

RED TELEFÓNICA CELULAR

ENRIQUE KHALED DAZA LOPEZ

TOMAS GILBERTO GORDON ATENCIO

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRICA Y ELECTRÓNICA

CARTAGENA DE INDIAS

2003

RED TELEFÓNICA CELULAR

DAZA L, ENRIQUE

GORDON A, TOMAS

Monografía, presentada para optar al título de Ingeniero Electrónico

Director

CARLOS AGUDELO S

Ingeniero Electrónico

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRICA Y ELECTRÓNICA

CARTAGENA DE INDIAS

2003

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Cartagena 2003

CONTENIDO

	Pag.
INTRODUCCIÓN	
1. HISTORIA DE LAS COMUNICACIONES MÓVILES	3
1.1 PERSPECTIVA HISTORICA	3
1.2 ARQUITECTURA DE LOS SISTEMAS CELULARES ANTIGUOS	5
2. CONCEPTO BÁSICO DE RADIO CELULAR	7
2.1 SISTEMA DE TELEFONÍA MÓVIL	9
2.2 ARQUITECTURA DE LOS SISTEMAS DE TELEFONÍA CELULAR ACTUAL	11
2.2.1 Celdas	12
2.2.2 Cluster	13
2.2.3 Cobertura	14
2.2.4 Capacidad	16
2.2.5 Reutilización de frecuencias	17
2.2.6 Subdivisión de celda	19
2.2.7 Señalización	20
2.2.8 Handoff	21
2.2.9 Registro de localización en casa	22

	Pag.
2.2.10 Registro de localización de visitante	23
2.2.11 Área de localización	23
2.2.12 Registro	23
2.2.13 Roaming	24
2.2.14 Centro de conmutación electrónica	24
2.2.15 Controlador de sitio de célula	25
2.2.16 Interconexiones del sistema	25
2.2.17 Unidades de telefonía móvil y portátiles	25
2.2.18 Operación y mantenimiento	26
2.2.19 Explotación	26
3. PROCESAMIENTO DE LLAMADAS	27
3.1 LLAMADAS DE LÍNEA A MÓVIL	27
3.2 LLAMADA DE MÓVIL A LÍNEA	28
3.3 LLAMADA DE MÓVIL A MÓVIL	28
4. CONTROL DE FLUJO	30
5. TECNOLOGIAS DE TELEFONÍA CELULAR	31
6. PRIMERA GENERACIÓN DE LOS SISTEMAS DE TELEFONÍA MÓVIL	33
6.1 SISTEMA AVANZADO DE TELEFONÍA MÓVIL	33
6.1.1 Antecedentes	33

	Pag.
6.1.2 Arquitectura	36
6.1.3 Subsistema de radio	37
6.1.4 Subsistema de conmutación	37
6.1.5 La estación móvil	38
6.2 PROCESOS BÁSICOS	39
6.2.1 Registro	39
6.2.2 Paging y Roaming	40
6.2.3 Establecimiento de llamada	40
6.2.4 Handover	41
6.2.5 Recepción de llamadas	42
6.2.6 Autenticación	43
6.3 CANALES DE TRÁFICO Y CONTROL	43
6.4 PLAN DE FRECUENCIA	45
6.5 SEÑALES SOBRE EL CANAL DE TRÁFICO	47
6.5.1 Canal vocal analógico	48
6.5.2 Tono de supervisión de audio	48
6.5.3 Canal de control	49
6.6 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL SISTEMA AMPS	50
6.6.1 Ventajas	50
6.6.2 Desventaja	50
6.7 ACCESO MULTIPLE POR DIVISION DE FRECUENCIA	51

	Pag.
6.7.1 Jerarquía FDMA	53
6.7.2 Características	54
7. SEGUNDA GENERACION DE LOS SISTEMAS DE TELEFONÍA MÓVIL	55
7.1 ACCESO MULTIPLE POR DIVISIÓN DE TIEMPO	55
7.1.1 Antecedentes	55
7.1.2 Arquitectura	56
7.2 CODIFICACIÓN	58
7.3 ESTRUCTURA DE LA TRAMA TDMA	59
7.3.1 Trama del móvil a la estación base	60
7.3.2 Trama de la estación base al móvil	61
7.4 MODULACIÓN DE DATOS	62
7.5 CANALES DE CONTROL	62
7.5.1 Contenido de los mensajes en los canales de control	63
7.6 PROCESO DE COMUNICACIÓN	63
7.6.1 Llamada saliente	64
7.6.2 Llamada entrante	64
8. SISTEMA GLOBAL PARA COMUNICACIONES MÓVILES	66
8.1 ANTECEDENTES	66
8.2 ARQUITECTURA	67
8.3 SUBSISTEMA DE RADIO	69

	Pag.
8.4 CANALES DE TRÁFICO Y CONTROL	71
8.4.1 Canales de control comunes	74
8.4.2 Canales de control dedicado	74
8.4.3 Bandas de frecuencias	76
8.4.4 Organización de los canales	77
8.5 SUBSISTEMA DE CONMUTACIÓN	77
8.6 LA ESTACIÓN MÓVIL	80
8.7 PROCESOS BÁSICOS	82
8.7.1 Registro	82
8.7.2 Roaming	84
8.7.3 Handover	85
8.7.4 Establecimiento de llamada	88
8.7.5 Enrutamiento de llamadas	89
8.7.6 Recepción de llamada	90
8.8 GESTIÓN DE SEGURIDAD	91

	Pag.
8.8.1 Autenticación	92
8.8.2 Encriptado	93
8.8.3 Protección de la identidad del usuario	94
8.9 SERVICIOS BÁSICOS QUE SOPORTA EL SISTEMA	94
8.9.1 Servicios portadores	95
8.9.2 Servicios modo circuito	95
8.9.3 Servicio modo paquete	97
8.9.4 Teleservicios	97
8.9.5 Servicios suplementarios	99
8.10 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	100
8.11 VENTAJAS DEL SISTEMA GSM	101
8.11.1 Calidad de la comunicación	101
8.11.2 Globalización	101
8.11.3 Servicios adicionales	102
8.11.4 Seguridad y privacidad	102
BIBLIOGRAFIA	108

LISTA DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1. Características del sistema AMPS	35
Tabla 2. Distribución de portadoras para el sistema AMPS con 7 celdas y 3 sectores	46
Tabla 3. Bandas de frecuencias del sistema	76

LISTA DE FIGURAS

	Pag.
Figura1. Transmisor de alta potencia	6
Figura 2. Sistema de telefonía celular simplificado	8
Figura 3. Distribución de celdas en área metropolitana	11
Figura 4 Forma practica y analítica de una celda	13
Figura 5 Cluster de 7 celdas	14
Figura 6. Reutilización de frecuencias	19
Figura 7. Subdivisión de celdas	20
Figura 8. Handoff entre celdas	22
Figura 9. Arquitectura del sistema AMPS	36
Figura 10. Espectro de frecuencia sistema AMPS	46
Figura 11. Sistema FDMA	52
Figura 12. Subportadoras	53
Figura 13. Red celular TDMA	57
Figura 14. Sistema TDMA	58
Figura 15. Estructura de la trama TDMA	59
Figura 16. Canal de móvil a estación base	61
Figura 17. Canal de estación base a móvil	61
Figura 18. Arquitectura de GSM	68
Figura 19. Hipertrama TDMA para GSM	72

	Pag.
Figura 20. Canales de tráfico en GSM	77
Figura 21. Tipos de handover	87
Figura 22. Enrutamiento de llamadas	90
Figura 23. Mecanismo de autenticación	92
Figura 24. Mecanismo de cifrado	93

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la telefonía celular se ha convertido en uno de los sistemas de comunicación a nivel personal mas eficaz, en este texto se proporciona información detallada del funcionamiento de las redes celulares, que trabajan con tecnologías análogas o digitales.

A cualquiera que no este familiarizado con los sistemas de telefonía celular le parecería interesante saber de donde proviene y como funciona tal invento que a revolucionado la humanidad, ya que con este se facilito la comunicación a nivel personal y además ofrece la facilidad de comunicarse mientras la persona se encuentra en movimiento a nivel metropolitano.

En este documento nos centraremos en las tecnologías de primera y segunda generación en las que el emisor o receptor están en movimiento. Por tanto utiliza básicamente la comunicación vía radio. Otras bondades de las redes inalámbricas son el ancho de banda que proporcionan, como son los sistemas de segunda generación entre los cuales están: GSM (*Groupe speciale mobile*), TDMA (*Time División Múltiple Access*), que prestan servicios de transmisión de voz y mensajes de texto, de forma digital.

El contenido del texto se desarrolla en primera instancia, con la descripción de cómo está conformada la red celular y cómo funcionan cada uno de los elementos que en esta se encuentran. Además se da una descripción detallada de los procedimientos para realizar llamadas y de cómo puede el teléfono móvil desplazarse en áreas metropolitanas extensas.

1. HISTORIA DE LAS COMUNICACIONES MÓVILES

1.1 PERSPECTIVA HISTORICA

La radio móvil fue usada desde 1921, cuando el departamento de policía de Detroit utilizó un sistema de telefonía móvil que operaba a una frecuencia cercana a 2 MHz. En 1940, la FCC (*Federal Communication Commission*) dispuso nuevas frecuencias para la radio móvil en la banda de frecuencia de 30 a 40 MHz. Sin embargo, hasta que los investigadores desarrollaron técnicas de modulación en frecuencia, para mejorar la recepción en presencia de ruido electrónico y desvanecimiento de señales, la radio móvil se convirtió en un sistema útil. El primer sistema de telefonía móvil comercial en los Estados Unidos se estableció, en 1946, en St. Luis Missouri, cuando la FCC proporciono seis canales de telefonía móvil de 60 kHz, en el rango de frecuencia de 150 MHz. En 1947, se estableció un sistema móvil publico en la carretera entre la ciudad de Nueva York y Boston que operó en el rango de frecuencias de 35 a 40 MHz. En 1949, la FCC autorizó seis canales móviles adicionales a las portadoras de radio comunes, las cuales definieron como compañías que no proporcionan un servicio telefónico de línea alámbrica pública, pero si se interconectan a la red telefónica pública y proporcionan un servicio telefónico inalámbrico equivalente. La FCC después incremento el número de canales de 6 a 11, reduciendo el ancho de banda a

30 kHz y espaciando los nuevos canales entre los anteriores. En 1950, la FCC agregó 12 canales nuevos en la banda de 450 MHz.

Hasta 1964, los sistemas de telefonía móvil operaban solo en el modo manual; un operador del teléfono móvil especial manejaba cada llamada, de ahí hacia cada unidad móvil. En 1964, los sistemas selectores de canales automáticos fueron colocados en servicio para los sistemas de telefonía móvil. Esto eliminó la necesidad de operación de oprimir para hablar y les permitía a los clientes marcar directamente sus llamadas, sin la ayuda de una operadora.

La implementación de llamadas automáticas fue extendida a la banda de 450 MHz en 1969, y los IMTS (Sistemas de Telefonía Móvil Mejorados), se convirtieron en el servicio de telefonía móvil estándar en Estados Unidos. El MTS (Servicio de Telefonía Móvil) usa los canales de radio FM para establecer enlaces de comunicación entre los teléfonos móviles y los transceptores de estación base, los cuales se enlazan al teléfono local por medio de las líneas telefónicas normales.

Los sistemas de MTS sirven a un área de aproximadamente 40 millas a la redonda y cada canal opera similarmente a una línea compartida. Cada canal puede asignarse a varios suscriptores, pero solo un suscriptor puede utilizarlo a la vez. Si el canal preasignado está ocupado, el suscriptor debe esperar hasta que se desocupe, antes de hacer o recibir una llamada.

En 1971, AT&T hizo una propuesta sobre la posibilidad técnica de proporcionar un uso eficiente del espectro de frecuencia de telefonía móvil. El reporte de AT&T, titulado servicio de telefonía de alta capacidad, delineaba los principios del radio celular. En abril de 1981, la FCC apoyó un esquema de licencias para el mercado de radio celular. Cada mercado da servicio a un área de cobertura, definida de acuerdo a las SMSA (Áreas Estadísticas Metropolitanas Estándares), de la oficina de censos modificada en 1980. A principios de 1982, la FCC apoyo un plan final para aceptar aplicaciones para la licencia celular, el cual comenzó en junio de 1982, y finalizó en marzo de 1983.

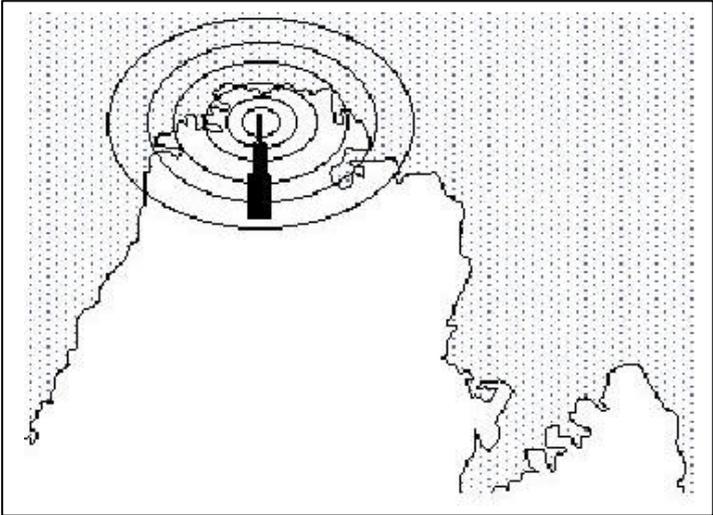
1.2 ARQUITECTURA DE LOS SISTEMAS CELULARES ANTIGUOS

Tradicionalmente los servicios celulares estaban estructurados de manera similar a las transmisiones de TV, es decir, un poderoso transmisor ubicado en la parte más alta del área geográfica donde va a ser suministrado el servicio, y el radio de propagación abarcaba unos 50 Km. En la actualidad en vez de utilizar un solo transmisor de gran potencia se utilizan varios transmisores de baja potencia para cubrir un área específica como se indica en la figura 1.

Consiste en dividir un área metropolitana en regiones pequeñas ó celdas utilizando transmisores de bajo poder, además cada uno utiliza 12 canales de conversación, teóricamente la capacidad del sistema se incrementaría de 12

canales de conversación o voz (usando un solo transmisor) a 1200 canales usando 100 transmisores de baja potencia.

Figura 1. Transmisor de alta potencia



2. CONCEPTOS BÁSICOS DE RADIO CELULAR

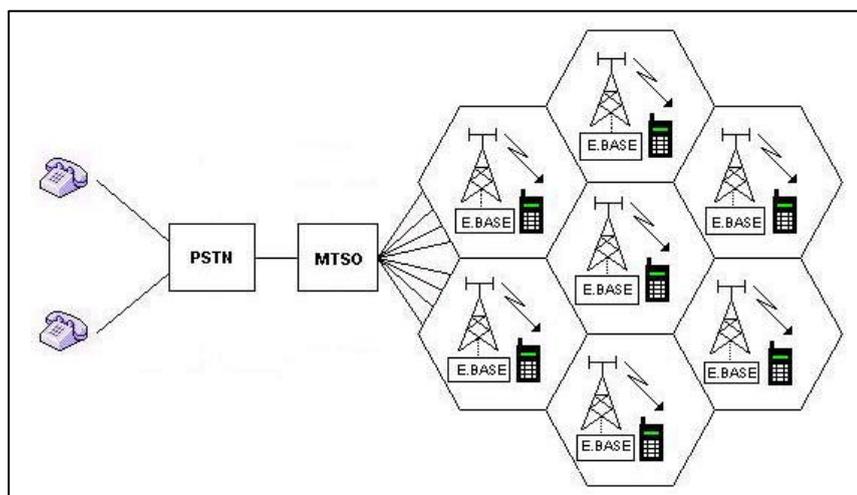
El concepto celular, especifica que cada área geográfica se divide en celdas hexagonales que juntas forman un patrón similar a las de un panal. Se eligió la forma de hexágono porque proporciona una transmisión efectiva y aproximada a un patrón circular, mientras elimina espacios presentes entre los círculos adyacentes. Una celda se define por su tamaño físico y, lo más importante, por el tamaño de su población y patrones de tráfico. El número de celdas por sistemas no lo define la FCC, si no el proveedor de servicios, el cual lo establece de acuerdo a los patrones de tráfico y estudios de factibilidad previamente realizados. Un sistema celular incluye una red de radio de RF (Radio Frecuencias) que cubre un conjunto de áreas geográficas (celdas), dentro de la cobertura de estas se encuentran las unidades de radio móvil de dos vías, forma empleada por los móviles para establecer la comunicación. La red de radio se define por un conjunto de transceptores de RF ubicados en el centro físico de cada celda. La ubicación de estos transceptores de radiofrecuencia se llaman estaciones base, una estación base sirve como un control central para todo los usuarios de esa celda.

Las unidades móviles se comunican directamente con la estación base en el momento en que se encuentra en el área cubierto por esta celda; esta sirve como una estación retransmisora de alta potencia. La estación base puede mejorar la calidad de transmisión pero no puede aumentar la capacidad de canales dentro

del ancho de banda fijo de la red. Debido a que las estaciones están distribuidas sobre un área de cobertura extensa y se administran o controlan por un controlador de sitio de celdas, sistema computarizado que maneja un control de sitio de la celda y funciones de conmutación de cada una de estas, el conmutador se llama centro de conmutación de telefonía móvil MTSO (Centro de Conmutación de Telefonía Móvil), nombre que varía de acuerdo al fabricante. Una estación base se compone de un transceptor de RF de baja potencia, unidad de control y otro hardware dependiendo de la tecnología y de la configuración de la red de acceso del sistema.

La radio celular utiliza varios transceptores con potencia moderada en un área de servicio extensa. La función de la estación base es crear la interfaz entre los teléfonos móviles celulares y el MTSO, como se indica en la figura 2.

Figura 2. Sistema de telefonía celular simplificado



Los transceptores en las estaciones base se comunican con el MTSO mediante enlaces de información dedicados alámbricos o inalámbricos, y con las unidades móviles por medio de las ondas de aire, utilizando un canal o canales de control, dependiendo esto del tipo de tecnología utilizada por la red celular.

La función de los MTSO es la de controlar el procesamiento y establecimiento de llamadas, móvil a móvil y móvil a teléfonos fijos, el MTSO se conecta mediante canales dedicados tipo E_N , con la PSTN (Red Telefónica Pública Conmutada), lo cual incluye señalización, supervisión, conmutación y distribución de los canales de RF y E_N . El MTSO también proporciona una administración centralizada y el mantenimiento crítico para toda la red de móviles e interfaces con la PSTN, asimismo, acordar las instalaciones con líneas alámbricas y servicios de telefonía alámbricos privados.

2.1 SISTEMA DE TELEFONÍA MÓVIL

Los problemas de interferencias causados por los móviles usando un mismo canal en áreas adyacentes demostró que todos los canales no pueden ser reutilizados en cada celda. Las áreas debían cambiar entre ellas antes de que un canal pudiera ser reutilizado. Sin embargo, esto afectaba la eficiencia del concepto original. La reutilización de frecuencia era una manera viable para solucionar los problemas de los sistemas de radio móvil.

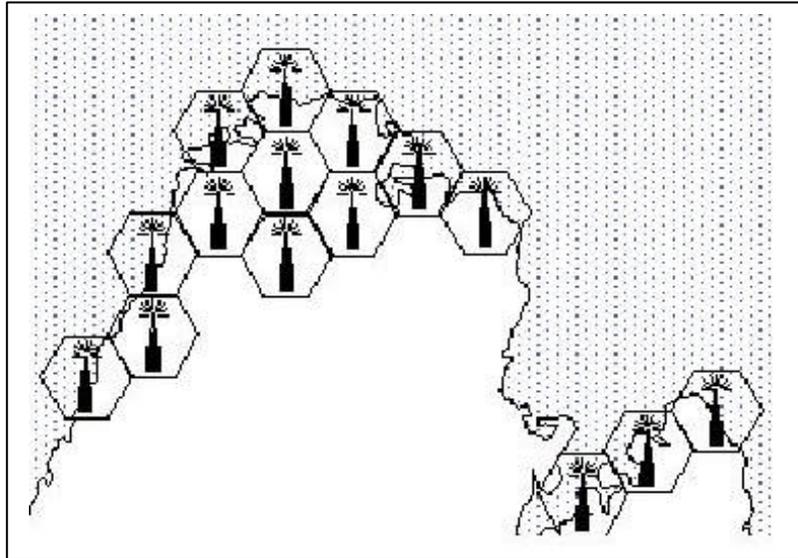
Los ingenieros descubrieron que los efectos de interferencia no se debían a las distancias entre celdas sino al radio que determinaba la distancia que alcanzaba la energía emanada de los transmisores. Al reducir este radio al 50% los proveedores de servicios podían incrementar el número de clientes por área cuadrada. Los sistemas basados en áreas de cobertura con un kilómetro de radio deberían tener 100 veces más canales que los sistemas que tienen un radio de 10 kilómetros.

Las pruebas realizadas concluyeron que mientras más se reduce el radio de cobertura se puede suministrar más capacidad de llamadas.

Los conceptos celulares emplean niveles variables de baja potencia, lo cual permite ajustar el tamaño de la celda dependiendo de la densidad de usuarios y la demanda en determinado sector. Mientras la población crece se pueden agregar celdas para adaptarse al crecimiento de la densidad de población.

Las frecuencias usadas en una celda pueden ser reutilizadas en otras celdas. Las conversaciones pueden ser llevadas de una celda a otra para mantener un servicio telefónico constante mientras que el usuario se desplaza de una celda a otra como se observa en la figura 3.

Figura 3. Distribución de celdas en área metropolitana



Los equipos de radio en la estación base se pueden comunicar con los móviles siempre que estos se encuentren dentro del rango de las celdas. El radio de energía se disipa con la distancia, es por esto que los móviles deben estar dentro del rango de operación de la estación base. Como en los sistemas de radio antiguos, la estación base se comunica con los móviles a través de un canal formado por dos frecuencias, una para transmitir y otra para recibir la información.

2.2 ARQUITECTURA DE LOS SISTEMAS DE TELEFONÍA CELULAR ACTUAL

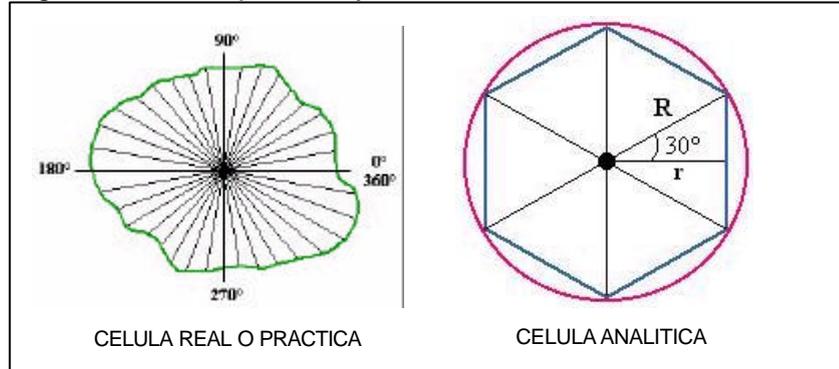
El incremento en la demanda y la baja calidad de los servicios existentes llevaron a los proveedores de servicios móviles a buscar maneras de incrementar la calidad de su servicio y soporte hacia los clientes que usaban sus sistemas, ya

que el espectro de frecuencia disponible para los celulares móviles era limitado, se requería de un uso eficiente del mismo, para establecer la cobertura de los móviles de manera correcta. En la actualidad, las regiones rurales y urbanas están divididas en áreas de acuerdo a directrices ya establecidas. Los parámetros de despliegue como la cantidad de divisiones de una celda y el tamaño de la misma son determinados por ingenieros experimentados en arquitectura de los sistemas celulares.

Las provisiones de celdas para cada región son planificadas de acuerdo a un plan de ingeniería que incluye celdas, *clusters*, reutilización de frecuencias y el *handoff*.

2.2.1 Celdas. Una celda es la unidad básica geográfica de un sistema celular. El término celular viene de la forma de panal de abeja que adquiere una región cubierta por varias celdas. Las celdas son las estaciones base transmitiendo sobre áreas geográficas pequeñas y son representados como hexágonos; el tamaño de la celda varía dependiendo de la topografía del terreno. Gracias a las deformidades en el terreno impuestas de manera natural y las estructuras hechas por el hombre, la verdadera forma de la celda no es un hexágono perfecto, ver figura 4.

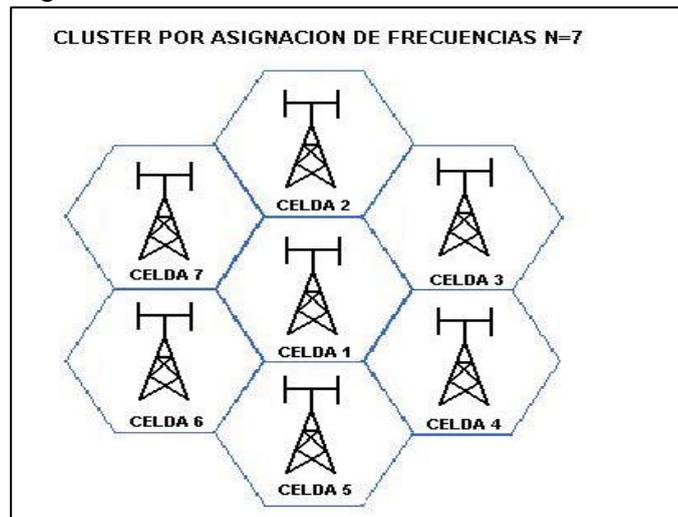
Figura 4. Forma práctica y analítica de una celda



2.2.2 Cluster. En telefonía celular un *cluster* está conformado por un grupo de celdas adyacentes donde cada una de estas tiene un grupo de canales de frecuencias diferente, en cada una de estas, los canales de cada celda y el número que conforma un *cluster* depende de la técnica de asignación de frecuencias y de la tecnología utilizada por el sistema celular, como en el caso de las tecnologías AMPS (*Advanced Mobile Phone System*) y TDMA (*Time División Múltiple Access*), la técnica empleada para la asignación de frecuencias es el plan de frecuencia $N=7$, ver figura 5.

Entre celdas adyacentes los canales son diferentes, esto con el fin de permitir la reutilización de frecuencias, mediante el proceso de *handoff*, todos los *cluster* están conformados por el mismo número de celdas y canales en cada una de ellas, pero entre celdas adyacentes de *cluster* diferentes las frecuencias son diferentes.

Figura 5. *Cluster* de 7 celdas



2.2.3 Cobertura. En sentido genérico, se entiende por cobertura la zona desde la cual un terminal móvil puede comunicarse con las estaciones de base y viceversa. Es en el primer parámetro en que se piensa al diseñar una red de comunicaciones móviles. La cobertura o el alcance de radio en una red es la composición del alcance de la suma de todas sus estaciones base. Para planificar una red, desde el punto de vista de la cobertura, el primer dato que se necesita saber es la zona que se desea cubrir, o zona de servicio.

Si se parte de esta única hipótesis, dado un área a cubrir, sería necesario un número de celdas tal que la suma de las áreas cubiertas por dichas celdas, a una altura determinada h y transmitiendo a su máxima potencia, fuera igual al área a cubrir. Ahora bien, debemos tener en cuenta que no basta con realizar el cálculo de potencia en el sentido estación base a móvil; también es necesario que el

móvil, en función tenga la capacidad de transmisión necesaria, para que su señal llegue a la estación base. Por ello, la cobertura de la red debe planificarse teniendo en cuenta las condiciones de transmisión en las que se encuentra el móvil, es lo que se denomina realizar un balance de enlace. Actualmente, las redes se diseñan teniendo en cuenta varios tipos de móviles, la máxima cobertura se ofrece para terminales instalados en vehículos, con antena exterior, y también se realizan previsiones para equipos portátiles en el exterior y en interior de vehículos, sin antena externa. Debido a las características particulares del trayecto de los lóbulos de las antenas utilizadas en las estaciones base, únicamente puede hablarse de cobertura en sentido estadístico. Esto implica que, las áreas que se representan teóricamente cubiertas, lo están en un determinado porcentaje de ubicaciones y de tiempo.

Existen gráficas, obtenidas de medidas empíricas sobre propagación, que muestran las correcciones en atenuación que se deben realizar para calcular correctamente el área de cobertura de un transmisor de ondas de radio, así como la probabilidad de cobertura asociada a dichas correcciones.

Hasta aquí todo es aplicable a casi cualquier sistema que tenga la radio como medio de transmisión. Lo que diferencia a un sistema celular es que, en zonas de alta densidad de tráfico, es capaz de utilizar más eficientemente el limitado espectro radioeléctrico que tiene asignado que otros sistemas. Esto implica un diseño de red de radio ondas denominado celular, que es lo que le da el nombre

al sistema, este consiste en dividir el área a cubrir en un número de celdas suficientemente grande, que permita la reutilización de frecuencias. Desde el punto de vista de cobertura, lo que se logra con esta división en pequeñas celdas, es que la cobertura de cada celda va a estar limitada por interferencia; es decir, el diseño se hará de forma tal que las celdas que utilizan los mismos canales de radio emitan a una potencia suficientemente baja para no interferirse entre si y, a su vez, no interferir a los móviles a los que están dando servicio. En definitiva, el máximo alcance de una celda sólo se podrá conseguir en lugares de poca densidad de tráfico, que por lo regular no se presentan en este tipo de sistemas.

2.2.4 Capacidad. Es la cantidad de tráfico que pueden soportar estos sistemas. El diseño de una red celular está pensado para soportar gran cantidad de tráfico, mediante la división celular, ya que los canales en estas se comparten. Al ser un sistema de concentración de canales, la capacidad por cada bloque de canales se calcula mediante la aplicación de la fórmula de *Erlang B*.

La capacidad que aporta este tipo de sistemas es función del número de canales utilizado, o ancho de banda disponible, del tamaño de las celdas y de la configuración en *cluster*. La capacidad será mayor, a mayor ancho de banda disponible, a menor tamaño de celda y menor número de celdas necesarias por *cluster*. Este último parámetro estará fuertemente ligado a la relación de interferencia entre canales que el sistema sea capaz de soportar. Respecto al tamaño de la celda, este estará limitado por la capacidad del protocolo de gestión

de la movilidad y por la velocidad a la que se desplacen los móviles en la zona de servicio.

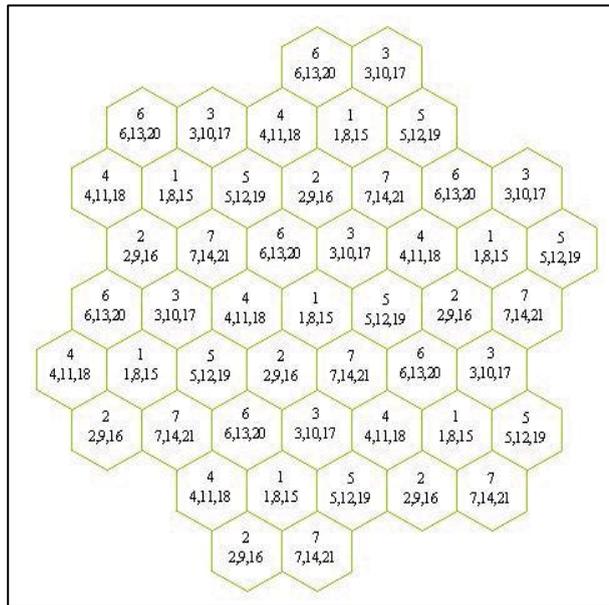
El diseño de la capacidad de los sistemas se realiza por zonas, tomando cada estación base independientemente, suponiendo el caso de tráfico más desfavorable; es decir, el tráfico en horas críticas como son las horas de la mañana y tarde.

2.2.5 Reutilización de frecuencias. Debido a que solo existía un pequeño número de canales con determinada frecuencia, los proveedores de servicios tenían que encontrar la manera de reutilizar los canales para poder establecer mayor cantidad de llamadas al tiempo, ya que las entidades encargadas de asignar las frecuencias como son la FCC y la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones), dejan a cargo a las empresas proveedoras de servicios el modo en que estas utilicen sus frecuencias. La solución adoptada por la industria se llamó planificación de frecuencia ó reutilización de frecuencias. La reutilización de frecuencias fue implementada al reestructurar la arquitectura de los sistemas de telefonía móvil y llevarlos al entorno de las definiciones celulares. El concepto de reutilización de frecuencias está basado en asignar a cada celda un grupo de canales usados dentro de un área geográfica específico. El grupo de canales de una celda era completamente diferente al grupo de canales de las celdas vecinas. Al área de cobertura de una celda se le denomina *footprint*, este se ajusta en la potencia y sensibilidad de las antenas de transmisión y recepción

respectivamente, en las estaciones base, dependiendo del área geográfica que la celda tenga que cubrir, con esto se logra que el grupo de canales de una celda pueda ser usado en otra, ya que estas se encuentran separadas no se presenta interferencia entre ellas, como lo muestra la figura 6.

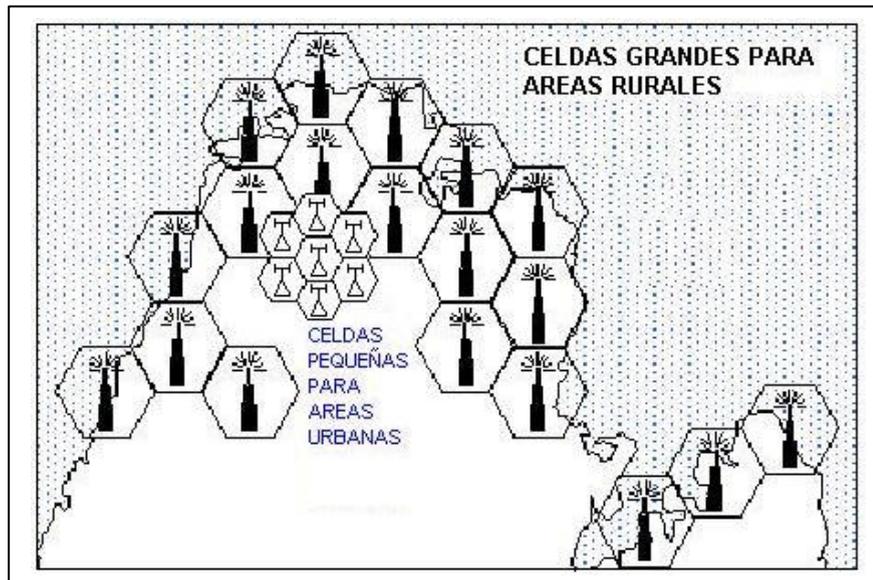
En la figura 6, los números mostrados en la parte superior interna de cada celda significan el número de la celda dentro del *cluster* y los números que están en la parte inferior significan el grupo y número de canales que tiene la celda, para este caso cada celda posee tres canales, como ejemplo las celdas número 1, de cada *cluster* tienen los canales 1, 8 y 15. Las celdas que tienen el mismo número, tienen el mismo grupo de frecuencias o canales, ya que el número de celdas por *cluster* es 7, para este caso en el que se aplica plan de frecuencias $N = 7$, el factor de reutilización de frecuencias es $1/7$, es decir, que cada celda está usando $1/7$ de los canales disponibles.

Figura 6. Reutilización de frecuencias



2.2.6 Subdivisión de celda. Desafortunadamente las consideraciones económicas hicieron impráctico el concepto de crear sistemas completos que cubrieran un área determinada mediante varias celdas que conformaran grupos de *cluster*, para solventar este problema se desarrollo la idea de dividir las celdas, clasificándolas en grupos según su tamaño. Basado en estudios estadísticos referentes a: en que área se presenta mayor cantidad de tráfico respecto a usuarios, se opto por tener celdas grandes en áreas donde se presente poco tráfico, como son las áreas rurales y celdas pequeñas donde el tráfico sea mayor, como son áreas urbanas, como se muestra en la figura 7.

Figura 7. Subdivisión de celdas



2.2.7 Señalización. Por señalización se entiende toda comunicación dedicada a gestionar los recursos del sistema para permitir la comunicación. Al hablar de comunicaciones celulares, se va a tratar de forma diferente la señalización asociada a la transmisión de radio y la relacionada a la propia estructura de red.

Ambos tipos de señalización sirven a los mismos propósitos, y sólo se diferencian por el tipo de entidades a las que ponen en comunicación. Funcionalmente, se podrían distinguir como:

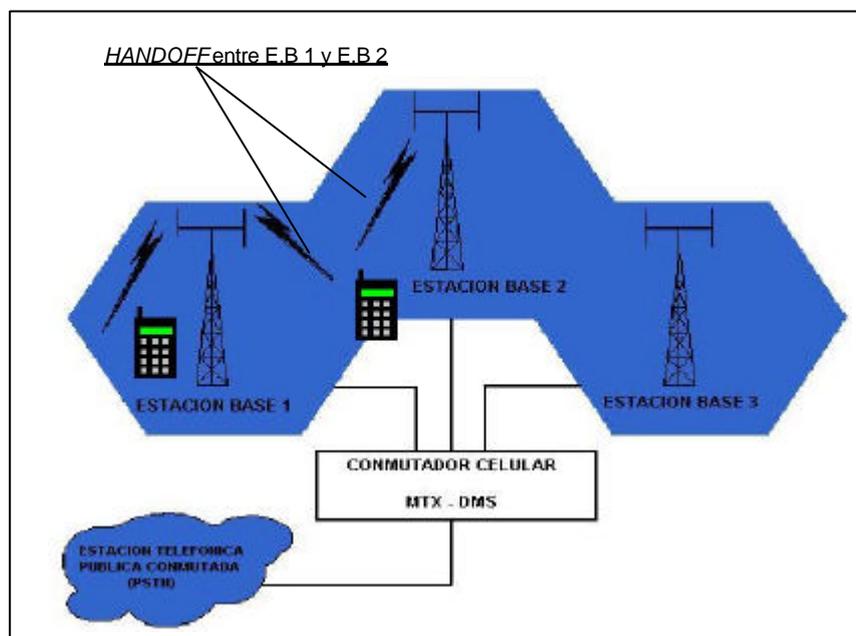
- Señalización destinada a la gestión de los recursos de radio.
- Señalización destinada a la gestión de la movilidad.
- Señalización destinada al establecimiento de la comunicación y conectividad entre sistemas.

Esta última puede ser común con otros sistemas de comunicación y, en particular, debe ser compatible con las redes de acceso fijas a las que los sistemas celulares se conectan, en la actualidad se usa un sistema de señalización por canal común SS7 (sistema de señalización 7), recomendación de la UIT serie Q700.

2.2.8 Hand off. El obstáculo final en el desarrollo de una red celular involucraba el siguiente problema, cuando un usuario viajaba desde una celda a otra durante una llamada, esta se cancelaba esta a causa de que el móvil salía del área de cobertura de la celda en que se encontraba, debido a que no se presentaba el cambio de una celda a otra, y por lo tanto el uso de un canal de frecuencia a otro canal diferente, la llamada se desvanecía.

Las áreas adyacentes que cubre cada celda no usan el mismo grupo de canales, una llamada debe ser cancelada o transferida al grupo de canales de la celda vecina cuando el usuario cruza la línea que divide las celdas. El *handoff* fue creado con el propósito de no permitir llamadas caídas o canceladas. El *handoff* ocurre cuando la red telefónica puede transmitir automáticamente la señal en los canales de radio de una celda a los canales de radio de otra como lo muestra la figura 8.

Figura 8. *Handoff* entre celdas



Durante una llamada dos personas usan un canal de voz; cuando el móvil se mueve fuera del área de cobertura de una celda, las ondas de radio recibidas se vuelven muy tenues, cuando esto sucede la estación base de la celda detecta esta atenuación de la señal y solicita el *handoff* a la MTSO, El sistema cambia la llamada a una frecuencia de recepción más fuerte en un nuevo lugar sin interrumpir la llamada o alertar a usuario de esta situación (proceso transparente para el usuario). La llamada continúa a medida que el usuario se desplaza.

2.2.9 Registro de localización en casa (HLR). Son las siglas de *Home Location Register* o base de datos donde se almacena toda la información del usuario pertinente para la provisión del servicio de telefonía móvil. Los operadores actúan

con referencia a esta base de datos para actualizar las características del servicio de cada cliente. También hay en el HLR información actualizada sobre la situación actual de sus móviles.

2.2.10 Registro de localización de visitante (VLR). Corresponde a las siglas *Visitor Location Register* o base de datos donde se almacena toda la información del usuario necesaria para la provisión de los servicios durante la utilización de los mismos. El VLR tiene una copia de parte de los datos del HLR, referidos a aquellos clientes que se han registrado en la zona controlada por dicho VLR.

2.2.11 Área de localización. Está formada por un conjunto de celdas, y determina el área donde se encuentra el móvil y las celdas a través de las cuales se emitirá un mensaje de búsqueda para este móvil, en caso de llamadas entrantes al mismo esta información es almacenada en el VLR.

2.2.12 Registro. Es el proceso mediante el cual un móvil comunica a la red que está disponible para realizar y recibir llamadas. La red, por su parte, llevará a cabo una serie de intercambios de información con sus bases de datos antes de permitir o registrar al móvil. Gracias a este registro, la red sabrá en cada momento dónde localizar dicho móvil en caso de llegarle una llamada entrante, información que esta almacenada en el HLR.

2.2.13 Roaming. Es el proceso de cambiar desde el área de localización de la central propia, al área de localización de otra central. El móvil visitante se registra en la VLR del centro de conmutación móvil visitado, para lo cual dicha VLR debe solicitar los datos de la suscripción de dicho cliente a su HLR. Si todo es correcto, la VLR permitirá el servicio al cliente visitante, mientras que la HLR registrará la nueva dirección de su cliente. Este proceso se puede presentar entre centrales del mismo proveedor de servicios en áreas diferentes donde la central a la que pertenece el móvil no tiene cobertura.

2.2.14 Centro de conmutación electrónica (MTSO). El centro de conmutación electrónica se encarga de dos funciones:

1. Controla la conmutación entre la red telefónica pública y los sitios de celdas para las llamadas de línea alámbrica a móvil, de móvil a móvil, y de móvil a línea alámbrica.
2. Procesa información recibida de los controladores de sitios de celdas que conciernen al estado de la unidad móvil, información de diagnóstico y recopilación de información de facturas.

Este también se encarga de hacer la conmutación de un celda a otra cuando se solicita *handoff* y de *roaming* cuando el móvil sale del área de servicios al que pertenece y entra a un área donde su proveedor de servicios no tiene cobertura, en este también se encuentran las bases de datos VLR y HLR.

2.2.15 Controlador de sitio de celda. Cada celda contiene un controlador de sitio de celda o estación base, que opera bajo la dirección del centro de conmutación. El controlador de sitio de celda administra cada uno de los canales de radio en el sitio, supervisa llamadas, enciende y apaga el transmisor y receptor de radio, inyecta información a los canales de control y usuario y realiza pruebas de diagnóstico en el equipo de sitio de la celda.

2.2.16 Interconexiones del sistema. Las estaciones base están conectadas a el MTSO por medio de enlaces de tipo E_N , esto dependiendo de la cantidad de tráfico presente, actualmente las empresas proveedoras de servicios conectan diferentes grupos de *cluster* a concentradores o conmutadores, esto dependiendo del área que se esta cubriendo y después envían las señales al MTSO dependiendo del tráfico que esta soporte, mediante canales E_N , teniendo en cuenta que estas siempre presentan rangos de tolerancia para poder soportar agregar más abonados móviles.

2.2.17 Unidades de telefonía móvil (teléfonos móviles) y portátiles. Las unidades de teléfonos móviles y portátiles son básicamente la misma cosa. La única diferencia es que las unidades portátiles tienen una potencia de salida más baja y una antena menos eficiente. Cada unidad de teléfono móvil consiste en una unidad de control, una fuente de energía (batería), un transceptor de radio, una unidad de procesamiento lógico y una antena móvil. La unidad de control alberga todas las interfaces de usuario, incluyendo un auricular. El transceptor utiliza un

sintetizador de frecuencia para sintonizar cualquier canal del sistema celular asignado. La unidad lógica interrumpe las acciones del suscriptor y los comandos del sistema y maneja al transceptor y las unidades de control.

2.2.18 Operación y mantenimiento. Otro de los subsistemas importantes en una red celular es el subsistema de operación y mantenimiento. Suele quedar fuera de todos los planes de estudio, dado que el funcionamiento teórico de la red no necesita de este subsistema. No obstante, no sería posible mantener en un correcto funcionamiento una red de telecomunicaciones sin un sistema de operación y mantenimiento que permita detectar y corregir o, al menos, ayudar a corregir los posibles fallos que se producen a diario en cualquier red.

2.2.19 Explotación. Al igual que el anterior, el subsistema de explotación no suele aparecer en los libros de texto. Es más, los fabricantes de equipos de red sólo dotan a estos de un interfaz hacia el subsistema de explotación, que debe ser comprado o, en el mejor de los casos, desarrollado a medida para el operador.

El subsistema de explotación es el que permitirá al operador cobrar por el uso de su red, así como administrar la base de datos de sus clientes y configurar sus perfiles de usuario en función de las políticas comerciales desarrolladas.

3. PROCESAMIENTO DE LLAMADAS

3.1 LLAMADAS DE LÍNEA A MÓVIL

El centro de conmutación de un sistema celular recibe una llamada de una línea compartida a través de una línea interconectada dedicada, desde la red telefónica pública conmutada. El conmutador traslada los dígitos marcados y determina si la unidad móvil, a la cual se llama esta colgada, descolgada (ocupada) o sin señal (apagado o fuera del área de cobertura). Si la unidad móvil está disponible, esto debido a un comando de voceo enviando a todas las estaciones bases, las cuales por medio del control de sitio de celda detectan el móvil mediante la señal de control emitida por este, el conmutador envía un tono de solicitud de estado al suscriptor móvil. Siguiendo una respuesta al tono enviado a la unidad móvil de parte de este, el conmutador asigna un canal desocupado, sintonizando la unidad móvil en este canal. La unidad móvil envía una verificación de la sintonización del canal por medio del canal control directo al controlador de sitio de celda, y después envía un tono de progreso de llamada al teléfono móvil del suscriptor, causando que este suene. El conmutador termina los tonos de progreso, cuando recibe la indicación positiva que el suscriptor ha contestado el teléfono de tal forma que el sistema detecta la no existencia de el tono de llamada progresiva en el canal de control inverso, se habilita la conversación entre las dos personas.

3.2 LLAMADA DE MÓVIL A LÍNEA

Un suscriptor móvil que desea llamar a una línea compartida, primero introduce el número a llamar en la memoria de la unidad, usando los botones de tono o de pulso del teléfono. El suscriptor, entonces oprime la tecla para enviar, la cual transmite el número marcado, así como el número de identificación del suscriptor móvil al conmutador. Si el número de identificación es válido, el conmutador enruta la llamada sobre una interconexión de línea dedicada a la red de telefonía pública, lo cual termina la conexión a la línea compartida. Usando el controlador de sitio de celda, el conmutador asigna a la unidad móvil un canal de usuario desocupado e indica a la unidad móvil que sintonice en ese canal. Después de que el centro de conmutación móvil recibe la verificación de que la unidad móvil está sintonizada al canal asignado, el suscriptor móvil recibe un tono de llamada progresiva, audible, del conmutador. Después que la persona a la que se llama levanta el teléfono, el conmutador termina los tonos de llamada progresiva y la conversación puede comenzar.

3.3 LLAMADA DE MÓVIL A MÓVIL

Para efectuar llamadas entre unidades móviles, el usuario que ejecuta la llamada introduce el número marcado en la memoria de la unidad, por medio del teclado del teléfono y después oprime la tecla de enviar. El conmutador recibe el número de identificación del móvil que llama y el número marcado, después determina si la

unidad a la que se llama esta libre para recibir la llamada. El conmutador envía un comando de voceo a todos los controladores de sitio de celda y el que es llamado (el cual puede estar en cualquier parte del área de servicio) recibe un llamado. Después de un voceo positivo del que fue llamado, el conmutador asigna a cada uno, un canal de usuario desocupado y les indica que se sintonicen a su respectivo canal. Entonces el teléfono al que se esta llamando suena. Cuando el sistema recibe notificación de que al móvil que se llama ha contestado el teléfono, el conmutador termina el tono de llamada progresiva y la conversación puede comenzar entre las dos unidades móviles.

Si un suscriptor móvil desea iniciar una llamada y los canales de usuario están ocupados, el conmutador envía un comando de reintento dirigido indicando al suscriptor que vuelva a intentar la llamada por una celda vecina. Si el sistema no puede distribuir un canal de usuario por medio de una celda vecina, el conmutador transmite un mensaje de interrupción a la unidad móvil que esta llamando por medio del canal de control. Cada vez que esta llamando a un suscriptor móvil que esta descolgado, el que llama recibe una señal de ocupado. Además, si el número que se esta marcando no es valido, el sistema envía un mensaje grabado por medio del canal de control o proporciona un aviso de que la llamada no puede procesarse.

4. CONTROL DE FLUJO

Una de las características más importantes de un sistema celular es su capacidad de transmitir llamadas, que ya están en proceso, de un controlador de sitio a otro conforme las unidades móviles se mueven dentro de la red celular. Este proceso de transferencia se llama control flujo. Las computadoras en las estaciones del controlador del sitio se transfieren llamadas a un mínimo de interrupción y ninguna degradación en la calidad de transmisión (proceso de *handoff*).

El proceso de control de flujo requiere de aproximadamente 125 mseg. Los parámetros de control de flujo permiten una transferencia optimizada basada en una carga de tráfico del sitio de la celda y el área que lo rodea. El bloqueo ocurre cuando el nivel la señal cae a menos del nivel útil y no existen canales utilizables de intercambio. Para ayudar a evitar el bloqueo o la pérdida de una llamada, durante el proceso de control de flujo, el sistema emplea un esquema de balanceo de cargas que libera los canales para control de flujo y establece prioridades de control de flujo. Los programadores en el sitio del conmutador central actualizan continuamente el algoritmo de conmutación para enmendar el sistema hasta acomodar las cargas de tráfico variantes.

5. TECNOLOGÍAS DE TELEFONÍA CELULAR

Los sistemas móviles celulares forman una familia con amplia diversidad de tecnologías, las cuales se encuentran en permanente evolución a causa de la gran demanda de usuarios a nivel mundial por los servicios prestados por la telefonía móvil. La evolución de una tecnología a otra hace que entre estas se diferencien en calidad y tipos de servicios. Existen diversos procesos que identifican a un sistema móvil, muchas veces puede ser caracterizados mediante unos pocos parámetros (forma de codificación, corrección de errores, velocidad, forma de multiplexación, forma de duplexación, plan de frecuencias, forma de modulación, posibilidad de *handoff* y *roaming*, etc.).

Como clasificación de algunos de los elementos básicos de análisis se presentan los siguientes:

- Métodos de codificación del canal vocal para compresión de la velocidad de transmisión.
- Métodos de modulación para acotar el espectro ocupado.
- Métodos de multiplexación y acceso al enlace radioeléctrico.
- Métodos de duplexación para combinar la transmisión y recepción.

El desarrollo de estas tecnologías ha tomado el nombre según su evolución como; tecnología 1G (tecnologías de primera generación), 2G (tecnologías de segunda generación) y 3G (tecnologías de tercera generación), dentro de cada uno de estos grupos de tecnologías encontramos diferentes estándares internacionales según su normalización.

El desarrollo de este documento se centra en los estándares de la CTIA (*Cellular Technology Industry Association*) IS-19 para AMPS, IS-54 y IS-136 para D-AMPS o TDMA, actualmente estándar EIA/TIA –136 utilizado en COLOMBIA , ETSI-GSM 03.03 (*European Telecommunications Standards Institute* - *Group Special Mobile*) para GSM, los cuales son tecnologías de primera y segunda generación.

6. PRIMERA GENERACIÓN DE LOS SISTEMAS DE TELEFONÍA MÓVIL

En 1971 *Bell System* introduce el término celular. El primer sistema celular se instala en Chicago en 1978, pero hasta 1983 no se implementó totalmente debido a dificultades del plan de frecuencias. Se utilizó en la banda de 800 MHz asignada previamente por la FCC para TV educativa. La FCC adoptó en 1980 la política de dos empresas por área; previamente asignaba a una empresa el servicio de telefonía móvil. La misma política se repite para América Latina para facilitar la competencia entre empresas. Se dispone de una empresa ligada al servicio telefónico básico y otra no ligada a dicho servicio.

Para establecer competencia, la división de la banda en dos operadores produce una degradación en el uso del espectro debido a que ciertas portadoras deben reservarse para el acceso. Sin embargo, dicha degradación se estima en 8,5 % y es tolerable.

6.1 AMPS (Sistema Avanzado de Telefonía Móvil)

6.1.1 Antecedentes. La tecnología AMPS. Es un sistema de telefonía móvil analógica de ancho de banda angosta, inventado y desarrollado en EE.UU. por los Laboratorios *Bell* en la década de los 70, e instalado y puesto en servicio por primera vez en Estados Unidos en 1982. Este sistema pertenece a la primera

generación de la telefonía móvil y opera o funciona bajo la técnica de acceso al medio FDMA.

AMPS fue el primer estándar de primera generación y se desarrollo entre los años 1982 y 1992. Una de las principales características del sistema AMPS, es que una región geográfica se divide en celdas, normalmente de 10 a 20 Km de diámetro, cada una de las cuales utiliza un conjunto de frecuencias. La idea de este sistema es el de utilizar celdas relativamente pequeñas, y reutilizar las frecuencias de transmisión en celdas cercanas (pero no adyacentes). En otras palabras, AMPS podría tener 100 celdas de 10 Km en la misma área con 5 a 10 llamadas en cada frecuencia en celdas muy separadas. Además como las celdas son más pequeñas se necesita menor potencia, lo cual permite utilizar dispositivos más pequeños y económicos.

Para áreas en las cuales la cantidad de usuarios crece tanto que el sistema se sobrecarga, la potencia tiende a reducirse y las celdas sobrecargadas se dividen en celdas más pequeñas para que así se de una reutilización de las frecuencias. En otras palabras, cuando el tráfico es intenso, se reduce la potencia del canal para disminuir el área de cobertura, y de esta forma se forja el inicio de una llamada en otra celda y se evita la congestión.

En el centro de cada celda se encuentra ubicada una estación base a la cual transmiten todos los teléfonos de dicha celda.

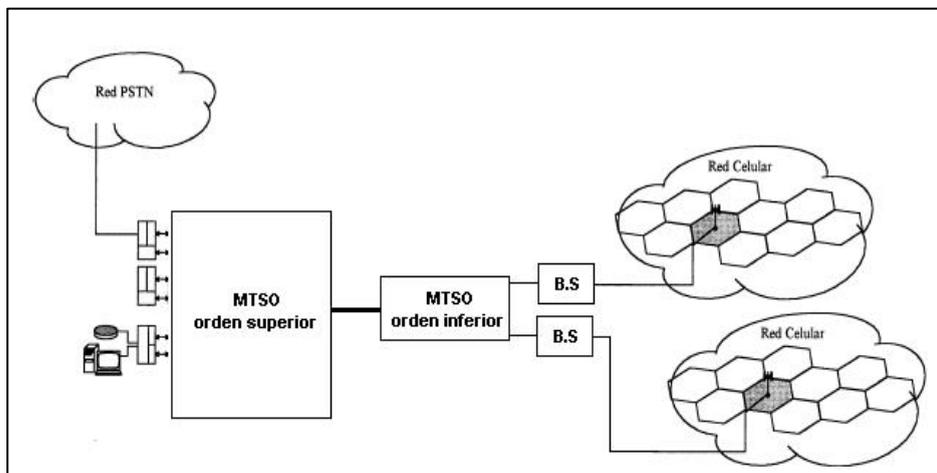
Los sistemas de primera generación de telefonía móvil se desarrollaron en las bandas de frecuencia de 800 MHz y 900 MHz. En la siguiente tabla se muestran las características más importantes del sistema AMPS.

Tabla 1. Características del sistema AMPS

Antenas	Omnidireccionales de bajo perfil
Ancho de espectro	20 MHz
Espectro adicional asignado	5 MHz
Bandas de frecuencia	800 MHz – 900 MHz
Transceptores de radio con ancho de banda	300 Hz – 3 kHz
Desviación máxima de frecuencia	± 12 kHz
Ancho de banda por canal	30 kHz con 100% de modulación FM
Sistema de acceso utilizado	FDMA
SIR (<i>Signal to Interference Ratio</i>)	18 dB
Patron de reutilización	7
Número de celdas por cluster	7
Número de canales por área de servicio	666
Número total de canales	832

6.1.2 Arquitectura. La arquitectura de una red AMPS se basa en una serie de estaciones base, ubicadas en el centro de cada celda, cada una de las cuales se compone de dispositivos radio transmisor/receptor. La estación base consiste en una computadora y un transmisor/receptor conectado a una antena. En un sistema pequeño, todas las estaciones base se conectan a un mismo dispositivo llamado MTSO, oficina de conmutación de telefonía móvil o MSC (*Mobile Switching Center*), centro de conmutación móvil. En un sistema grande, pueden ser necesarias varias MTSO, todas las cuales se conectan a una MTSO de segundo nivel, y así sucesivamente, ver la figura 9.

Figura 9. Arquitectura del sistema AMPS



6.1.3 Subsistema de radio. Es el responsable de establecer el enlace entre la red y las estaciones móviles.

Los elementos que componen el subsistema de radio son:

- Estación transreceptora: consta del equipo de radio.
- Estación controlador de base: se trata del transcodificador de datos.
- Sistema irradiante: antenas combinadas omnidireccionales y directivas.
- Combinador (*Branching*) para las distintas señales.
- Sistema de filtros RF: para atenuar la emisión fuera de banda.
- Sistema de preamplificador de bajo ruido.

6.1.4 Subsistema de conmutación MTSO. Este subsistema es el encargado de realizar la asignación de frecuencias para la conexión móvil a base y además sostiene la toma de decisiones para un eventual *handoff* (cambio de celda). Debe efectuar la autenticación del usuario y mantener un registro de localización del móvil.

El MTSO maneja el sistema de señalización SS7 en la comunicación hacia la red pública PSTN, además contiene el centro de memoria que mantiene la información referida a la posición de cada móvil de acuerdo a la potencia recibida en cada

celda y permite la autenticación del móvil antes de que se inicie el proceso de comunicación.

Las MTSO son básicamente oficinas finales como en un sistema telefónico y, en efecto, están conectadas a por lo menos una oficina final del sistema telefónico. Las MTSO se comunican con las estaciones base, con otra MTSO y con la PSTN mediante una red de conmutación de paquetes.

Los elementos que componen al subsistema de conmutación son:

- Centro de conmutación de llamadas.
- Registro de localización: temporal y permanente HLR (*Home Location Register*) y VLR (*Visitor Location Register*), almacenan información acerca de cada suscriptor.
- Centro de autenticación: para darle seguridad a la entrada de usuarios a la red.
- Registro de identificación del teléfono.
- Centro de operación y mantenimiento O&M.

6.1.5 La estación móvil. Es el dispositivo final del sistema. Existe una gran gama de diseños, según el tipo se dividen en tres categorías:

- Móviles montados en autos
- Portátiles o teléfonos de bolsillo.
- Manuales o transportables.

Según la clase los hay de:

- Clase 1 de (6 mW a 4 W).
- Clase 2 de (6 mW a 1.6 W).
- Clase 3 de (6 mW a 630 mW).

6.2 PROCESOS BÁSICOS

6.2.1 Registro. En AMPS cada teléfono móvil posee un número de serie de 32 bits y un número telefónico de 10 dígitos en su PROM. El número telefónico se representa como un código de área de 3 dígitos, representados en 10 bits, y un número de cliente o suscriptor de 7 dígitos, representados en 24 bits. Cuando un teléfono se enciende, examina una lista preprogramada de 21 canales de control para encontrar la señal más potente.

Los teléfonos móviles se programan para rastrear la portadora de lado A o únicamente la portadora de línea.

Aunque en el sistema AMPS los canales de voz son analógicos, la información de control se envía en forma digital. Los teléfonos difunden su número de serie de 32 bits y su número de teléfono de 34 bits, que es registrada por la MTSO y esta a la vez informa a la MTSO local del cliente y de su ubicación actual. El teléfono móvil durante su funcionamiento normal se registra aproximadamente cada 15 minutos.

6.2.2 Paging y Roaming. El proceso de *Paging* permite localizar la estación móvil dentro del área de cobertura para las llamadas entrantes. Este proceso se complica cuando se trata de localizar a un usuario entre sistemas operados por distintas empresas.

En AMPS el canal de *paging* es el mismo canal de control (*setup*). Se utiliza la dirección *Forward* y *Reverse* para cada una de las acciones de acceso y *paging*. Ambos canales solo transportan información de datos a 10 kb/s; no poseen señal vocal. Se denomina *Roamer* a una estación móvil que opera en un sistema celular de otra administración.

6.2.3 Establecimiento de llamada. Para realizar una llamada, el usuario enciende el teléfono móvil, teclea el número al que desea llamar y oprime el botón enviar. El teléfono envía entonces el número por llamar y su identidad por el canal de acceso. Cuando la estación base recibe la petición, informa a la MTSO. A continuación la MTSO busca un canal desocupado para establecer la llamada; si encuentra uno, el número de canal se envía de regreso por el canal de control. Así

el teléfono móvil se comunica en forma automática con el canal de voz seleccionado y espera hasta que la persona a la que se está llamando levante el teléfono.

Para el caso en el que un teléfono móvil sale de una celda, su estación base nota que la señal telefónica se desvanece y pregunta a todas las estaciones base cercanas cuanta potencia está recibiendo de ella. A continuación, la estación base transfiere la posesión a la celda que está recibiendo la señal más fuerte, es decir la región donde está localizado el teléfono móvil ahora, en otras palabras se le reasigna una frecuencia libre en la nueva celda con mejor nivel de cobertura. Luego se le informa al teléfono cual es su nueva estación base y, si está realizando una llamada, se le pide que cambie a un nuevo canal, ya que no se pueden reutilizar las frecuencias de celdas adyacentes. Este proceso tarda aproximadamente 300 mseg. La asignación del nuevo canal la realiza el MTSO, que es la memoria central del sistema.

6.2.4 Handover. El proceso *Handoff* tiene las siguientes características:

- Una llamada al suscriptor se enruta a la celda que mejor cobertura disponible en dicho momento se encuentre. Una llamada en progreso puede cambiar sucesivamente de una a otra celda (*Handoff*). La estación central reasigna una frecuencia libre en la nueva celda con mejor nivel de cobertura.

- La primera generación de *handoff* tiene en cuenta la detección del nivel en la estación base. Pueden ocurrir retardos elevados (hasta 10 seg.). La segunda generación de *handoff* se aplica en los sistemas digitales y se denomina MAHO (*Mobile Assisted Handoff*). En MAHO el móvil reporta a la estación base el nivel de potencia de recepción o alguna otra característica para asistir el proceso. El nivel de potencia de emisión del usuario es variable y depende del nivel de recepción en la estación base. Entonces la estación central informa al móvil el nivel de la potencia con que debe transmitir en cada momento. Sin embargo, las condiciones de propagación en uno y otro sentido pueden ser distintas.
- El *handoff* se realiza debido a diversas causas relacionadas con el nivel de recepción desde el móvil. En un caso se utiliza un algoritmo que determina un umbral de ruido ambiente (por ejemplo, -100 dBm.).

6.2.5 Recepción de llamadas. Las llamadas que llegan funcionan de forma diferente. Para empezar todos los teléfonos desocupados escuchan continuamente el canal de aviso para detectar mensajes dirigidos a ellos. Cuando se hace una llamada a un teléfono móvil, ya sea desde un teléfono fijo o algún otro teléfono móvil, se envía un paquete al MTSO local del destinatario de la llamada para averiguar donde se encuentra. Luego se envía un paquete a la estación base

de su celda actual, la cual realiza entonces una difusión por el canal de aviso, luego el teléfono llamado responde por el canal de control. La base entonces le asigna el canal al teléfono llamado, luego el teléfono llamado conmuta al canal que le asigno la base y empieza a timbrar.

6.2.6 Autenticación. Cuando se ha efectuado el discado y emisión (*Send*), la estación base accede a la central de conmutación. La MTSO toma una línea de salida del sistema celular. Al querer procesar una llamada saliente desde el usuario se procede a realizar el proceso de Autenticación de usuario y de aparato. Este proceso requiere del auxilio del registro usuarios locales HLR y visitantes VLR. Con posterioridad se le asigna una portadora de tráfico libre, dejando la portadora de control para el *setup* de otro usuario.

6.3 CANALES DE TRÁFICO Y CONTROL

El sistema AMPS utiliza 832 canales dúplex, cada uno constituido por un par de canales símplex. Hay 832 canales de transmisión símplex desde 824 hasta 849 MHz, y 832 canales de recepción símplex desde 869 hasta 894 MHz. Cada uno de estos canales símplex es de 30 kHz de ancho de banda; por consiguiente AMPS utiliza FDM, para separar los canales.

De todos los canales, se reservan veintiuno para control, y están fijos dentro de un PROM en cada dispositivo móvil. Puesto que no pueden reutilizarse las mismas

frecuencias en las celdas cercanas, entonces la cantidad real de canales de voz disponibles por celda es mucho menor que 832.

Los 832 canales se dividen en cuatro categorías:

1. Acceso (bidireccional) sistema para el establecimiento de llamadas y asignación de canales.
2. Control (base a móvil) para administrar el sistema.
3. Datos (bidireccional) sistema para voz, fax o datos.
4. Localización (base a móvil) para avisar a los usuarios móviles que tienen una llamada.

Uno de los principales inconvenientes para el sistema AMPS es que en la banda de 800 MHz, las ondas de radio son aproximadamente de 40 cm de longitud y viajan en línea recta; por lo que son absorbidas por árboles y plantas, y rebotan en el suelo y los edificios. Por lo que es posible que una señal enviada por un teléfono móvil llegue a la estación base por una trayectoria directa, pero también con un mínimo retardo después de haber rebotado en un edificio o en el suelo. Por consiguiente esto puede producir un efecto de distorsión de la señal.

Para el sistema AMPS, la FCC asignó dos sistemas para asegurar que existieran por lo menos dos proveedores de telefonía celular, estos sistemas recibieron el

nombre de portadora de lado A, este sistema ocupa desde la portadora 1 hasta 333.

El otro sistema recibió el nombre de portadora de lado B o portadora de línea, este sistema ocupa desde la portadora 334 hasta la 666. Todo esto para promover la competencia y los precios bajos.

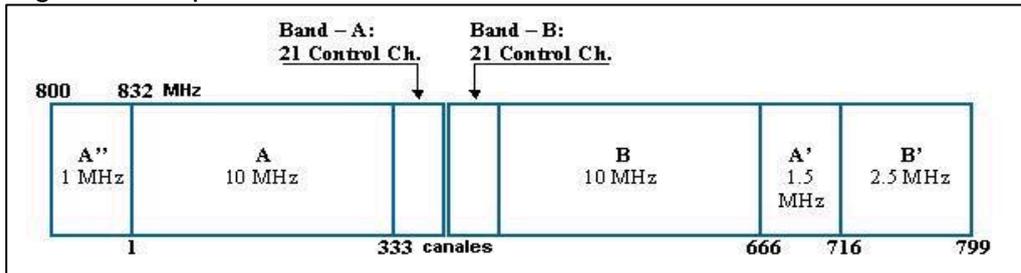
6.4 PLAN DE FRECUENCIA

Según la norma IS-54 establecida por la FCC el plan de frecuencia para el sistema AMPS posee las siguientes características:

- Las portadoras están separadas por 30 kHz una de la otra.
- Se dispone de un ancho de banda de 20 MHz para ubicar 666 canales.
- Se denominan sistemas de portadora de lado A y portadora de lado B básicos.
- Se distribuyen en dos empresas (el sistema A se asigna normalmente a *non-wireline* y el B para *wireline*).
- Sistema A: Móvil a Base 824-835 y 845-846,5 MHz y Base a Móvil 869-880 y 890-891,5 MHz.
- Sistema B: Móvil a Base 835-845 y 846,5-849 MHz y Base a Móvil 880-890 y 891,5-894 MHz.

- Existe una banda adicional de 5 MHz para los canales del 667 a 799 (sistemas A' y B' desde 1986).

Figura 10. Espectro de frecuencia sistema AMPS



En la Tabla 2, se indica la distribución de portadoras en un diagrama de 7 celdas y con antenas de 120°. De esta forma se determinan 3 sectores por celdas. Se indican además los sistemas A y B para ambos proveedores de servicio.

	A1	B1	C1	D1	E1	F1	G1	A2	B2	C2	D2	E2	F2	G2	A3	B3	C3	D3	E3	F3	G3
A	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63

	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	--	--	--
	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333
B	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354
	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375
	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396

	628	629	630	631	632	633	634	635	636	637	638	639	640	641	642	643	644	645	646	647	648
	649	650	651	652	653	654	655	656	657	658	659	660	661	662	663	664	665	666	--	--	--

Se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- Se disponen de 7 celdas (A, B,..., G) cada una con 3 sectores (1,2 y 3); total 21 sectores.
- Cada celda dispone de 45 o 44 portadoras. Cada uno de los sectores tiene 15 o 14 portadoras.
- El sistema A ocupa desde la portadora 1 a 333 y el sistema B desde 334 a 666.
- Los Canales de *Setup* son las portadoras 313 a 333 (sistema A) y 334 a 354 (sistema B).
- Se dispone de un canal de *setup* por cada sector y por cada celda.
- El canal de *setup* lleva información para el acceso al sistema en el sentido *Reverse* y para *paging* en el sentido *Forward*.
- Cuando el tráfico es intenso se reduce la potencia del canal de *setup* para disminuir el área de cobertura.

6.5 SEÑALES SOBRE EL CANAL DE TRÁFICO

El espectro completo está formado por 3 componentes:

- Canal vocal analógico que modula a la portadora en FM (desviación de ± 12 kHz).

- Tono de supervisión de audio 6 kHz que modula en FM a la portadora (desviación de ± 2 kHz).
- El canal de control o señalización con 10 kbits/s modulado en FSK sobre una portadora a +10 kHz (± 8 kHz).

6.5.1 Canal vocal analógico. En este sistema el canal vocal se transmite en forma analógica. Las principales características son:

- Se efectúa una compresión/expansión silábica de relación 2:1 (2 dB de cambio en la entrada se traduce a 1 dB).
- Se realiza luego una preacentuación de 6 dB/octava entre las frecuencias de 300 y 3400 Hz.
- Se logra de esta forma confinar la energía en la banda del canal y un salto inferior entre pulsos de palabras.
- Se trata de un tiempo de 3 mseg de ataque y 13,5 mseg de recuperación.
- La señal vocal se modula en frecuencia FM con una desviación máxima de ± 12 kHz.
- La desviación eficaz es de $\pm 2,9$ kHz sobre la portadora del canal.

6.5.2 Tono de supervisión de audio. Sobre el canal vocal se coloca un SAT (*Supervisory Audio Tone*).

- SAT es un tono de 5970, 6000 o 6030 Hz (tolerancia 15 Hz). Cada estación base tiene asignada una frecuencia distinta.
- Se modula en FM a la portadora con una desviación de ± 2 kHz.
- El SAT (conocido como código de color en el canal de tráfico) se suma a la portadora de audio.
- Se envía sobre el canal vocal FVC (*Forward Voice Channel*) y se utiliza para transmitir el canal en RVC (*Reverse Voice Channel*).
- El móvil filtra y detecta el tono y dispone de una indicación de presencia de señal.
- Si una estación móvil no recibe el SAT durante 5 seg debe cortar la llamada (*Off*).
- En el canal en reversa el SAT se suspende durante la transmisión de datos o control.
- El código de color en el canal de control es el equivalente digital a este tono.

6.5.3 Canal de control. Este canal se utiliza para emitir datos de señalización, se usan 21 canales de de este tipo, para originar las llamadas, terminarlas y obtener información del sistema, en cada una de las portadoras A o B de su respectiva área de servicio.

- Los datos se transmiten a una velocidad de 10 kbits/s y su codificación es Manchester.
- Se modula en FSK con una desviación de ± 8 kHz sobre un tono a 10 kHz sobre el canal vocal.
- Ambos espectros están separados por la concentración de energía.
- Como de los 832 canales totales, la mitad le toca a cada sistema, y hay 21 de control, entonces quedan disponibles 395 canales de voz.
- Se mandan instrucciones desde la estación base, en canal directo de control o FCC (*Forward Control Channel*) y se reciben instrucciones o se escuchan en RCC (*Reverse Control Channel*).

6.6 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL SISTEMA AMPS

6.6.1 Ventajas. Los sistemas analógicos siguen creciendo a pesar de los esfuerzos de muchos proveedores de servicios por migrar a la tecnología digital.

Los sistemas analógicos ofrecen una excelente calidad de la señal y son una parte integral de la infraestructura móvil e inalámbrica.

6.6.2 Desventaja. Los teléfonos celulares analógicos son totalmente inseguros, ya que no permiten cifrar el tráfico de usuarios.

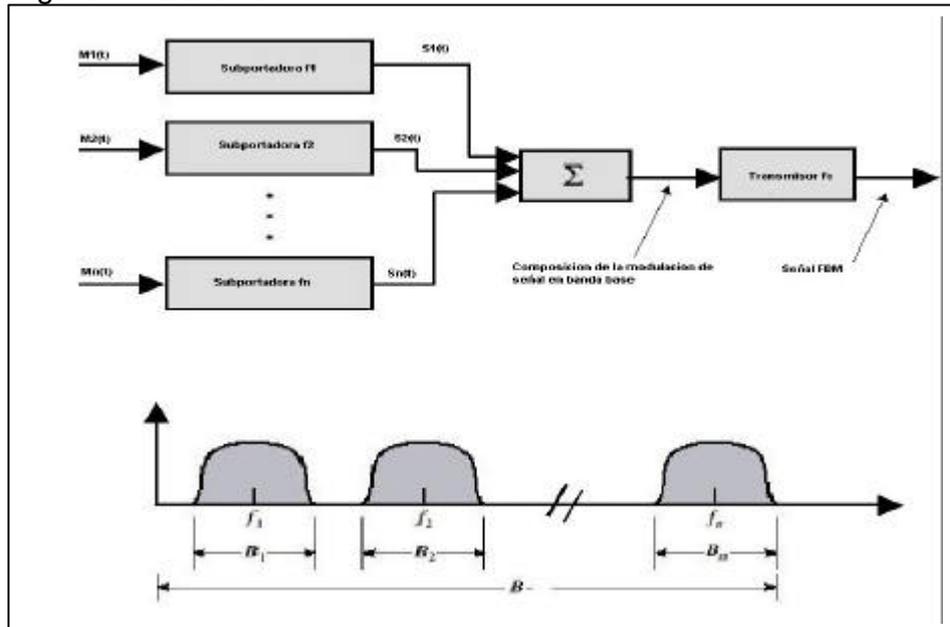
6.7 FDMA (ACCESO MULTIPLE POR DIVISION DE FRECUENCIA)

En la década pasada, la técnica de acceso al medio más utilizada fue la FDMA. El cual es un método en el que el ancho de banda de un canal de RF se divide en bandas de frecuencias más pequeñas que reciben el nombre de subdivisiones. Cada porción se utiliza para llevar un canal de banda de voz. En otras palabras FDMA consiste en la división del espectro disponible en canales. Con la técnica FDMA cada canal es asignado a un abonado o usuario a la vez, es decir que todos los usuarios pueden transmitir simultáneamente pero usan bandas de frecuencia distintas. El canal no puede ser utilizado por otras conversaciones hasta que el abonado termine o hasta que esta sea entregada (*handoff*) a otra celda. A cada abonado se le distribuye una porción fija del espectro de frecuencias. Aunque FDMA prácticamente ha desaparecido de los equipos de usuario final, esta técnica se utiliza mucho en sistemas de portadora telefónica, de microondas y satélite. Una transmisión FDMA de doble vía (full duplex) requiere dos canales, uno para transmitir y otro para recibir.

La técnica FDMA disminuye el ancho de banda total disponible para cada abonado (ver figura 11), pero el ancho de banda casi siempre es suficiente para dispositivos de bajas velocidades. Aunque existen separaciones entre canales o bandas de protecciones, algunas veces se presentan superposiciones entre canales

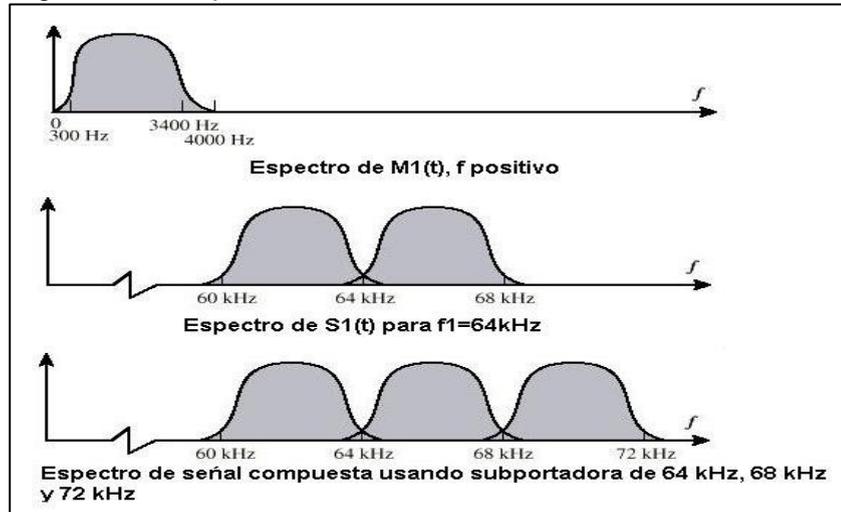
adyacentes. Esta superposición indica que un voltaje fuerte en el borde de un canal se presentara en el canal adyacente como ruido.

Figura 11. Sistema FDMA



La señal recibida primero se demodula para reproducir la señal de banda base compuesta que se hace pasar a través de filtros para separar las subportadoras moduladas individualmente. Las subportadoras luego se demodulan para reproducir las señales originales, ver figura 12.

Figura 12. Subportadoras



6.7.1 Jerarquía FDMA. En FDMA se emplean esquemas que en el mundo están normalizados hasta cierta instancia. Uno de los estándar más reconocidos es el de 12 canales de voz a 4000 Hz, este estándar utiliza una frecuencia de 3000 Hz para los abonados, más dos bandas de protección de 500 Hz cada una, todo esto multiplexados dentro de una banda de frecuencia de 60 a 108 kHz. A este estándar se le denomina grupo.

Existe la posibilidad de multiplexar cinco grupos es decir 60 canales de voz, para formar un súper grupo. También se pueden formar cinco súper grupos para componer un grupo maestro. Los sistemas AMPS utilizan el FDMA como su técnica de acceder al medio. El sistema AMPS utiliza porciones de 30 kHz de espectro de frecuencia para cada canal, las bandas angostas AMPS requieren únicamente de 10 kHz por canal. FDMA se utiliza en diversas aplicaciones como

son en sistemas de televisión por cable (CATV), ya que proporciona una banda de FDM diferente para cada canal, en sistemas de radio y en sistemas telefónicos.

6.7.2 Características. Es posible utilizar la técnica FDMA cuando el ancho de banda útil del medio de transmisión supera el ancho de banda requerido por las señales a transmitir.

- Hay simultaneidad en la transmisión de señales porque cada una de ellas se modula con una frecuencia portadora diferente, tal que éstas frecuencias están suficientemente separadas para que no se solapen significativamente las señales
- La señal compuesta transmitida a través del medio es analógica.
- Las señales de entrada siempre deben ser moduladas, para trasladarlas a la banda de frecuencia apropiada.
- Si la señal de entrada es digital, se debe pasar a través de un MODEM para convertirla en analógica y posteriormente modularla.

7. SEGUNDA GENERACIÓN DE LOS SISTEMAS DE TELEFONÍA MÓVIL

La segunda generación (2G) se caracteriza por ser digital y ofrecer servicios de voz y datos a baja velocidad, Mayor capacidad, Más servicios (Datos, SMS, fax). Aunque se sigue utilizando la banda de 800 MHz, fue abierta la banda de 1.9 GHz (1850 – 1990 MHz) donde pueden trabajar las tecnologías tales como: GSM (*Groupe Spécial Mobile*) ETSI, TDMA IS-136 y CDMA IS-95. Estas tres tecnologías caracterizan a la segunda generación de telefonía móvil. En el caso de Colombia, operadores como COMCEL opera su red celular bajo TDMA, próximamente operara bajo GSM Y BELLSOUTH opera su red con la tecnología CDMA. Aunque se abrieron también nuevos servicios con la 2G, entre estos el servicio más popular es el conocido como servicio de mensajes cortos (SMS, *Short Messaging Service*), utilizado comúnmente entre los jóvenes, por ser sencillo, rápido y barato. Existen dos versiones de este servicio: de forma directa entre teléfonos móviles y de forma indirecta hacia teléfonos móviles, el cual se hace pro medio de la pagina *web* del operador celular.

7.1 TDMA (ACCESO MULTIPLE POR DIVISIÓN DE TIEMPO)

7.1.1 Antecedentes. La principal característica de diseño del sistema dual DAMPS, es la compatibilidad de banda de frecuencias con el sistema analógico AMPS. Esto permite una transición desde el sistema analógico AMPS al digital

NADC (*North American Dualmode Cellular*) y la compatibilidad en forma dual y simultánea de ambas tecnologías. El sistema NADC es mejor conocido como D-AMPS (*Digital-AMPS*).

D-AMPS introduce la posibilidad de transmisión de datos y *facsimil* y se encuentra normalizado mediante EIA IS -54. El proceso de normalización se inicia en 1987 y está disponible desde 1990. Permite un incremento de la eficiencia espectral. Cada portadora de 30 kHz acomoda 3 canales digitales TDMA mediante la codificación y modulación apropiada. En la actualidad se tienen hasta 6 canales por portadora a la mitad de velocidad como. En D-AMPS se ha privilegiado la compatibilidad con el sistema AMPS.

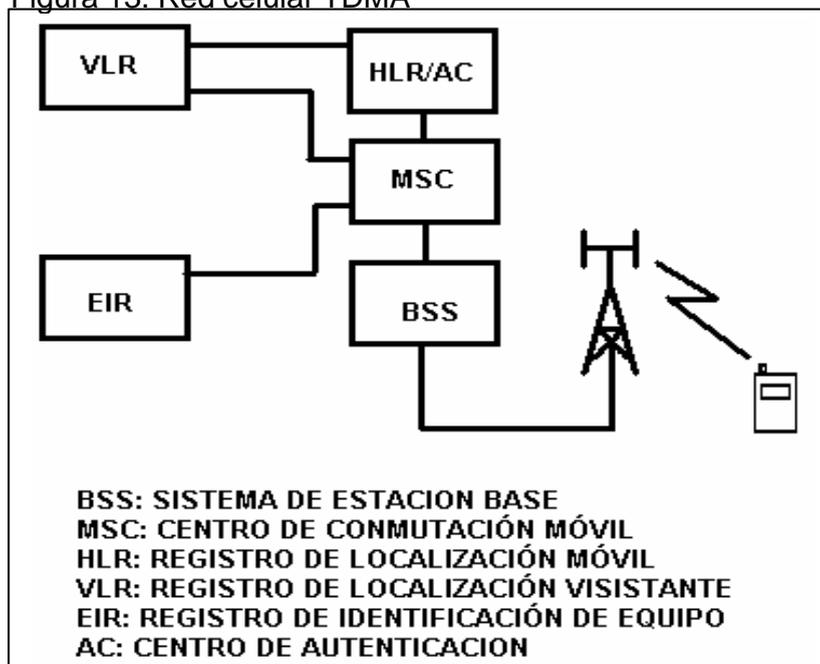
El desarrollo de AMPS continuo a su versión completamente digital con el fin de ofrecer servicios de comunicación personal y aumentar el número de usuarios por canal, el estándar de la versión de AMPS solo digital fue introducido a finales de 1994 y fue llamada estándar IS - 136

7.1.2 Arquitectura. La arquitectura para la red TDMA (ver figura 13), es similar a la red de AMPS, la diferencia se centra en que la red TDMA por ser digital tiene funciones digitales como: codificación, encapsulamiento de datos en tramas y modulación digital, donde estas funciones son implementados en los equipos móviles, estaciones base y centros de conmutación dotados, con bases de datos

para la identificación de los móviles dentro de la red, por lo cual es un sistema más seguro.

Esta tecnología es digital pero compatible con sistemas análogos, AMPS. La arquitectura de la red TDMA (estándar IS – 54), tiene elementos nuevos como son los de registro de datos del móvil en la red y identificación del móvil para efectos de realizar o recibir llamadas.

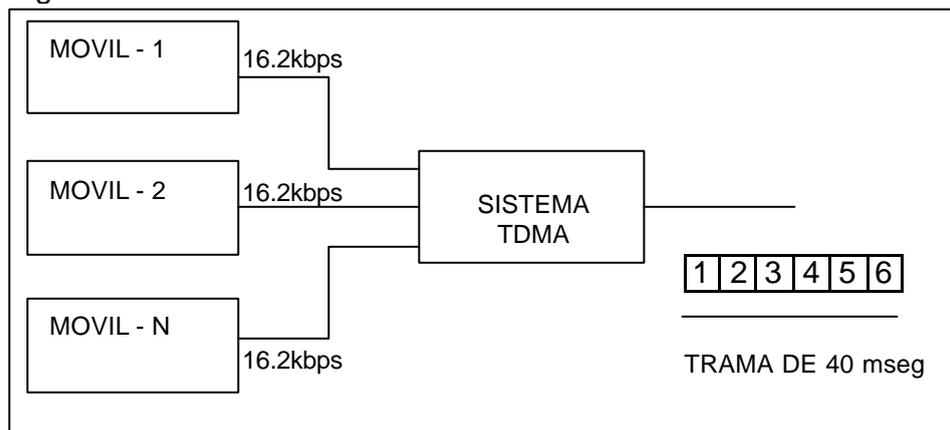
Figura 13. Red celular TDMA



7.2 CODIFICACIÓN

Una forma eficiente de codificación es la predicción lineal LPC (*Linear Predictive Coders*). Es útil para señales que pueden modelarse como un sistema lineal, LPC se basa en la estimación lineal de la fuente, en lugar de codificar cada muestra individual se codifican los parámetros de un grupo de ellas (parámetros del sistema lineal). Este tipo de codificación da lugar a diferentes métodos de reducción de velocidad en sistemas de telefonía móvil como es, después del proceso de codificación de cada canal se toma cada uno de estos y se muestrea con una frecuencia de 8 kHz y así se obtienen 64 kbps de datos de PCM. Estos datos de PCM finalmente se comprimen con un *vocoder* hasta 16.2 kbps, como lo muestra la figura 14.

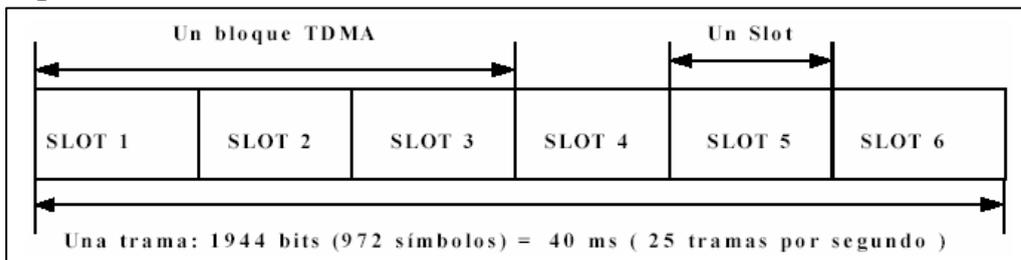
Figura 14. Sistema TDMA



7.3 ESTRUCTURA DE LA TRAMA TDMA

Una trama TDMA tiene una duración de 40 mseg y esta compuesta por 6 intervalos de tiempo iguales cada uno contiene 324 bit con una duración de 6.6 mseg, para un total de 1944 bit, un bloque TDMA consiste de la mitad de una trama que puede estar compuesto de los intervalos de tiempo del 1 al 3 o del 4 al 6, como se muestra en la figura 15.

Figura 15. Estructura de la trama TDMA



Los canales de tráfico para cada móvil están compuestos por los intervalos de tiempo de acuerdo al siguiente orden durante el proceso de transmisión a cada móvil se le asignan dos intervalos de tiempo de la siguiente manera: al móvil 1 se le asigna los intervalos 1 - 4, al móvil 2 los intervalos 2 - 5 y al móvil 3 se le asignan los intervalos 3 - 6, de esta forma cada móvil utiliza un intervalo para transmitir y el otro intervalo para recibir.

7.3.1 Trama del móvil a la estación base. Al intervalo de tiempo utilizado para la transmisión del móvil a la estación base se le llama *slot reverse* (*intervalo reverso*) y esta compuesto por los siguientes grupos de símbolos donde un símbolo equivale a 2 bit por lo tanto cada intervalo de tiempo (*time slot*) contiene 162 símbolos.

GT: 6 bits. Tiempo de guarda.

RT: 6 bits. Tiempo de crecimiento de rampa. GT y RT se requiere en la transmisión del móvil para armar la trama TDMA en la base.

Data: 16 bits. Datos de usuario.

Sync: 28 bits. Para sincronización, temporización de ecualizador por *fading* selectivo e identificación del intervalo de tiempo.

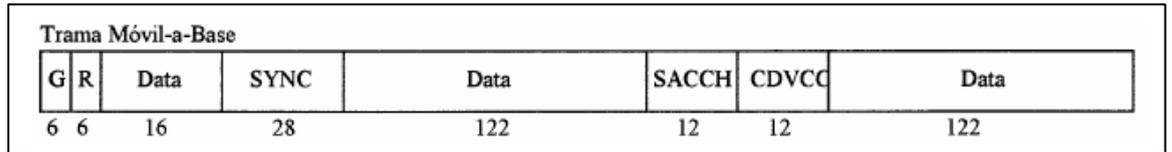
Data: 122 bits. Datos de usuario.

SACCH: 12 bits. (*Slow Associated Control Channel*). Canal de control asociado para funciones de supervisión y control. Usado para *Handoff*.

CDVCC: 12 bits. Código de color de verificación digital, similar al tono SAT. Dos bases adyacentes usan códigos distintos para la identificación. DVCC es una palabra de 8 bits en código *Hamming* (15,11) llevada a 12 bits (12,8) para obtener CDVCC.

Data 122 bits. Datos de usuario.

Figura 16. Canal de móvil a estación base



7.3.2 Trama de la estación base al móvil. El canal utilizado para transmitir de la estación base al móvil es llamado *slot forward* (intervalo de subida) debido a que esta compuesto por un solo intervalo de tiempo, el cual esta compuesto por los siguientes grupos de símbolos.

Sync: 28 bits. Para sincronización.

SACCH: 12 bits. Canal de control asociado lento.

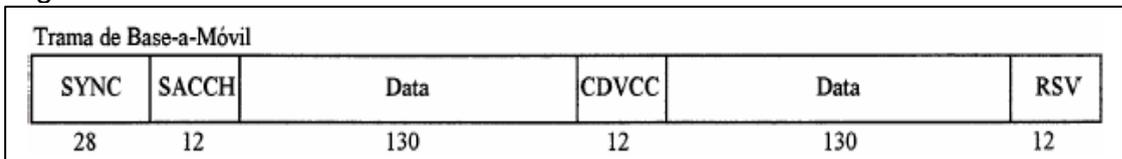
Data: 130 bits. Datos de usuario.

CDVCC: 12 bits. Código de color de verificación digital.

Data: 130 bits. Datos de usuario.

Rsvd: 12 bits. Reservados (00...0).

Figura17. Canal de estación base a móvil



7.4 MODULACIÓN DE DATOS

El plan de frecuencias permite una banda de 30 kHz para cada portadora. Para poder acomodar la señal de 48,6 kb/s se procede a la modulación QPSK en la cual la modulación usada es la PSK de 4 fases con codificación *Offset p/4*, la información se somete a la codificación diferencial y la constelación de fases a una cartografía de código *Gray*. Se denomina p/4DQPSK por lo que corresponde a 4PSK con rotación de fase de 45° por salto de fase (constelación 8PSK).

7.5 CANALES DE CONTROL

Para la supervisión de la conexión de los canales de voz se requieren las siguientes señales. Así como sobre el canal de voz análogo de AMPS se coloca el Tono de Supervisión de Audio SAT y el Tono de Señalización ST, en el canal de voz digital se coloca el Código de Color de Verificación Digital DVCC (12 bits en la trama de tráfico). También se dispone del Canal de Control Asociado FACCH (*Fast Associated Control Channel*) y SACCH (*Slow Associated Control Channel*), los cuales son señales de control de 12 bits por *slot* que se transmite para la supervisión de la comunicación entre base y móvil. F/SACCH se diferencian por el tipo de mensaje que llevan y además el SACCH es transmitido en todos los intervalos de tiempo.

7.5.1 Contenido de los mensajes (F/SACCH). El contenido de los mensajes es diferente para los canales de comunicación de móvil a estación base y de estación base a móvil.

Mensajes de móvil a estación base:

- Mensaje de conexión de llamada (FACCH).
- Mensaje de orden de medición (FACCH).
- Mensaje de calidad del canal de comunicación (BER del canal y potencia recibida).
- Mensaje de reconocimiento del móvil (F/SACCH).
- Mensaje de orden de cambio de estación base (FACCH).

Mensaje de estación base a móvil:

- Mensaje con orden de medición (FACCH).
- Mensaje con orden de Handoff (FACCH).
- Mensaje de confirmación de cambio de estación base (FACCH).

7.6 PROCESO DE COMUNICACIÓN.

El proceso de comunicación entre el móvil y las estaciones base se inicia con el Encendido del móvil. Cuando el móvil se enciende *On* se efectúa un análisis *scanning* de los canales de control *setup*, el canal de control dispone del tono de

supervisión para la detección de potencia y la identificación de la base, Se selecciona el canal de control de mejor nivel y se realiza la operación de acceso al sistema enviando datos de configuración, Se procede a autenticar al usuario mediante el registro HLR y VLR. Los datos de configuración corresponden a un mensaje enviado por el canal de control para efectuar el proceso de *paging* y de esta forma se reciben los datos de configuración desde el sistema. El canal de *paging* (en el momento canal de control) continua bajo monitoreo para recibir llamadas entrantes. Se trata del estado de reposo (*Idle*).

7.6.1 Llamada saliente. En una llamada saliente, luego de seleccionar el número, se ejecuta la tecla *Send*, el móvil selecciona el canal de acceso más potente, envía los datos de llamada y espera la respuesta sobre el mismo canal, recibida la respuesta las acciones dependen del tipo de sistema analógico o digital. En el analógico se sintoniza la frecuencia del canal vocal, la potencia, el tono SAT y entra en el modo conversación. En el digital se sintoniza la frecuencia, potencia, intervalo de tiempo, el alineamiento y *offset* y codificación de telefonía, Luego se pasa al canal de tráfico donde se continúa el diálogo de señalización mediante los canales F/SACCH.

7.6.2 Llamada entrante. En una llamada entrante la conexión se efectúa mediante el canal de control (*Setup*). Se detecta el mensaje y se emite una respuesta. Se espera la información por el canal de control, se recibe el mensaje de alerta y se pasa al modo de conversación mediante *Send*.

En el caso de cambio de celda *handoff* se requiere una reasignación de frecuencia, potencia, SAT o DVCC. El mensaje para el *handoff* se transmite usando el campo de datos FACCH sobre el canal de tráfico.

8. SISTEMA GSM (Sistema Global para Comunicaciones Móviles)

8.1 ANTECEDENTES

El sistema GSM, nació por parte de algunos países Europeos ya que para ellos se hacía evidente que los sistemas analógicos poseían ciertas limitaciones. En primer lugar por que los sistemas en su momento no ofrecían compatibilidad para sus usuarios. En segundo lugar porque la demanda potencial para los servicios móviles, aunque estaba siendo sistemáticamente subestimada, era mayor que la capacidad de las redes analógicas existentes. GSM se inicio a comienzos de los años 80 como una iniciativa por parte de un grupo dentro del Instituto Europeo de Normas de Comunicaciones ETSI (*European Telecommunications standard Institute*). Inicialmente este organismo se llamaba *Groupe Speciale Mobile*, por lo cual el sistema recibió el nombre de GSM.

La situación que se vivía en los primeros años de la década de los 80, era curiosa ya que los sistemas existentes hasta ese momento eran analógicos (la primera generación como se le conoce en la que los sistemas predominantes eran el NMT-450 y NMT-900, y en EEUU el sistema AMPS que se adaptó a Europa como sistema TACS). Sin embargo la nueva tecnología digital basada en celdas presentaba un panorama un tanto desolador ya que cada país había desarrollado su propio sistema lo que implicaba algunos problemas muy importantes, por un

lado porque la operatividad del terminal acababa donde terminaban los límites de cada país y por otro lado el mercado para cada tipo de terminal era muy limitado y estaba restringido al país en donde el dispositivo iba a ser utilizado.

Para solucionar estos problemas en el año 1982, el *Groupe Speciale Mobile* o GSM desarrollo un sistema basado en celdas de radio que sirviera para todo los países Europeos. Fue así como GSM se diseño a partir de cero, como un sistema completamente digital y único, estándar para toda Europa y además compatible con los servicios existentes y futuros sobre ISDN (*Integrated Services Digital Network*), originalmente para usarse en la banda de 900 MHz. Después en el año de 1990 bajo la petición del Reino Unido se añadió a los grupos de estandarización la especificación de una versión de GSM adaptada a la banda de frecuencia de 1800 MHz, con una asignación de dos veces 75 MHz. Esta variante se conoció con el nombre de DCS (*Digital Cellular System 1800*) tenia como objetivo proporcionar mayor capacidad en áreas urbanas.

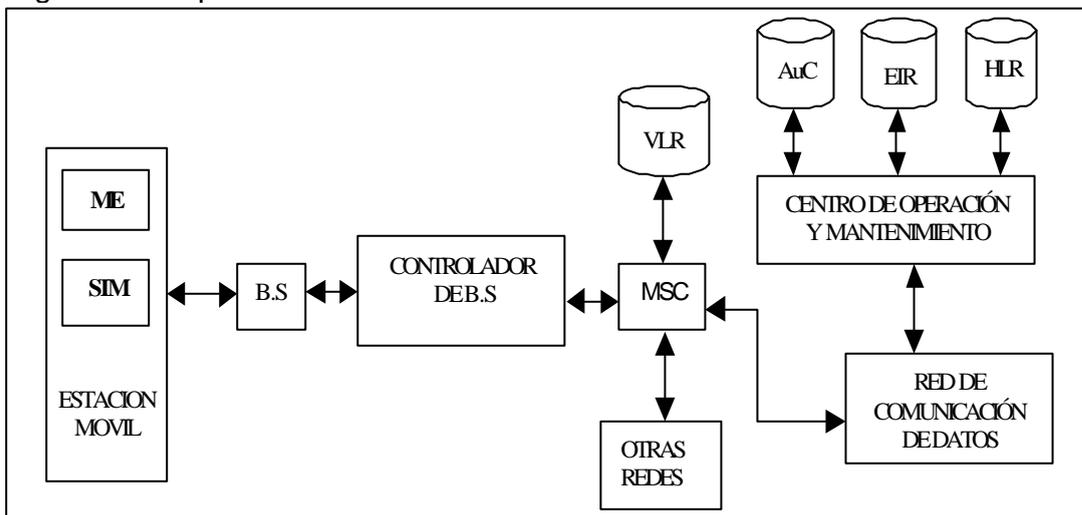
8.2 ARQUITECTURA

La arquitectura de una red GSM se basa en el funcionamiento de dos subsistemas que son, BSS (*Base Station Subsystem*) y el NSS (*Network and Switching Subsystem*). El BSS es el encargado de las operaciones de transferencia de control de llamadas, controlar las señales de potencia y proporcionar y gestionar la interfaz de radio entre las estaciones móviles y el resto

del GSM. También se encarga de conectar las estaciones móviles con el NSS, Además de ser los encargados de la transmisión y recepción. Como los MS también constan de dos elementos diferenciados: los BTS (*Base Transceiver Station*), la BTS consta de transceivers y antenas usadas en cada de la red y que suelen estar situadas en el centro de la celda, generalmente su potencia de transmisión determinan el tamaño de la celda.

Mientras que el NSS es el corazón de la red GSM, ya que es el encargado de establecer, gestionar y despejar conexiones, así como de enrutar las llamadas a la celda correcta. El NSS conecta las estaciones móviles a las redes adecuadas o a otras estaciones móviles y además presta servicios de contabilidad.

Figura 18. Arquitectura de GSM



8.3 SUBSISTEMA DE RADIO

El Subsistema de Estaciones de Base (BSS), agrupa las máquinas específicas a los aspectos de radio y celulares del GSM. El BSS está en contacto directo con las estaciones móviles a través del interfaz radio. Como tal, incluye los elementos a cargo de la transmisión y recepción del trayecto radio y la gestión del mismo. Por otro lado, el BSS está en contacto con las centrales de conmutación del NSS. La función del BSS se puede resumir como la conexión entre estaciones móviles y el NSS y, por tanto, la conexión entre un usuario móvil con otro usuario de telecomunicaciones.

El BSS incluye dos tipos de elementos: la Estación de Base BTS en contacto con las estaciones móviles a través del interfaz radio, y el Controlador de Estaciones de Base BSC (*Base Station Controller*), este último en contacto con las centrales de conmutación del NSS. La división funcional es básicamente entre un equipo de transmisión, la BTS, y un equipo de gestión, el BSC.

Una BTS contiene dispositivos de transmisión y recepción, incluyendo las antenas, y también el procesado de señal necesario para el interfaz de radio. La BTS pueden considerarse como módems de radio complejos, teniendo pocas funciones adicionales.

El interfaz radio del GSM utiliza una combinación de Acceso Múltiple por División en Frecuencia (FDMA) y Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA), con un pequeño Salto en Frecuencia FH (*Frequency Hopping*).

El concepto básico es que la unidad de transmisión es una serie de bits modulados y se denomina ráfaga. Las ráfagas se envían en ventanas de frecuencia y tiempo que denominamos ranuras o *slots*. Las frecuencias centrales de los *slots* se sitúan cada 200 kHz en la banda de frecuencias del sistema (FDMA), y ocurren durante 0.577 mseg, o más exactamente 15/26 mseg (TDMA).

Con esta unidad básica, asumiendo una sola ventana de frecuencias, el aspecto TDMA del sistema de transmisión se agrupa en tramas, multitramas e hipertramas, organizándose así el envío de información por el aire.

Dentro de esta organización, se agrupan los distintos canales lógicos soportados en el sistema GSM para el transporte de información entre usuarios, o sencillamente información de control del propio sistema.

De acuerdo con la información transportada, se definen dos tipos de canales lógicos: canales de control y canales de tráfico. Los canales de tráfico se utilizan exclusivamente para transportar la información del usuario. El uso principal de los canales de control es transferir la información de señalización. Los canales de

control pueden dividirse en canales de control comunes y canales de control dedicados.

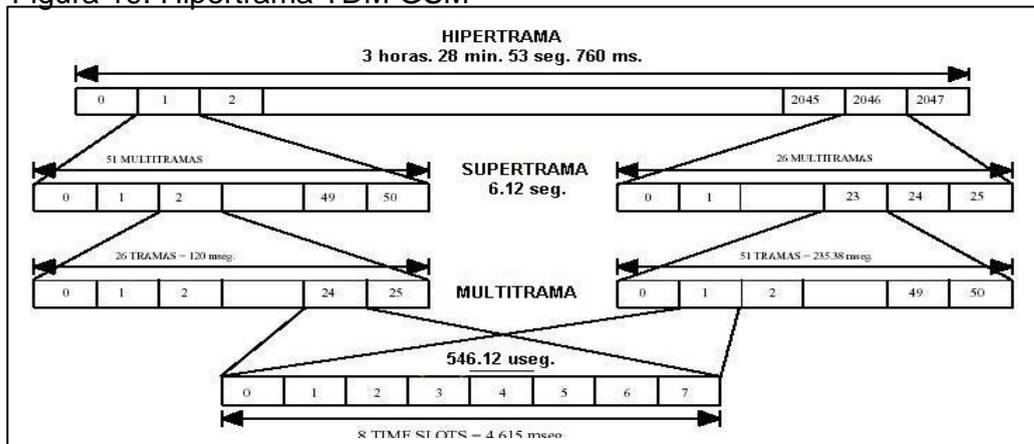
8.4 CANALES DE TRÁFICO Y CONTROL

El sistema GSM posee un máximo de 200 canales duplex por celda. Cada canal consiste en una frecuencia de enlaces descendentes (de la estación base a las estaciones móviles) y una frecuencia de enlace ascendentes (de las estaciones móviles a la estación base). Cada banda de frecuencia tiene un ancho de 200 kHz, Cada uno de los 124 canales de frecuencia maneja ocho conexiones separadas que usan multiplexación por división en el tiempo. Se asigna una ranura de tiempo en un canal a cada estación activa. En teoría, puede reconocer 992 canales por celda, pero la mayoría de ellos no están disponibles, a fin de evitar conflictos de frecuencias con las celdas vecinas. En la (figura 20), las ocho ranuras de tiempo sombreadas pertenecen al mismo canal, cuatro de ellas para cada dirección. Si la estación móvil estuviera asignada a 890.4/935.4 MHz y la ranura 2 quisiera transmitir a la estación base, usaría las cuatro ranuras sombreadas inferiores, poniendo datos en cada ranura hasta haber todos los datos.

Las ranuras TDM mostradas en la figura son parte de una compleja jerarquía de enmarcado. Cada ranura TDM tiene una estructura específica, y los grupos de ranuras TDM forman multitramas, también con una estructura específica. En la (figura 19), se muestra una versión simplificada de esta Jerarquía. Aquí podemos

ver que cada ranura TDM consiste en un marco de datos de 148 bits. Cada marco de datos comienza y termina con tres bits 0, para propósito de delimitación de la trama.

Figura 19. Hipertrama TDM GSM



También contiene dos campos de información de 57 bits, teniendo cada un bit de control que indica si el siguiente campo de información es para voz o datos. Entre los campos de información esta un campo instrucción (*sync*), de 26 bits usado por el receptor para sincronizarse con los límites de la trama del transmisor. Se transmite una trama de datos en 547 μ seg, pero solo permite que un transmisor envíe una trama de datos cada 4.615 mseg, dado que esta compartiendo el canal con otras siete estaciones, la tasa bruta de cada canal es de 270,833 bps, dividida entre ocho usuarios. Descontado la información extra, cada conexión puede enviar una señal comprimida de voz o 9600 bps de datos.

Como puede verse en la (figura 20), ocho tramas de datos constituyen una trama FDM, y 26 tramas TDM constituyen una multitrama de 120 mseg. De las 26 tramas TDM en una multitramas, la ranura 12 se usa para control y la ranura 25 se reserva para uso futuro, por lo que solo hay disponible 24 para el tráfico de usuario.

Sin embargo, además de la multitrama de 26 ranuras mostrado en la figura 19 se usa también una multitrama de 51 ranuras. Algunas de estas ranuras se usan para contener varios canales de control con lo que se maneja el sistema. El canal de control de difusión es una corriente continua de salida de la estación base que contiene su identidad y el estado del canal. Todas las estaciones móviles observan la intensidad de su señal para ver cuando han pasado a una celda nueva.

En conjunto GSM es un sistema bastante complejo. Maneja el acceso a canales mediante una combinación *ALOHA* rasurado, FDM y TDM. Básicamente GSM es de conmutación de circuitos. Una computadora móvil con un MODEM especial puede hacer una llamada usando un teléfono GSM de la misma manera que haría una en un teléfono alámbrico. Sin embargo, el empleo de esta estrategia no esta exento de problemas. Por una parte, los pases entre estaciones base son frecuentes, a veces incluso con usuarios estacionarios (las estaciones base pueden repartir a los usuarios para balancear la carga), y cada pase resulta en la

perdida de cerca de 300 mseg de datos. Por otra, GSM puede tener una tasa de errores elevada.

8.4.1 Canales de control comunes. Según sus funciones, existen cuatro tipos de canales de control. El Canal de Control de Difusión BCCH (*Broadcast Control Channel*), es un canal unidireccional en sentido red a móvil. Se utiliza para difundir información del sistema. Incluye información específica de la e información relativa a celdas vecinas, que se utiliza para orientar al móvil en la red de radio. El Canal de Búsqueda PCH (*Paging Channel*) es un canal unidireccional en sentido red a móvil que se utiliza para buscar al móvil (llamadas terminadas).

El Canal de Acceso Aleatorio RACH (*Random Access Channel*) es un canal unidireccional con sentido móvil a red que se utiliza por las estaciones móviles para acceder a dicha red. El Canal de Acceso Garantizado AGCH (*Access Grant Channel*) es un canal unidireccional en sentido red a móvil, utilizado por la red para asignar un canal dedicado de control tras un acceso aleatorio exitoso.

8.4.2 Canales de control dedicado. Los canales de control dedicados se asignan a una única estación móvil para comunicación punto a punto con la red. Pueden ser canales de control autónomos (*stand-alone control channels*) o asociados a otro canal dedicado. Los canales definidos son: el Canal de Control Dedicado Autónomo SDCCH (*Stand-alone Dedicated Control Channel*), que es un canal de control independiente.

El Canal de Control Asociado Lento SACCH (*Slow Associated Control Channel*), siempre asociado a un canal de tráfico TCH (*Traffic Channel*) o un SDCCH. Se utiliza en particular para transmitir información variable de las condiciones de la interfaz radio, por ejemplo, control de potencia, medida de calidad, etc.

El Canal de Control Asociado Rápido FACCH (*Fast Associated Control Channel*) se asocia a un canal de tráfico y se consigue robando tramas, que se identifican por una bandera (*flag*).

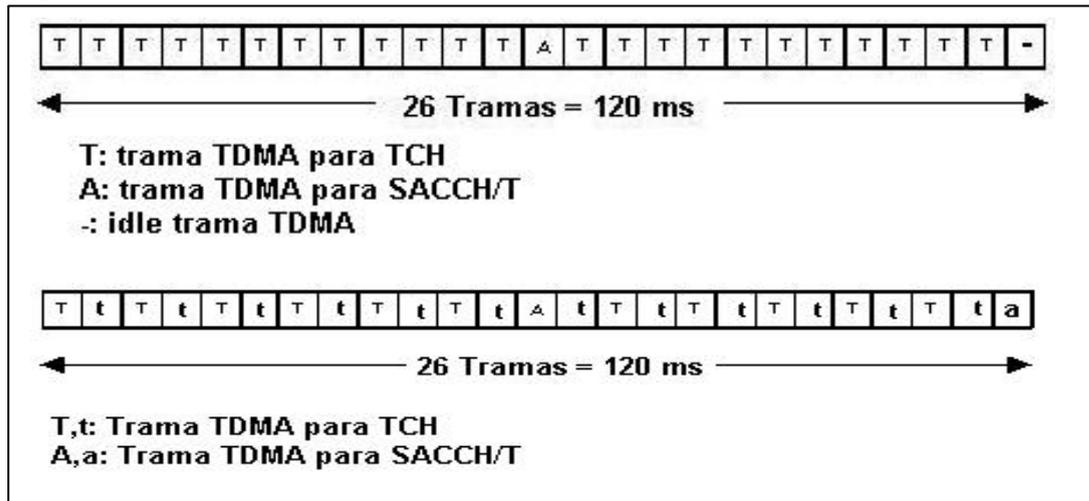
8.4.3 Bandas de frecuencias. La siguiente tabla nos ilustra las bandas de frecuencias utilizadas por el sistema GSM.

Tabla 3. Bandas de frecuencias del sistema

Parámetro	GSM-900	E-GSM	GSM-1800	GSM-1900
Frecuencias (MHz)				
Móvil-Base	890-915	880-915	1710-1785	1850-1910
Base-Móvil	935-960	925-960	1805-1880	1930-1990
Distancia duplexado	45 MHz	45 MHz	95 MHz	80 MHz
Ancho de banda total (MHz)	25+25	35+35	75+75	60+60
Ancho de banda radio canal	200 KHz	200 KHz	200 KHz	200 KHz
Número de portadoras	124	174	374	299

8.4.4 Organización de los canales. La organización de los canales de tráfico en las tramas es como sigue en la figura 20.

Figura 20. Canales de tráfico en GSM



8.5 SUBSISTEMA DE CONMUTACIÓN

El subsistema de red y conmutación NSS incluye las funciones básicas de conmutación del GSM, así como las bases de datos necesarias para los datos de usuario y la gestión de la movilidad. La función principal del NSS es gestionar las comunicaciones entre los usuarios GSM y los usuarios de otras redes de telecomunicación.

Para poder hacer este trabajo la NSS se divide en siete sistemas diferentes, cada uno con una misión dentro de la red:

- *Mobile Services Switching Center (MSC)*: es el componente central del NSS y se encarga de realizar las labores de conmutación dentro de la red, así como de proporcionar conexión con otras redes y coordinar el establecimiento de llamadas desde y hacia usuarios GSM. La interfaz con redes externas para comunicarse con usuarios fuera del GSM puede requerir un elemento de adaptación IWF (*Interworking Functions*), cuya labor puede ser más o menos importante en función del tipo de información de usuario y de la red con la que se interconecte. Generalmente se utiliza para conectar la red GSM a las redes de datos. El NSS también necesita conectarse con redes externas para hacer uso de su capacidad de transportar datos de usuario o señalización entre entidades GSM. En particular, el NSS hace uso de una red soporte de señalización, al menos en parte externa al GSM, siguiendo los protocolos del Sistema de Señalización por Canal Común UIT-T nº 7 (generalmente referida como la red SS7); esta red de señalización permite interoperatividad entre entidades del NSS dentro de una o varias redes GSM.
- *Gateway Mobile Services Switching Center (GMSC)*: Un *gateway* es un dispositivo traductor (puede ser software o hardware que se encarga de interconectar dos redes haciendo que los protocolos de comunicaciones que existen entre ambas redes se entiendan. La misión del GMSC es el de servir de mediador entre las redes de telefonía fijas y la red GSM.

- *Home Location Register (HLR)*: El HLR es una base de datos que contiene información sobre los usuarios conectados a un determinado MSC. Entre la información que almacena el HLR tenemos fundamentalmente la localización del usuario y los servicios a los que tiene acceso. El HLR funciona en unión con el VLR que vemos a continuación.
- *Visitor Location Register (VLR)*: contiene toda la información sobre un usuario, necesaria para que dicho usuario acceda a los servicios de red.; también contiene información sobre la situación del de encendido/apagado de las estaciones móviles, y si se han activado o desactivado cualquiera de los servicios suplementarios. El VLR trabaja en conjunto con el HLR con quien comparte funcionalidad.
- *Authentication Center (AuC)*: Es un centro de validación que proporciona los parámetros necesarios para la autenticación de usuarios dentro de la red; también se encarga de soportar funciones de encriptación para proteger a cada suscriptor contra un acceso no autorizado o contra el uso de un número de suscripción por personas no autorizadas; opera en relación estrecha con el HLR.

- *Equipment Identity Registrar* (EIR): Sirve para registrar el tipo de equipo que existe en la estación móvil, También se utiliza para proporcionar seguridad en las redes GSM pero a nivel de equipos válidos, como bloqueo de llamadas que se ha determinado que emanan de estaciones móviles robadas, así como evitar que ciertas estaciones que no han sido aprobadas por el proveedor de la red usen esta. La EIR contiene una base de datos con todos los terminales que son válidos para ser usadas en la red. Esta base de datos contiene los *International Mobile Equipment Identity* o IMEI de cada terminal, de manera que si un determinado móvil trata de hacer uso de la red y su IMEI no se encuentra localizado en la base de datos del EIR no puede hacer uso de la misma.
- *GSM Interworking Unit* (GIWU): sirve como interfaz de comunicación entre diferentes redes para comunicación de datos.

8.6 LA ESTACIÓN MÓVIL

La estación móvil representa el único elemento del sistema que el usuario llega a ver. Además de las funciones básicas de radio y de procesos necesarios para acceder a la red a través de la interfaz radio, una estación móvil debe ofrecer un

interfaz al usuario (tal como micrófono, altavoz, pantalla y teclado), o un interfaz hacia otros equipos terminales (tal como un interfaz hacia un PC o una máquina de fax). También hay que decir que los hay para todos los gustos, y la diferencia entre unos y otros radica fundamentalmente en la potencia que tienen que va desde los 20 watios (generalmente instalados en vehículos) hasta los 2 watios que son las portátiles.

Un aspecto fundamental de la estación móvil GSM, que la diferencia de las estaciones móviles del resto de sistemas, es el concepto de módulo de usuario o SIM (*Subscriber Identity Module*). La SIM es básicamente una tarjeta inteligente, que sigue los estándares ISO, que contiene toda la información referente al usuario almacenada en la parte de usuario de la interfaz radio. Sus funcionalidades, además de esta capacidad de almacenar información, se refieren también al tema de confidencialidad. El resto de la estación móvil contiene todas las capacidades básicas de transmisión y señalización para acceder a la red. El interfaz entre la SIM y el resto del equipo está totalmente especificado y se denomina sencillamente interfaz SIM-ME, donde ME significa terminal móvil (*Mobile Equipment*).

El concepto de un dispositivo extraíble con los datos del usuario tiene en sí mismo grandes consecuencias. En otros sistemas celulares, la personalización de cada estación móvil requería una intervención nada trivial, que sólo se realizaba a través de especialistas técnicos. Esto implicaba que una estación móvil sólo podía

venderse a través de distribuidores especializados. Además, si alguna estación móvil fallaba, era difícil dotar al usuario de otra que la remplazase durante el periodo de reparación, y casi imposible permitir que el usuario mantuviera su mismo número de teléfono durante este periodo.

La tarjeta SIM simplifica estos asuntos y también ofrece otras ventajas. Un usuario potencial puede comprar un equipo móvil, pero también lo puede alquilar o pedir prestado por un periodo de tiempo determinado, y cambiarlo cuando desee sin necesidad de procesos administrativos. Todo lo que necesita es su propia SIM, obtenida a través de un distribuidor o de un proveedor de servicio, independientemente del equipo que desee adquirir. Los últimos pasos de la personalización de la SIM pueden realizarse fácilmente a través de un pequeño ordenador y un sencillo adaptador.

8.7 PROCESOS BÁSICOS

8.7.1 Registro. Si una estación móvil desea obtener servicio desde una celda y, en particular, recibir llamadas en ésta, debe cerciorarse de que su usuario (representado por la SIM) se registra en el área de dicha localización. El estado de registro del usuario, excepto en casos de fallos en la red o tras un largo tiempo de inactividad, sólo puede modificarse a iniciativa de la estación móvil. El resultado

del último intento de registro se almacena en la SIM, así como la identidad del área de localización. Cuando el móvil se desplaza a un lugar mejor cubierto por una celda perteneciente a otra área de localización, o cuando el móvil intenta obtener servicio en otra red, la estación móvil debe intentar registrar al usuario en esta nueva zona.

La información de registro se almacena en dos lugares diferentes de la infraestructura GSM: en el HLR y en la MSC/VLR visitados. De hecho, la misma información está disponible en tres lugares diferentes del sistema, siendo la SIM el tercer lugar. Esta información puede cambiar y se necesitan una serie de procedimientos para guardar coherencia entre las tres entidades.

La razón fundamental para cambiar es cuando la estación móvil decide que el área de localización que mejor le sirve debe cambiar. Entonces, la estación móvil notifica a la MSC/VLR a la que pertenece la nueva. Esta MSC/VLR puede ser la misma que la de antes, si controla ambas áreas de localización, o una nueva. En el último caso, cambio de MSC/VLR, la nueva MSC/VLR notifica al HLR el cual, a su vez, notifica a la MSC/VLR anteriores.

Además de los registros debidos a cambios de área de localización, se define un registro periódico de manera que la estación móvil pueda notificar su presencia en

la red a intervalos de tiempo determinados. Este registro periódico es un parámetro que determina el operador, pudiendo incluso eliminarlo, si lo desea.

8.7.2 Roaming. El *roaming* se produce siempre que nos estamos moviendo dentro de la red GSM y el terminal no es capaz de encontrar la red en la cual somos clientes; esto pasa fundamentalmente cuando salimos de viaje al extranjero, donde existe la red, pero no es la de nuestro operador; en este caso, el *roaming* consiste en la utilización de la red que se encuentre disponible y con la que nuestro operador tiene un acuerdo de colaboración. De este modo, podemos seguir conectados con nuestro móvil a la red independientemente de la que estemos fuera del alcance de nuestro operador habitual. Existe un problema con el *roaming* que tenemos que tener en cuenta y es que cuando nuestro terminal se encuentra en esta condición sucede que en el caso de que alguien nos llame, el costo de la llamada se divide de manera equitativa entre la persona que recibe y la que hace la llamada, esto debido a que en el *roaming* nuestro operador no sabe de antemano donde nos encontramos, ya que estamos en una red que no le pertenece y por tanto no puede establecer la tarifa que debe aplicar.

La facilidad de *roaming* entre diversas redes sólo puede ofrecerse si se cumplen ciertos condicionantes técnicos y administrativos que lo permiten. Desde el punto de vista administrativo, deben resolverse asuntos como la tarificación, cobros, acuerdos de suscripción, etc. entre operadores. La libre circulación de estaciones móviles también requiere que los cuerpos reguladores acuerden el reconocimiento

mutuo de homologaciones. Desde el punto de vista técnico, algunos temas son consecuencia de los asuntos administrativos, tal como la transferencia de cargos por llamadas o la información de suscripción entre redes. Otros temas se necesitan simplemente para que el *roaming* sea posible, tal como la transferencia de datos de localización entre redes o la existencia de un único interfaz de acceso. Este último punto es muy importante. Requiere que un usuario tenga un único equipo que le permita acceder a diferentes redes.

Además, existen otros sistemas basados en la tecnología GSM, como son el DCS1800 y el PCS1900 (actualmente denominados GSM1800 y GSM1900). Hasta la reciente aparición de equipos duales GSM900 - GSM1800 y GSM900 - GSM1900, no era posible hacer *roaming* entre redes GSM900, GSM1800 y GSM1900 con el mismo equipo terminal. En cualquier caso, gracias a la tarjeta SIM, es posible obtener un equipo que funcione en la banda deseada e introduciendo la tarjeta SIM en el mismo, poder utilizar la misma suscripción y número de teléfono sobre la nueva red.

8.7.3 Handover. Consiste en la transición que se produce cuando pasamos del rango de acción de una celda al rango de acción de otra. Esto se produce sobre todo cuando viajamos. El *handover*, por tanto, es el responsable de mantener el servicio de manera constante y de que las transiciones entre una celdas y otra

sean lo suficientemente pequeñas como para pasar desapercibidas por los usuarios.

Existen tres motivos por los que se puede producir un *handover*. el primero y más visible es la necesidad de que la conversación se lleve a través de otra celda dado que, por el movimiento del móvil, es necesario para poder continuar dicha comunicación.

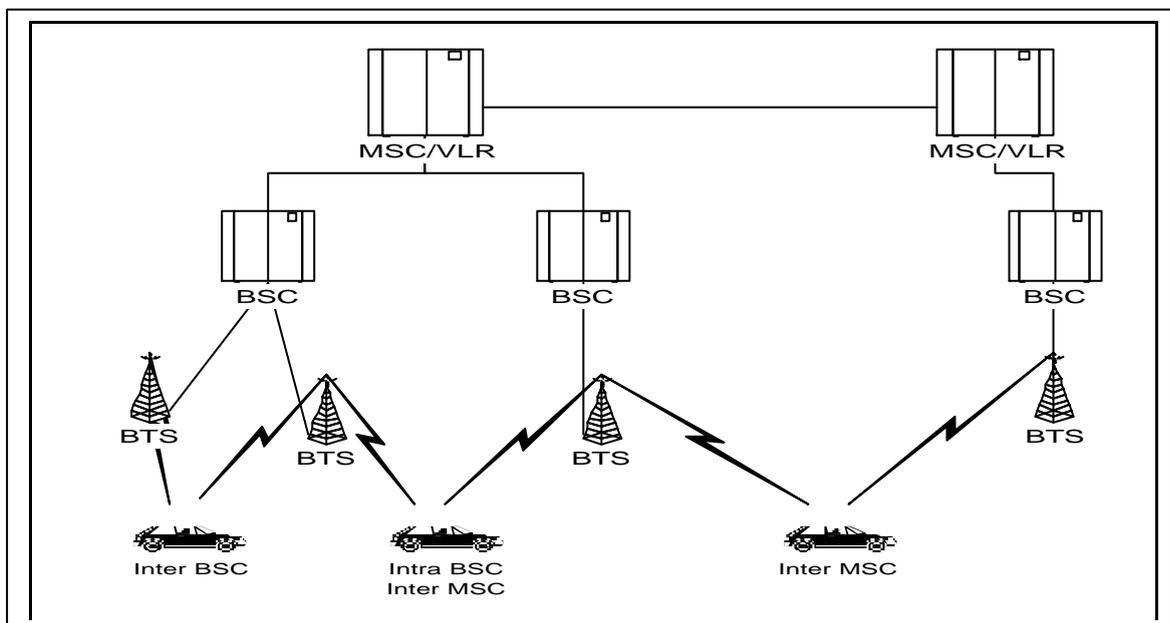
El segundo caso viene referido a la necesidad de mejorar substancialmente el comportamiento de la red, disminuyendo el nivel de interferencia en la misma, al proporcionar al móvil acceso a una a través de la cual la comunicación se puede producir con menor nivel de señal, sin que esto implique que haya perdido cobertura de la primera celda; y, por último, aunque es algo más complejo, aquel *handover* que se produce para mejorar las condiciones de tráfico de una celda permitiendo el *handover* de móviles en servicio bajo esta hacia s vecinas.

En cualquiera de los casos que se requiera un *handover*, la decisión de realizar dicho *handover* corresponde a la BSC que controla en estos momentos la llamada.

Hay distintos tipos de *handover* en función de las celdas que intervengan en el proceso. Según esto podemos hablar de cuatro tipos diferentes de *handover*, que pueden producirse:

- *Handover* de canales en la misma celda.
- *Handover* de celdas controladas por el mismo BSC.
- *Handover* de celdas que pertenecen al mismo MSC, pero controladas por diferentes BSC.
- *Handover* de celdas de diferentes MSC.

Figura 21. Tipos de *handover*



8.7.4 Establecimiento de llamada. En primer lugar, el usuario introduce el número de destino y el tipo de servicio que desea y pulsa la tecla de envío (*SEND*). La estación móvil pasará esta información a la MSC.

Cuando la MSC recibe el mensaje de establecimiento, analiza la petición y comprueba si puede aceptarla. La aceptación de la misma depende de la capacidad de la MSC/VLR para proveer este servicio (de forma compatible con la estación móvil que lo solicita), en las características de suscripción del cliente (determinado de forma local gracias a la información del cliente que el HLR envió a la MSC/VLR en el proceso de registro) y en la disponibilidad de recursos. Si alguno de estos requisitos falla, se aborta la llamada. Si todo está bien, la MSC comienza el establecimiento a través de la red y notifica a la estación móvil de este evento.

Transcurrido un tiempo, la MSC recibirá de la red exterior información sobre la petición de llamada realizada, tal y como lo ve la central a cargo de la persona llamada. Tal información puede indicar que el terminal de la persona llamada está siendo alertado, o que la llamada ha sido abortada por cualquier motivo (congestión, ocupado, no localizable). Esta información es transferida directamente al usuario móvil y, en su caso, la MSC abortará la llamada.

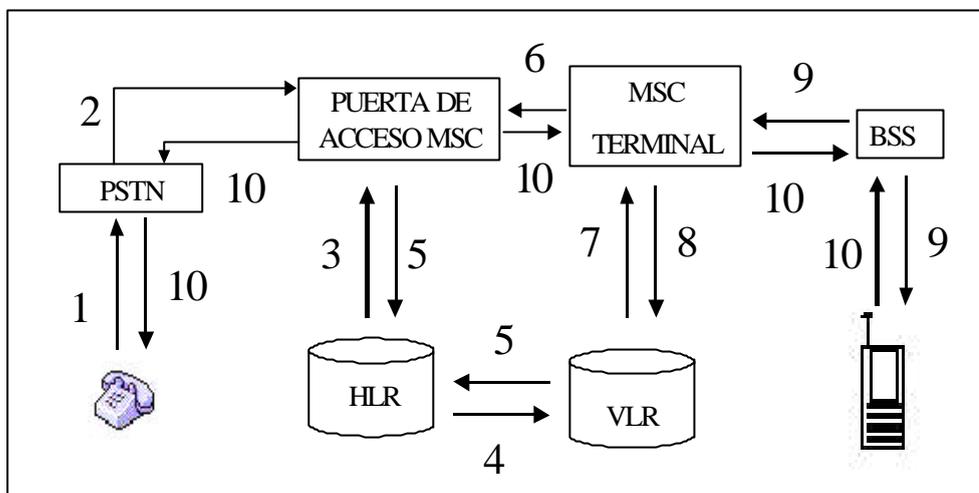
Cuando el cliente destino responde a la llamada, la MSC recibe un mensaje indicándolo. Cuando esto ocurre, se establece un camino de voz entre los dos usuarios (hasta ahora todo había sido señalización). Entonces, la estación móvil interrumpe la indicación de llamada, responde a la red y establece el circuito a través de la interfaz radio.

8.7.5 Enrutamiento de llamadas. En la figura 22, se muestra un ejemplo de enrutamiento de llamadas GSM. En el paso 1, un abonado hace una llamada a la unidad móvil, luego la red telefónica reconoce el número y se lo da a la puerta de acceso MSC (paso 2), en el paso 3, El MSC no puede enrutar más lejos; e interroga al HLR del usuario, luego se le Interroga al VLR que sirve actualmente al usuario (solicitud de número de *roaming*, paso 4). En el paso 5, el número de enrutamiento es devuelto al HLR y luego a la puerta de acceso MSC.

En el paso 6, la Llamada es enrutada al MSC terminal, y el MSC pide al VLR correlacionar la llamada con el suscriptor (paso 7). Luego el VLR hace lo que se le pide (paso 8).

En el paso 9, Se envía la señal a la unidad móvil, y La unidad móvil responde; los MSC transportan la información de vuelta al teléfono (paso10).

Figura 22. Enrutamiento de llamadas



8.7.6 Recepción de llamada. Una llamada terminada llega a la MSC a través de los interfaces de ésta con las redes externas. Realmente, dicha llamada habrá sido enrutada desde la GMSC (*Gateway MSC*, o central que actúa de puente entre la red GSM y redes externas) hacia la MSC/VLR que está sirviendo en estos momentos al móvil, mediante consulta al HLR acerca de los datos de localización del móvil considerado.

Si el móvil no está ocupado en una llamada, el siguiente paso consiste en buscar a la estación móvil, es decir, ver si la estación móvil está en cobertura y, en este caso, solicitarle que establezca un enlace de señalización con la MSC. Cuando esta y otras tareas auxiliares se han realizado, se envía un mensaje a la estación móvil indicándole muchos detalles de la llamada, que incluyen el tipo de servicio solicitado y, en su caso, el número de teléfono del usuario llamante. La estación

móvil comprueba si puede soportar el tipo de servicio solicitado y, si no, abortará la llamada.

Si la estación móvil puede aceptar el servicio, alertará al usuario con un timbre o señal de llamada. Cuando esta señal ha comenzado, la estación móvil informa a la MSC la cual refleja este estado del móvil a la red externa.

El siguiente paso es la aceptación de la llamada por parte del usuario móvil, que ocurre cuando éste pulsa la tecla de envío (*Send*). En este punto, se establece la comunicación vocal entre los usuarios.

8.8 GESTIÓN DE SEGURIDAD

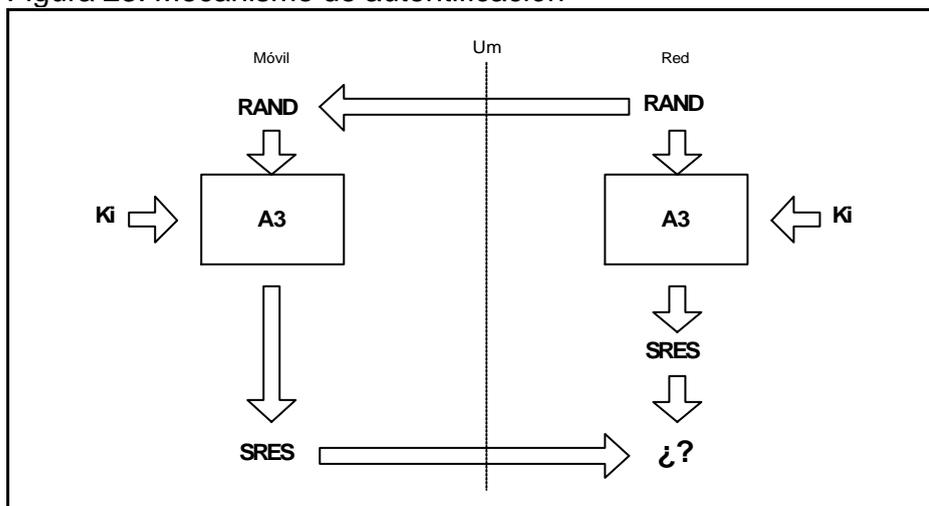
La transmisión inalámbrica es, por naturaleza, más susceptible de ser vulnerada que la transmisión por línea. El GSM ha incorporado serias mejoras a la seguridad de la interfaz radio.

Las funciones de seguridad implementadas en el sistema GSM cumplen dos objetivos fundamentales: evitar el acceso no autorizado a la red y proteger el carácter privado de las comunicaciones. Las funcionalidades del sistema que permiten conseguir estos objetivos son las siguientes.

8.8.1 Autenticación. El primer método de autenticación que se implementa en GSM es el código PIN necesario para tener acceso a la tarjeta SIM. No obstante, el nivel de protección ofrecido por este sistema no es lo suficientemente seguro. Pero, además, el GSM utiliza un método mucho más sofisticado de autenticación en la red, basado en señalización que se produce entre esta última y la tarjeta SIM del cliente.

El método se basa en una secuencia aleatoria de números, denominada *RAND* en las especificaciones; una clave de seguridad *ki* que está grabada en la tarjeta SIM del cliente y en el centro de autenticación de la red, de forma que nadie tiene, en principio, acceso a esta clave única para cada cliente; y, en un algoritmo, denominado *A3* en las especificaciones, y que calcula una supuesta respuesta a partir de *RAND* y *ki*, ver la figura 23.

Figura 23. Mecanismo de autenticación

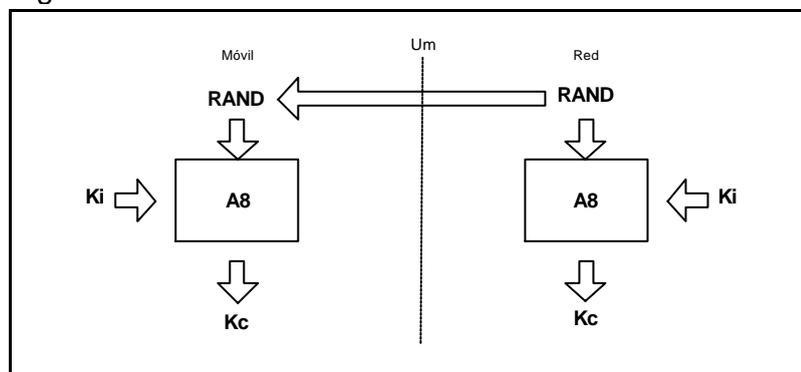


La red envía el *RAND* por el interfaz aire hacia el móvil. Tanto red como estación móvil calculan, basados en el *RAND* y el los mismos algoritmo A3 y clave *Ki* una secuencia de respuesta *SRES* que el móvil devuelve a la red. Si lo que recibe la red desde el móvil coincide con lo que la propia red ha calculado, se permite el acceso del cliente a la red.

8.8.2 Encriptado. El proceso de encriptado se utiliza para evitar que las comunicaciones puedan ser interceptadas en el trayecto radio. Para ello, antes de radiar la información, el sistema somete dichos datos a un proceso de encriptación mediante un algoritmo, denominado A5, y otra clave distinta de *Ki* a la que se denomina *Kc*.

La obtención de la clave *Kc* está ligado a la clave *Ki* y a un tercer algoritmo de cálculo denominado A8. El proceso de cálculo de *Kc* se muestra en la siguiente figura 24.

Figura24. Mecanismo de cifrado



Tanto la red como el móvil llegarán al mismo Kc para el cifrado y descifrado de las comunicaciones entre ellos.

8.8.3 Protección de la identidad del usuario. Para evitar que la identidad del usuario, que es lo que va a permitir el acceso a la red, viaje por el aire, siendo susceptible de ser capturado, la red GSM ha implementado un método de asignación de identidades de usuario temporales, TMSI (*Temporary Mobile Subscriber Identity*), ligadas no sólo al usuario sino también al área de localización de éste.

8.9 SERVICIOS BÁSICOS QUE SOPORTA EL SISTEMA

GSM define un sistema completo, incluyendo no sólo la interfaz radio, sino también una arquitectura completa de red. Esto ha permitido que sobre el estándar GSM se hayan desarrollado y se sigan desarrollando multitud de nuevos servicios que ofrecen grandes posibilidades a la hora de utilizar el sistema.

Además, los servicios están especificados de forma tal que, aunque los fabricantes tienen libertad en la manera de implementarlos, siempre deben cumplir unas normas muy estrictas en lo que se refiere al funcionamiento y operación del sistema.

Gracias al alto grado de definición de la red GSM, es relativamente sencillo desarrollar servicios a medida del cliente, bien utilizando variaciones sobre las posibilidades que permite el propio estándar, o añadiendo nuevos módulos y máquinas que pueden interconectarse a los diferentes elementos de red y entablar diálogo con ellos para la provisión de dichos servicios. El único inconveniente de esta última opción es que dichos servicios, al estar fuera de estándar, no serán soportados fuera de la red donde hayan sido implementados o, de otra manera, no funcionarán en *roaming*.

Los servicios del sistema GSM se dividen en tres clases:

- Servicios portadores
- Teleservicios
- Servicios suplementarios

8.9.1 Servicios portadores. Proporcionan capacidad de transmisión de señales entre puntos de acceso, usando conjuntamente recursos de las redes conmutadas y de la red GSM.

8.9.2 Servicios modo circuito. Voz codificada usando 13 Kb/s en la interfaz radio y 64 Kb/s en la red fija.

- Digital sin restricciones, para el envío de datos síncronos y asíncronos con velocidades de 300, 1200, 2400, 4800 y 9600 bps de forma transparente y no transparente (los datos se envían en tramas HDLC entre el móvil y el MSC).
- El envío puede hacerse de forma transparente y no transparente. 3,1 kHz para el envío de datos vía MODEM.
- Circuitos de acceso a PAD, asíncrono, con velocidades de 300, 1200, 2400, 4800 y 9600 bps, con acceso transparente y no transparente.
- Voz seguida de envío digital sin restricciones de modo transparente y no transparente. El cambio se produce mediante el envío de un mensaje.
- Voz y envío digital sin restricciones, transparente y no transparente, de modo alternado.
- Todas las adaptaciones se realizan en el MSC en un módulo característico denominado módulo de *internetworking*.

8.9.3 Servicio modo paquete. Utilizando un circuito entre el terminal móvil (DTE) y el DCE situado en la red de conmutación de paquetes. Se emplea la capacidad portadora digital sin restricciones.

- Servicio portador que permite el envío hasta el MSC de las tramas LAPB generadas en cada terminal. En el MSC se multiplexan las tramas provenientes de varios orígenes en un solo canal de acceso a la red de paquetes

8.9.4 Teleservicios

- Telefonía: facilita la realización de llamadas telefónicas hacia usuarios de la red fija y hacia usuarios de la red móvil. Los procedimientos de acceso son similares a los definidos para las redes fijas.
- Llamadas de emergencia: permite la realización de una llamada telefónica hacia un centro de atención especialmente habilitado (policía, etc.). El sistema debe posibilitar la realización de llamadas de emergencia independientemente de las restricciones impuestas a la estación móvil (restricción de llamadas salientes, ausencia de SIM, etc.).
- Correo electrónico: permite el intercambio de mensajes conforme a la Recomendación X.400 del CCITT.

- Facsímil grupo 3: facilita la posibilidad de enviar documentos, de forma manual o automática. Debe utilizarse el protocolo CCITT grupo 3.
- Punto a punto originado en el móvil: facilita la transmisión de un mensaje alfanumérico de hasta 160 caracteres desde un usuario móvil hacia un centro de servicio donde se almacena. La composición del mensaje en la estación móvil puede realizarse mediante mensajes predefinidos, utilizando un teclado auxiliar o mediante un terminal externo.
- Punto a punto terminado en el móvil: facilita la transmisión de un mensaje alfanumérico de hasta 160 caracteres entre un centro de servicio y un usuario móvil concreto. El centro de servicio recibe una confirmación de la recepción del mensaje por el móvil. Los mensajes pueden ser depositados en el centro de servicio por procedimientos diferentes y desde diferentes vías (RTC, RDSI, RPCP, etc.).
- Difundido: facilita la transmisión de un mensaje alfanumérico de hasta 93 caracteres desde un centro de servicio hacia todos los móviles que están dentro de un área determinada. No se confirma la recepción y los mensajes son recibidos por los móviles que se encuentran en estado libre.

8.9.5 Servicios suplementarios. Los servicios suplementarios pueden ser de provisión general, puestos a disposición de todos los usuarios con carácter general, o pueden ser contratados individualmente, mediante suscripción.

Ciertos servicios requieren de una acción de activación, destinada a poner en funcionamiento el servicio. Por ejemplo, el envío de información usuario a usuario, activado por petición en el mensaje de establecimiento.

Otros servicios precisan una acción de registro, con el fin de programar en el sistema los datos necesarios para permitir la utilización del servicio. Como ejemplo de este tipo de servicio suplementario está el desvío de llamadas, donde es preciso indicar a la red el número o números de desvío.

Los servicios suplementarios modifican o complementan a los servicios básicos. No pueden ser ofrecidos de forma independiente, debiendo estar necesariamente asociados a un servicio básico.

Un servicio suplementario puede ser ofrecido con carácter exclusivamente nacional o puede tener carácter internacional, en base a acuerdos bilaterales entre operadores.

Los servicios suplementarios definidos en el sistema GSM se asemejan en gran medida a los proporcionados por las redes fijas. Identificación del llamante: el

abonado móvil suscrito a esta facilidad recibe la identidad del llamante, restricción de la presentación: el abonado móvil suscrito a esta facilidad, puede impedir en las llamadas que lo desee la presentación de su identidad al llamado, presentación del número conectado: facilidad semejante a la identificación del llamante, presentándose en este caso el número conectado, llamada maliciosa: mediante acuerdo previo con la administración, el abonado móvil podrá requerir el registro del número llamante, desvío: se tienen varias modalidades, si el abonado no contesta, si está ocupado, desvío incondicional, etc.

8.10 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

El asunto de la Operación y el Mantenimiento va mucho más allá del ámbito del GSM y de cualquier sistema celular. La mayoría del trabajo realizado en esta área dentro de la comunidad de las telecomunicaciones presenta un punto de vista mucho más extenso y tiene como objetivo todos los sistemas de telecomunicación.

El centro de esta área es lo que se denomina Red de Gestión de Telecomunicaciones, que diseña métodos de interconectar toda la infraestructura de la red a una red de gestión y, por último, a emplazamientos centralizados donde estaciones de trabajo permiten a poco personal controlar todo el sistema.

8.11 VENTAJAS DEL SISTEMA GSM

8.11.1 Calidad de la comunicación. La calidad de la comunicación es un concepto bastante subjetivo en el que intervienen numerosos factores; fidelidad del sonido, ruido de fondo, ruidos parásitos, cortes de conversación, etc. En este sentido, la calidad de voz de la telefonía GSM alcanza un equilibrio adecuado entre todos estos parámetros. Debido a las técnicas de compresión que se utilizan para transmitir la voz, el sonido no es tan cristalino como el de un teléfono normal, o incluso el de un teléfono móvil analógico, pero la comunicación es mucho más limpia y estable que en los sistemas de telefonía móvil analógica. El usuario no escucha ningún ruido extraño, ni sufre los efectos de las interferencias, y en general los cortes de conversación no son frecuentes.

8.11.2 Globalización. Un teléfono GSM puede funcionar en cualquier red GSM del mundo sin ningún tipo de modificación. Cuando el usuario se desplaza a otro país donde existe una red GSM, el propio teléfono se conecta a ella automáticamente. Esto es lo que se denomina (*roaming*). En las tecnologías anteriores al GSM, el teléfono dejaba de funcionar en cuanto el usuario abandonaba la zona de cobertura de su red de origen.

8.11.3 Servicios adicionales. La utilización de la tecnología digital permite ofrecer e implantar nuevos servicios de valor agregado, como los mensajes cortos (SMS), la identificación del número llamante, servicios interactivos basados en *WAP*, etc.

8.11.4 Seguridad y privacidad. Las comunicaciones analógicas son fácilmente interceptables por cualquiera que posea un receptor multibanda. Por el contrario, las comunicaciones digitales pueden protegerse más fácilmente mediante técnicas de cifrado. En concreto, el estándar GSM utiliza una norma de cifrado que ofrece una protección razonable, por lo que la interceptación de llamadas de otras personas es sumamente difícil (excepto en la propia central, bajo mandato judicial).

ANEXO A. Análisis de capacidad para una red celular utilizando plan de frecuencias N=7 y la fórmula de *Erlang B*.

Características del Plan de frecuencias N=7.

- Todos los canales se dividen en grupos.
- Todos los grupos formados se reparten equitativamente entre un *cluster* de 7 celdas.
- El proceso se repite en todos los *clusters* del área de servicio.
- Cada célula es un centro de radio comunicación y atiende a los usuarios de su área.

La capacidad de canales se mide en base a los canales de voz disponibles por celda, trasladadas a *Erlangs*.

1 Erlang = 1 circuito (telefónico) en uso durante 3600 segundos.

Otra unidad para medir el tráfico (la intensidad de tráfico) son los CCS (*Circuit centum seconds*).

1 CCS = 1 circuito en uso durante 100 segundos.

Restando los canales de control (21 canales), el número o la cantidad de canales de voz es igual a $333 - 21 = 312$ para el NES (espectro no expandido) y $416 - 21 = 395$ para el ES (espectro expandido).

En el plan N=7 la capacidad de canales por célula para el NES es:

Capacidad de canales por célula para el NES = $312/7 = 44$ canales de voz por célula.

Capacidad de canales por célula para el NES = 35 Erlangs/célula, a 2% de GOS;

donde GOS = calidad de servicio, se tiene:

$35 \times 7 = 245$ Erlangs/cluster, a 2% de GOS

Típicamente hay 30 suscriptores/Erlang.

$(245 \text{ Erlangs/cluster}) (30 \text{ suscriptores/Erlang}) = 7350 \text{ suscriptores/cluster}$.

En el plan N=7 la capacidad de canales por célula tomando en cuenta NES + ES:

Capacidad de canales para el NES = $395/7 = 56$ canales/célula = 46

Erlangs/célula, a 2% de GOS = $(46 \text{ Erlangs/célula}) (7 \text{ células/cluster}) = 322$

Erlangs/cluster, a 2% de GOS.

Si típicamente hay 30 suscriptores/Erlang, entonces en el plan N=7 la capacidad de canales por célula usando el espectro total NES + ES:

$$(322 \text{ Erlangs/cluster})(30 \text{ suscriptores/Erlang}) = 9660 \text{ suscriptores/cluster}$$

Aquí se tomó en cuenta que el GOS se comporta como una distribución de probabilidad Poisson.

$$P(N; T) = \text{Probabilidad de que todos los canales estén ocupados. } P(N; T) = \frac{[(T^N)(e^{-T})]}{N!}$$

donde N = número total de canales y T = tráfico ofrecido en Erlangs.

Si GOS = 2% se tendrá $0.02 = \frac{[(T^N)(e^{-T})]}{N!}$, despejando T se tiene:

usando N = 44 NES y T (GOS = 2%) = 35 Erlangs/célula

usando N = 56 NES + ES y T (GOS = 2%) = 46 Erlangs/célula

El valor de GOS debe estar acotado entre 0 y 1; $0 < \text{GOS} < 1$

GOS = 1 → ninguna llamada va a entrar (no hay servicio).

GOS = 0 → todas las llamadas entran (no es real).

Típicamente GOS = 2% y una llamada dura entre 120 y 180 segundos.

Si un Erlang = 3600 segundos y tomamos el menor tiempo: sabemos que 1 suscriptor = 120 segundos, igualando

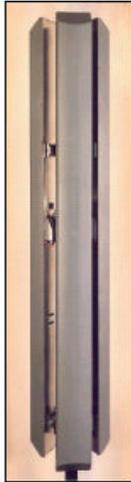
$1 \text{ Erlang}/3600 = 1 \text{ segundo}$, y $1 \text{ suscriptor}/120 = 1 \text{ segundo}$

$1 \text{ Erlang}/3600 = 1 \text{ suscriptor}/120$ ó $3600/120 \text{ suscriptores}/\text{Erlang} = 30$

$\text{suscriptores}/\text{Erlang}$

ANEXO B. Antenas para radio celular en la banda de 800 MHz para tecnologías

AMPS (Advanced Movil System).

			
AMPS VP/360/11/0°, 3° & 6°		MY-7360	
Especificaciones Técnicas		Colineal diferentes tilts	
Rango de Frecuencias	804 + 896MHz	Conector	DIN 7/16 (H) Abajo
Ganancia	11 dBi	Peso	8 Kg
ROE	< 1.5 : 1	Montaje	A tubo entre 38 y 76 mm
Polarización	Vertical	Material del Radomo	PRFV
Apertura Horizontal	360°	Temperatura	-40° to 70° C
Apertura Vertical	< 7° nominal	Dimensiones	3300 x 51 mm
Downtilt eléctrico	0°, 3° ó 6°	Rayo	La antena permanece intacta tras la acción integral de un rayo de hasta 2.5x10E5 Amp ² /seg
Nivel lóbulo lateral	> 10 dB		
Impedancia	50 Ω		
Protección contra rayos	A tierra		
Potencia	500 W		
			
AMPS XP/65/17/ 4°		MY-1718 AMPS	
Especificaciones Técnicas			
Rango de Frecuencias	804 + 960MHz	Conector	2 x DIN 7/16 (H) Central
Ganancia	17.5 dBi	Peso	17.5 Kg
ROE	< 1.4 : 1	Montaje	A tubo entre 48 y 114 ∅ mm
Polarización	+/- 45°	Material del Radomo	STYROSUM
Apertura Horizontal	65° +/-2°	Temperatura	-40° to 70° C
Apertura Vertical	< 7° nominal	Dimensiones	2330 x 310 x 220 mm
Downtilt eléctrico	4°	Carga al viento	1033 Nw @ 160 Km/h
Nivel lóbulo lateral	> 11 dB	Color del radomo	Gris
Impedancia	50 Ω	Protección contra rayos	A tierra
Potencia máxima	2 x 500 w		
			
AMPS XP&VP/65/17/ 4°		MY-1718 AMPS VXP	
Especificaciones Técnicas			
Rango de Frecuencias	804 + 960MHz	Conector	3 x DIN 7/16 (H) Central
Ganancia	17 dBi	Peso	17.5 Kg
ROE	< 1.4 : 1	Montaje	A tubo entre 48 y 114 mm
Polarización	Vertical en TX & +/-45° en RX	Material del Radomo	STYROSUM
Apertura Horizontal	65° +/-2°	Temperatura	-40° to 70° C
Apertura Vertical	< 7° nominal	Dimensiones	2330 x 310 x 220 mm
Downtilt eléctrico	4°	Carga al viento	1033 Nw @ 160 Km/h
Nivel lóbulo lateral	> 11 dB	Color del radomo	Gris
Impedancia	50 Ω	Protección contra rayos	A tierra
Potencia máxima	3 x 500 w		

BIBLIOGRAFIA

GOODMAN, Ernesto. Wireless Personal Communications. 2 ed revisada. Madrid: Addison Wesley, 1998. 450 p.

MARCES PEREIRO. Hernando, Comunicaciones Móviles. 3 ed. Centro de Estudios Ramón areces, 2002. 200 p.

MOULY PAUTET. Manuel. The GSM System for Mobile Communications. 3 Ed revisada. Irlanda: Marcombo. 2000. 360 p.

MUÑOZ RODRIGUEZ, David. Sistemas Inalámbricos de Comunicación Personal. 2 ed. Mexico: Alfa Omega. 2000. 225 p.

GLOSARIO

A

AMPS: sistema de telefonía móvil avanzado.

ALOHA: combinación de las técnicas FDMA y TDMA.

AGCH: canal de acceso garantizado, es un canal unidireccional en sentido red a móvil, utilizado por la red para asignar un canal dedicado de control tras un acceso aleatorio exitoso.

AuC: es un centro de validación que proporciona los parámetros necesarios para la autenticación de usuarios dentro de la red.

B

Branching: combinador.

BER: tasa de error de bit.

BSS: sistema de estación base, es el encargado de las operaciones de transferencia de control de llamadas.

BSC: controlador de estaciones base.

BTS: pueden considerarse como módems de radio.

BCCH: canal de control de difusión.

C

Cluster: grupo de celdas adyacentes donde cada una de estas tiene un grupo de canales de frecuencias diferente.

CTIA: asociación industrial de telefonía celular.

CATV: sistemas de televisión por cable.

D

DVCC: es una palabra de 8 bits en código *Hamming*.

DCS: sistema celular digital.

E

ETSI: instituto de estándar de telecomunicaciones europeo.

EIR: registro de identificación de equipos, sirve para registrar el tipo de equipo que existe en la estación móvil.

F

FCC: comisión federal de comunicaciones.

Footprint: área de cobertura de una celda.

FVC: canal de voz de subida.

Fading: identificación del intervalo de tiempo.

FH: frecuencias altas.

FACCH: canal de control asociado rápido.

FDM: modulación por división de frecuencias.

G

GSM: sistema global de comunicaciones.

GMSC: centro de conmutación móvil con *Gateway*.

Gateway: dispositivo traductor, puede ser software o hardware que se encarga de interconectar dos redes haciendo que los protocolos de comunicaciones que existen entre ambas redes se entiendan.

GIWU: sirve como interfaz de comunicación entre diferentes redes para comunicación de datos.

H

Handoff: proceso en el cual un usuario pasa de una celda a otra sin que la comunicación se caiga.

HLR: base de datos donde se almacena toda la información del usuario pertinente para la provisión del servicio de telefonía móvil.

Handover: consiste en la transición que se produce cuando pasamos del rango de acción de una celda al rango de acción de otra.

I

Idle: estado de reposo.

ISDN: red digital de servicios integrados.

IWF: función de interredes.

IMEI: sistema para la identificación de equipos móviles internacionales.

IMTS: sistemas de telefonía móvil mejorados, se convirtieron en el servicio de telefonía móvil estándar en Estados Unidos.

L

LPC: codificación de predicción lineal.

M

MTSO: centro de conmutación de telefonía móvil, nombre que varia de acuerdo al fabricante.

MTS: servicio de telefonía móvil, usa los canales de radio FM para establecer enlaces de comunicación entre los teléfonos móviles y los transceptores de estación base.

MAHO: *handoff* en los sistemas digitales.

MSC: centro de conmutación y servicios móviles, el componente central del NSS y se encarga de realizar las labores de conmutación dentro de la red, así como de proporcionar conexión con otras redes y coordinar el establecimiento de llamadas desde y hacia usuarios GSM.

N

NADC: sistema de telefonía móvil digital.

NSS: subsistema de conmutación de redes, encargado de la transmisión y recepción.

O

O&M: centro de operación y mantenimiento.

P

PSTN: red telefónica pública conmutada.

Paging: permite localizar la estación móvil dentro del área de cobertura para las llamadas entrantes.

PCH: canal de búsqueda, es un canal unidireccional en sentido red a móvil que se utiliza para buscar al móvil.

R

Roaming: es el proceso de cambiar desde el área de localización de la central propia, al área de localización de otra central.

RVC: canal de voz de atraso.

RACH: canal de acceso aleatorio, es un canal unidireccional con sentido móvil a red que se utiliza por las estaciones móviles para acceder a dicha red.

S

Send: emisión.

SAT: tono de supervisión de audio.

SMS: servicio de mensajes cortos.

Sync: sincronización.

SACCH: canal de control asociado para funciones de supervisión y control.

slot forward: intervalo de subida.

SIM: modulo de identificación del suscriptor, es básicamente una tarjeta inteligente, que sigue los estándares ISO.

SDCCH: canal de control dedicado autónomo, es un canal de control independiente.

SACCH: canal de control asociado lento.

Scanning: análisis.

SMSA: áreas estadísticas metropolitanas estándares.

T

TDMA: acceso múltiple por división de tiempo.

TDM: multiplexación por división de tiempo.

TMSI: identificación del suscriptor móvil temporal.

TCH: canal de tráfico.

U

UIT: unión internacional de telecomunicaciones.

V

VLR: base de datos donde se almacena toda la información del usuario necesaria para la provisión de los servicios durante la utilización de los mismos.

RESUMEN

La telefonía celular (Red Telefónica Celular), esta compuesta por las estaciones base, centro de conmutación, red telefónica pública y teléfonos móviles, dentro de las funciones de las estaciones base encontramos que en estas están los equipos de radio con sus respectivas antenas encargadas de conformar una celda, las celdas son el área de cobertura del un grupo de antenas de estación base, estas antenas pueden ser directivas, o omnidireccionales, dentro del área de cobertura de esta antena (Celda), el teléfono móvil puede acceder al medio de comunicación, (canales en frecuencia), mediante la técnica de acceso al medio que utilice la central de servicios, esta es de acuerdo al tipo de tecnología que se utilice en los móviles.

Los canales en frecuencia están distribuidos en un *cluster*, el cual esta conformado por 7 celdas, estos canales se reparten entre las celdas mediante un método de planificación de reutilización de frecuencias, este método puede ser plan de frecuencias $N=7$, una vez el teléfono móvil solicita acceso al medio para recibir o realizar llamadas, estas señales son enviadas desde la estación base al centro de conmutación, donde se procesa la llamada y se le da acceso al medio al móvil, y la llamada se enruta a donde se dirija ya sea a la red telefónica pública o a otro teléfono móvil.