente de si los datos son voz o mensajes del FACCH.
- **CDL:** Localizador digital codificado. Este campo proporciona información al móvil para que éste pueda localizar canales de control digital.
- **RSVD:** Bit de reserva.

La estructura de datos como se pudo observar anteriormente para los móviles es diferente que para las estaciones de radio base. Los *slots* de tiempo para la estación base no tienen tiempo de guarda o de subida debido a que su portadora se encuentra siempre encendida; en cambio, los móviles sólo emiten el pulso de portadora durante su *slot* de tiempo. La celda no requiere enviar pulsos de portadora, solamente enviar la información adecuada a cada móvil en el momento preciso.

Cada una de las tres unidades móviles en un sistema TDMA toman “turnos” para transmitir ráfagas de datos, denominadas también ráfagas reducidas, al radio de las celdas de manera síncrona. La sincronización del móvil debe suceder de tal

forma que se reduzca al mínimo la probabilidad de que más de un grupo de ráfagas lleguen a la estación base al mismo tiempo y las señales se traslapen en la cabecera o la cola de un *slot* de tiempo, ya que de darse ésto se degradaría la calidad de voz por los errores que se presentarían en los *slots* de tiempo.

Para tener una adecuada alineación en la temporización se envían instrucciones para adelantar o retardar la transmisión de las ráfagas de los *slots* de tiempo de la unidad móvil para evitar las colisiones. Cuando la estación móvil detecta que los *slots* de tiempo se traslapan, envía un mensaje de temporización al móvil que corresponde a la distancia entre el móvil y la estación base celular, por lo que la alineación de tiempo deberá actualizarse continuamente. La temporización es esencial en sistemas digitales, y debido a que la señal del móvil a la celda toma un tiempo definido en trasladarse a la misma, el procedimiento de la alineación de tiempo garantiza que las transmisiones de otros móviles en diferentes *slots* de tiempo no se topen entre sí a pesar de estar a la misma frecuencia.

En el proceso de originación, cuando un móvil recibe el mensaje de designación de canal de tráfico inicial en el canal de control de señalización directa, la unidad móvil intenta sincronizarse al canal de tráfico digital de señalización directa (F-DTCH). Una vez que el móvil se sincroniza y está operando en el canal de tráfico digital, empieza a transmitir ráfagas reducidas antes de enviar datos reales, permitiendo de esta manera a la estación base contar con la información necesaria sobre la alineación de tiempo. Después de establecer la temporización adecuada, la celda le indica al móvil que deje de enviar las ráfagas reducidas mediante un mensaje de control en el canal de tráfico digital directo, luego de lo cual el móvil empezará a transmitir de modo normal.

Durante una situación de *handoff* digital, el mensaje de *handoff* contiene la información estimada de la alineación de tiempo, la cual depende del tamaño de la celda. Los mensajes de *handoff* de analógico a digital y de digital a analógico contienen un campo de indicador de ráfaga reducida, la cual posee tres posibles condiciones de *handoff*:

- Realizar el proceso de *handoff* a una celda de menor tamaño.
- Realizar el proceso de *handoff* de sector a sector dentro de una misma celda.
- Realizar el proceso de *handoff* a una celda de mayor tamaño.

En la figura 2.35 se presenta el formato de la ráfaga reducida:



Fig. 2.35: Ráfaga reducida (10)

Donde:

- **G1**: 3 símbolos de longitud de tiempo de guarda.
- **R**: 3 símbolos de longitud de tiempo de rampa.
- **S**: 14 símbolos de longitud de palabra de sincronismo.
- **D**: 6 símbolos de longitud para el CDVCC, la unidad móvil utiliza su DVCC asignado.
- **G2**: 22 símbolos de longitud de tiempo de guarda.

Los campos V, W, X, Y consisten de lo siguiente:

- **V**: 4 bits ceros (0000).
- **W**: 8 bits ceros (00000000).
- **X**: 12 bits ceros (000000000000).
- **Y**: 16 bits ceros (0000000000000000).

Los 28 bits del campo de sincronización son utilizados como se pudo apreciar, para la identificación de los *slots* de tiempo, sincronización de los *slots* y para el proceso de ecualización. La ecualización es aplicada a la señal de RF recibida, cuyas funciones primarias son compensar los efectos causados a la señal por el

desplazamiento Duppler⁵, desvanecimiento y pérdidas por trayectorias múltiples que se encuentran en los ambientes móviles digitales. Algunos de estos errores son corregibles con la corrección de errores inherente de los codificadores VSELP/EFRC y la codificación del canal, pero algunas distorsiones pueden resultar en la pérdida de información.

En sí, el proceso de ecualización es usado para modificar la señal recibida. Por medio del análisis de los errores en las palabras SINC el ecualizador puede dinámicamente ajustar sus filtros para revertir los efectos de la distorsión. Esto puede añadir algunos dB's de sensibilidad a la unidad digital del usuario.

2.3.4. DESCRIPCION GENERAL DEL CANAL DE CONTROL DIGITAL

Como se pudo observar, cuando se trata del proceso de llamadas analógicas, el manejo del canal de control analógico ACCH es relativamente sencillo, ya que se tiene un canal de control directo FOCC que es transmitido por la base y un canal de control de reversa RECC que es transmitido por el móvil, que envían diferentes mensajes que permiten un entendimiento bastante aceptable de cómo se establece una llamada.

Cuando se habla del canal de control digital nos enfrentamos a algo mucho más complejo, ya que el canal de control digital es una estructura de canales lógicos que añaden la funcionalidad de control digital a los sistemas celulares existentes AMPS y D-AMPS. El DCCH conserva la estructura y la sincronización usada en TDMA y la señalización del canal de tráfico digital DTCH introducido en el estándar IS-54B proveyendo una estructura de canal de control digital total, indicada en la figura 2.36.

El DCCH contiene algunos subcanales lógicos (ver figura 2.36) que manejan dos cabeceras principales:

⁵ El desplazamiento Duppler se presenta cuando existe una diferencia de frecuencia debida al movimiento de la unidad móvil, ya que para una estación base estacionaria la frecuencia del transmisor del móvil varía ligeramente con la velocidad del mismo.

- DCCH directo o hacia delante (F-DCCH), que lleva la información desde la celda a la unidad móvil.
- DCCH inverso o de reversa (R-DCCH), que lleva la información desde la unidad móvil a la celda.

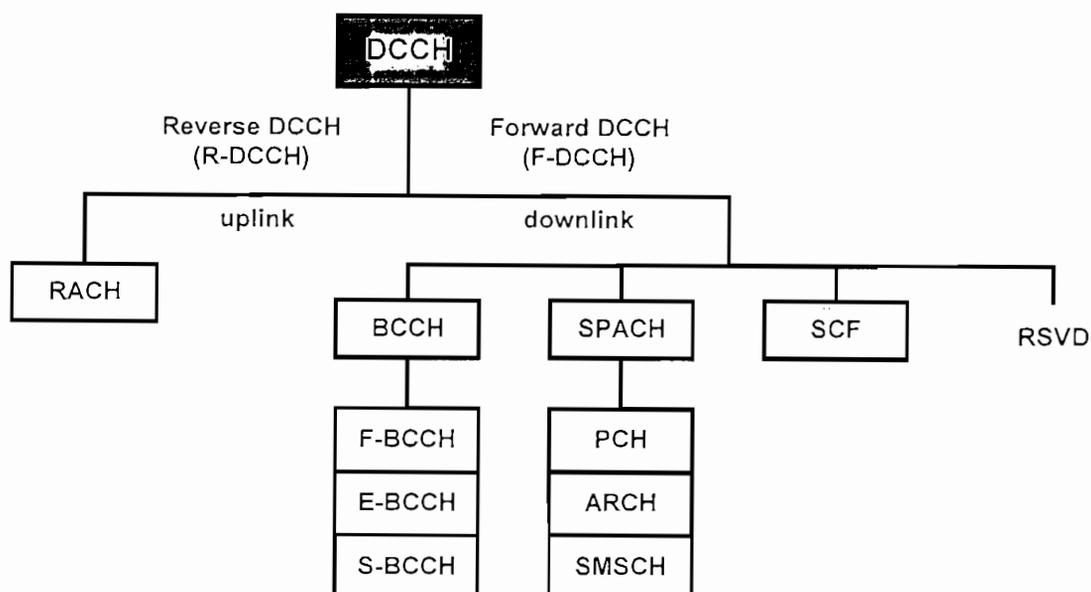


Fig. 2.36: Configuración de canales lógicos (39)

2.3.4.1. DCCH HACIA DELANTE (F-DCCH)

Los mensajes del F-DCCH son enviados desde la base al móvil y se compone de tres grupos principales: canal de control de emisión (BCCH – *Broadcast Channel*), canal de SMS punto a punto, búsqueda y respuesta de acceso (SPACH – *Short Message Service Paging Access Channel*) y realimentación de canal compartido (SCF – *Shared Control Feedback*). El BCCH, el SPACH y el SCF son canales lógicos en aplicaciones de software de las diferentes centrales de conmutación celulares. A más de esto un cuarto canal lógico conocido como canal reservado (RSVD) ha sido diseñado para aplicaciones futuras.

- **Canal de control de emisión (BCCH)**

Es un canal lógico usado para referirse a un canal multiplexado que comprende los subcanales lógicos: BCCH rápido (F-BCCH – *Fast Broadcast Channel*), BCCH extendido (E-BCCH – *Extended Broadcast Channel*) y BCCH de servicio de mensajería corta (S-BCCH – *Short Message System Broadcast Channel*). Estos subcanales lógicos son usados para llevar la estructura de la trama DCCH, los parámetros del sistema, la lista de celdas vecinas y los mensajes de SMS globales.

Los atributos de estos subcanales definen mensajes unidireccionales (*downlink*), compartidos, punto a multipunto y no requieren de una respuesta de acuse de recibo desde la estación móvil.

- **F-BCCH:** Este subcanal lógico es usado para transmitir los parámetros críticos del sistema, los cuales requieren un ciclo de repetición fijo, enviándose una vez cada supertrama a múltiples móviles. El F-BCCH contiene la estructura del DCCH, los parámetros de acceso, los parámetros de registración y la identidad del sistema. El móvil debe leer toda esta información para acceder al DCCH.
- **E-BCCH:** Este subcanal lógico es usado para transmitir información menos crítica que el F-BCCH para las estaciones móviles extendidas sobre múltiples supertramas. Para la información opcional, un tipo mensaje y un indicador de longitud son incluidos para propósitos de direccionamiento. El E-BCCH incluye la lista de celdas vecinas y la configuración regulatoria.
- **S-BCCH:** Este subcanal lógico está diseñado para la transmisión del servicio de mensajería corta.

Los subcanales lógicos del BCCH forman parte de la supertrama, por lo que la configuración de los *slots* para el número mínimo y máximo de *slots* en la supertrama es indicada en el cuadro 2.5.

Subcanales BCCH	DCCH Full – rate		DCCH Half – rate	
	Mín	Máx	Mín	Máx
F-BCCH	3	10	3	10
E-BCCH	1	8	1	8
S-BCCH	0	15	0	11

Cuadro 2.5: Configuración parcial de los slots de la supertrama (44)

- **Canal de SMS punto a punto, búsqueda y respuesta de acceso (SPACH)**

Este canal lógico es usado para transmitir información a estaciones móviles específicas. El SPACH está subdividido en tres subcanales lógicos: canal de búsqueda (PCH – *Paging Channel*), canal de respuesta de acceso (ARCH – *Access Response Channel*) y canal de teleservicios (SMSCH – *Short Message Service Channel*).

Los atributos del SPACH definen mensajes unidireccionales, compartidos punto a punto, y pueden requerir o no de acuse de recibo por parte de las estaciones móviles.

- **PCH:** Es un subcanal unidireccional, compartido, punto a punto y sin acuse de recibo. El PCH se asigna a la estación móvil una vez que ésta completa su proceso de inicialización, por lo que cada canal de búsqueda tendrá algunos móviles asignados. Hay algunos canales de búsqueda en el DCCH que están disponibles, sin embargo, sólo un PCH es asignado a un móvil que se encuentra ubicado en un *slot* de tiempo específico de la estructura total del subcanal lógico PCH. La estación móvil permanecerá en el estado de *camping* mientras esté monitoreando ese *slot* de tiempo del canal de búsqueda para mensajes o llamadas entrantes.

- **ARCH:** Es un subcanal lógico unidireccional, compartido, punto a punto y con acuse de recibo. El ARCH puede ser usado para comunicar tareas a otros recursos o respuestas a los intentos de acceso de la estación móvil, ya que generalmente cuando un móvil intenta originar una llamada, envía un requerimiento de originación sobre el canal de acceso randómico (RACH – *Random Access Channel*); el SPACH responde al acceso del móvil. Típicamente los mensajes del ARCH incluyen el AVCH o la designación del DTCH, por ejemplo, un mensaje de asignación de un DTCH es enviado sobre el ARCH en respuesta a una originación previa o respuesta de búsqueda sobre el RACH.
- **SMSCH:** Es un subcanal lógico unidireccional, compartido, punto a punto y puede o no tener acuse de recibo. El SMSCH es usado para llevar mensajes relacionados a teleservicios a una específica estación móvil. Los mensajes cortos pueden ser enviados al móvil aunque esté en estado de *camping*.
- **Realimentación de canal compartido (SCF)**

Este canal lógico es usado para proveer a la estación móvil el estatus real de tiempo del canal de acceso randómico (RACH), por lo que es un soporte para la operación del RACH. Hay tres banderas asociadas al SCF:

- La bandera de ocupado/reservado/libre (BRI – *Busy/Reserved/Idle*).
- La bandera de eco parcial codificado (CPE – *Coded Partial Echo*).
- La bandera de recibido/no recibido (R/N – *Received/Not received*).

Cuando el usuario intenta originar una llamada, el móvil envía a la base una ráfaga de originación de llamada solamente si el estatus del canal SCF es libre. Si el estatus del SCF está en ocupado o reservado, el móvil lee periódicamente el estatus del SCF buscando por una condición de libre. El móvil continúa este proceso de reenvío hasta que expire el *timer* de la

aplicación de software de la estación móvil y un indicador de ocupado rápido sonará en el móvil.

Suponiendo que el estatus del SCF es libre, el móvil envía la ráfaga de originación de la llamada y lee el SCF buscando su propio MIN en el CPE. Si el CPE contiene el MIN del móvil, la estación móvil empieza leyendo la bandera R/N para asegurar que la ráfaga de originación completa fue recibida por la celda; y si la bandera R/N fue recibida el móvil monitorea el mensaje del ARCH para un AVCH o DTCH asignado.

- **Canal reservado**

Este canal lógico está definido para usos futuros.

2.3.4.2. DCCH DE REVERSA (R-DCCH)

El canal de control digital de reversa se lo envía desde el móvil hacia la base, y los mensajes enviados son parte del proceso de inicialización u originación de llamadas. El R-DCCH se compone solamente del canal lógico llamado canal de acceso randómico (RACH).

- **Canal de acceso randómico (RACH)**

Es el canal lógico utilizado para requerir acceso al sistema. Al móvil se le asigna un PCH durante la inicialización, entonces monitorea el *slot* de tiempo de este PCH una vez cada 1.28 seg. Si no existe actividad del móvil, entonces se produce una actualización del PCH y el móvil puede entrar en el modo de *sleepmode*.

Cuando se origina una llamada el móvil monitorea el canal lógico SCF, por lo que si el SCF indica que el RACH está libre, el móvil transmitirá una ráfaga de originación de llamada a la estación base. El móvil monitorea el SCF buscando un CPE que contiene su MIN, y una vez encontrado el móvil leerá

la bandera R/N para verificar que la ráfaga de originación fue recibida apropiadamente por la celda.

Los atributos del RACH son los siguientes: unidireccional de reversa, compartido, punto a punto y con acuse de recibo (el acuse de recibo toma lugar en el canal lógico SCF).

Todos los móviles acampados sobre el F-DCCH comparten un canal de acceso randómico (RACH) en común en el DCCH de reversa. El RACH es un canal lógico compartido por donde son enviados todos los mensajes del R-DCCH, que típicamente incluyen originaciones del usuario, respuestas de búsqueda y mensajes cortos originados por el usuario.

2.3.5. CAPAS DEL CANAL DE CONTROL DIGITAL

Como se explicó en ítems anteriores, el modelo interfaz aire (figura 2.32) usado en el sistema celular TDMA está estructurado en diferentes capas, cada una con propósitos específicos. Este arreglo conceptual simplifica el entendimiento de las interacciones entre la estación base y la estación móvil en el aire.

En la figura 2.37 se presenta un diagrama con el mapeo de las tramas y la estructura de las capas del canal de control digital.

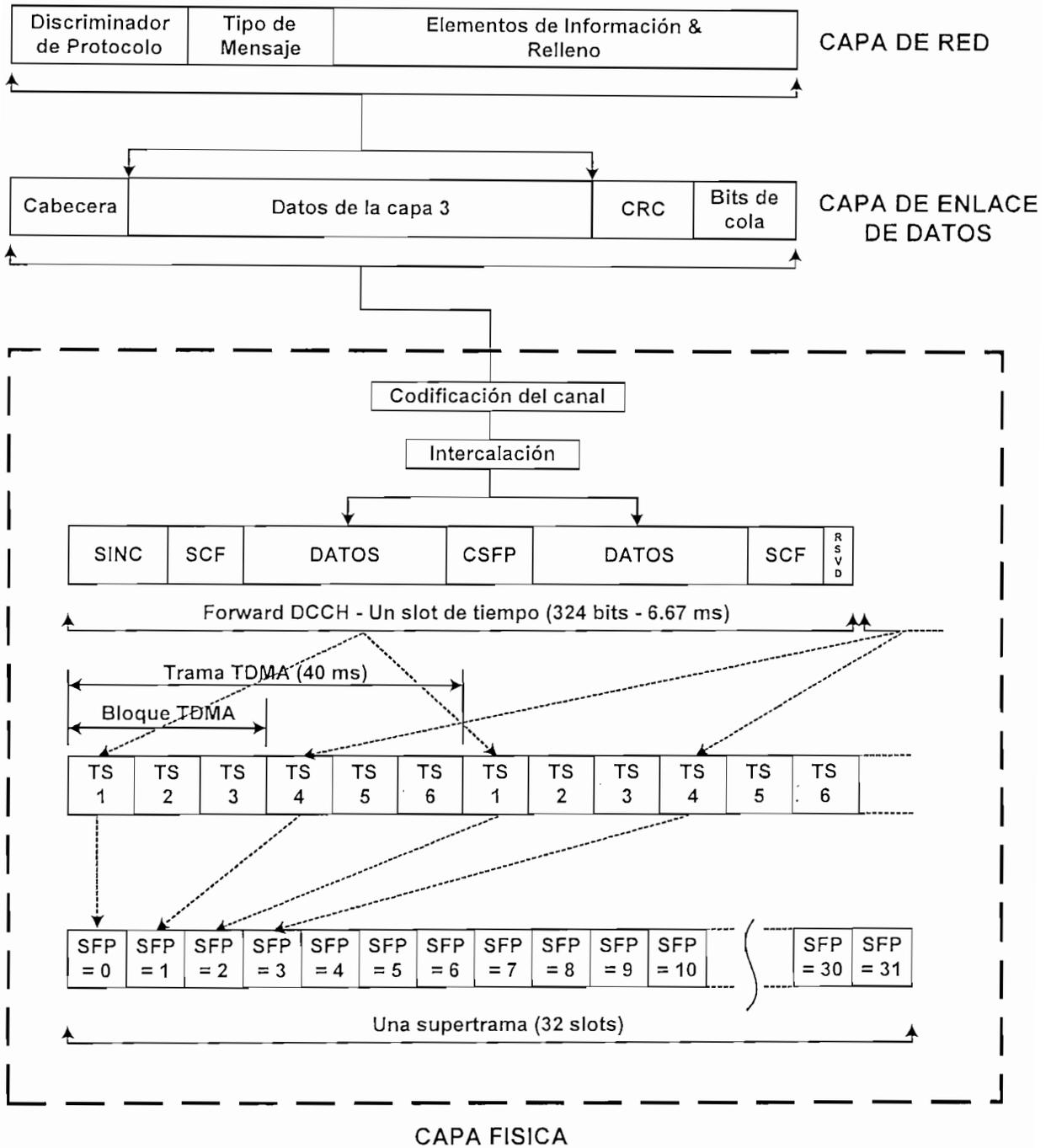


Fig.2.37: Mapeo de las capas del DCCH (44)

NOTA: En el anexo B se presenta un fragmento del estándar IS-136.1-A dónde se detalla la descripción de las capas del canal de control digital.

2.3.5.1. CAPA 1 O CAPA FÍSICA

La función primaria de la capa 1 o capa física, es llevar toda la información de la capa 2 en los *slots* de la trama TDMA. Estos *slots* TDMA son modulados en la frecuencia de portadora de RF y transmitidos sobre el aire a manera de ráfagas, las cuales contienen información segmentada del canal de control digital dirigida hacia los móviles que poseen capacidad digital. La estación móvil arregla estos *slots* en supertramas e hipertramas.

Cuando las estaciones móviles con capacidad digital reciben la información del F-DCCH la demodulan y la envían a la sección de la capa física de la estación móvil, en esta capa se invierte el proceso y remite la información completa del F-DCCH a la capa de enlace de datos del móvil; y si es necesario el móvil responderá a la celda sobre el R-DCCH.

El formato y la longitud de los *slots* de tiempo del DCCH son los mismos que en el DTCH, pero la información y las funciones han sido cambiadas para cubrir las necesidades del DCCH. En los gráficos de las figuras 2.38 y 2.39 se muestran los formatos de los *slots* de tiempo para el F-DCCH y para el R-DCCH.

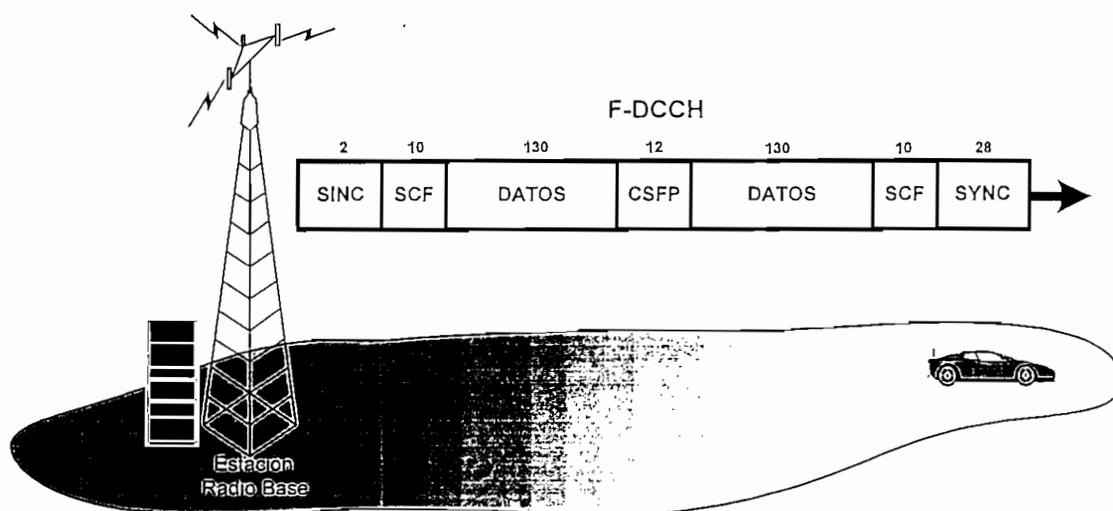


Fig. 2.38: Formato de los slots de tiempo del F-DCCH

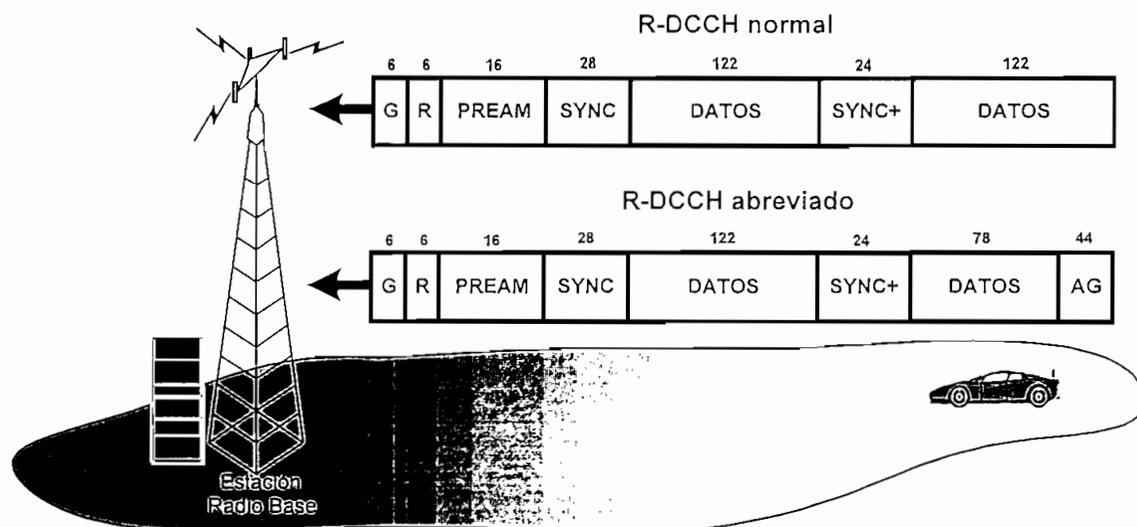


Fig.2.39: Formato de los slots de tiempo del R-DCCH

Detallando los campos de las figuras 2.38 y 2.39 se tiene lo siguiente:

- **SCF:** Realimentación de canal compartido. Este campo es usado para controlar los accesos sobre el canal de control digital de reversa R-DCCH, formado por las banderas BRI, CPE y R/N. El móvil continuamente escucha al F-DCCH por la bandera BRI la cual informa a la estación móvil del estatus del R-DCCH.
- **DATA:** Bits de datos del usuario. En la dirección hacia delante el campo tiene una longitud de 260 bits. En la dirección de reversa la longitud es de 244 bits para el formato normal de *slots* y de 200 bits para el formato abreviado de *slots*.
- **CSFP:** Fase de supertrama codificada. Usado para llevar información considerando la fase de la supertrama (SFP) tal que las estaciones móviles puedan encontrar el inicio de la misma. El contenido de este campo puede también ser usado para discriminar entre el DCCH y el DTCH, ya que el CSFP de un DCCH y el CDVCC de un DTCH no tienen palabras código en común.
- **RSVD:** Campo de dos bits reservados seteados en 11.

- **G & R:** Guarda y rampa. Proveen un tiempo de guarda y un intervalo de rampa de encendido y apagado.
- **AG:** Guarda abreviada. Provee un tiempo de guarda en el formato de ráfaga abreviada para evitar interferencias en los *slots* en celdas grandes.
- **PREAM:** Preámbulo. Permite a la estación base realizar control de ganancia automática para reducir la distorsión de la señal y facilitar la sincronización de símbolos antes del dato subsecuente, y porciones de sincronización de ráfaga las cuales son alcanzadas.
- **SYNC+:** Este campo provee información adicional de la sincronización para mejorar el rendimiento del receptor de la estación base.

La posición de los bits de los *slots* de las tramas hacia delante y de reversa del DCCH están numerados secuencialmente desde 1 a 324. En la dirección hacia delante, el primer bit transmitido del campo SYNC tiene la posición 1 y el último bit transmitido del campo RSVD ocupa la posición 324. En la dirección de reversa, el primer bit transmitido del campo G (guarda) ocupa la posición 1 para los dos formatos de tramas R-DCCH, para el formato de *slots* normal el último bit transmitido del campo DATA ocupa la posición 324 y en el formato abreviado el último bit transmitido del campo AG ocupa la posición 324.

Como se mencionó anteriormente, los *slots* de tiempo en TDMA son ubicados en tramas TDMA, las cuales son mapeadas en supertramas e hipertramas moduladas en $\pi/4$ DQPSK⁶. La modulación $\pi/4$ DQPSK es utilizada en la transmisión de voz del estándar IS-54 y en toda la transmisión de la señalización y voz del estándar IS-136. De manera general, las características de éste tipo de modulación son:

⁶ DQPSK: Manipulación de desplazamiento de fase de cuadratura diferencial (*Differential Quadrature Phase Shift Keying*).

- No requiere de referencia de fase absoluta debido a que es diferencial, por lo que hace referencia a cada símbolo sólo en comparación al símbolo anterior.
- La propiedad de cuadratura hace posible que se den cuatro desplazamientos de fase, logrando representar dos bits por transición de fase o símbolo.
- El valor de $\pi/4$ le da a la modulación un desplazamiento de fase adicional, mejorando las características del DPQSK normal.

Estas características logran una velocidad de transmisión adecuada y permiten un uso eficiente del ancho de banda designado (30 KHz por canal). La información se transmite a una velocidad de 48.6 Kbps, la cual es demasiado alta para el ancho de banda de 30 KHz permitidos, por lo que al aplicar el esquema de modulación se transmiten dos bits de datos en un sólo símbolo, reduciéndose la velocidad de transmisión a la mitad; o lo que es lo mismo 24.3 Ksímbolos/seg. A esta velocidad de modulación la señal de datos cabe en el canal de 30 KHz de ancho de banda.

- ***Supertrama (SF - Superframe)***

La información contenida en los canales y subcanales lógicos del DCCH tienen diferentes prioridades y soportan diferentes capacidades y servicios. Ellos son asignados a los *slots* de tiempo de TDMA y son multiplexados juntos dentro de supertramas TDMA. Algunos subcanales deben ser emitidos/repetidos sobre múltiples supertramas. La administración de las longitudes de los diferentes subcanales y el tiempo que toma emitirlos son la clave para la optimización del sistema DCCH.

Cada supertrama en el F-DCCH está compuesta por una secuencia ordenada de canales lógicos, que mantiene la información del F-BCCH, E-BCCH y SPACH. Esto es mostrado en esquemas de la figura 2.40.

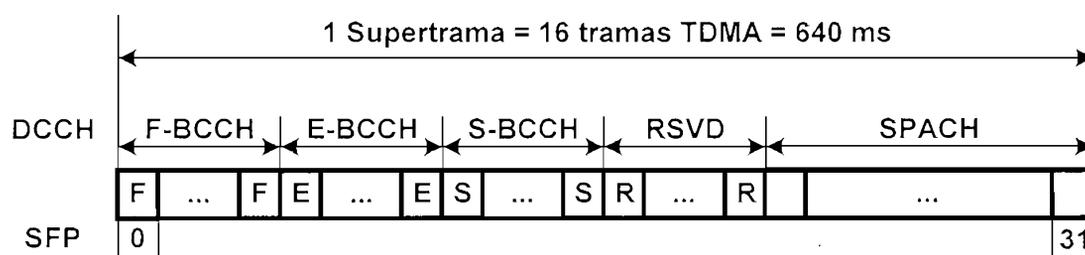
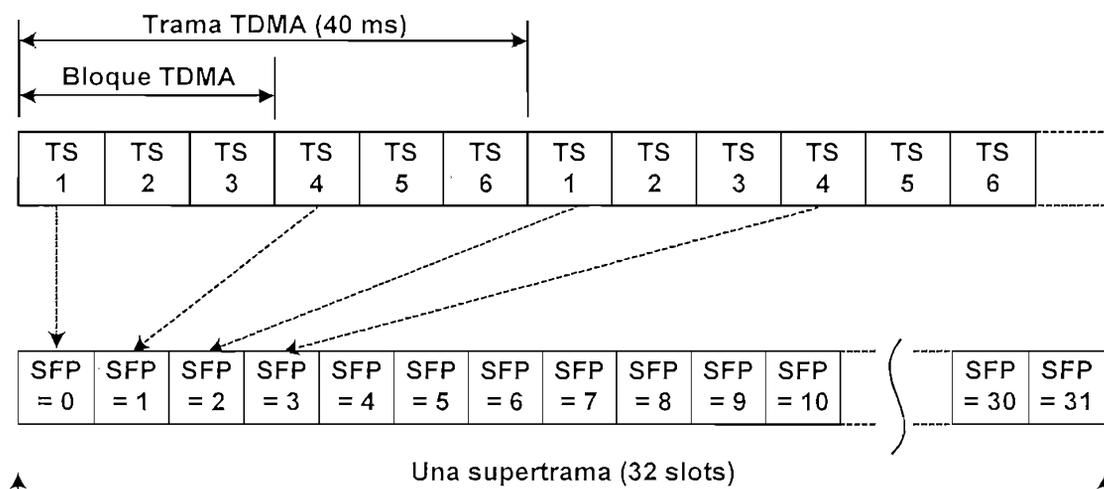


Fig. 2.40: Estructura de la supertrama

La asignación de los *slots* de los campos de la supertrama se la puede apreciar en el cuadro 2.6, el mismo que responde a la especificación del IS-136.

Campo	Full-rate DCCH		Half-rate DCCH	
	Minino	Máximo	Minino	Máximo
F-BCCH (F)	3	10	3	10
E-BCCH (E)	1	8	1	8
S-BCCH (S)	0	15	0	11
RSVD (R)	0	7	0	7
SPACH	2	28	2	12

Cuadro 2.6: Asignación de slots de la supertrama

El primer DCCH asignado en cualquier frecuencia debería estar asignado en *slot* de tiempo 1 (velocidad media) o *slots* de tiempo 1 y 4 (velocidad total). El primer *slot* en una supertrama (SFP = 0) debería estar asignado al primer F-BCCH, y si más de un DCCH están asignadas en una frecuencia dada, el inicio de la supertrama debe ocurrir en el mismo bloque TDMA (por ejemplo, si la sincronización es requerida). El número de *slots* del F-BCCH es calculado primero, ya que llevan toda la información esencial de la operación del sistema. Para el caso de los parámetros de autenticación, éstos son comunicados a los móviles TDMA usando el F-BCCH. El resto de *slots* de tiempo (32 menos F-BCCH) son entonces divididos entre el SPACH y el E-BCCH, con el SPACH teniendo una alta prioridad con respecto al E-BCCH. Algunos *slots* del SPACH pueden estar limitados por la asignación de subcanales como PCH (canal de búsqueda).

Como se puede ver en el cuadro 2.6, al E-BCCH se le asigna mínimo un *slot* y máximo 8. La información del sistema que no es crucial para la operación del sistema es llevada vía el subcanal lógico del E-BCCH, y el ciclo de mensajes de E-BCCH pueden ser extendidos sobre algunas supertramas. El número total de *slots* de tiempo los cuales son necesarios para transmitir toda la información depende principalmente del número de celdas vecinas y el radio de esas celdas vecinas usando ACCH's, DCCH's o ambos. La lista de celdas vecinas tiene una serie de parámetros que el móvil puede usar para elegir inteligentemente las celdas adyacentes cuando el móvil sale de su actual celda sirviente, el máximo número de celdas vecinas que puede ser soportado es de 24 pero el máximo número de *slots* del E-BCCH por supertrama es 8, por lo que el número de mensajes son enviados sobre 2 o más supertramas; lo que incrementa el tiempo en que un móvil IS-136 espera para recibir la lista entera de celdas vecinas. La compensación entre el número de *slots* de tiempo del E-BCCH por supertrama y su retraso asociado dependerá del patrón de tráfico. El número de *slots* de tiempo del E-BCCH requeridos puede ser reducido por la minimización de celdas vecinas las cuales son transmitidas como parte del subcanal E-BCCH. Para áreas de alto tráfico, los *slots* de tiempo del SPACH tienen más valor para la operación del sistema

que el factor de retraso del E-BCCH. Es recomendado que se mantenga el mínimo número de *slots* del E-BCCH por supertrama en caso de alto tráfico.

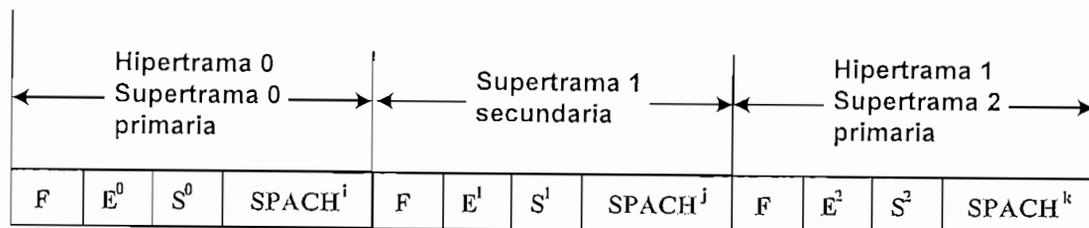
El SPACH tiene un máximo de 27 *slots* de tiempo, y es el interfaz interactivo entre el sistema y los móviles que tiene capacidad IS-136. El número de *slots* de tiempo asignados al SPACH reflejan el máximo número de intentos de llamada en una hora ocupada que una cierta partición puede soportar. La búsqueda y la registración consumen la mayor porción del ancho de banda del SPACH, ya que los subcanales PCH y ARCH comparten el ancho de banda del SPACH. El PCH es asignado a un *slot* de tiempo particular del SPACH basado en el número de identificación del móvil, en cambio, los mensajes del ARCH pueden ser transmitidos sobre cualquier *slot* de tiempo del SPACH, sin embargo, los mensajes del PCH tienen mayor prioridad que los del ARCH. Los mensajes del PCH pueden interrumpir cualquier mensaje del ARCH.

- ***Hipertrama (HF - Hyperframe)***

La estructura de la hipertrama completa la naturaleza cíclica del DCCH. Una hipertrama consiste en una supertrama primaria y una secundaria. Cada PCH en la primera supertrama es siempre repetida en la supertrama secundaria. La información SPACH, excluyendo la información del PCH, puede ser diferente de supertrama a supertrama. El F-BCCH lleva la misma información en cada supertrama en un DCCH determinado. La información del E-BCCH puede ser diferente de supertrama a supertrama, de la misma manera la información se repite después de un cierto período de tiempo.

Cualquier cambio en el contenido de los elementos de la información del F-BCCH o E-BCCH, debería ocurrir al comienzo de la próxima hipertrama. Si un cambio ocurre, la notificación debería ser provista por una transición en la bandera BCN (*Broadcast Change Notification*) de la capa de enlace de datos en todos los *slots* del SPACH en la hipertrama precedente.

La estructura cíclica de la hipertrama es mostrada en la figura 2.41.



Donde:

F = F-BCCH

E = E-BCCH

S = S-BCCH

SPACH = PCH o ARCH o SMSCH

El algoritmo usado es el siguiente

If SPACH = PCH, then $j = i$; and $k = i + 1$

Else $j = i + 1$ and $k = i + 2$

Fig. 2.41: Estructura de la hipertrama

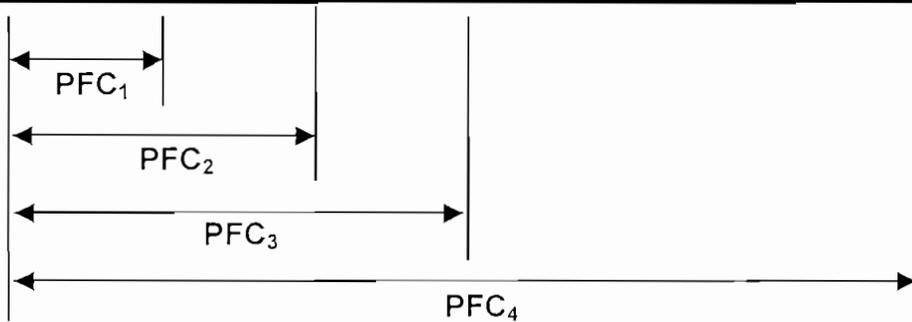
- **Trama de búsqueda**

A la unidad móvil se le asigna un subcanal de búsqueda PCH para escuchar en un lugar especificado en el DCCH y en el canal lógico SPACH. La razón para tener un subcanal PCH asignado es que el móvil, si se le busca, siempre sabrá con exactitud cuando se le buscará.

El móvil también tiene una clase de trama de búsqueda (PFC – *Page Frame Class*) que determina la frecuencia con la cual podrá buscarse un móvil. Un móvil debería usar un PFC_1 como su PFC asignada previo a la registración satisfactoria en la celda servidora. Una vez que el móvil se ha registrado satisfactoriamente en la celda servidora, continuará usando el PFC_1 como su PFC asignada a menos que la celda sirviente asigne al móvil un nuevo PFC.

Un contador de hipertrama y un indicador de supertrama son provistos en el BCCH, útiles para saber cada cuanto se repite un PCH, lo cual se lo puede ver en el cuadro 2.7.

HFC	0		1		2		3		4		5		6	
SF _n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
PFC ₁	P	S	P	S	P	S	P	S	P	S	P	S	P	S
PFC ₂	P	S	--	--	P	S	--	--	P	S	--	--	P	S
PFC ₃	P	S	--	--	--	--	P	S	--	--	--	--	P	S
PFC ₄	P	S	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	P	S



Cuadro 2.7: Clases del 1 al 4 de la trama de búsqueda

Donde:

- *HFC* = Contador de hipertrama
- *P* = PCH's primarios
- *S* = PCH's secundarios
- *SF* = Supertrama
- *PFC* = Clase de trama de búsqueda

Como se ve en el cuadro 2.7, el PFC₁ presenta un PCH en cada hipertrama, el PCH primario se transmite en la primera supertrama de cada hipertrama y se repite como el PCH secundario en la supertrama secundaria. En PFC₂ el canal de búsqueda se presenta en hipertramas alternas, en PFC₃ en cada tercer hipertrama, y así sucesivamente.

El PCH secundario es siempre transmitido en la misma hipertrama como el correspondiente PCH primario. En el cuadro 2.8 se presenta las clases de tramas de búsqueda validadas por el IS-136.

PFC	Tiempo (seg.)	Número de trama de búsqueda (Periodicidad en HF)
1	1.28	1
2	2.56	2
3	3.84	3
4	7.68	6
5	15.36	12
6	30.72	24
7	61.44	48
8	122.88	96

Cuadro 2.8: Definición de las PFC's

Por ejemplo, para el PFC1 cada hipertrama requiere 1.28 seg. para completarse, de manera que el tiempo entre las búsquedas posibles es de 1.28 seg. esta demora puede resultar molesta para las llamadas entrantes, podría haber una demora de 1.28 seg. antes de buscar la estación móvil. Dicha demora probablemente es tolerable, pero conforme el PFC se incrementa, la demora también lo hace, de manera que no es posible utilizar los PFC's para llamadas de voz por encima del segundo nivel. Sin embargo, pueden tener un gran potencial para comunicaciones de datos.

Debido a que el teléfono sabe con exactitud (por su PCH asignado y PFC) dónde puede buscársele, podrá desactivar todas las funciones esenciales entre los intervalos de búsqueda; despertando únicamente para ver si hay una búsqueda entrante. El resultado de esto incrementa notablemente la duración de la batería.

Por lo tanto, una trama de búsqueda es definida como el número de hipertramas sobre la cual una estación tiene una instancia única de asignación de PCH.

2.3.5.2. CAPA 2 O CAPA DE ENLACE DE DATOS

La capa 2 también se conoce como capa de enlace de datos, provee del marco de soporte para la mensajería de alto nivel en la capa 2. También provee un interfaz para todos los datos que se entregue de la capa física a la capa 3 y viceversa. Para proveer soporte a los paquetes de datos de la capa 3, en la capa 2 se añade una cabecera, el chequeo de redundancia cíclica (CRC) y bits de cola a los datos de la capa 3. Los paquetes de datos de la capa 3 pueden ser concatenados dentro de algunas tramas de la capa 2 cuando los paquetes de la capa 3 exceden 130 bits de longitud en las palabras.

Entre las funciones que cumple la capa 2 están:

- Formato de la cabecera.
- Concatenación de los mensajes de la capa 3.
- Verificación y generación del CRC.
- Control del canal lógico SCF.
- Administración de la identificación de la estación móvil.
- Requerimiento de retransmisión automática (ARQ).
- Notificación de cambio de BCCH (BCN).
- Re-ensamblaje y segmentación de la trama de la capa 2.
- Número de SMS (lado del móvil).
- Seteo del SCF (lado de la base).

1. Puntos de Acceso de Servicio y Primitivas

En esta capa se definen puntos de acceso al servicio (SAP – *Service Access Points*) por el lado del móvil y por el lado de la base, los cuales describen los caminos lógicos para el viaje de las señales de información, como el móvil las incorpora a la antena hasta su destino final en la capa 3 y viceversa (ver figura 2.42). Esos puntos de acceso son los canales y subcanales lógicos del DCCH, los cuales se clasifican en:

- Por el lado del móvil se tiene un SAP al F-DCCH y un SAP al R-DCCH.
- Por el lado de la estación base se tiene un SAP a los subcanales lógicos del BCCH, un SAP al SPACH y un SAP al R-DCCH.

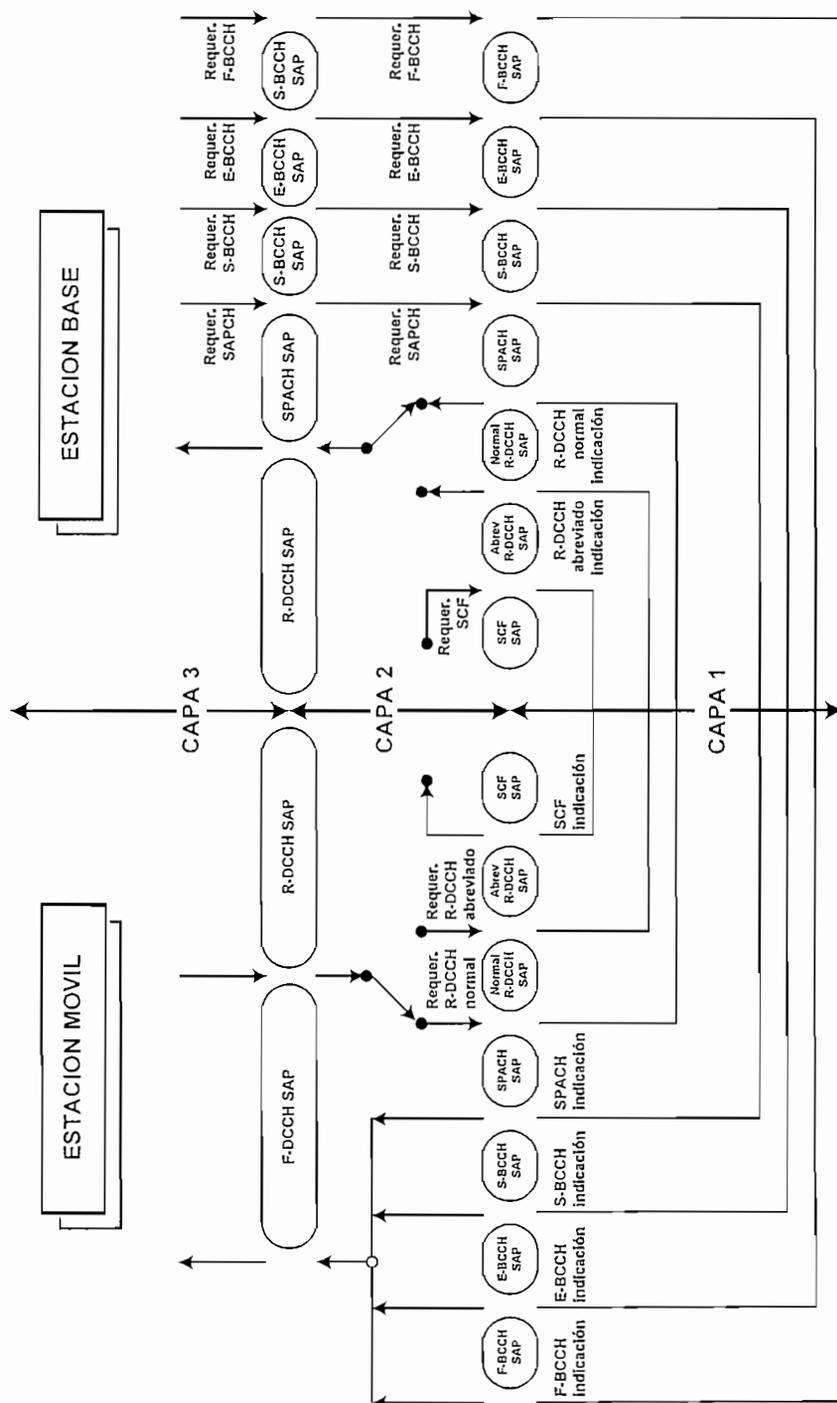


Fig. 2.42: Puntos de acceso al servicio y primitivas

En la figura anterior también se puede observar las primitivas, de igual manera, por el lado del móvil y por el lado de la base. Las primitivas son un conjunto de instrucciones enviadas desde una capa a otra para iniciar una acción o pasar la información necesaria para controlar la mensajería.

2. Protocolos

Los protocolos son las estructuras usadas para transmitir información a través de la circuitería de la estación móvil y sobre el aire. Los protocolos de la capa 2 usados para la operación del F-DCCH son definidos para soportar el envío de mensajes de capa 3 en el SAPCH (SMSCH, PCH y ARCH) y en el BCCH (F-BCCH, E-BCCH y S-BCCH). En cambio, el protocolo de capa 2 usado para operaciones en el R-DCCH está definido para soportar el envío de mensajes capa 3 en el RACH usando el canal lógico SCF.

3. Acceso Randómico del Móvil

Una estación móvil puede intentar un acceso basado en contención o en reservación. Un acceso solamente será intentado una vez que la estación móvil ha leído la información de los parámetros de acceso sobre el F-BCCH.

Tanto el acceso basado en contención como en reservación pueden ser utilizados. En el acceso basado en contención, la unidad móvil compite con otras unidades móviles que tratan de obtener acceso al subcanal RACH y sabe, por el estado del eco parcial (ocupado/reservado/libre), si capturó el canal. En el acceso basado en reservación, la estación base reserva un subcanal RACH para una respuesta de acceso de la unidad móvil solicitada.

4. Monitoreo de la Calidad del Enlace de Radio (MRLQ)

Para estimar la calidad del enlace de radio, la estación móvil medirá los errores de palabra basados en la falla del chequeo del CRC y actualizará el

contador MRLQ basado en el primer *slot* que lee en la trama de búsqueda, y solamente el primer *slot* por trama.

La estación móvil inicializará el contador MRLQ a 10 sobre el estado de *camping* del DCCH en el cual el teléfono ha ingresado. Cada actualización del DCCH incrementará el contador del MRLQ en 1 si el chequeo del CRC fue satisfactorio. En cambio, si fallara el chequeo del CRC se decrementará el contador MRLQ también en 1. Se debe notar, sin embargo, que el contador MRLQ puede ser actualizado a lo sumo una vez por hipertrama, y será truncado al valor de 10, cuyo valor jamás será excedido.

El gráfico 2.43 indica una secuencia de puntos que sigue el comportamiento del contador MRLQ.

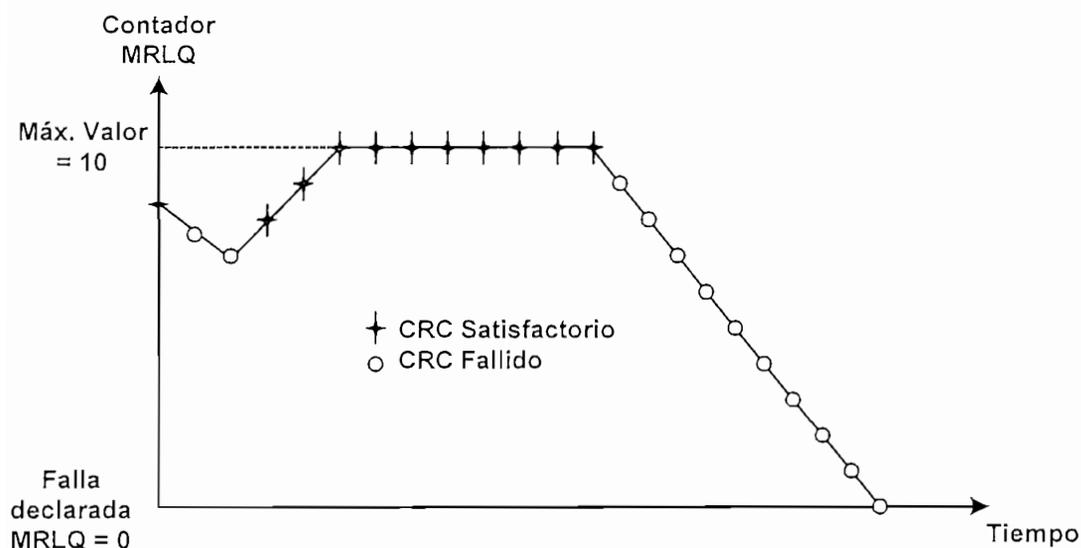


Fig. 2.43: Comportamiento del contador MRLQ

Cada vez que el contador MRLQ alcance el 0, la falla del enlace de radio es declarada y entonces el móvil realizará una reselección del canal de control.

Estos problemas se dan cuando el nivel de señal hacia delante que recibe el teléfono es pobre, por lo que los móviles IS-136 al intentar engancharse al

canal de control digital, provocan que en el DCCH se produzcan errores y no se permita realizar ni recibir llamadas por este motivo. Para solucionar este inconveniente, se puede obligar a la unidad móvil digital cambiarse del canal de control digital al canal de control analógico cuando se presenten niveles de señal hacia delante muy bajos.

2.3.5.3. CAPA 3 O CAPA DE RED

Esta capa contiene los mensajes del canal de control digital, cada mensaje completo puede ocupar una trama TDMA o extenderse a través de algunas tramas TDMA. Los mensajes de capa 3 contienen el discriminador de protocolo y los tipos de mensajes enrutados a la capa 2; entonces, la capa 2 ubica una cabecera para propósitos de direccionamiento y un chequeo del CRC antes de pasar los mensajes a la capa 1.

a) Mensajes de Estado del DCCH

Se disponen de los siguientes mensajes de estados para el canal de control digital:

- Estado nulo.
- Estado de exploración y bloqueo del canal de control digital.
- Estado de selección del canal de control digital
- Estado de *camping* en el canal de control digital
- Estado de reelección del canal de control digital
- Espera para orden (llamada de voz recibida).
- Registración.
- Servicio de mensajería corta terminada.
- Originación del SMS.
- Actualización de los datos secretos compartidos (SSD).

Estos mensajes se pueden representar en forma simplificada en el diagrama 2.44, el cual provee de una visión de los procesos de llamadas para los móviles IS-136.

Cuando se analiza cada estado, se puede notar la condición de los mensajes de la capa 3 para conseguir un entendimiento del significado de los estados.

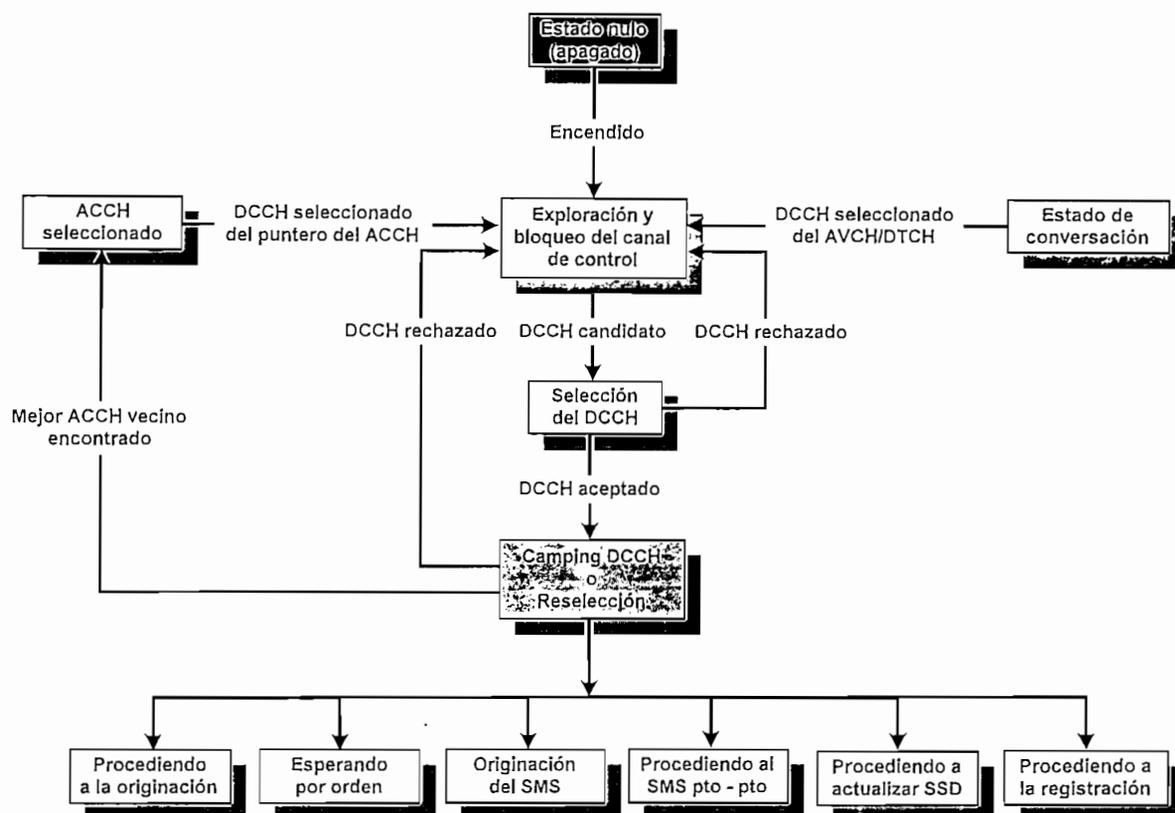


Fig. 2.44: Estados del Móvil (45)

- **Estado nulo**

La entidad de capa 3 en el móvil estará en el estado nulo si éste se encuentra apagado. Cuando el equipo se enciende, el móvil entrará en el estado de exploración y bloqueo del canal de control.

- **Estado de exploración y bloqueo del canal de control digital**

Después del encendido, la unidad móvil entra al estado de exploración y bloqueo del DCCH a fin de encontrar un canal de control adecuado, lo cual se ilustra en el diagrama de flujo de la figura 2.45.

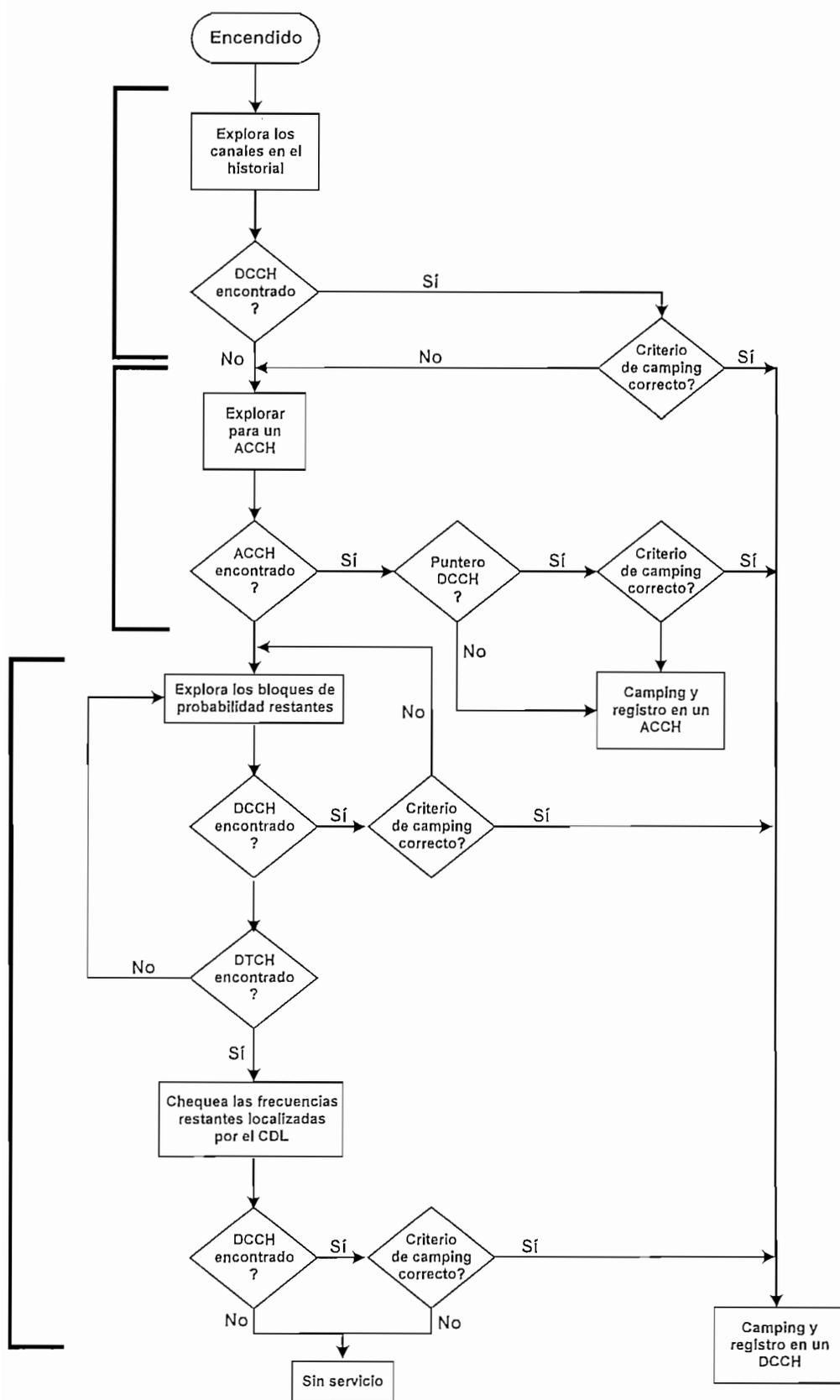


Fig. 2.45: Proceso de exploración y bloqueo del DCCH (45)

Los pasos involucrados pueden variar de acuerdo al fabricante del móvil, pero el estándar IS-136 sugiere lo siguiente:

1. El móvil explora el historial:
 - Chequea el último DCCH que utilizó y que fue adecuado para acampar.
 - Si no está disponible, chequea el historial de los últimos 8 DCCH's que fueron sintonizados.
2. Una mejora de AMPS dispone de una indicación de canal de control que puede señalar un DCCH. Si los ACCH's no tienen esta indicación, el móvil supone que es un sistema únicamente analógico.
3. El móvil explora los bloques de probabilidad.
4. Los canales de tráfico digitales contienen un campo llamado localizador digital codificado (CDL), que puede señalar a varios DCCH's para que el móvil verifique.
5. Los móviles continúan explorando las listas de DCCH's vecinos, las cuales pueden indicar el mejor DCCH.
6. Después de la ubicación de un DCCH, el móvil entra al procesamiento de selección del mejor DCCH:
 - Esto se realiza a fin de permitir que el móvil determine si el DCCH es o no el adecuado, considerando aspectos de servicio (tipo de red e identidades del sistema) y de potencia de la señal.
 - Cuando se satisfacen los aspectos de servicio y potencia de señal, el móvil declara al DCCH como aceptable y entra al estado de retención del DCCH.

- En este punto, el móvil lee la siguiente información del DCCH para determinar la estructura de la supertrama.

Como se observó en el proceso anterior, el móvil intentará encontrar un DCCH del proveedor de servicio, y puede usar algunas estrategias. Un método es utilizar los bloques de probabilidad, también puede almacenar la información de los DCCH asignados para guiarse y asistirse en el proceso de asignación.

Con respecto al plan de frecuencias, no hay restricción alguna sobre dónde el DCCH deberá localizarse; sin embargo, a fin de ayudar al móvil en la búsqueda de un DCCH, cualquier banda de frecuencia determinada está dividida en 16 bloques de probabilidad. A los bloques de probabilidad se les asigna un orden correspondiente con respecto a su potencial para soportar un DCCH. En ausencia de otra información (la lista de celdas vecinas), la estación móvil buscará cualquier bloque de probabilidad determinado en orden ascendente del número de canal.

Los cuadros 2.9 y 2.10 describen los alojamientos recomendados de DCCH para el sistema de banda A y banda B. Estos cuadros muestran la probabilidad más alta de que los canales DCCH estén en el espectro expandido, después reduciéndose conforme aproxima a las frecuencias del ACCH:

- Banda A'', banda A' y después banda A para el sistema A.
- Banda B' y después banda B para el sistema B.

Prioridad de búsqueda de DCCH	Nº Bloque	Nº Canal	Banda	Nº Canales
1 (el más alto)	16	767 – 799	B'	33
2	15	742 – 766	B'	25
3	14	717 – 741	B'	25
4	13	641 – 666	B	26
5	12	615 – 640	B	26
6	11	589 – 614	B	26
7	10	563 – 588	B	26
8	9	537 – 562	B	26
9	8	511 – 536	B	26
10	7	485 – 510	B	26
11	6	459 – 484	B	26
12	5	433 – 458	B	26
13	4	407 – 432	B	26
14	3	381 – 406	B	26
15	2	355 – 380	B	26
16 (el más bajo)	1	334 - 354	B	21

Cuadro 2.9: Asignación recomendada de DCCH para el sistema B

Prioridad de búsqueda de DCCH	Nº Bloque	Nº Canal	Banda	Nº Canales
1 (el más alto)	16	991 – 1023	A''	33
2	15	692 – 716	A'	25
3	14	667 – 691	A'	25
4	1	1 – 26	A	26
5	2	27 – 52	A	26
6	3	53 – 78	A	26
7	4	79 – 104	A	26
8	5	105 – 130	A	26
9	6	131 – 156	A	26
10	7	157 – 182	A	26
11	8	183 – 208	A	26
12	9	209 – 234	A	26
13	10	235 – 260	A	26
14	11	261 – 286	A	26
15	12	287 – 312	A	26
16 (el más bajo)	13	313 - 333	A	21

Cuadro 2.10: Asignación recomendada de DCCH para el sistema A

Para evitar que las unidades móviles desperdicien un período innecesariamente largo buscando un DCCH, es preferible localizar el DCCH en los bloques de mayor probabilidad. También es recomendable que los canales en el bloque de probabilidad más alto (número de bloque 16) se distribuyan equitativamente en todas las celdas en un patrón de reuso de frecuencia. Si un esquema de frecuencia de RF preasignado existente excluye la distribución de los canales del bloque de probabilidad más alta en las celdas, entonces el o los DCCH's en cada una de estas deberán asignarse al canal o canales del bloque de probabilidad más alta posible entre aquellos canales disponibles.

Una vez que el móvil ha encontrado un DCCH, lee cierta información de éste para determinar si es adecuado, comparando esa información con la información almacenada en el teléfono, la cual se encuentra almacenada en el canal lógico BCCH.

Cada mensaje tiene su propia descripción en el estándar IS-136 del anexo B, conteniendo a su vez los elementos de información que son opcionales y mandatorios. De manera general, en los parámetros de acceso se encuentra la información que necesita el móvil para el acceso, en los parámetros de selección del canal de control que contiene información adicional de acceso con relación a la potencia del canal, con los parámetros de registración el móvil determina cuando y como registrarse; y en la identidad del sistema se encuentra no solo el número de identificación del sistema actual, sino también el tipo de red (privado, público y residencial) y las identidades de redes privadas o redes públicas soportadas.

- ***Estado de selección del canal de control digital***

Cuando el móvil ha encontrado un DCCH inicial, debe determinar si este DCCH es adecuado para el propósito de *camping*. Dos criterios generales son usados:

- Determinación de los aspectos de intensidad de señal.
- Determinación de los aspectos de servicio.

La determinación de los aspectos de intensidad de señal chequea la calidad del enlace de radio de un DCCH candidato entre un móvil y la estación base. Las medidas de la calidad del enlace de radio establecen si un móvil está recibiendo una intensidad de señal suficiente, y si es capaz de transmitir una intensidad de señal suficiente para comunicarse con la estación base. Las medidas del radio enlace están definidos por un promedio en operación de las últimas cinco medidas de señal, por el mínimo nivel de señal requerido necesario para hacer un acceso al sistema y por el máximo nivel de señal que un móvil puede transmitir sobre un DCCH (similar al CMAC para el ACCH).

La determinación de los aspectos de servicio chequea otros criterios para determinar si un DCCH candidato es adecuado para el *camping*. Estos criterios abarcan si el móvil tiende a un DCCH alterno verificando el nuevo DCCH con la determinación de los aspectos de intensidad de señal, verificar si el DCCH es excluido de acuerdo a los parámetros de acceso, verificar las banderas de control de la selección inicial y verificar si un móvil soporta un tipo de red al cual el abonado accesa.

Una vez que el móvil ha revisado el DCCH con los criterios descritos puede pasar al estado de *camping* y bloquearse sobre el DCCH.

- ***Estado de camping del DCCH***

Un móvil estará en el estado de *camping* del DCCH mientras esté conectado lógicamente al mejor DCCH como resultado del proceso de selección / reelección del canal de control. Las unidades móviles pasarán al estado de *camping* solamente después de leer todos los mensajes BCCH, luego de lo cual los móviles serán requeridos solamente para monitorear sus *slots* de PCH asignados.

La ventaja principal del modo *camping* es que la batería dura más, debido a que las funciones esenciales del teléfono pueden desactivarse entre los intervalos de búsqueda, despertando únicamente para ver si hay una búsqueda entrante. Es decir, el móvil saldrá de este estado durante el procedimiento de reselección del canal de control o cuando está accedendo a la celda para una originación de llamada, una terminación de llamada, una registración, una actualización del SSD, una llamada al grupo de usuario o un teleservicio punto a punto terminado u originado.

- ***Reselección del DCCH***

El procedimiento de la reselección del canal de control es ejecutado para permitir al móvil determinar si un canal de control candidato es mejor que su actual DCCH.

Los procedimientos de reselección del IS-136 permite al móvil pasar de una celda a otra mientras esté siendo conectado al mejor DCCH en términos de tipo de celda, tipo de sistema, y calidad del enlace de radio. La reselección del canal de control son invocados desde el estado de *camping* del DCCH, excepto en el caso del reintento dirigido. Los móviles mantienen corriendo los promedios del nivel de señal en sus actuales DCCH's además de aquellos canales de control de su lista de celdas vecinas. Los factores más incidentes para la reselección son:

- Calidad del enlace de radio.
- Retraso.
- Tipo de celda (no preferida, preferida y regular).
- Umbrales de intensidad de señal relativa y absoluta.
- Ofrecimiento de servicio (datos, calidad de voz, etc.)
- Prioridad del sistema (público, privado o residencial).

El proceso de reselección depende de la información contenida en la lista de celdas vecinas. Cada DCCH emite una lista de celdas vecinas en el subcanal

lógico E-BCCH, además de una serie de parámetros de acceso de radio frecuencia que el móvil puede usar para seleccionar inteligentemente las celdas adyacentes cuando esté saliendo de su actual celda sirviente. Esta información es descargada al móvil cuando está acampando en un DCCH, permitiéndole al móvil realizar una reelección de celdas sin necesidad de sincronizarse y leer las celdas vecinas previo a la reelección. Opcionalmente, podrá difundirse un mensaje de información de servicio vecino indicando el tipo de servicios que son soportados en cada DCCH vecino.

La clave para el proceso de reelección es la medición de los valores de la intensidad de señal recibida promedio sobre los siguientes escenarios:

- Su actual DCCH sirviente.
- Todas las celdas vecinas listadas en el campo NCL del actual DCCH, ya que dentro de las listas vecinas se encuentran los parámetros críticos de reelección.
- Cualquier sistema privado del que el móvil tenga conciencia.

Sobre los resultados de estas medidas y los parámetros de reelección, el móvil podrá reeleccionar un DCCH basándose en un conjunto de reglas contenidas dentro de las especificaciones.

El sistema indica al móvil en qué intervalo debe hacer las mediciones de la intensidad de señal en los DCCH's vecinos y en el propio, disponiendo de dos períodos de medición: una medición larga, que es un promedio de ejecución de 5 medidas, la cual es mantenida sobre el DCCH sirviente además de todos los DCCH's de las celdas vecinas; y una medición corta, que es un promedio de ejecución de 2 medidas, la cual es mantenida solamente por el DCCH sirviente.

Los parámetros transmitidos en el E-BCCH indican, por una serie de mapa de bits, el tipo de servicio soportado en cada DCCH vecino. Se especifica la mínima intensidad de señal recibida requerida para acceder a un DCCH, la

potencia máxima de salida que un móvil puede usar cuando está haciendo un acceso, y la mínima intensidad de señal recibida que se considera suficiente para una canal de control candidato a ser considerado como un candidato para reelección.

Además se indica el tipo de celdas, ya que la reelección de canal de control provee para la estructura de la jerarquía de las celdas las siguientes características:

- Crecimiento flexible del sistema e incremento de la capacidad.
- Manejo de alta y baja movilidad de tráfico.
- Mejor administración de los tamaños de las áreas de cobertura (macrocelas, microcelas).
- Incremento del control sobre las fronteras de los procesos de *handoff*.
- Mejoramiento de la calidad de las llamadas telefónicas.

La estructura de la jerarquía de celdas provee un significado para todos los sistemas para realizar decisiones de mejor servicio. La jerarquía clasifica a las celdas en tres clases: vecinas preferidas, vecinas regulares y vecinas no preferidas. Las celdas regulares son las que se encuentran en el mismo nivel (macro – macro, micro – micro) y los criterios del proceso de *handoff* se dan cuando el nivel de señal de la celda candidata es mejor que el nivel de señal en la celda sirviente. Una celda preferida es una celda vecina que se encuentra a un nivel inferior del nivel actual, en cambio, una celda no preferida es una celda vecina en un nivel por encima del nivel actual. Esto se puede resumir en el cuadro 2.11.

Celda Sirviente	Celda Vecina	Seteo del Tipo de Celda Vecina
Macrocela	Macrocela	Regular
	Microcela	Preferida
Microcela	Macrocela	No Preferida
	Microcela	Regular

Cuadro 2.11: Tipo de celdas vecinas

Utilizando toda esta información, el móvil se dirige a un conjunto de condiciones de activación, algoritmos de filtración de elegibilidad y reglas de reelección para determinar el cambio de DCCH.

Se tienen siete condiciones de activación de la reelección:

- *Falla del enlace de radio*

Ocurre cada vez que el contador MRLQ desciende a cero.

- *Celda restringida*

Ocurre cada vez que un DCCH está marcado como restringido en sus parámetros de encabezado.

- *Degradación del servicio*

Ocurre cada vez que la señal medida cae por debajo del valor indicado para mantener el enlace de radio.

- *Reintento directo*

Ocurre cada vez que el móvil recibe un mensaje de reintento directo debido a demasiado tráfico.

- *Sistema de prioridad*

Ocurre cada vez que un móvil determina que una lista vecina es de prioridad más alta que el de su DCCH actual (por ejemplo, el móvil se mueve de un sistema público a un privado).

- *Oferta de servicio*

Ocurre cada vez que un móvil determina que un DCCH vecino ofrece un servicio que no está disponible en su DCCH actual.

- *Evaluación periódica*

Ocurre en cada intervalo de exploración.

La filtración de elegibilidad del candidato se utiliza para identificar posibles candidatos de entre aquellos que se encuentran en la lista de vecinos, y para esto existen cuatro algoritmos de filtración que responden a la razón de la activación:

- La potencia.
- El tipo de celda.
- Las comparaciones de umbral de señal.
- Las ofertas de servicio que son usadas para desarrollar una lista de candidatos potenciales para reelección.

Las reglas de reelección del candidato seleccionan al mejor candidato de entre aquellos vecinos identificados como elegibles por los procedimientos de la filtración de elegibilidad del candidato utilizando la información contenida en las especificaciones del estándar IS-136.

Después de realizar todo el procedimiento anteriormente explicado, el móvil lee el subcanal lógico F-BCCH para determinar si el DCCH es adecuado para la retención, y en caso de resultar afirmativo, el candidato se convierte en el DCCH actual.

b) Area Virtual de Localización del Móvil (VMLA)

Los sistemas IS-136 utilizan las áreas virtuales de localización del móvil para definir áreas de búsqueda. Un VMLA está compuesto de un grupo de particiones, cada uno de los cuales tiene un identificador llamado número de registración asociado con una o más celdas, tal que una lista en el número de registración define un dominio de celdas; por lo que el VMLA está definido por un conjunto de números de registración.

La idea de utilizar los VMLA's es evitar la búsqueda de unidades móviles en celdas donde no se encuentran, también evitar que los móviles se vuelvan a registrar cuando no es necesario hacerlo. Este concepto mejora la capacidad del sistema debido a que el móvil necesita ser buscado únicamente en el VMLA registrado, volviéndose a registrar por fines de movilidad únicamente cuando cambia de VMLA.

Un esquema simple de la estructura de un VMLA es presentado en la figura 2.46.

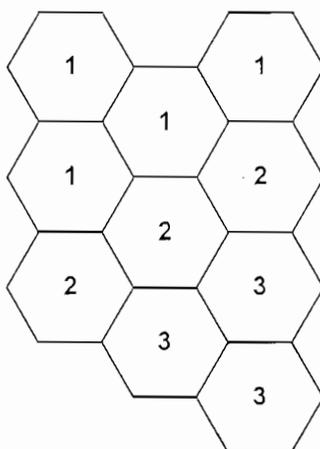


Fig. 2.46: Diagrama de 3 VMLA's

Cada celda transmite un número de registración presente sobre sus parámetros de registración del mensaje del subcanal lógico F-BCCH, y cada móvil obtiene una lista de números de registración en su mensaje ARCH de aceptación de

registro. Los móviles realizan una registraci3n basada en VMLA cuando un n3mero de registraci3n desconocido es encontrado, enviando la lista en respuesta a las siguientes condiciones de registraci3n:

- Transici3n del sistema.
- Area de ubicaci3n.
- Encendido.
- Transici3n de anal3gico a digital.

El tama1o del VMLA relaciona directamente a la cantidad de b3squeda y a la registraci3n del tráfico, ya que b3sicamente se tienen las siguientes premisas:

- Para VMLA's peque1os se reducir3 la b3squeda, pero se incrementar3 la registraci3n debido a la alta movilidad de los usuarios.
- Para VMLA's grandes se reducir3 la registraci3n, pero se incrementar3 la b3squeda.

Adem3s de estas premisas, existen par3metros descriptivos que deben ser considerados para reflejar las 3reas donde se va a concentrar m3s o menos cantidad de abonados. Por ejemplo, en centros de compras, 3reas residenciales y en centros urbanos; el traslapamiento de VMLA's (celdas que un VMLA tendr3 con VMLA's vecinos) es importante por el patr3n de movilidad de los usuarios al viajar a trav3s de las fronteras de los VMLA's.

De esto se puede concluir que el tama1o, la forma y el traslapamiento del VMLA dependen de la actividad del usuario dentro del sistema. El tama1o depende de la cantidad de la movilidad (n3mero de *handoffs* interceldas por llamada) que el abonado har3 en el sistema, mientras que la forma deber3a ser un espejo del flujo del tráfico en esa 3rea. La cantidad de traslapamientos, los cuales ayudan a prevenir las re-registraciones continuas de los m3viles que se mueven a trav3s de las fronteras de los VMLA's, depende de los patrones de movilidad y de la planificaci3n de radio frecuencia. En 3reas donde continuamente ocurre la re-

registro los VMLA's de los DCCH's vecinos deberían ser configurados tal que ellos se traslapen. Esto previene situaciones indeseadas donde un móvil continuamente se registre de "acá para allá", también conocido como fenómeno "ping pong" mientras esté vacilando entre dos VMLA's. Justamente, el traslapar los VLAM's reduce las registraciones ping pong.

En el diagrama 2.47, se ilustra un ejemplo en el cual se presenta el caso de un traslapamiento de dos VMLA's.

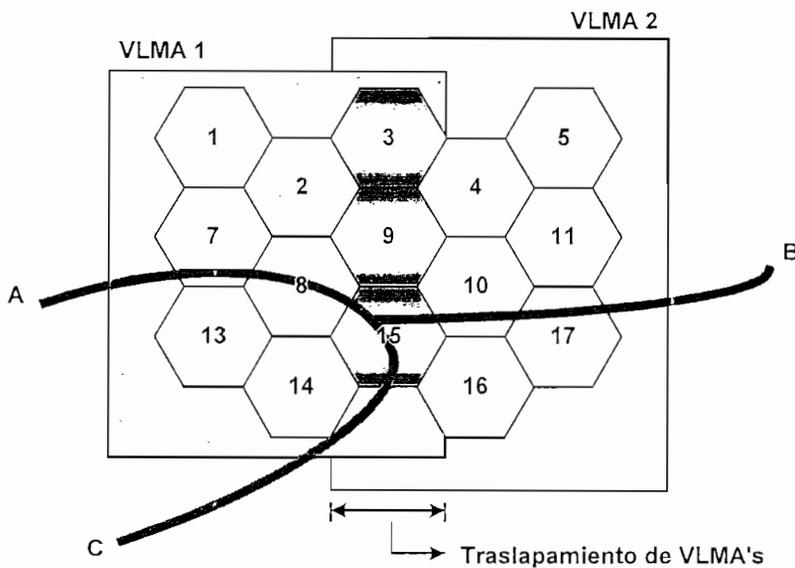


Fig. 2.47: Traslamiento de VMLA's

En esta figura, se va a suponer que un móvil inicialmente está yendo desde el punto A al punto B, por lo que al pasar por la celda 7 se le debe entregar el número de registración del VMLA 1 por la registración en ese VMLA. Por ejemplo, se va a suponer que el usuario se desvía hacia el punto C, en este caso el traslapar sirve para evitar que una re-registración ocurra a pesar de que el móvil haya ingresado a la celda 15 que también es parte del VMLA 2. Si el móvil hubiera continuado hacia el punto B, hubiera tenido que re-registrarse en el momento de ingresar a la celda 1, la cual es parte del VMLA 2 pero no es parte del VMLA 1. El tráfico de la registración en las fronteras de los VMLA's es efectivamente reducido usando este esquema que libera la capacidad sobre el

DCCH. Se debe tomar en cuenta que no se debe asignar los mismos números de registración a las fronteras de particiones de dos sistemas adyacentes, ya que el móvil pensará que las particiones pertenecen al mismo VMLA.

c) Soporte de Sistemas no Públicos

El estándar IS-136 soporta el uso de algunos nuevos tipos de celdas que funcionan en las redes celulares públicas, las cuales pueden definirse como conectados si son extensiones lógicas del DCCH público, y autónomos si no están conectados al sistema público y operan en forma independiente a él. Al primer escenario se lo conoce como sistema privado y al segundo como sistema residencial, permitiendo a las operadores ofrecer servicios diferenciados en áreas para grupos cerrados de usuarios.

d) Estructura de la Identidad

Los 10 dígitos tradicionales del número de identificación del móvil (MIN), actualmente usados para la identificación de estaciones móviles, ha sido complementado por la estructura de la identidad.

La estructura de la identidad establece un número de identidad único para el móvil, capaz de soportar *roaming* internacional añadiendo los códigos de país al MIN. Las especificaciones del IS-136 soportan los siguientes números:

- MIN: Número de identificación del usuario.
- ESN: Número de serie electrónico.
- IMSI: Identificación internacional de la estación móvil.
- TMSI: Identificación temporaria de la estación móvil.

La estructura de la identidad también identifica el tipo de celda. Identificando los tipos de celdas se informa al móvil IS-136 si la estación base es capaz de soportar nuevas características. Así mismo las especificaciones soportan las siguientes estructuras de identidad de las celdas:

- SID: Identificación del sistema.
- PSID: Identificación del sistema privado.
- RSID: Identificación del sistema residencial.
- SOC: Código del operador del sistema.
- BSMC: Código del fabricante de la estación base.

e) Servicio de Mensajería Corta (SMS)

Es un método definido en los estándares IS-136/IS-41C para el envío y recibimiento de mensajes alfanuméricos cortos a y desde las unidades móviles sobre el DCCH o DTCH. Como se muestra en la figura 2.48, los mensajes pueden ser entregados a los móviles en una variedad de maneras:

- Mensajes originados desde un sitio WEB.
- Notificación de *mail*, *voice mail*, o *fax mail* por medio de un SMS.
- Mensajes *email* pueden ser enviados desde una cuenta para entregar mensajes a un móvil.
- Envío de mensajes desde una computadora.

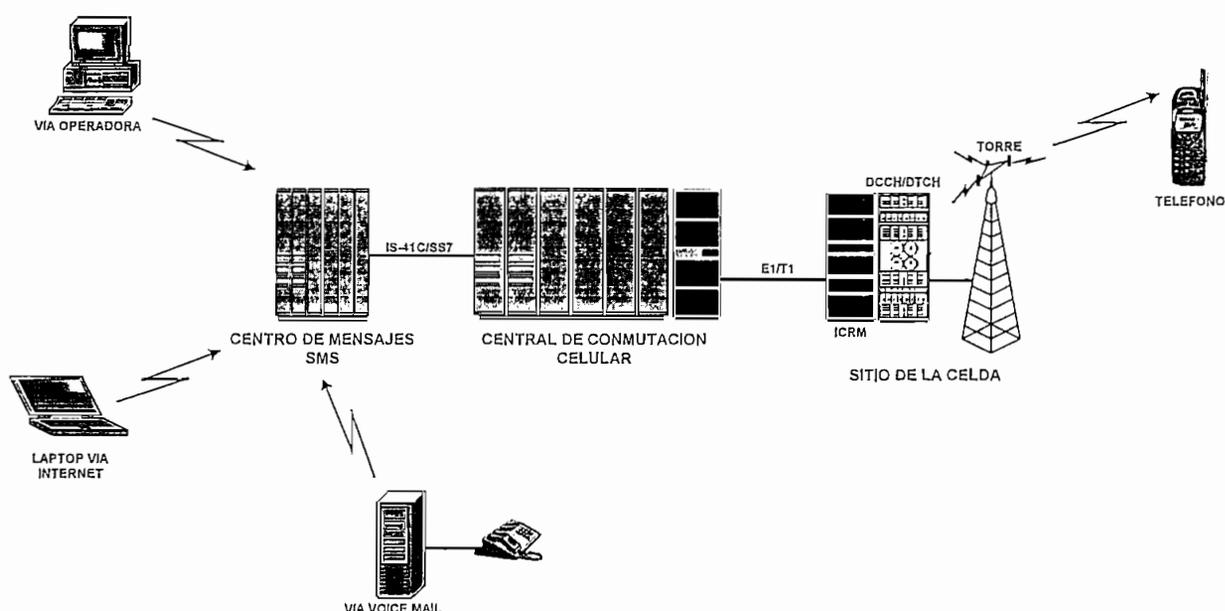


Fig. 2.48: Sistema SMS

La operación del envío de mensajería corta se basa en el centro de mensajes SMS, el cual es usado como un hub para el envío y recibimiento de mensajes. El centro está conectado al sistema vía enlaces IS-41C cuyas conexiones soportan solamente señalización número 7.

Desde el punto de vista de ingeniería, el elemento clave en el envío de SMS es el mensaje R-DATA de capa 3, enviado sobre el SPACH en el DCCH, sobre el SACCH en el DTCH y la respuesta sobre el RACH. La importancia del mensaje R-DATA radica en que es el mensaje utilizado para llevar los mensajes punto a punto de la capa de teleservicios, de esta forma los móviles pueden recibir mensajes cortos ya sea en llamada o cuando estén encendidos y registrados.

El flujo básico de mensajes SMS es el siguiente:

- Los mensajes para un usuario son recibidos desde una diversidad de fuentes al centro de mensajes.
- El centro de mensajes determina si tiene enrutamiento a la central de conmutación celular para ese usuario. Si tiene acceso, envía el mensaje SMDPP IS-41 a la central, caso contrario, pregunta al HLR para adquirir esta información.
- El módulo de computación (CM) recibe el mensaje SMDPP desde la central de mensajes, determina si el usuario está registrado y no se encuentra en llamada, entonces enviará una búsqueda de SMS para ese usuario usando la búsqueda por VMLA.
- El móvil responde a la búsqueda del SMS (notificación del SPACH) con una confirmación del SPACH.
- El CM envía el mensaje R-DATA punto a punto al móvil.