

**DESCRIPCIÓN DE SISTEMAS DE LOCALIZACIÓN DE VEHÍCULOS
(SISTEMAS AVL) EN COLOMBIA UTILIZANDO LA TECNOLOGÍA
CELLEMETRY.**

OSCAR ALFONSO LOPEZ RUEDA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIAS ELECTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
ESPECIALIZACIÓN EN TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA, SANTANDER

2005

DESCRIPCIÓN DE SISTEMAS DE LOCALIZACIÓN DE VEHÍCULOS (SISTEMAS
AVL) EN COLOMBIA UTILIZANDO LA TECNOLOGÍA CELLEMETRY.

OSCAR ALFONSO LOPEZ RUEDA

Monografía para optar el título de
Especialista en Telecomunicaciones

Director

PhD. OSCAR GUALDRON

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIAS ELECTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
ESPECIALIZACIÓN EN TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA, SANTANDER

2005

A mis padres, María Dulcelina y Luis Eduardo.

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos al PhD Oscar Gualdrón, por su participación como director de este proyecto; de igual forma al Ingeniero Carlos Garnica, por sus aportes en el área de Comunicaciones Móviles, a los profesores del postgrado en Telecomunicaciones que de una u otra forma abren una nueva ventana de conocimientos.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION.....	14
1. TELEFONIA MOVIL EN COLOMBIA.....	15
1.1. Reseña histórica y generalidades.....	15
1.1.1. Telefonía móvil terrestre.....	17
1.1.2. Telefonía móvil vía satélite.....	19
1.1.3. Redes móviles privadas.....	20
1.1.4. Radiomensajería.....	20
1.1.5. Radiolocalización GPS.....	20
1.1.6. Comunicaciones inalámbricas.....	21
1.1.7. Internet móvil.....	21
1.2. Asignación de Bandas para Telefonía Móvil en Colombia.....	21
1.2.1. Bandas de canales para telefonía móvil en Colombia.....	23
1.2.2. Redes de telefonía móvil celular banda de 800 MHz.....	23
1.3. Técnicas de acceso al medio en comunicaciones móviles.....	24
1.3.1. Conceptos de FDMA.....	24
1.3.2. Conceptos de TDMA.....	25
1.3.3. Conceptos de CDMA.....	26
2. COMUNICACIONES INALAMBRICAS.....	28
2.1. Arquitectura.....	29
2.2. Protocolo.....	30
2.3. Propagación.....	31
2.3.1. Principales características en antenas.....	31
2.3.2. Parámetros para seleccionar una antena.....	32
2.4. Propagación en sistemas de Radio Móviles.....	32
2.4.1. Pérdidas de espacio libre.....	35
2.4.2. Efecto Sombra.....	35
2.4.3. Atenuación Causada por Vegetación.....	36
2.4.4. Atenuación debida a la atmósfera.....	36
2.4.5. Dispersión, Difracción, Reflexión.....	36
2.4.6. Delay-Spread.....	38
2.4.7. Rayleigh Fading.....	39
2.4.8. Doppler Shift.....	39
3. SISTEMAS DE TELEMETRIA CELULAR EN COLOMBIA.....	41
3.1. Cobertura.....	42
3.2. AMPS y Telemetría (1G y 2G).....	43

3.2.1.	Interconexión en AMPS.....	44
3.2.2.	Mobile Switching Central (MSC).....	44
3.2.3.	Base Station (BS).....	45
3.2.4.	Mobile Station (MS).....	46
3.2.5.	Paging (Búsqueda) y Acceso	49
3.2.6.	Cellemetry en AMPS	51
3.3.	CDPD (Cellular Digital Packet Data).....	54
3.4.	D-AMPS (AMPS Digital)	57
3.5.	Deficiencias de Sistemas de Telemetría en AMPS.	57
3.6.	CDMA y Telemetría (3G).....	59
3.6.1.	Tecnologías 2G, 2.5G y 3G.....	61
3.6.2.	Handset.....	63
3.6.3.	Canal y figura de mérito.	65
3.6.4.	Espectro Ensanchado.	66
3.7.	SMS (Short Menssage Service)	68
3.8.	GPRS (General Packet Radio Service)	68
4.	SISTEMAS DE LOCALIZACION DE VEHICULOS EN COLOMBIA.....	70
4.1.	Empresas del Sector	70
4.2.	Sistema de Posicionamiento Global (GPS)	72
4.3.	Sistemas de Localización Celular.....	76
4.3.1.	Angulo de llegada (Angle of Arrival, AOA).....	77
4.3.2.	Tiempo de llegada (Time of Arrival, TOA)	78
4.3.3.	Huella multitrayecto (Multipath Figerprint, MF).....	80
4.3.4.	Localización en redes GSM.....	80
4.3.5.	Localización en redes CDMA	81
4.3.6.	Otras técnicas de localización	81
4.4.	Servicio M2M.....	82
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	85

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. División Mundial por Regiones U.I.T.....	22
Figura 2. FDMA.....	24
Figura 3. TDMA.....	25
Figura 4. CDMA	27
Figura 5. Descripción simple de un sistema celular.....	28
Figura 6. Descripción simple de un Terminal Móvil.....	29
Figura 7. Protocolos de comunicaciones inalámbricas.....	30
Figura 8. Propagación de onda electromagnética.....	31
Figura 9. Propagación de Antenas Celulares	32
Figura 10. Antenas KATHREIN.....	34
Figura 11. Filo de cuchillo y zona de Fresnel.....	37
Figura 12. Reflexión y multitr trayectorias.....	37
Figura 13. Propagación en multipropagación y multitr trayectorias.....	38
Figura 14. Efecto Doppler en presencia de multitr trayectorias.....	40
Figura 15. Cubrimiento de Cellemetry en Colombia.....	41
Figura 16. Cubrimiento Celular de BELLSOUTH en Santander.....	42
Figura 17. Central de conmutación móvil.....	45
Figura 18. Estación Base.....	45
Figura 19. Estación Móvil.....	46
Figura 20. Funcionamiento del sistema Cellemetry sobre AMPS	52
Figura 21. Red Celular de paquete de datos digitales CDPD	55
Figura 22. CDPD y AMPS.....	56
Figura 23. Espectro de CDMA y TDMA	60
Figura 24. Handset para CDMA.....	64
Figura 25. Planificación de Acceso al medio usando la misma frecuencia por usuarios de AMPS, TDMA, GSM y CDMA.....	66
Figura 26. Técnica Spread-Spectrum en CDMA.....	67

Figura 27. Modulo MT101 de la empresa COMTRONIC, España	69
Figura 28. Geolocalización con GPS	74
Figura 29. Localización por AOA	77
Figura 30. Localización por AOA	79
Figura 31. Localización por MF	80
Figura 32. Productos M2M Sony-Ericsson.....	83

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Designaciones de Frecuencia.....	16
Tabla 2. Empresas del Sector y número de abonados.	19
Tabla 3. Bandas asignadas en Colombia.	23
Tabla 4. Bandas de canales para telefonía móvil en Colombia.	24
Tabla 5. Diferentes tipos de medio de radio propagación.....	34
Tabla 6. Retardo de Propagación en multipropagación vs. Medio de propagación.	38
Tabla 7. Características principales AMPS.....	43
Tabla 8. Comparación entre las tecnologías inalámbricas.....	62
Tabla 9. Empresas soportadas por la red de COMCEL y aplicaciones	71

RESUMEN

TÍTULO. Descripción de sistemas de localización de vehículos (sistemas AVL) en Colombia utilizando la tecnología CELLEMETRY.

AUTOR. Oscar Alfonso López Rueda

PALABRAS CLAVES. Seguimiento de rutas, ubicación de vehículos, CELLEMETRY, M2M, NUMERX, CDPD, Telemetría Celular, Aplicaciones a las redes Celulares, Localización Vehicular, AVL, GPS, localización celular, GSM/GPRS, TDMA, CDMA, AMPS.

DESCRIPCIÓN CONTENIDO. La importancia de las redes de telefonía celular en los sistemas de localización de vehículos sugiere la necesidad de un estudio general del funcionamiento de éstas redes, ubicando la temática específicamente en Colombia para delimitar el problema pero no para diezmarlo, dado que la variedad de tecnologías usadas en nuestro país es una buena muestra de los sistemas a nivel mundial.

Los sistemas de localización de vehículos han estado presentes desde la popularización de las redes de telefonía celular, por lo cual han estado en diferentes plataformas y han utilizado diferentes tipos de acceso al medio como: FDMA (Acceso Múltiple por División en Frecuencia), TDMA (Acceso Múltiple por División en el Tiempo), CDMA (Acceso Múltiple por División de Códigos), GSM (Sistema Global Móvil).

CELLEMETRY es un producto líder en Colombia en la localización de vehículos, fabricado por la empresa NUMEREX CORP. Los productos CELLEMETRY han estado en Colombia bajo plataformas AMPS (Sistemas Avanzados de Telefonía Móvil), GPS/GPRS y principalmente, CDMA. Este sistema sirve de ejemplo para poder describir uno de los sistemas M2M (Máquina a Máquina) más utilizados en el País, sin descuidar los que han tenido su momento de popularidad como los sistemas basados en CDPD (Red celular de paquete de datos digitales).

Finalmente, el estudio de éste sistema, permite analizar todas aquellas variables que intervienen en el proceso de localización de vehículos utilizando sistemas de posicionamiento global (GPS) y redes celulares conjuntamente, describiendo aplicaciones, empresas del sector, técnicas más usadas y conceptos importantes para el entendimiento de un sistema que se renueva rápidamente en Colombia y en el mundo.

ABSTRACT

TITLE : Description of localization of vehicles systems (systems AVL) in Colombia by using CELLEMETRY technology.

AUTHOR: Oscar Alfonso López Rueda**

KEYS WORDS: Routes follow up, location of vehicles, CELLEMETRY, M2M, NUMERX, CDPD, Cellular Telemetry, Cellular networks application, Vehicular Localization, AVL, GPS, cellular localization, CDMA, GSM/GPRS, TDMA, CDMA, AMPS.

CONTENT DESCRIPTION: The importance of the cellular nets telephony in systems of localizations of vehicles suggests the need of a general study about the way those nets work. In Colombia the problem has been in how to reduce it, not how to finish it, because the diversity of the technologies that have been used in our country is a really good sign of the worldwide systems.

The systems of localization of vehicles have been since the popularization of the cellular nets of telephony, that's why it has been in different platforms and it has used different kinds of ways to access, such as: FDMA (Frequency Division Multiple Access), TDMA (Time Division Multiple Access), CDMA (Codes Division Multiple Access), GSM (System Global Mobile).

CELLEMETRY is a leader product in Colombia in the localization of vehicles, made by NUMEREX Corporation. Products from CELLEMETRY have been in Colombia under platforms AMPS (Advanced Systems of Mobile Telephony), GPS/GPRS and

mainly, CDMA. For that reason it works as a sample to describe one of the most used systems in our country, M2M (machine to machine) . Of course it doesn't mean that other products like systems based on CDPD (cellular Net of package digital of dates) was not popular at one time.

Finally, the study of this system will allow us to jointly analyze all those variables which intervene in the process of localization of vehicles using GPS systems and cellular nets, describing applications, companies of the sector, the most used techniques and important concepts for the understanding of a system which is renewed quickly in Colombia and all over the world.

INTRODUCCION

En Colombia existe un constante robo de vehículos, en especial aquellos utilizados en el transporte de carga donde el inconveniente no sólo es el vehículo sino el robo parcial o total de la carga transportada. Actualmente, el sistema más utilizado en el monitoreo y vigilancia de vehículos se basa en la tecnología conocida como CELLEMETRY la cual es utilizada en otras regiones del mundo en diferentes aplicaciones como alarma de locales, alarma de hombre caído, control de daños en fotocopiadoras, etc.

Describir el sistema no tiene antecedentes dentro de la Universidad Industrial de Santander y es una oportunidad para utilizar los conceptos adquiridos durante el postgrado; además, permite ampliar los conocimientos sobre este tipo de aplicaciones cuyo material informativo es escaso aún para los operadores de telefonía móvil en Colombia.

Como los sistemas de localización de vehículos utilizan la red celular, en el texto se describen aquellas variables que afectan los sistemas celulares en general, para luego particularizarlos, de tal manera que se logre una comprensión de la situación de estos sistemas, específicamente en Colombia. Esto permite al autor generar discusión sobre el estado de la tecnología móvil celular en Colombia, para donde va esta tecnología, que falta y que debemos esperar de las empresas que hasta ahora prestan el servicio.

El sistema Cellemetry en Colombia está soportado especialmente sobre la red Celular de BELLSOUTH, por esta razón se profundizará un poco más lo concerniente a la tecnología usada por esta empresa, TDMA y CDMA.

1. TELEFONIA MOVIL EN COLOMBIA

1.1. Reseña histórica y generalidades

El científico Inglés, James Clark Maxwell, propuso a mediados del siglo XIX que era posible propagar ondas electromagnéticas por el espacio libre utilizando descargas eléctricas por medio de un conductor radial. Posiblemente Maxwell no pensó en lo que significaría para la humanidad la explotación de ésta propiedad de la energía eléctrica, pero la visión que generó en otros como E. Branly, A. S. Popoff, Heinrich Hertz, Guglielmo Marconi, Edwin Asmstrong y muchos más, ha permitido que desde finales del siglo XIX y hasta la fecha, se siga buscando la mejor forma de aprovechar el espectro radioeléctrico.

El desarrollo de la física, la electrónica y la informática han dado las bases que sustentan el desarrollo en las telecomunicaciones, las cuales intervienen activamente en las diferentes labores humanas, haciendo que actividades como la medicina, comercio, gobierno, banca, etcétera, dependan de las telecomunicaciones, la informática y la electrónica para su normal operación. Esto parece una vieja historia pero el usuario final, termina haciendo uso de la tecnología y lo único que le interesa es el producto que permita que sus acciones se desarrollen de manera eficiente.

Los sistemas de comunicaciones electrónicas utilizan dos tipos de medios para el transporte de las señales: medios físicos o guiados y el espacio libre o no guiado. Los primeros son muy económicos como los hilos conductores que transportan las ondas electromagnéticas sin mayores inconvenientes, siendo altamente eficientes en bajas frecuencias y pésimos para transportar señales con alta frecuencia. La ventaja es que una transmisión en banda base es fácilmente transportada por un

par trenzado o un cable coaxial. Las desventajas de atenuación y frecuencias de operación desaparecen con la fibra óptica, sin embargo los medios guiados solo permiten dar servicio entre puntos fijos y cuando la orografía dificulta el desarrollo de obras civiles necesarias para el tendido de cables o cuando las distancias requieren de un costo elevado de obra civil, el espacio libre debe ser utilizado.

Usar el espacio libre requiere de mayor potencia, presenta el inconveniente del ruido y de la competencia entre las fuentes por un medio único. La gran ventaja recae sobre la movilidad de los extremos de conexión, principal variable en los sistemas de localización y seguimiento de vehículos. Otra ventaja que no se puede olvidar es el hecho que las frecuencias utilizadas para la transmisión de señales son mas abundantes y por lo tanto permiten mayor transporte de información que los sistemas de hilos metálicos.

Las ondas radioeléctricas utilizan ondas electromagnéticas cuya frecuencia se fija por debajo de los 3000GHz y se subdividen en diez grandes bandas como se observa en la tabla No. 1

Banda		Frecuencia	
ELF	Frecuencia extremadamente baja	30 – 300	Hz
VF	Frecuencia de voz	300 – 3000	Hz
VLF	Frecuencia muy baja	3 – 30	KHz
LF	Frecuencia baja	30 – 300	KHz
MF	Frecuencia media	300 – 3000	KHz
HF	Frecuencia alta	3 – 30	MHz
VHF	Frecuencia muy alta	30 – 300	MHz
UHF	Frecuencia ultra alta	300 – 3000	MHz
SHF	Frecuencia super alta	3 – 30	GHz
EHF	Frecuencia extremadamente alta	30 - 300	GHz

Tabla 1. Designaciones de Frecuencia

Fuente: Introducción a los sistemas de comunicación. F.G. Stremmler

Cabe aclarar que en Colombia se definen solamente nueve bandas de frecuencia para los propósitos del Cuadro Nacional de Atribución de Bandas: VLF, LF, MF, HF, VHF, UHF, SHF, EHF y la banda de frecuencias que comprende frecuencias superiores a 300GHz. Estas a su vez están subdivididas en otras bandas más pequeñas a las cuales se atribuyen los distintos servicios de radiocomunicación.¹

En la mayoría de países, los servicios de comunicaciones móviles no se hicieron comerciales sino hasta finales del siglo XX, siendo los países nórdicos los primeros en implementarlas para superar sus difíciles condiciones orográficas. Las comunicaciones móviles se pueden catalogar como sigue:

1.1.1. Telefonía móvil terrestre

Este servicio se basa en la telefonía fija convencional y compite directamente con ésta en la transmisión de voz. La telefonía móvil terrestre utiliza estaciones terrestres que se encargan de monitorear cada Terminal móvil encendido. Las estaciones terrenas tienen una zona de cobertura conocida como celda y se encarga de establecer correctamente la comunicación con el Terminal móvil. Los primeros sistemas de telefonía móvil o de primera generación, TACS (Total Access Communication System / Sistema de Comunicación de Acceso Total), AMPS (Digital Advanced Multiple Access / Acceso Múltiple Avanzado Digital), NMT (Nordic Mobile Telephony / Telefonía Móvil Nórdica), TMA (Telecommunications Management Associates / Asociados de Administración de Telecomunicaciones), NAMT (National Advanced Manufacturing Testbed / Pruebas de Manufactura Avanzada Nacional), eran analógicos y no eran muy compatibles entre sí y entre los sistemas existentes en los diferentes países. En cuanto a los terminales, éstos eran voluminosos, solo transmitían voz, consumían gran potencia ya que la escasez de estaciones terrenas requería de celdas extensas y de una potencia elevada en la transmisión.

¹ Datos suministrados por el ministerio de comunicaciones nacional a través de WWW.MINCOMUNICACIONES.GOV.CO

Cabe resaltar que la tecnología traída por CELUMOVIL a COLOMBIA fue AMPS, el cual tenía la característica de tener canales digitales para el control de las comunicaciones, por lo tanto más adelante se amplía éste tema.

La segunda generación de sistemas celulares está enmarcada por tecnologías como GSM (Global System for Mobile / Sistema global para móviles), CDMA (Code División Multiple Access / Acceso múltiple por división de código), TDMA (Time Division Multiple Access / Acceso Múltiple de División de Tiempo), NADC (North American Digital Cellular / Celular Digital Norteamericano), PDC (Personal Digital Cellular / Celular Digital Personal). Los operadores celulares en COLOMBIA utilizan TDMA, GSM y CDMA, COMCEL con GSM y BELLSOUTH con CDMA. Estas tecnologías son completamente digitales, lo que facilita la popularización de envío de mensajes cortos (SMS: Service Messaging Short / Servicio de mensajería corta), la transmisión de datos a bajas velocidades, la reducción del tamaño del Terminal Móvil así como de los niveles de potencia lo que siguió a un menor consumo y más tiempo entre recargas de la batería.

Básicamente, GSM se define como un estándar EUROPEO y CDMA para EEUU. En COLOMBIA conviven las dos tecnologías y ciertamente, la una no es compatible con la otra. Por otro lado GSM se impuso como tecnología en el sistema PCS que ofrece OLA, por ser la única en el país, sin embargo el número de usuarios y los rangos de cubrimiento, aunque en crecimiento, hacen que para este texto, PCS, sea tan sólo un ítem prospectivo.

En la Tabla 2. se tiene la lista de empresas y su número de usuarios a Diciembre del 2003. Según el informe presentado por el ministerio de comunicaciones para el trimestre julio – septiembre del 2004, el número de usuarios de telefonía móvil en el país supera los 8.3 millones distribuidos en: 4.746.316 para COMCEL, 2.671.222 para BELLSOUTH, 976.492 para COLOMBIA MOVIL, para un consolidado total de 8.394.030.

Abonados en Servicio	2001	2002	2003
BELLSOUTH ORIENTE	636	750	1.007
COMCEL	1.167	1.754	2.020
BELLSOUTH OCCIDENTE	358	506	723
OCCEL	717	1.067	1.240
BELLSOUTH COSTA	194	270	352
CELCARIBE	193	249	414
Colombia Móvil Oriente	-	-	208
Colombia Móvil Occidente	-	-	167
Colombia Móvil Costa A.	-	-	55
total	3.265	4.597	6.186

Tabla 2. Empresas del Sector y número de abonados.

Fuente: www.aciem.org/bancoconocimiento/i/informecrt/Informe_semestral_2003.pdf

Los sistemas de tercera generación intentan resolver el problema de la estandarización con la aplicación del sistema UMTS (Universal Mobile Telecommunications System / Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles), pero el problema es la dificultad en la migración de los sistemas CDMA y GSM a estos estándares pues, en especial el sistema CDMA tiene propietario, QUALCOMM, que recibe regalías por cada Terminal que trabaje con este sistema. Así pues, lo que más se está dando es el desarrollo de sistemas denominados de generación 2,5.

1.1.2. Telefonía móvil vía satélite

Otro de los servicios móviles es el de la telefonía satelital que fue propuesta por Iridium y GlobalStar. La ventaja de utilizar satélites de órbita baja, permite terminales con rangos de potencia moderados que son mucho más grandes y pesados que un Terminal móvil para estaciones terrestres. Por otro lado el costo es bastante elevado lo que conlleva a una baja popularidad de estos sistemas. Por un lado Iridium utiliza sistemas TDMA y FDMA (Frequency Division Multiple Access / Acceso múltiple por división en frecuencia), y GlobalStar CDMA. Este último tiene un menor costo por llamada pues mientras el Terminal móvil se

encuentre en cobertura con una estación terrena, éste será atendido por la misma y solo se recurrirá al satélite en caso de que no exista cubrimiento alguno, reduciendo así la factura del usuario. En COLOMBIA no es muy popular este sistema y realmente es utilizado por empresas cuya operación se produce en zonas apartadas como las empresas petroleras.

1.1.3. Redes móviles privadas

Es un servicio de telefonía móvil usado generalmente por un grupo de usuarios en una zona o región específica. Es precisamente el servicio que ofrece AVANTEL en COLOMBIA con su sistema Trunking. Es un servicio preferido más por empresas, por su carácter de grupo de usuarios, pues es más económico que un sistema móvil terrestre.

1.1.4. Radiomensajería

Conocido más como servicio de busca personas o BEEPER, permite el envío de texto a un Terminal móvil. Es un sistema cuya popularidad bajo con la reducción en los costos en las facturas de los sistemas móviles terrestres.

1.1.5. Radiolocalización GPS

Al igual que los Beeper es una comunicación simplex, unidireccional, pero trabaja a base de una constelación de satélites de órbita media que asegura por lo menos 4 satélites en cualquier momento en la bóveda terrestre con lo que un Terminal puede definir la longitud, latitud y altitud en que se encuentra. En COLOMBIA es ampliamente utilizado en el desarrollo de obras civiles y de infraestructura, sistemas de localización de vehículos y de alarma remota.

1.1.6. Comunicaciones inalámbricas

La diferencia geográfica entre redes LAN, MAN y WAN es cada vez menos notoria. La incorporación de redes inalámbricas ha dado diferentes opciones para la configuración de las arquitecturas donde el área geográfica deja de ser un factor de definición. Tecnologías como Wi-Fi ganan adeptos en nuestro país y para el 2005, en el caso específico de Santander, la empresa TELEBUCARAMANGA tiene proyectado ofrecer conexión a Internet a través de Wi-Max. Las redes inalámbricas incluso permiten la definición de un nuevo tipo de redes, las redes PAN, pues un usuario puede tener un equipo celular, una agenda electrónica, un PC portátil e incluso, en su oficina: aire acondicionado, un televisor y más; eso conformaría una red de área personal en la que los diferentes equipos puedan transferir información utilizando un mismo estándar y por RF. Bluetooth se perfila como la tecnología que regirá el estándar de las redes PAN.

1.1.7. Internet móvil

Tanto en sistemas de información móvil como en sistemas móviles terrestres se amplía cada vez más la capacidad para la transferencia de datos y la opción de interactuar desde un móvil en Internet. Existen en el momento páginas WEB desarrolladas en el sistema WAP las cuales están especialmente editadas para ser leídas desde estos sistemas, pero aún falta por recorrer un buen camino en cuanto a la estandarización.

1.2. Asignación de Bandas para Telefonía Móvil en Colombia

La Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT, elaboró una normativa para la atribución internacional de bandas de frecuencias definido en tres regiones como se muestra en la Figura 1.

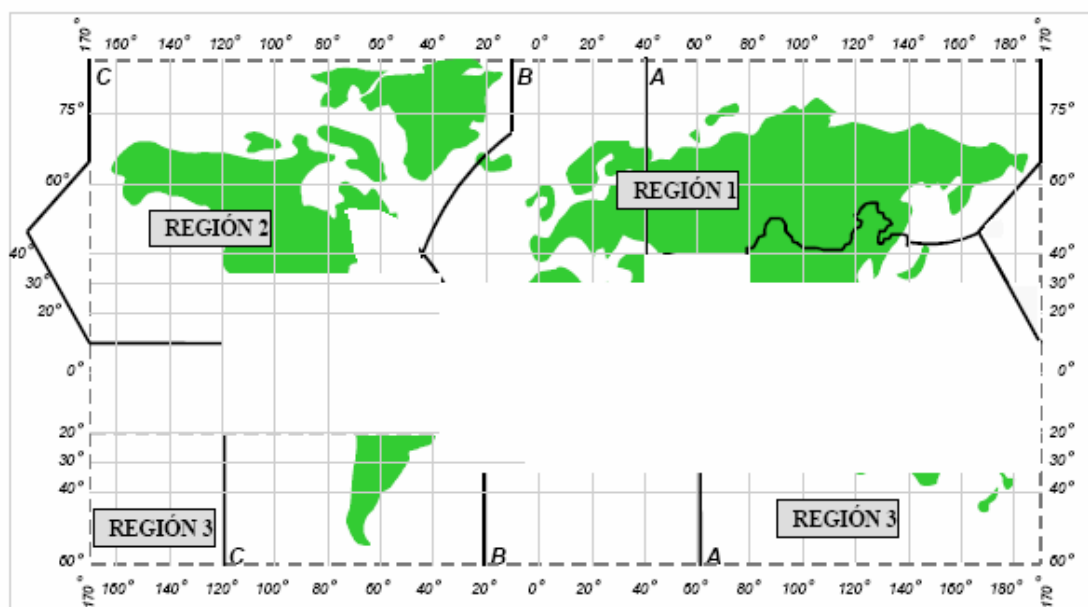


Figura 1. División Mundial por Regiones U.I.T.

Fuente: www.mincomunicaciones.gov.co

COLOMBIA pertenece a la región 2, por lo tanto, la explotación del espectro radioeléctrico concuerda con las recomendaciones definidas por la UIT para ésta región.

El Cuadro nacional de atribución de bandas definido por el ministerio de comunicaciones establece nueve grandes bandas las cuales se definen en la Tabla 3.

Falta mencionar en la tabla la banda que está por encima de los 300GHz. La atribución de bandas de frecuencias a los diversos servicios de radiocomunicación comienza en Colombia a partir de 9KHz hasta los 40,0GHz. A partir de ésta frecuencia y hasta los 400GHz se destinan con fines de planeación; por otro lado, la banda desde los 275GHz hasta los 1000GHz no tienen actualmente atribución de servicios.

La atribución de bandas de frecuencia se realiza por servicios, los cuales se pueden catalogar en servicios primarios y servicios secundarios, por ejemplo en la

banda de 908 – 915MHz se atribuye esta banda al servicio FIJO o servicio entre terminales de conexión fijos, cuyo servicio secundario son los sistemas de espectro ensanchado.

DESCRIPCIÓN DE LAS ONDAS RADIOELÉCTRICAS		RANGO DE FRECUENCIA	LONGITUD DE ONDA
Very Low Frequency VLF	Ondas Miriamétricas	3 - 30 kHz	100 - 10 Km.
Low Frequency LF	Ondas Kilométricas	30 - 300 kHz	10 - 1 Km.
Médium Frequency MF	Ondas Hectométricas	300 - 3000 kHz	1 - 0.1 Km.
High Frequency HF	Ondas Decamétricas	3 - 30 MHz	0.1 - 0.01 Km.
Very High Frequency VHF	Ondas Métricas	30 - 300 MHz	0.01 - 0.001 Km.
Ultra High Frequency UHF	Ondas decimétricas	300 - 3000 MHz	0.001 - 0.0001 Km.
Super High Frequency SHF	Ondas centimétricas	3 - 30 GHz	0.0001 - 0.00001 Km.
Extremely High Frequency EHF	Ondas milimétricas	30 - 300 GHz	0.00001 - 0.000001 Km.

Tabla 3. Bandas asignadas en Colombia.

Fuente: www.mincomunicaciones.gov.co

1.2.1. Bandas de canales para telefonía móvil en Colombia

A las redes de telefonía móvil se les ha asignado la banda de los 800MHz (banda UHF) para su operación. Las bandas de los canales establecidos se pueden detallar en la tabla 4.

1.2.2. Redes de telefonía móvil celular banda de 800 MHz

El plan de distribución de canales, define en cada banda las frecuencias correspondientes a cada canal, en Colombia se tiene la atribución que se presenta en el Anexo A, donde para cada canal la frecuencia de recepción se encuentra 45MHz más arriba de la frecuencia de transmisión, es decir que $f (Rx) = f (Tx) + 45 \text{ MHz}$.

Bandas (MHz)	CLM 47. Nota Nacional. La instalación, operación y explotación de redes de telefonía móvil celular, que operan en las bandas 824 - 849 MHz y 869 - 894 MHz, está reglamentada según la ley 37 de 1993 y los decretos 741 de 1993 y 2061 de 1993.
824 – 849	
869 – 890	
890 – 894	
	S317. Nota UIT. Atribución adicional: en la Región 2 (excepto Brasil y Estados Unidos), la banda 806 - 890 MHz está también atribuida, a título primario, al servicio móvil por satélite, a reserva de obtener el acuerdo indicado en el número S9.21. Este servicio está destinado para su utilización dentro de las fronteras nacionales.

Tabla 4. Bandas de canales para telefonía móvil en Colombia.

Fuente: www.mincomunicaciones.gov.co

1.3. Técnicas de acceso al medio en comunicaciones móviles

1.3.1. Conceptos de FDMA

FDMA: Frequency División Multiple Access, o Acceso múltiple por división de frecuencia, ver Figura 2.

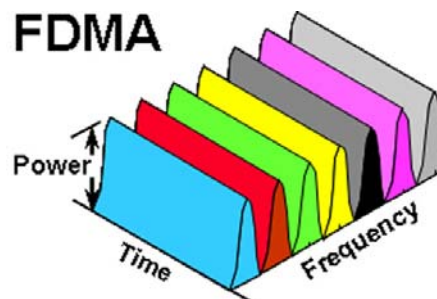


Figura 2. FDMA

Fuente: <http://www.nortel.com>

Tecnologías como Cellemetry se desarrollaron a partir de FDMA aprovechando cada una de las características, de tal forma que se optimizaba el uso de la red

adicionando funciones y nuevos productos al sistema. La tecnología FDMA separa el espectro en distintos canales al asignar anchos de banda uniformes para cada uno de ellos. Básicamente asigna un circuito por portadora lo que inhabilita al sistema para una comunicación full-duplex, pero puede operar simultáneamente mediante el uso de duplexer en el Terminal Móvil. Además, la transmisión es continua y se mantiene sobre un canal de ancho de banda de 30KHz o menos, por lo que se define a los canales en FDMA de banda estrecha. Aunque el esquema se define para transmisión analógica, se puede establecer una tasa de transmisión de 25Kbps con un bit por símbolo, por lo que el tiempo de duración de un símbolo es de alrededor de $40\mu s$, siendo esto desfavorable para la velocidad de transmisión pero favorable contra la interferencia intersímbolo (ISI) producida por las multipropagaciones. FDMA utiliza pocos bits para la señalización debido a que la comunicación es continua, por lo cual las cabeceras son cortas comparadas con otras tecnologías, sin embargo esto requiere más equipos en la estación base que se refleja en costos al usuario final. Finalmente cabe resaltar que la tecnología FDMA complica el proceso de handover debido a que como mantiene la comunicación, esta se verá interrumpida en el momento del cambio de estación base, suceso que en el mejor de los casos no es detectado por el usuario.

1.3.2. Conceptos de TDMA

TDMA: Time División Multiple Access, o Acceso múltiple por división del tiempo, ver figura 3.

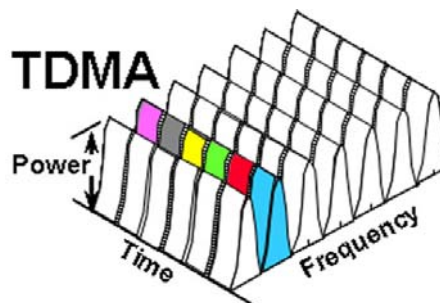


Figura 3. TDMA
Fuente: <http://www.nortel.com>

TDMA permite a varios usuarios compartir un canal de radio frecuencia subdividiéndolo en slots temporales en los cuales los terminales móviles pueden enviar ráfagas de información a la estación base y viceversa, requiriendo una perfecta sincronización pues el tiempo en la recepción de la ráfaga a la estación base puede variar según la distancia a ésta última. TDMA establece dos circuitos o canales por portadora de frecuencia, la transmisión es discontinua y cuando se incrementa excesivamente las solicitudes dentro de la célula o entre células adyacentes el sistema evidencia su sensibilidad a la interferencia co-canal. La tecnología TDMA se considera de banda estrecha ya que se asigna anchos de banda de algunas decenas o centenas de Khz dependiendo del tipo de modulación. La duración por símbolo es de unos $3,3\mu\text{s}$, por lo que se espera mayor interferencia intersímbolo que en FDMA debido a la propagación multitrayectoria, costo que se paga por obtener tasas de transmisión de hasta de 400K Símbolos por segundo, mucho más que FDMA. En consecuencia, las cabeceras de TDMA son mucho mayores que en FDMA ya que existen muchos más bits de control, sin embargo es más fácil el proceso de Handover, ya que en el periodo inactivo, el Terminal puede ir escaneando canales libre en la estación base vecina.

1.3.3. Conceptos de CDMA

CDMA: Code Division Multiple Access, o Acceso múltiple por división de códigos, (ver Figura 4) desarrollada por la empresa QUALCOMM. Esta tecnología brinda una mejor seguridad a través del esquema de códigos, ofreciendo una alta capacidad de usuarios comparado con FDMA y TDMA.

El acceso múltiple, permite que cada par de usuarios establezcan un circuito de comunicación, compartiendo el mismo medio o el mismo canal con otros usuarios, siendo esto transparente para cada uno de los subscriptores que comparten el mismo medio. Las ventajas de compartir el medio se evidencian en un menor costo en las facturas y un manejo más fácil para el administrador debido a que

utiliza menos canales por usuario lo que disminuye la infraestructura en equipos para ofrecer un servicio continuo y de calidad a sus afiliados.

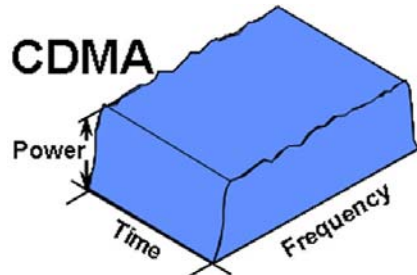


Figura 4. CDMA

Fuente: <http://www.nortel.com>

En CDMA cada usuario utiliza la misma frecuencia todo el tiempo, sin embargo a cada usuario se le asigna un código específico o un código modelo con el cual establece su propio canal o circuito, de tal forma que coexistan sobre la misma frecuencia varios usuarios pero cada uno operando en su propio canal. CDMA está habilitado para mantener hasta 10 canales por portadora, lo que se paga con ancho de banda, de 1 a 10MHz, típicamente 1,25MHz. La tasa de transmisión es de 1Mbps por lo que cada símbolo tiene una duración cercana al microsegundo (en modulación BPSK). Notablemente la complejidad del procesamiento digital de la información es mayor debido al código adicional pero la recompensa consiste en los beneficios obtenidos en bajas probabilidades de interceptación, confidencialidad y niveles de potencia de transmisión.

2. COMUNICACIONES INALAMBRICAS

Las comunicaciones inalámbricas y para el caso de estudio, de telefonía móvil, día a día ganan usuarios por la ventaja que presentan al posibilitar la comunicación en cualquier momento y en cualquier lugar gracias a los avances tecnológicos en el tratamiento digital de señales y la innovación digital y de diseño de circuitos para RF.

Los sistemas de localización de vehículos se soportan en dos tipos de servicios: servicio de telefonía móvil terrestre y servicio de radiolocalización GPS. Cada uno posee variables bastante interesantes a tener en cuenta, especialmente los sistemas de comunicación celular. Un modelo simple de arquitectura de redes de comunicación celular se puede observar en la Figura 5.

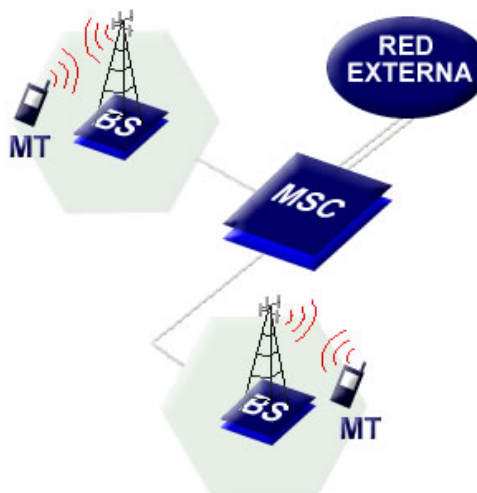


Figura 5. Descripción simple de un sistema celular.
Fuente: Autor

2.1. Arquitectura

Generalmente, una célula está definida por el rango de cubrimiento de una Estación Base que usualmente es de unas decenas de metros hasta unos pocos kilómetros. El Terminal Móvil establece comunicación con su estación base, ésta a su vez puede interactuar con otras estaciones base para formar una red con un área de cubrimiento tal que pueda comunicar dos estaciones móviles que estén operando con diferentes estaciones base apoyándose en estaciones denominadas, Centros de Conmutación Móvil. Este último también se conecta con las demás redes externas existentes entre las que sobresale la red telefónica pública conmutada o PTSN. Además, los Centros de Conmutación Móvil pueden interactuar con bases de datos como la HLR (Home Location Register), la VLR (Visitor Location Register), y la central de operación y mantenimiento, la OMC. El Terminal móvil posee un microcontrolador y un DSP encargados de interactuar con el usuario para lograr la comunicación con la estación base tal y como se muestra en la Figura 6.

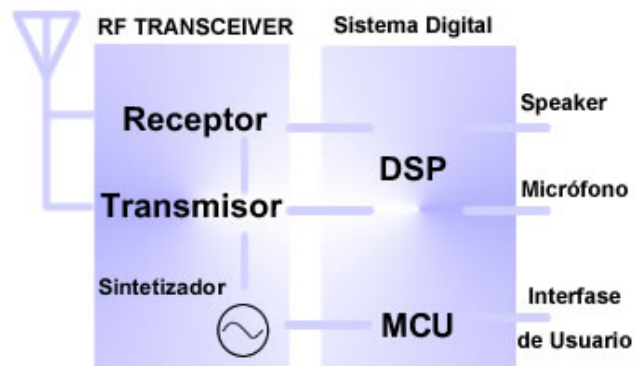


Figura 6. Descripción simple de un Terminal Móvil.
Fuente: Autor

2.2. Protocolo



Figura 7. Protocolos de comunicaciones inalámbricas.

Fuente: Autor

El modelo OSI² dispone de siete capas: Aplicación, Presentación, Sesión, Transporte, Red, Enlace de datos y capa física. En redes inalámbricas se establece una variante al modelo OSI conocido como SS7 (sistema de señalización número 7, que dispone de tan solo 4 capas: Aplicación, Red, Enlace de datos y capa física. Ver Figura 7.

El medio de transmisión entre el Terminal móvil y la estación base es el aire, por lo cual la capa física se define como para todo sistema inalámbrico, en el espacio libre. La capa de enlace de datos combina el control de acceso al medio (MAC) y el control de radio enlace. El control de radio enlace se encarga de conformar la cadena de datos en paquetes para lo cual agrega un CRC para mantener la integridad de la información, el MAC define diferentes tipos de multiplexación lógica para establecer el canal de comunicación. Además, secuencia de mensajes, monitoreo de tráfico y enrutamiento de la señal a la capa de Red. La capa de Red supervisa los recursos de radio incluyendo el canal físico asignado, la demanda por búsqueda o paging y los niveles de transmisión de potencia. La capa física, de enlace de datos y red conforman el MTP (Message Transfer Part), protocolo perteneciente al modelo SS7 encargado de la transmisión de nodo a nodo en el sistema. En la capa de aplicación puede operar el protocolo TUP (Telephone User Part) para comunicaciones de voz, para datos ISUP (ISDN User Part) y para

² Modelo de referencia de telecomunicaciones (Open System Interconnection o interconexión de sistemas abiertos).

aplicaciones específicas MAP (Mobile Application Part). La capa de aplicación especifica la calidad de servicio (QoS) por niveles de prioridad, seguridad, expectativa en el tiempo de respuesta, rata de error y estrategias de cubrimiento.

2.3. Propagación

A diferencia de los medios de transmisión guiados como el par de cobre, la fibra óptica, la guía de ondas o el cable coaxial, los sistemas de comunicación inalámbricos presentan múltiples variables impredecibles que corrompen la señal; la morfología del terreno, temperatura, la humedad, son algunas de ellas.

2.3.1. Principales características en antenas.

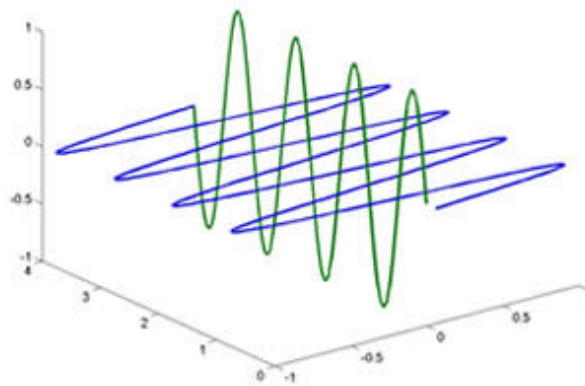


Figura 8. Propagación de onda electromagnética
Fuente: Autor

La Figura 8. muestra la propagación de una onda electromagnética a lo largo de una dirección en la cual el campo eléctrico es ortogonal con el campo magnético. Esta propagación puede desplazarse a través del espacio libre cuando se hace circular una corriente eléctrica por uno a varios terminales radiales, es decir, por una antena.

En cuanto a antenas se debe identificar el concepto de PATRON DE RADIACIÓN, definido por la IEEE como la representación gráfica de la radiación característica de una antena según las coordenadas del espacio, donde se puede identificar la

intensidad, la potencia del campo, la fase y la polarización. La potencia del campo se define por dos coordenadas esféricas θ y ϕ . La polarización puede ser horizontal o vertical y está definida por el campo eléctrico, por lo tanto si se tiene una antena lineal, la polarización será horizontal siempre y cuando la antena se encuentre paralela a la tierra.

2.3.2. Parámetros para seleccionar una antena

- Ganancia en dB relativa a un radiador isotrópico (dBi) o a un dipolo de media onda (dBd).
- Razón de voltaje de onda estacionaria (VSWR)
- Patrón de radiación, especificando la amplitud del haz sobre los planos de azimut y elevación.
- Razón fron-to-back sobre antenas direccionales.
- Potencia de entrada.
- Acción de intermodulación.
- Ancho de banda.

2.4. Propagación en sistemas de Radio Móviles.

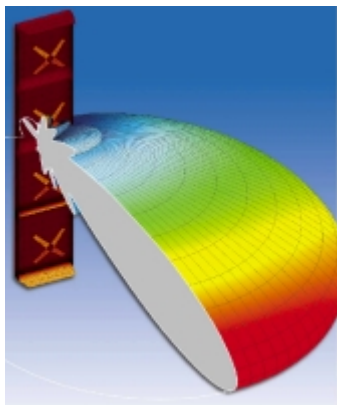


Figura 9. Propagación de Antenas Celulares
Fuente: <http://www.kathrein.de/en/mca/index.htm>

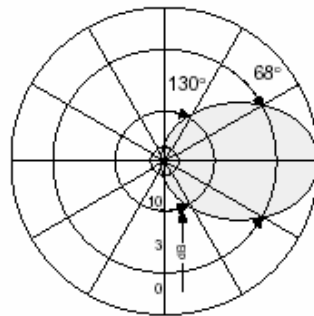
El tipo de antena utilizado en estaciones base de BELLSOUTH son generalmente suministrados por la empresa KATHREIN, especializada en equipos para CDMA y UMTS. La Figura 10. permite visualizar las características técnicas de una de éstas antenas.

Los problemas en los sistemas móviles radican en que los terminales móviles pueden ubicarse en diferentes puntos dentro del patrón de propagación de la estación base, que sumado a las diferentes morfologías que se pueden tener en la zona de cubrimiento, características como Reflexión, Difracción y Dispersión son variables que se suman a las pérdidas de propagación. La Tabla 5. muestra los diferentes medios a tener en cuenta en la propagación en sistemas de comunicación móviles.

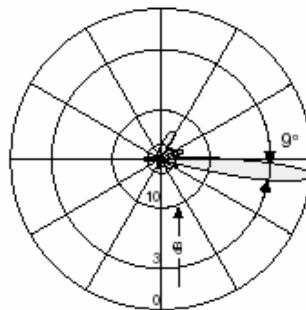
VPol Panel 824–894 65° 17dBi 6°T

Type No.	800 10088
Frequency range	824 – 894 MHz
Polarization	Vertical
Gain	17 dBi
Half-power beam width	H-plane: 68° E-plane: 9°
Electrical downtilt	6°, fixed
Front-to-back ratio	> 25 dB
Impedance	50 Ω
VSWR	< 1.3
Intermodulation IM3 (2 x 43 dBm carrier)	< -150 dBc
Max. power	500 W (at 50 °C ambient temperature)





Horizontal Pattern



Vertical Pattern
6° electrical downtilt

Figura 10. Antenas KATHREIN

Fuente: <http://www.kathrein.de/en/mca/index.htm>

Tipo de Medio	Descripción
Urbano denso	Área de concentración de negocios donde predominan materiales como hierro, concreto y vidrio, donde usualmente los edificios son de más de 12 pisos de altura y albergan instituciones financieras, administraciones públicas y oficinas y alojamientos privados en general
Urbano	Área de negocios y residencias muy cercanas unas a otras donde los edificios pueden tener de 10 a 15 pisos.
Suburbano	Área de residencias y de negocios descentralizados donde predomina casas o edificaciones de 2 a 5 pisos de altura, caracterizado por materiales como ladrillo, concreto, hierro y vidrio.
Rural	Área de negocios y residencias en general, cuyas edificaciones se encuentra esparcidas por una amplia zona geográfica, caracterizada por pocas estructuras y abundante vegetación.

Tabla 5. Diferentes tipos de medio de radio propagación.

Fuente: Radio Propagation in Cellular Network, Natham Blaunstein.

2.4.1. Pérdidas de espacio libre

Se establece como la diferencia entre la potencia transmitida y la potencia recibida sin obstáculos. Básicamente se define a través del siguiente análisis:

Potencia Perdida (P_L) = *Potencia Tx* (P_t) – *Potencia Rx* (P_r), La potencia de recepción para una antena cuya fuente de transmisión es una isotrópica es $S_r * A_e$, para una antena de ganancia de transmisión G_t , se tiene,

$$P_r = G_t * S_r * A_e \therefore S_r = \frac{P_t}{4\pi d^2} \wedge A_e = \frac{G_r * \lambda^2}{4\pi}; \text{ donde, Gr: Ganancia de la antena}$$

receptora; S_r : Densidad de potencia a una distancia d definida para una antena isotrópica; A_e : Área de captura ó área efectiva de apertura de la antena “isotrópica”; d : distancia en metros entre las dos antenas; λ : longitud de onda. Por lo tanto, la pérdida en espacio libre en decibeles se define como:

$$P_L (dB) = -10 \text{Log}_{10} \left(\frac{P_r}{P_t} \right) = -10 \text{Log}_{10} \left(\frac{G_t * G_r * \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2} \right)$$

2.4.2. Efecto Sombra

O efecto máscara, se produce cuando existen obstáculos o no hay línea de vista entre la antena transmisora y la receptora, caso en el cual la comunicación se hace imposible. En el caso de sistemas móviles de radiocomunicación no queda más que definir la probabilidad P de que la atenuación producida por éste fenómeno sea igual o mayor a los soportados por el sistema (x) debido a la localización del Terminal móvil respecto a su estación base (u), la cual se puede modelar así:

$$P(A_s \geq x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} e^{-\frac{u^2}{2\sigma^2}}$$

Donde A_s es la atenuación en dB, σ la desviación estándar definida para algún tipo de medio de propagación ($\sigma=6$ dB para medios urbanos).

2.4.3. Atenuación Causada por Vegetación

En medios de propagación rurales, los árboles contribuyen notablemente con la atenuación de las señales, fenómeno que se ha modelado de diferentes formas. Weissberger propone que entre los 230Mhz a los 95GHz, las pérdidas en dB (L) pueden ser calculadas así:

$$L = 1.33F^{0.284}d_f^{0.588} \quad \text{para } 14m \leq d_f \leq 400m$$

$$L = 10.45F^{0.284}d_f \quad \text{para } 0m \leq d_f \leq 14m$$

Donde F es la frecuencia en GHz y d_f es la distancia que recorre la señal a través de los árboles.

2.4.4. Atenuación debida a la atmósfera

Debida principalmente a la absorción por moléculas de oxígeno, de la energía de señales entre los 60 y 118 GHz y por moléculas de agua en las bandas de 22, 183 y 325 GHz. La lluvia puede producir atenuaciones hasta de 0,01dB/Km en frecuencias superiores a 1.5GHz, pérdida significativa en enlaces satelitales.

2.4.5. Dispersión, Difracción, Reflexión.

La señal generada por un transmisor “estación base” generalmente encuentra obstáculos en su trayectoria produciéndose los fenómenos de dispersión, difracción o reflexión que se acentúan según el ángulo de incidencia del frente de onda de la señal, el tamaño, el material y la forma del obstáculo. La dispersión se produce cuando una onda atraviesa un medio que contiene un gran número de objetos por unidad de volumen de tamaño comparable con la longitud de onda, absorbiendo la energía de la señal tal y como lo hace la vegetación, un muro de ladrillos, un arrume de papel, etc.

En los sistemas de radiocomunicación, la difracción se produce cuando una onda incide sobre un terreno irregular dando como resultado ondas secundarias con

inclinación respecto a la trayectoria de la onda principal formando lo que se conoce como ZONAS DE FRESNEL, Figura 11.

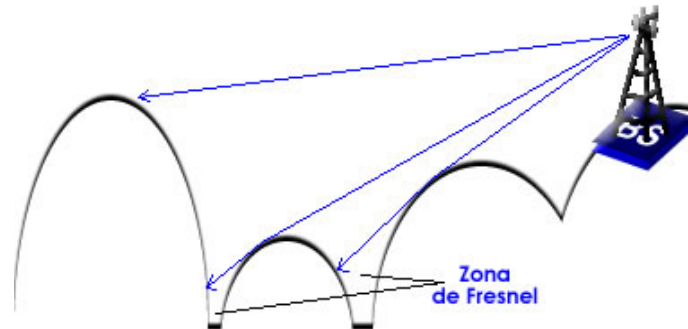


Figura 11. Filo de cuchillo y zona de Fresnel.

Fuente: Autor

Por lo tanto, además de los obstáculos que interrumpen la línea de vista entre el transmisor y el receptor, aquellos que se encuentren dentro de la zona de Fresnel, producirán atenuación y multitrayectorias de la señal que serán más fuertes entre más direccional sea ésta.

La reflexión se produce cuando el tamaño y el material de la obstrucción no absorben la totalidad de la energía de la onda, devolviendo gran parte de la energía, pero con una trayectoria diferente. Una montaña es un buen reflector y en muchos casos el fenómeno de multipropagación genera efectos positivos como se ve en la Figura 12.

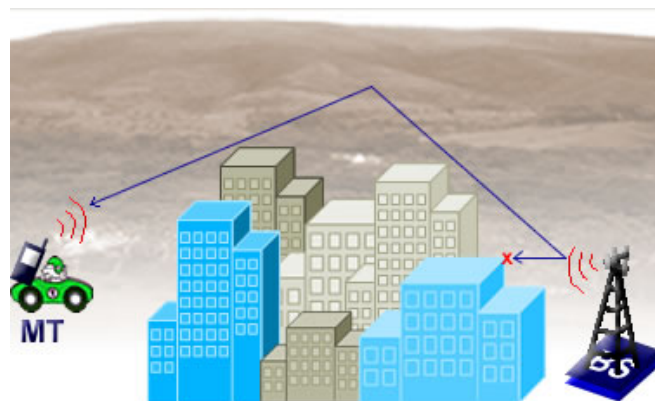


Figura 12. Reflexión y multitrayectorias.

Fuente: Autor.

En otros casos, la señal reflejada genera interferencia con la señal que originó el transmisor produciendo tres problemas en la recepción de la señal conocidos como: Delay-spread, Rayleigh fading y Doppler shifts.

2.4.6. Delay-Spread

El retardo de propagación o propagación de multitrayectorias es producido por la reflexión de la señal, la cual al tomar trayectorias diferentes, alcanza al receptor en tiempos distintos como se observa en la Figura 13.

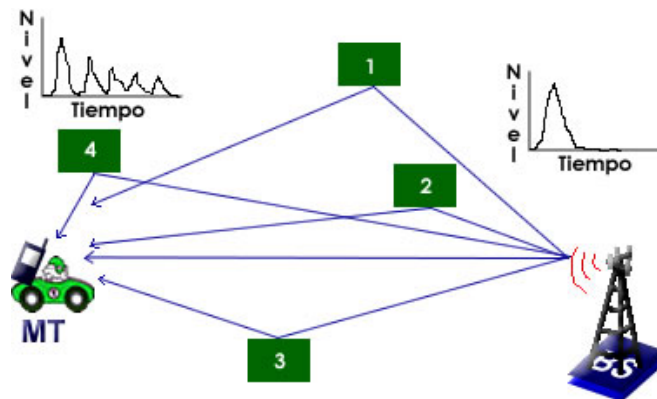


Figura 13. Propagación en multipropagación y multitrayectorias.
Fuente: Autor.

La tabla 6 muestra la relación entre el medio de propagación y el retardo máximo esperado

Medio de Propagación	Delay-spread (µsegundos)
Área abierta	<0.2
Área Rural	1
Área Montañosa	30 – 50
Área Suburbana	0.5
Área Urbana	3
Interiores	0.1

Tabla 6. Retardo de Propagación en multipropagación vs. Medio de propagación.
Fuente: Radio Propagation in Cellular Network, Natham Blaunstein .

Se puede calcular dicho retardo utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Propagacion Multitrayectoria} = \frac{\text{Trayectoria más larga} - \text{Trayectoria más corta}}{c}$$

En sistemas digitales el resultado del retardo de la propagación multitrayectoria es la INTERFERENCIA INTERSIMBOLO (ISI).

2.4.7. Rayleigh Fading

El desvanecimiento por retardo de trayectoria o rápido desvanecimiento, consiste en la situación en que dos trayectorias se cancelan sí, las dos poseen igual atenuación y están retardadas una de otra por un tiempo exactamente igual a un número impar de media longitud de onda. Si el periodo es un número par las dos señales se refuerzan. Para cualquier otra situación respecto al periodo la situación fluctúa entre estos dos límites, dicha fluctuación se conoce como PEQUEÑA ESCALA DE DESVANECIMIENTO y depende del ancho de banda de la señal transmitida, el retardo de propagación multitrayectoria recibido, aleatoriedad de fase y amplitud de los componentes multitrayectoria y la movilidad del transmisor o el receptor.

En sistemas móviles se utiliza la ley de Rayleigh para definir el fenómeno, esta ecuación se conoce como la función de distribución de Rayleigh:

$$f_r = \frac{2r}{\alpha} \exp\left[-\frac{r^2}{\alpha}\right]$$

Donde, $\alpha/2$ es la medida de potencia de la señal y r la de la señal superpuesta (≥ 0).

2.4.8. Doppler Shift.

El efecto Doppler es un fenómeno causado por la velocidad relativa entre el receptor y el transmisor, lo cual produce un cambio en la frecuencia percibida por el receptor respecto a la originalmente transmitida, es decir, que ocurre un cambio de frecuencia. Ver Figura 14.

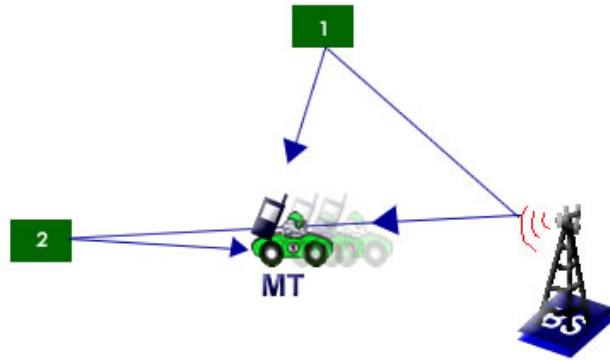


Figura 14. Efecto Doppler en presencia de multitrayectorias.
Fuente: Autor.

La frecuencia resultante puede expresarse de la siguiente forma:

$$\text{Doppler Spread} = f_o \frac{\Delta V}{c}$$

Donde f_o es la frecuencia portadora del transmisor, c la velocidad de la luz y ΔV el diferencial de velocidad entre el transmisor y el receptor. Es importante tener en cuenta que el fenómeno puede tomar como transmisor, la emisión de una reflexión, por lo cual aparecen varias frecuencias aleatorias pero, la velocidad de los móviles generalmente, no produce un efecto de cambio de frecuencia significativo, tan solo de algunas decenas de Hz.

3. SISTEMAS DE TELEMETRIA CELULAR EN COLOMBIA

La cantidad de suscriptores en Colombia que utiliza la red celular para sus procesos de telemetría son muy pocos comparados con los usuarios de telefonía móvil celular, sin embargo los cambios en las tecnologías impulsados por estos últimos determinan las características de la tecnología usada en la telemetría celular a nivel mundial.



Figura 15. Cubrimiento de Cellemetry en Colombia.
Fuente: www.nmr.com

En la primera generación, el sistema celular AMPS dominó ampliamente el mercado por lo cual la transmisión de datos en general se basaba en el

aprovechamiento de los canales de control asignados conjuntamente para la transmisión de voz. La baja capacidad de los sistemas basados en FDMA dio la razón para el surgimiento de una segunda generación en telefonía móvil celular basada en la tecnología TDMA y CDMA, de carácter totalmente digital y no compatible con la primera.

3.1. Cobertura

La cobertura de la telemetría celular en Colombia es prácticamente similar a la presentada para el servicio de voz y son igualmente importantes para los operadores BELLSOUTH y COMCEL.



Santander

Figura 16. Cubrimiento Celular de BELLSOUTH en Santander.
Fuente: www.bellsouth.com.co

En la Figura 15. se observa el cubrimiento Celular en Colombia por la empresa BELLSOUTH la cual utiliza tecnología TDMA y CDMA. El otro operador Celular es COMCEL (TDMA, GSM) y su mapa de cubrimiento es similar al de BELLSOUTH, claro está que BELLSOUTH es el segundo operador celular con mayor cobertura en el país. A manera de ejemplo local se puede observar en la Figura 16. el mapa de cubrimiento celular para el departamento de Santander.

En las dos situaciones se puede analizar que la cobertura se planifica de acuerdo a las áreas más densamente pobladas con el fin de que el costo por usuario sea menor, sin embargo, debido a que el servicio de telefonía rural es tan deficiente, los operadores han decidido ofrecer cobertura en pequeñas poblaciones donde predomina el medio de propagación rural. Cabe enfatizar que en las áreas donde no existe cubrimiento, también es imposible acceder al servicio de telemetría, por lo cual para un Terminal móvil localizado en dichas zonas, un vehículo por ejemplo, no sería ubicado por ninguna estación base.

3.2. AMPS y Telemetría (1G y 2G)

Ancho de Banda	Frecuencia de la portadora (MHz)	Canales	Canal de Control	Canal de Código	Canal de Voz
30KHz	825-845 SM-BS 870-890 BS-SM	666 (321+12)x2	Digital en modulación FSK, Manchester a 10Kbps	825-845 SM-BS 870-890 BS-SM	AGG Mod: PM

Tabla 7. Características principales AMPS.

Fuente: Autor

El servicio de telefonía móvil avanzado o sistema AMPS (Advance Mobile Phone Service) disponible desde 1983, se definió como el estándar Estadounidense de telefonía móvil analógica. Los primeros sistemas analógicos emplearon dos tipos de canales: uno de control, el cual es digital y modulado en FSK, que se establece mientras se inicia la conversación. Otro usado para la transmisión de voz en FM.

Para acceso al medio de varios usuarios dentro de la misma celda, se utiliza la tecnología FDMA. La Tabla 6. muestra las características principales del sistema AMPS.

El sistema básico en AMPS consiste de un Terminal móvil o estación móvil (MS), una estación base o punto de acceso (BS) y una oficina de conmutación de telefonía móvil o central de conmutación móvil (MSC).

3.2.1. Interconexión en AMPS

La MS establece comunicación con la BS más cercana, a su vez, esta última se conecta con la MSC que se encarga de establecer la comunicación con otras estaciones base o con la red pública conmutada PTSN. Los datos necesarios sobre el establecimiento de la llamada son intercambiados a través de los canales de control. Una vez se establece la llamada, la voz es transmitida por los canales correspondientes entre la MS y la BS, y la trayectoria de la llamada es definida por la MSC. Si la calidad de la señal se deteriora en el transcurso de una llamada, se realiza un cambio de celda, proceso conocido como handoff o handover. La MSC cambia el canal de voz a la nueva BS.

3.2.2. Mobile Switching Central (MSC)

La MSC posee toda la señalización para realizar la comunicación de llamadas desde y hacia la red pública, para conmutar las llamadas establecidas en el sistema radio (MS – BS).

La MSC se interconecta con la BS a través de varios canales de voz y dos o más canales de control, realizando tareas que conlleven a la asignación de canales, ajuste del nivel de potencia del Terminal móvil, establecimiento y finalización de llamadas, conmutar con la red pública y Tarifar mediante TT(Toll Ticketing).

Una estación base se compone de una interfaz radio y un grupo de canales. La interfaz radio se encarga de mantener la comunicación con la MSC. Cada grupo de canales está compuesto por: unidad de canal, transmisor/receptor, receptor de intensidad de canal, oscilador de referencia, interfaz radio (BS - MS), sistema de antena, unidad de control y su unidad de control de respaldo.

Al conjunto de antenas y transceptores de radio (Tx-Rx) se le denomina Subsistema de Estación Base (BSS), cada antena puede interactuar con un transceptor, el Control de la Estación Base (BSC) se encarga del control de la conmutación entre antenas y transceptores. El conjunto de antenas y transceptor de radio se denomina Subsistema de Transceptor de la estación base (BTS). Por lo tanto un sitio celular se compone básicamente de un BSC y una BTS.

3.2.4. Mobile Station (MS)

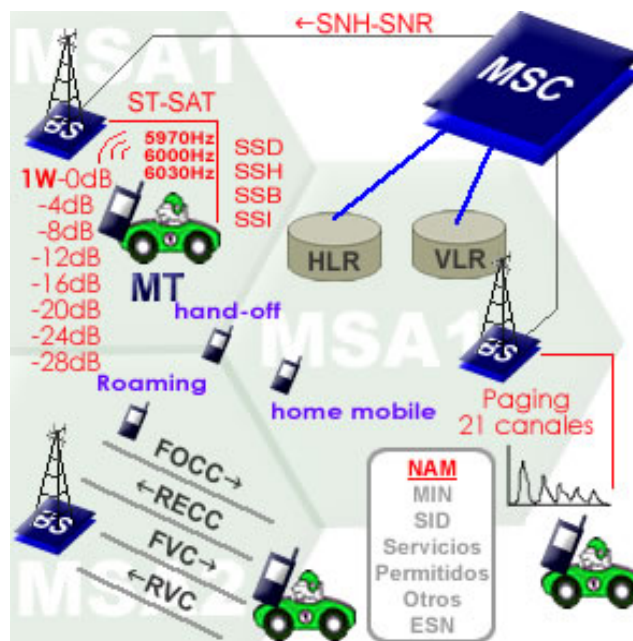


Figura 19. Estación Móvil.

Fuente: Autor

La estación móvil (MS) o Terminal móvil (MT) es quien determina las principales variables del sistema (potencia de Tx, Potencia de Rx, asignación de canal,

interferencia co-canal) debido a la aleatoriedad de su ubicación respecto a la estación base.

De acuerdo con el tipo de medio de propagación, la zona de influencia de una MSC se denomina MSA (Área de estadísticas metropolitanas) o RSA (Área de estadísticas Rurales). Una MSC puede establecer una o más celdas de acuerdo al número de estaciones base con que interactúe, a su vez, a cada estación base estarán asignados canales de comunicación para las diferentes estaciones móviles. Cada estación móvil posee un NAM (Modulo de Asignación Numérica) que le sirve para identificarse dentro de la celda, respecto a su MSC Local y dado el caso, respecto a la MSC de Servicio. El NAM está compuesto principalmente por un MIN (Número de Identificación Móvil, definido por el operador), un SID (Identificación del Sistema, al cual está asociado a una MSC) y un ESN (Número Serial Electrónico, definido por el fabricante).

Para que el sistema pueda ubicar una estación móvil dentro de su red, la MSC posee dos bases de datos: HLR (Home Local Register) o registro de usuarios de área local, y VLR (Visitor Location Register) o registro de localización de usuarios visitantes al área local. El HLR contiene la información de todas las estaciones móviles que se encuentran suscrita a la MSC y el VLR contiene la información de la celda donde está ubicada cada una de las estaciones móviles que se encuentran dentro de la MSA o RSA. Entonces, una estación móvil se denomina como "home mobile" si la MSC la tiene registrada dentro de su HLR ó se denomina "roaming" si la MSC la tiene registrada dentro de su VLR pero no así, dentro de su HLR. En términos castizos se hablaría de un Terminal móvil local y un Terminal móvil vagabundo o visitante.

En la estación base, la unidad de control del canal de voz se encarga de supervisar los niveles de calidad de la señal entre ésta y su estación móvil, haciendo comparaciones con dos valores suministrados por la MSC: SNR (Relación señal a ruido para la petición handoff) y SNR (Relación señal a ruido

para la liberación de llamada). Además, la unidad de control del canal de voz hace comparaciones entre las mediciones obtenidas por el receptor de radio y cuatro valores, que son: SSD - Valor de Intensidad de Señal para petición de disminución de potencia. - ; SSI - Valor de Intensidad de Señal para petición de incremento de potencia. - ; SSH - Valor de Intensidad de Señal para petición de handoff. -; SSB - Valor de Intensidad de Señal para bloqueo. Esta última ocurre cuando no existe conversación y persiste un nivel de señal en el receptor radio, por lo cual se bloquea el canal para evitar posibles interferencias co-canal.

Si la señal transmitida por la estación móvil supera el SSD, se le solicitará disminuir su potencia como se ve en la Figura 20., donde para 0dB la potencia típica de un handset en AMPS es de 1W. Esto depende, entre otras cosas, a la distancia entre la estación móvil y la estación base. Si el nivel de señal cae por debajo del SSI, se ordena a la estación móvil aumentar su potencia, pero si la estación móvil no puede aumentarla y dicho nivel está por debajo del SSH, entonces se envía la petición de handoff a la MSC. Esto mismo ocurrirá si la señal cae por debajo del SNH. Si en ninguno de los dos casos se llega a producir el handoff, la señal seguirá deteriorándose hasta pasar por debajo del SNR, y como resultado, pérdida de la comunicación.

En todo caso, el handoff es coordinado por la MSC para lo cual debe determinar que estación base será la que pueda prestar mejores niveles de señal a la estación móvil, además como no se tiene disponible un canal de control adicional, pues el handoff se produce mientras el canal de voz está activo, la unidad de control del canal de voz utiliza tonos para la señalización que sean fácilmente eliminados por los filtros de audiofrecuencia. Los tonos se definen en las frecuencias de 5970Hz, 6000Hz y 6030Hz, uno solo para cada estación base, y se denominan: ST (Tono de señalización "10KHz") y SAT (Tono de audio-supervisión), éste último se envía constantemente, mientras que el primero se genera para cerrar el canal por finalización de la llamada o por el proceso de handoff.

3.2.5. Paging (Búsqueda) y Acceso

Para poder establecer la comunicación desde o hacia una estación móvil, el Terminal móvil al encenderse lee las cabeceras de los canales de control y determina si pertenece a la MSA. Explora continuamente las cabeceras de los canales de control para identificar si esta recibiendo una llamada. Cuando una llamada va a ser recibida o generada, el Terminal móvil busca el canal que le brinde mejor nivel de señal y se sincroniza, finalmente debe comprobar que el canal este libre y se le señaliza para que conmute del canal de control al canal de voz.

Entonces, los primeros en intervenir en el proceso son los canales de control, los cuales permiten hacer el acceso o la búsqueda (paging), correspondientemente.

3.2.5.1. Canal Directo de Control FOCC

El canal se transmite desde la estación base, hacia las estaciones móviles, enviando tramas de 463bits de los cuales 10 son para sincronización, 11 de la palabra de sincronismo, 400 bits que conforman el mensaje y finalmente 42 bits que indican si el canal inverso de control RECC se encuentra ocupado o desocupado. Cada mensaje está compuesto por dos palabras de 28 bits, cada una con un código de corrección de error (BCH) de 12 bits, para un total de 40 bits por palabra. Como cada palabra se repite por seguridad 5 veces, el total es de 400 bits por mensaje. Estos mensajes pueden ser:

Mensajes de CONTROL de la estación móvil:

- Paging o Búsqueda: Envía un mensaje solicitando un Terminal móvil en particular.
- Designación del canal de voz: Durante el establecimiento de la llamada, da la orden al Terminal móvil para conmutar al canal de voz.

- Reintento direccionado: Se envía cuando el MSC falla en la asignación de canal porque todos los canales de la célula se encuentran ocupados.

Mensajes de ENCABEZADO:

- Mensaje de encabezado de parámetros del sistema (SPOM). Se envía cada segundo. Puede contener la siguiente información: SID (Identificación de Sistema); AID (Identidad de Área); DCC (Código de Color Digital); PAC Indica si este canal de control es un canal combinado de acceso/paging (YES o NO, normalmente =YES); NAC Indica el número de canales de acceso normalmente en operación (normalmente NAC = 21); S Indica sí el número de serie de la estación móvil debe ser enviado cuando la estación móvil acceda el sistema; E Indica si los 10 dígitos en el número de la estación móvil deben ser enviados o si los 7 últimos dígitos significativos son suficientes; REGH Indica si se solicita el registro periódico de un abonado local o no; REGR Indica si el registro periódico de los abonados en roaming se necesita o no.
- Mensaje de encabezado de acción global (GAOM). Puede contener la siguiente información: Incremento de registro (REGINCR); (OLC) Control de sobrecarga.
- Mensaje de encabezado de identificación de registro (REGID).
- Mensaje de encabezado de control de llenado (CF).
- Mensaje de encabezado de identificación de registro. (REGID).

Las cabeceras de estos canales de control, permiten a la estación móvil determinar si se encuentra dentro de su sistema de MSC o si está entrando una llamada. Cuando se requiere establecer comunicación, la estación móvil determina con que canal recibe mejor nivel de señal explorando los diferentes canales FOCC.

3.2.5.2. Canal Inverso de Control RECC

El canal se transmite desde la estación móvil, hacia la estación base, enviando tramas de 528bits de los cuales 30 son para sincronización, 11 de la palabra de sincronismo, 7 la respuesta del DCC, 480 bits que conforman el mensaje. Cada mensaje está compuesto por dos palabras de 36 bits, cada una con un código de corrección de error (BCH) de 12 bits, para un total de 48 bits por palabra. Como cada palabra se repite por seguridad 5 veces, el total es de 480 bits por mensaje. Estos mensajes pueden ser:

- Respuesta al paging
- Acceso desde una estación móvil
- Orden de confirmación

3.2.6. Cellemetry en AMPS

La comunicación que se establece por medio de los canales de control es superior a la de los canales de voz, pues antes que nada, los canales de control son digitales y además poseen niveles de potencia mayores, lo que se refleja en calidad en la comunicación y mayores distancias entre la estación base y la estación móvil. Los planes de re-uso de frecuencia para los canales de voz son de 7 a 1 mientras que para los canales de control son de 12 a 1 por lo que se disminuye la interferencia co-canal y aumenta la posibilidad de encontrar un canal libre. Adicionalmente, los operadores dan mayor prioridad a los canales de control que a los de voz, por lo tanto, la ineficiencia del sistema AMPS en cuanto al aprovechamiento de los canales de control da rendimiento mediante el sistema de Telemetría Celular o CELLEMETRY, el cual puede operar donde ningún handset lo haría.

El sistema Cellemetry de la empresa NUMEREX, en su momento aprovechó los 21 canales de control utilizados por el sistema AMPS para la búsqueda y el acceso de los terminales móviles al sistema.

El servicio Cellemetry hace uso de los mensajes de encabezamiento de los canales de control para transportar sus propios mensajes sin deteriorar el funcionamiento de la transmisión de voz de la celda en particular, además el flujo de datos del servicio Cellemetry es exactamente el mismo que un teléfono celular en roaming, el cual se describe a continuación: La información de identificación del sistema SID se difunde a toda la célula a través del FOCC. Cuando un teléfono celular es encendido, éste lee las cabeceras del FOCC y determina si el SID corresponde a la MSA o RSA donde se encuentra inscrito; en el caso de Cellemetry, este siempre actúa como un Terminal móvil en roaming, por lo que envía su MIN y su ESN a través del RECC. La MSC local examina el HLR y si no lo encuentra, solicita a la MSC de servicio su existencia como cliente del operador.

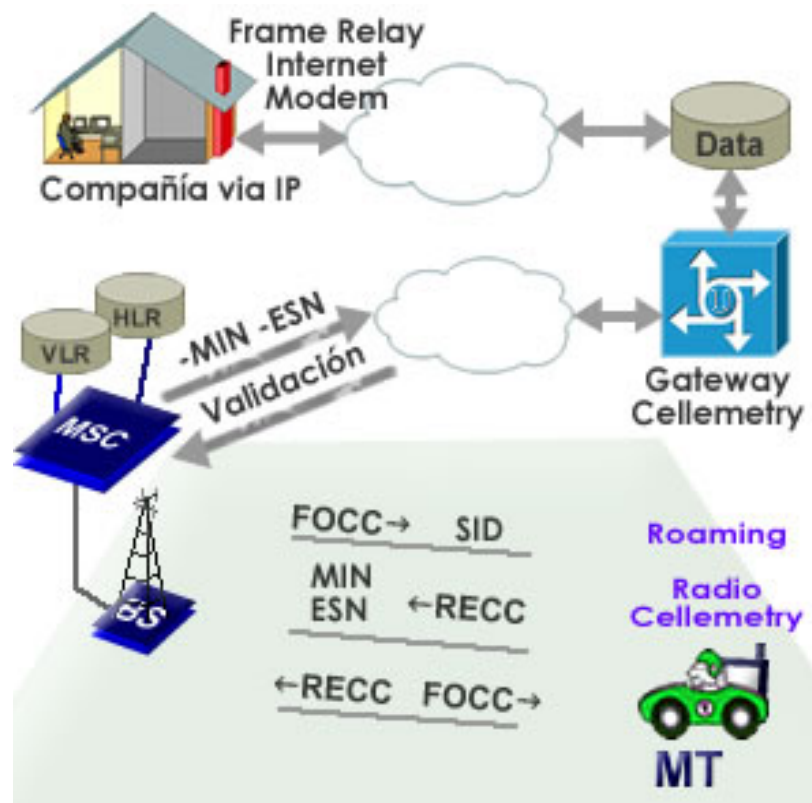


Figura 20. Funcionamiento del sistema Cellemetry sobre AMPS
Fuente: Autor

El GATEWAY del sistema Cellemetry que está conectado a la red de MSC identifica el Terminal móvil Cellemetry y retorna un mensaje a través del MSC

indicando al radio Cellemetry la validación del MIN y el ESN. La Figura 21 ilustra el proceso.

El registro del usuario en roaming en el VLR permanece normalmente por un periodo de 24 horas o hasta que se detecte que la estación móvil cambio de sistema o MSC, por tal motivo el sistema Cellemetry podría llenar rápidamente el VLR, sin embargo este registro permanecerá en la base de datos tan solo unos segundos pues el Gateway envía después de cierto periodo de tiempo, un mensaje de cancelación de registro.

El flujo de la comunicación en el servicio de datos de Cellemetry va en oposición al FOCC. El servicio inicialmente proporciona una entrada al Gateway utilizando un protocolo de mensajes IP por Frame Relay, Internet o línea telefónica hacia la compañía que presta el servicio de Cellemetry a sus correspondientes estaciones móviles. El Gateway en turno envía mensajes a la estación móvil de la MSC por la red de servicio de MSC. La MSC puede trasladar la información a la base de datos una vez acepte el MIN asociado a el área de servicio Cellemetry. En el mensaje de retorno, el Gateway no envía el ESN pero si varios pequeños paquetes de mensajes que determinan el control del radio Cellemetry identificado con el MIN correspondiente.

Finalmente, para evitar que equipos de transmisión de voz utilicen el MIN asignado a este tipo de estaciones móviles, se bloquean en el sistema de servicio de las MSC, esta es otra de las razones por la cual los radios Cellemetry siempre se encuentran como estaciones móviles en roaming.

3.2.6.1. Modos de operación

Hay dos modos de operación de los radios Cellemetry, en modo MODEM o en modo STANDALONE. En modo MODEM, el radio Cellemetry funciona exactamente como un modem, buscando y manejando la información en ambas

direcciones. Un controlador puede estar definido en modo MODEM para direccionar la acción del radio Cellemetry para iniciar la transmisión de mensajes por el RECC y para codificar la información a ser transmitida en el campo del ESN. El controlador también interpreta los MINs transmitidos en el FOCC a el radio Cellemetry y toma la acción apropiada. En el modo STANDALONE, el radio Cellemetry utiliza un software residente para proporcionar una funcionalidad definida con lo cual requiere de un controlador externo. Este modo está diseñado para aplicaciones donde el tamaño, el consumo de potencia y el costo pueden ser minimizados. En el modo STANDALONE, el radio Cellemetry puede ser usado para responder con un pulso continuo, tal como en un equipo de medida, con un retardo o periodicidad que depende de la transmisión del MIN en el FOCC. El radio cellemetry puede ser usado para apagar o encender dispositivos remotos en el modo STANDALONE.

En los dos modos, el radio Cellemetry puede responder a una búsqueda por difusión o broadcast. Esta característica en el diseño permite una búsqueda por el FOCC para iniciar miles de registros por el RECC.

3.3. CDPD (Cellular Digital Packet Data)

La Red de Datos de Paquetes Digitales Celulares o Cellular Digital Packet Data Networks opera en la banda de telefonía celular correspondiente a los 800MHz, sobre la plataforma D-AMPS. Los terminales CDPD actúan como módems para transferir datos a un sistema de gestión centralizado.

La Figura 21. muestra la arquitectura utilizada en la red CDPD, básicamente compuesta por:

Sistema final móvil (M-ES), Estación Base de datos móviles (MDBS), Sistema Intermedio de Datos Móviles (MDIS), Red Backbone IP, Sistema de Administración y Soporte de la Red (NASS).

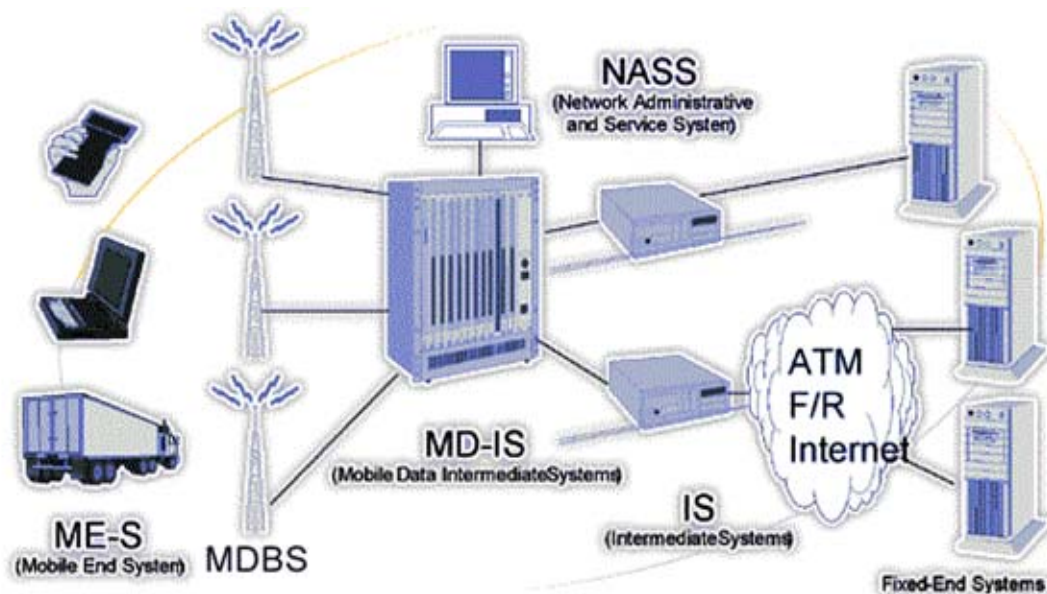


Figura 21. Red Celular de paquete de datos digitales CDPD
Fuente: www.cdpc.org/cdpc

Cabe aclarar que el sistema se soporta sobre la misma red celular, pero a diferencia de los radios Cellemetry, CDPD utiliza los canales de voz dedicados (de 30KHz), para el transporte de datos, lo que permite manejar velocidades de transmisión hasta de 19,2Kbps. Además para efectos de transporte de datos, CDPD se basa en el protocolo TCP/IP, habilitando al sistema en comunicaciones en las que se requiera la transferencia de una gran cantidad de datos.

La funcionalidad del protocolo CDPD consiste en comprimir, segmentar y adicionar cabeceras de control a los paquetes Ethernet que se generan en el ME-S. Las cabeceras son necesarias para el control y la detección de errores, por lo cual la tasa efectiva de transición realmente es de aproximadamente 13.1Kbps tanto para el canal Forward como para el canal Reverse.

La transmisión de datos sobre el canal CDPD está basado en codificar 47 bits de datos en un Código (63,47) Reed-Solomon (RSA) el cual puede corregir tanto como $(63 - 47)/2 = 8$ errores, finalmente la palabra codificada es transmitida en modulación GMSK. Las cabeceras adicionan confiabilidad y seguridad, pues de

ésta forma, CDPD incorpora procesos de registro, autenticación y cifrado, las cuales son analizadas por el NASS para identificar al suscriptor e impedir clones en el sistema.

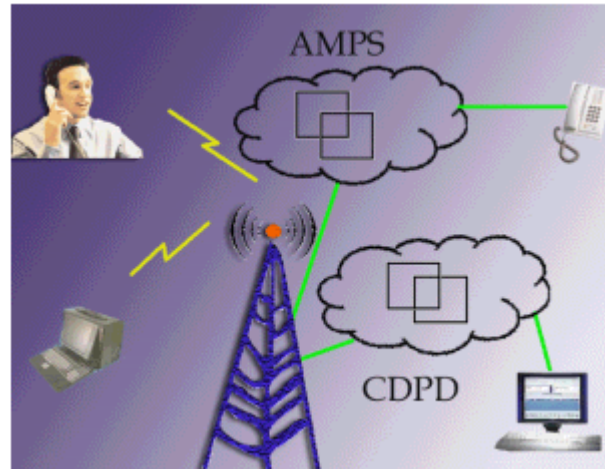


Figura 22. CDPD y AMPS
Fuente: www.ericsson.com.mx

Este sistema también fue utilizado en la telemetría vía celular en Colombia, en los equipos para telemetría celular y sigue vigente en algunas aplicaciones debido a que es utilizado por las redes de cajeros electrónicos, asegurando un número importante de usuarios.

En los sistemas de localización de vehículos Cellemetry y CDPD fueron tecnologías cuya competencia se dio directamente hasta que BELLSOUTH se definió por manejar el Gateway de Cellemetry únicamente para este tipo de aplicaciones, ya que los costos por él gran área de cubrimiento eran menores al hacerlo con esta tecnología, claro, sin necesidad de deteriorar la calidad del servicio. Cabe mencionar que las estaciones móviles tuvieron que ser actualizadas al pasar de un sistema análogo a un sistema completamente digital con la llegada de D-AMPS.

3.4. D-AMPS (AMPS Digital)

Para los operadores, la propuesta de un sistema digital fue interesante debido al aumento en la capacidad de usuarios por celda, lo que reducía notoriamente los costos en la infraestructura, así que se creó la versión digital para el sistema AMPS, llamado comúnmente como DAMPS o AMPS/TDMA. En Colombia, reflejo de lo que ocurrió en EEUU, se establecieron dos estándares en la banda de 800MHz. TDMA y CDMA. Basados en la misma arquitectura de AMPS pero completamente diferentes e incompatibles respecto a la tecnología para acceder al medio. Además, los sistemas GSM ingresaron casi a la par que CDMA, lo que resultó en tres tecnologías diferentes y no compatibles la una con la otra, sobre la banda de los 800MHz.

La arquitectura utilizada para D-AMPS es prácticamente la misma que para AMPS, lo que cambia es la digitalización de la voz y el acceso al medio, por ello NUMEREX cambió sus equipos para acoplarse inicialmente a la tecnología TDMA, así el esquema de funcionamiento de los radios Cellemetry es prácticamente el mismo en AMPS y en D-AMPS solo que ahora los canales de control se les ha adicionado más cabeceras para sincronismo de la señal y mantener el slot de comunicación con la estación base, lo que es indiferente para el Gateway que es el que se encarga de mantener la comunicación en este tipo de servicio.

3.5. Deficiencias de Sistemas de Telemetría en AMPS.

Las empresas que utilizan la red celular para sus procesos de telemetría enfrentaron varios inconvenientes los cuales se pueden identificar como: CUBRIMIENTO, CAMBIO DE TECNOLOGIA y COSTO.

Según el tipo de aplicación los problemas eran más influyentes, así en sistemas donde la estación móvil no requería un desplazamiento continuo como en el caso de sistemas SCADA, el problema de CUBRIMIENTO es solucionado por otro tipo

de sistema de comunicación según como se dotara la unidad de transmisión remota o RTU, ejemplo: RF, fibra óptica o par trenzado.

En sistemas SCADA donde se utiliza la red celular, o en sistemas donde el volumen de datos es alto como en el caso de un cajero electrónico, CDPD “fue” la tecnología preferente.

En sistemas de Localización de Vehículos, CDPD fue tan solo una opción debido a que éste utiliza los canales de voz, en cambio Cellemetry se impuso por su alcance al manejar mayores distancias con la estación base ya que utiliza los canales de control los cuales tienen mejores características de potencia que los de voz y la cantidad de datos a transmitir no es tan elevada como para requerir de un canal de voz. Los radios Cellemetry que trabajaron en un comienzo lo hicieron en FDMA y eran bastante confiables, pero la joven red celular de Colombia para la época, con poco cubrimiento a pesar de los esfuerzos, mantenía a un vehículo fuera de las pantallas por mucho tiempo, sin saber su localización, principal razón de ser de la aplicación. Los radios Cellemetry que trabajan en TDMA poseen en la actualidad una red un poco mejor que la mencionada anteriormente, sin embargo sigue siendo el cubrimiento el principal problema ya que solo se le ha dado importancia a las vías vehiculares principales y generalmente cuando se roban un vehículo, lo primero que hacen es llevarlo a una carretera veredal donde no existe ningún cubrimiento celular.

Con el CAMBIO DE TECNOLOGIA, de FDMA a TDMA, los sistemas de localización de vehículos presentaron una característica en particular, antes que nada, los usuarios debieron reemplazar las estaciones móviles por radios que trabajaran en TDMA, pero el cambio por parte de los operadores no se dio de forma homogénea en todas las MSC del país, además en el caso de los radios Cellemetry, el Terminal móvil siempre es considerado dentro de la red como usuario en Roaming. Esta combinación de factores hacía que un Terminal fuese reconocido por una MSC y por otras no. Cuando un vehículo entraba en una MSA

o RSA y era rechazado por la respectiva MSC, el radio Cellemetry quedaba bloqueado y no respondía al paging, de tal forma que el vehículo que se esperaba siguiera en cubrimiento, se perdía en pantalla. La única solución para que estos radios fuesen reconocidos nuevamente consistía en un reset manual o automático al detectar el problema.

En cuanto a los costos, los radios Cellemetry presentan un menor costo de operación que los que utilizan CDPD pues estos no ocupan un canal de voz, además los radios Cellemetry se instalan en modo standalone para disminuir costos. En modo standalone, el radio Cellemetry solamente inicia la comunicación una vez es encendido o reseteado, algo que debe ocurrir únicamente al instalar el equipo. En operación normal, espera el paging y responde una vez es solicitado por la empresa de seguridad prestadora del servicio a través del Gateway. Por lo tanto la empresa debe generar una llamada y esperar a que el radio responda por medio de una segunda comunicación para establecer la posición del vehículo.

Para reducir costos, al radio se le asigna una función que a ciertos intervalos de tiempo inicie una comunicación, de tal forma que la empresa ahorra dinero pues no está haciendo la búsqueda del Terminal móvil si no que éste reporta sus coordenadas periódicamente.

NUMEREX Corp. actualiza su tecnología con las tendencias mundiales, por lo cual ya existen radios Cellemetry que pueden acceder por medio de CDMA y GSM lo cual aumenta notablemente la calidad de la transferencia de información; pero en Colombia el principal problema en la localización de vehículos es el cubrimiento de las redes celulares.

3.6. CDMA y Telemetría (3G)

En Colombia, CDMA se empieza a utilizar en el 2002 por la empresa BELLSOUTH, el mayor operador celular del país, mudando primero desde la

tecnología FDMA a TDMA y posteriormente a CDMA. Sin embargo tanto BELLSOUTH como COMCEL mantienen la tecnología TDMA en muchas regiones del país.

CDMA es una tecnología completamente digital, que aprovecha las técnicas de spread spectrum para el acceso al medio, además CDMA presenta una mejora de 10 a 15 veces más capacidad de acceso por celda que AMPS y hasta 3 veces más capacidad que los sistemas basados en TDMA. Comparando la señal emitida por un handset basado en TDMA, la potencia de la señal de un handset en CDMA está aproximadamente 30dB por debajo, lo que lo ubica prácticamente en el piso de ruido del Terminal en TDMA. Las potencias y los anchos de banda entre TDMA y GSM son similares, con la diferencia que GSM además de asignar un slot, produce saltos en la portadora del canal, mejorando así la seguridad y la integridad de la información. En la Figura 23. se puede observar las señales de CDMA y TDMA tomadas con un analizador de espectros.

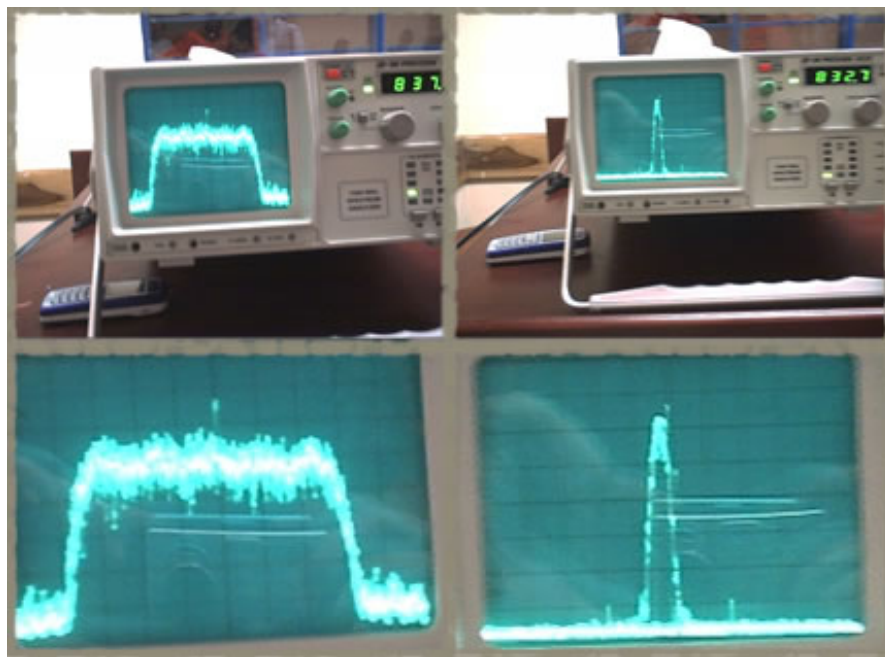


Figura 23. Espectro de CDMA y TDMA
Fuente: Autor

3.6.1. Tecnologías 2G, 2.5G y 3G

La señal de GSM (Global System Mobile) es muy difícil de capturar en el analizador espectral debido a que utiliza una combinación de TDMA con FDMA, cambiando constantemente de frecuencia portadora de forma aleatoria por intervalos cortos de tiempo, básicamente GSM utiliza un espectro de 25MHz donde FDMA los subdivide en 124 frecuencias portadoras de 200KHz cada una. TDMA subdivide cada portadora en ocho slots, lo que da mucha más capacidad de usuarios por celda que con AMPS o D-AMPS, obteniendo tasas de transmisión de 9,6Kbps.

Como ya se ha mencionado, GSM es el estándar Europeo para comunicaciones móviles y resuelve el problema en su zona pues inicialmente convivían hasta 5 tecnologías distintas en la región lo que impedía el funcionamiento de los equipos al pasar de una frontera a otra y dado que la filosofía Europea es la de integración, la respuesta fue GSM, para lo cual se reservó las frecuencias de 900MHz y 1800Mhz en Europa y posteriormente la banda de 1900MHz en Norte América.

En el mundo existen aproximadamente 650 millones de usuarios de GSM y unos 100 millones de CDMA, por lo que se espera una penetración mundial cada vez mayor de GSM. En Colombia puede ocurrir ya que BELLSOUTH Latinoamérica fue comprada por Telefónica de España, las cuales vienen manejando el estándar GSM. Esto no quiere decir que técnicamente sea mejor GSM que CDMA, para el autor es claro que CDMA obtiene mayor usuarios por celda, menos problemas de reuso de frecuencias, niveles de potencia menores en el handset y mejores niveles de integridad y seguridad en la transferencia de información.

La Tabla 8. recopila los diferentes tipos de tecnologías, para hacer una rápida comparación de sus características de transmisión de información.

Tecnología	Generación	Tipo de transmisión	Velocidad máxima
TDMA IS-136	2G	Conmutación de circuitos	9.6 Kbps
GSM	2G	Conmutación de circuitos	9.6 Kbps
PDC	2G	Conmutación de circuitos	9.6 Kbps
CDMA IS-95A	2G	Conmutación de circuitos	14.4 Kbps
CDMA IS-95B	2G	Conmutación de paquetes	64 Kbps
GPRS	2.5G	Conmutación de paquetes	115 Kbps
EDGE	2.5G	Conmutación de paquetes	384 Kbps
CDMA 2000 1X	2.5G	Conmutación de paquetes	144 Kbps
CDMA 2000	3G	Conmutación de paquetes	2.0 Mbps
WCDMA	3G	Conmutación de paquetes	2.0 Mbps

Tabla 8. Comparación entre las tecnologías inalámbricas

Fuente: Revista RED.

3.6.1.1. Conmutación de circuitos

Los sistemas 1G se diferencian de los 2G especialmente en que los primeros son analógicos como TDMA IS-45, y los segundos son completamente digitales como TDMA IS-136 (TDMA Estándar provisional 136). Básicamente el salto de 2G a 3G se produce por la forma como se establece la comunicación entre el Terminal móvil y la estación base; por conmutación de circuitos o por conmutación de paquetes.

La conmutación de circuitos, usada en la transmisión de voz por telefonía fija, también es usada desde los inicios de la telefonía celular en AMPS, TDMA IS-136, GSM, PDC (Personal Digital Cellular), CDMA IS-95 y otras más.

La conmutación de circuitos permite enrutar la transmisión de datos a una localidad específica para lo cual establece un “circuito” o conexión mediante un

canal de comunicación, por cualquier técnica de acceso al medio, manteniendo ocupado el canal así no se esté enviando información, por lo tanto el canal permanece ocupado mientras dura la comunicación.

3.6.1.2. Conmutación de paquetes

El sistema usado por las Redes de información a demostrado ser lo suficientemente eficiente como para implementarlo en las Redes celulares consideradas de 2,5G y 3G como GPRS (General Packet Radio Service), EDGE (Enhanced Data Rates for Global Evolution), CDMA2000 1X, CDMA2000 y WCDMA. En Colombia Bellsouth tiene los equipos en CDMA2000.

La Conmutación de paquetes no requiere de un canal permanente, solo cuando este va a transmitir el paquete y la información no requiere un orden de llegada ni un canal específico, ya que la información es reconstruida mediante la ordenación de paquetes en el receptor; esto permite velocidades de transmisión de hasta 2Mbps.

En Colombia COMCEL utiliza GSM para el manejo de voz y GPRS para acceso a red de datos o Internet.

3.6.2. Handset

El Terminal móvil o handset utilizado en CDMA se muestra en la Figura 24. La señal de audio es digitalizada en modulación PCM y comprimida por el VOCODER conjuntamente con información adicional de la señal y con códigos de señalización y tráfico formando una trama de 20ms que será transferida a una nueva etapa a 9,2Kbps, donde pasa por una etapa de codificación y convolución para transformar los bits en símbolos del sistema, por cada bit se generan tres o dos códigos de símbolo según la rata de transferencia. El canal en sentido inverso contiene en su

totalidad 576 símbolos. Los símbolos son transferidos a 28.8Ksps al bloque INTERLEAVER donde son intercalados y reordenados en bloques de símbolos de 20ms. Nuevamente se transfiere a los nuevos símbolos a 28.8Kbps a un modulador ortogonal convirtiendo los símbolos a un patrón de transmisión utilizando funciones de Walsh para obtener una señalización ortogonal 64-aria, formando un Chip de información, cada Chip contiene 64 símbolos transferidos a una tasa de 307.2Kcps para agregarle una ráfaga aleatoria de 1.2288Mcps desde un generador PN (pseudo Noise), de manera tal que se obtiene una señal ensanchada por secuencia directa (DSS). La señal se filtra y se modula sobre la banda de los 800MHz donde se mantiene rigurosamente su nivel de potencia.

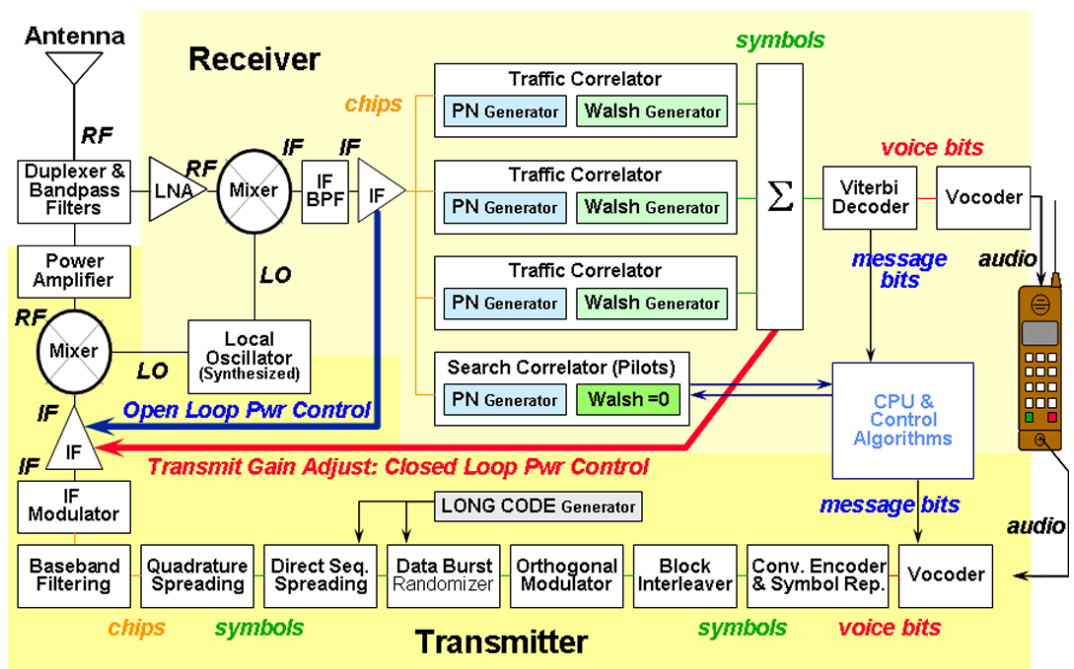


Figura 24. Handset para CDMA
Fuente: <http://www.nortel.com>

El Handset posee un duplexer que le permite enviar o recibir la señal, según como se opere. Cuando se transmite se utiliza el canal de sentido inverso y cuando se recibe se utiliza el canal en sentido directo. En los dos casos la información se ha agrupado en tramas de 20ms, codificadas en forma convolucional, intercaladas en bloque con modulación ortogonal 64-aria y dispersados en su transmisión. Un solo canal de radio ocupa el mismo espectro de 42 canales de 30KHz pero

respecto al re-uso de frecuencia, este sistema ofrece una relación de 10 a 1 respecto a AMPS. El canal de sincronización funciona a 1200bps en broadcast y los canales de anuncio a 9600bps, 4800bps o 2400bps; el canal de acceso en sentido directo transfiere datos a 4800bps.

3.6.3. Canal y figura de mérito.

El Terminal móvil siempre establece la comunicación a través de la estación base utilizando un canal para transmitir y un canal para recibir, definiéndose el primero como UPLINK o REVERSE LINK y el segundo como el DOWNLINK o FORWARD LINK separados uno del otro en 45MHz, en la banda de 800MHz, y con ancho de banda para CDMA de 1,25MHz. Por lo tanto un canal en CDMA está formado por un UPLINK y un DOWNLINK debidamente codificados para diferenciar cada usuario. El código establecido para el DOWNLINK debe contener: Pilot, Sync, Paging and Forward Traffic channels. El código establecido para el UPLINK debe contener: Access and Reverse Traffic channels.

En tecnologías AMPS, TDMA y GSM la señal debe ser lo suficientemente fuerte para sobrepasar cualquier interferencia y con niveles bajos de transmisión; dependen de la distancia con la estación base para vencer la interferencia debido a la reutilización de frecuencias. La calidad de la comunicación se establece por una adecuada planificación del uso de frecuencias para los usuarios co-canal lo que da lugar a que los usuarios cercanos, así como las células deben usar diferentes frecuencias para evitar la interferencia. La figura de mérito para estas tecnologías se define como la relación entre la potencia de la portadora respecto a la potencia de la proporción de interferencia, de tal manera que para AMPS es de 17dB, para TDMA es de 14 a 17 dB y para GSM es de 12 a 14dB

La figura de mérito en CDMA se define como la relación de energía por bit respecto a la densidad de interferencia o ruido espectral, es decir que se puede obtener como $E_c/I_o = -17\text{dB}$ a -2dB o como $E_b/N_o = -6\text{dB}$. Comparado con las

demás tecnologías el factor de mérito de CDMA es mejor debido a que cada usuario es una pequeña voz en medio de la bulla de la muchedumbre, pero con un código singular recuperable. Sin embargo la interferencia provendrá de usuarios cercanos compitiendo dentro de la misma frecuencia, por lo cual la potencia de transmisión desde el Terminal Móvil a la estación base es controlada para que está última reciba las señales de todos los usuarios con igualdad de nivel, usando los CÓDIGOS para diferenciarlos. La Figura 25. muestra la arquitectura a tener en cuenta si varios usuarios utilizan la misma frecuencia en cada una de las tecnologías en mención.

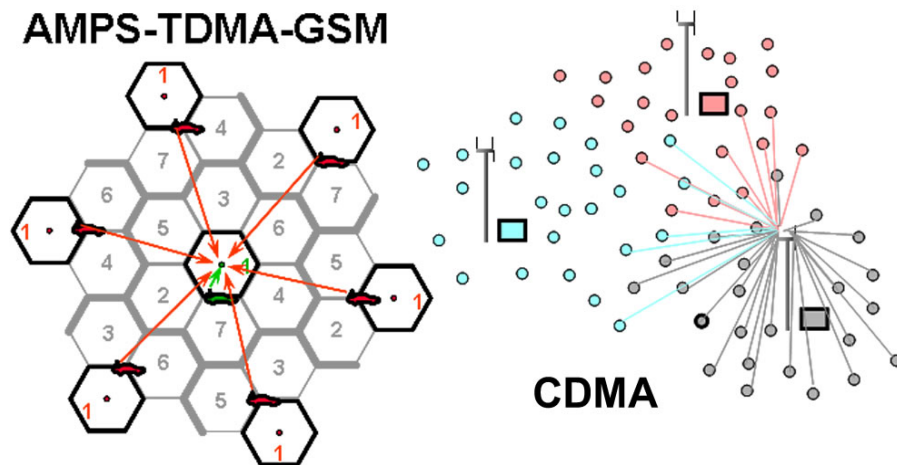


Figura 25. Planificación de Acceso al medio usando la misma frecuencia por usuarios de AMPS, TDMA, GSM y CDMA.
Fuente: <http://www.nortel.com>

3.6.4. Espectro Ensanchado.

La técnica SPREAD-SPECTRUM básicamente consiste en repartir la potencia de la señal que contiene la información en una serie de armónicos de menor potencia, resultando en una señal de mayor ancho de banda. CDMA se define a través de ésta técnica y pasa de manejar un ancho de banda de 15KHz a 1,25MHz. El resultado es una señal más resistente a las interferencias de banda estrecha y a las interferencias multi-caminos que otros tipos de modulación, también es segura debido a que por la potencia de la señal es menos detectable y

de serlo sería ininteligible si no se conoce el código apropiado para el desensanchamiento de la señal.

Para lograr el ensanchamiento del ancho de banda de la señal que contiene la información, es necesario modular ésta señal con una señal pseudoaleatoria cuyo ancho de banda es mucho mayor que la señal en banda base. Al conservar la energía de ésta última el resultado es una dispersión espectral de la señal de banda base. Los códigos empleados en la señal ensanchadora son números binarios 2^n por lo tanto son ortogonales entre sí, lo que hace resistente al sistema de interferencia co-canal y permite finalmente el acceso múltiple al medio. Si conoce el código pseudoaleatorio, el receptor puede desensanchar la señal demodulándola para obtener nuevamente la señal en banda base con una relación señal a ruido suficiente para obtener la información. La técnica empleada en CDMA es la de espectro ensanchado por secuencia directa.

CDMA utiliza tres diferentes secuencias de código, fácilmente generadas en cada enlace para ensanchar el espectro para crear un único canal robusto que será desensanchado al final de cada enlace tal y como se observa en la Figura 26.

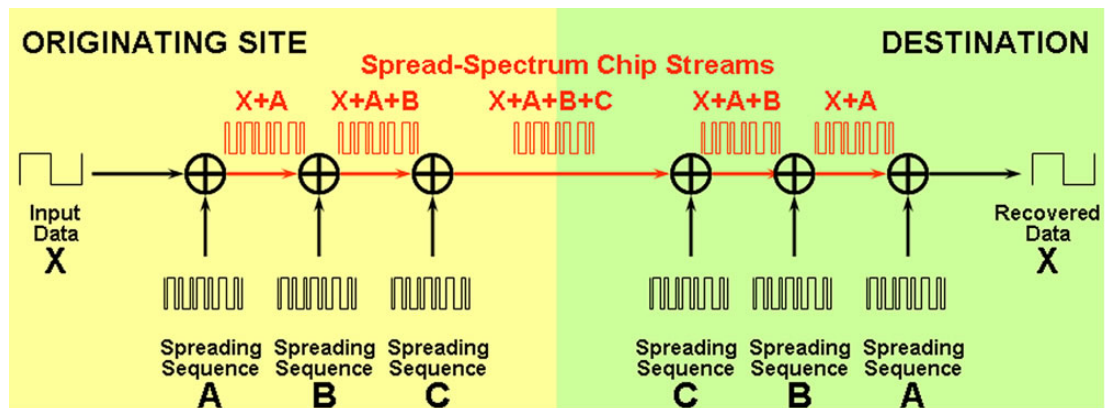


Figura 26. Técnica Spread-Spectrum en CDMA.
Fuente: www.nortel.com

3.7. SMS (Short Message Service)

Esta tecnología permite el envío de mensajes de hasta 160 caracteres, desde y hacia teléfonos móviles, apoyado en las tecnologías digitales. Su bajo costo ofrece una buena alternativa para la realización de telemetría dado que los mensajes entre máquinas se pueden desarrollar a través de estos caracteres. Los radios que utilizan SMS operan de forma similar a un teléfono celular, pero sin transmisión de voz, entonces, la economía consiste en que no es necesario establecer una llamada como por ejemplo en CDPD. Tanto para CDMA como para GSM, el costo es fijo, sin importar el número de caracteres que se están transmitiendo. Así esta opción es ideal para telemetría dado que los volúmenes de datos son también cortos y el sistema SMS es económicamente viable.

3.8. GPRS (General Packet Radio Service)

El paso de GSM de 2G a 2.5G se logra con una combinación de GSM/GPRS, donde la red GSM se encarga de la conmutación de circuitos para la transmisión de voz y GPRS de la conmutación de paquetes para la transmisión de datos encaminados a Internet. La Gran ventaja del sistema es que el Terminal móvil siempre está conectado, siempre y cuando tenga el servicio y el costo se realiza específicamente por la cantidad de información transferida hacia y desde el celular a la red. Las aplicaciones son muy similares a las que se pueden desarrollar desde un navegador de Internet, es decir, se puede chatear, enviar o bajar documentos, correo electrónico, transferencia de imágenes e ingreso a servicios WAP.

SMS se soporta sobre la infraestructura de GPRS para GSM siendo SMS la técnica más usada en telemetría, sin embargo, solo SMS, no establece por completo a algunas aplicaciones en las que se requiere mejor visualización por parte del usuario y sobre todo si la visualización o la interfaz usuario debe ser desde un equipo móvil. La empresa COMTRONIC de Barcelona, España presenta el módulo MT101 que se muestra en la Figura 27.



Figura 27. Modulo MT101 de la empresa COMTRONIC, España
Fuente: www.comtro.com

El módulo MT101 trabaja como RTU ModBUS dentro de un sistema SCADA. ModBus es un mecanismo de comunicación que cubre los niveles del modelo OSI de stack de comunicaciones y se encarga de recoger la información generada desde el proceso para transmitirlo a través de GPRS de la red GSM.

4. SISTEMAS DE LOCALIZACION DE VEHICULOS EN COLOMBIA.

4.1. Empresas del Sector

En Colombia Existe una muy buena oferta de servicios de localización y seguimiento de vehículos debido al orden público que vive el país y a las rebajas que dan las aseguradoras a los propietarios de vehículos por poseer dichos sistemas. Adicionalmente, el sistema como tal es compatible para muchas otras aplicaciones o se adquieren equipos que se soportan sobre la misma plataforma, básicamente como complemento de alarmas en general.

La resolución número 006363 del 30 de julio del 2002 dada en el gobierno del Presidente Pastrana establece que las empresas de transporte público terrestre deben poseer un sistema de localización y seguimiento de rutas de vehículos. Con esta resolución se busca la seguridad de los pasajeros, así los transportadores tienen plazo hasta el 30 de Diciembre del 2004 para cumplir la norma. Para el transporte terrestre de pasajeros a nivel internacional, es de obligatorio cumplimiento esta norma para la asignación de rutas.

NUMEREX CORP. conjuntamente con BELLSOUTH de Colombia suscribieron acuerdos para establecer el sistema mediante la tecnología CELLEMETRY, así la empresa AVL DE COLOMBIA se ha convertido en el distribuidor autorizado de dicha tecnología a nivel nacional.

Desde hace varios años vienen operando en el país empresas de localización y seguimiento vehicular como HONOR Y LAUREL, SKYTRACK, LOJACK, SECURITY SYSTEM, AXESNET, BISMARCK, GPS DE COLOMBIA,

SEGUIMIENTO VEHICULAR, RASTRACK, entre otras. Todas ellas utilizan radios CELLEMETRY y como consecuencia a BELLSOUTH para operar sus sistemas. En el 2003 los radios CELLEMETRY se popularizaron en Colombia, sin embargo el desarrollo de otras tecnologías basadas en SMS y GPRS y su llegada al país han ido desplazando en el 2004 a los radios CELLEMETRY, esperando para el 2005 aún mayor penetración de las primeras. Empresas como GPS de Colombia con sede en Bucaramanga para el 2005 cambia su política y empezará a distribuir solamente radios que manejen tecnología GPRS la cual incluye la utilización de la red de COMCEL. La razón, es los planes de cobertura que ha venido llevando COMCEL en el país, en zonas rurales.

<u>CODESA</u>	Acceso Remoto a su Oficina (Apuestas).
<u>GPS de Colombia</u>	Localización de Vehículos.
<u>CTM</u>	Acceso Remoto a su Oficina, Localización de Vehículos e Internet.
<u>LATCOM</u>	Cajeros Automáticos, Datáfonos Inalámbricos y Acceso Remoto a su Oficina.
<u>ARCANTEL</u>	Telemetría, Acceso Remoto a su Oficina, Internet y Localización de Vehículos.
<u>BISMARCK</u>	Alarmas, Acceso Remoto a su Oficina, Cajeros Electrónicos y Datáfonos Inalámbricos.
<u>SINERTEC</u>	Alarmas.
<u>CMV</u>	Acceso Remoto a su Oficina, Localización de Vehículos e Internet.
<u>GLOBALTRONICS</u>	Acceso Remoto a su Oficina, Localización de Vehículos e Internet.
<u>ICELL</u>	Localización de Vehículos e Internet.
<u>CONEXCEL</u>	Localización de Vehículos e Internet.

Tabla 9. Empresas soportadas por la red de COMCEL y aplicaciones

Fuente: www.comcel.com/avl.htm

De otro lado, los fabricantes de vehículos ya ven la localización como una necesidad y en el caso de CHEVROLET se viene instalando el Chevy Star, operando sobre la red de BELLSOUTH, prestará servicios adicionales a la

localización de vehículos como la apertura remota de puertas cuando se quedan las llaves por dentro, todo depende del paquete que se adquiera. Inicialmente en Colombia el Chevy Star estará disponible en los Grand Vitara, Optra, Corsa Evolution, Luv y Trail Blazer.

AVANTEL también ofrece sistemas AVL lógicamente basado en sus sistemas de comunicación móvil. En el caso de COMCEL, ya son varias las empresas que están siendo soportadas por este operador bajo la tecnología GSM/GPRS. Una lista se puede observar en la Tabla 9. donde se relaciona además de aplicaciones AVL, otro tipo de servicios.

A los sistemas CELLEMETRY y sistemas AVL se les ha dado múltiples aplicaciones adicionales, la apertura de Compuertas o retiro del trailer en los vehículos de carga, apagado remoto del motor, bloqueo del vehículo, etc.

Para el caso de otros sistemas en los que el principio es el mismo, se les ha dado múltiples aplicaciones, la empresa MOVATEC de Argentina ha incorporado el sistema en los chalecos antibalas para que estos reporten una alarma a una central, la cual dará la ubicación de la persona que ha sido atacada y que probablemente está herida. Realmente la cantidad de aplicaciones es muy numerosa y ayudará en un futuro a personas por ejemplo con pérdida de memoria, problemas cardíacos o para seguridad personal, sólo falta disminuir el tamaño del equipo para hacerlo más portátil como ya lo es un teléfono celular.

Muchos teléfonos celulares a nivel mundial utilizan o incorporan un GPS, lo que resta es la aplicación.

4.2. Sistema de Posicionamiento Global (GPS)

Los sistemas GPS se soportan en 24 satélites debidamente reglamentados por el gobierno de EEUU ubicados sobre la órbita MEO a unos 20.200 Km de la

superficie terrestre. Estos satélites están enviando de forma continua información sobre posición y tiempo. El equipo receptor interpreta esta información para obtener la latitud, la longitud y la altitud de su posición en la tierra. Los Satélites están ubicados de forma tal que en la bóveda terrestre siempre aparecen por lo menos 4 de ellos, con lo cual se puede realizar el proceso conocido como triangulación para obtener la ubicación exacta. Cada satélite recorre la bóveda terrestre en aproximadamente una hora.

Los equipos AVL poseen un GPS con el cual se establece la posición exacta del vehículo para entregar dicha información a un operador o empresa de seguridad a través de satélites de la órbita LEO o como frecuentemente se ha descrito, a través de la red Celular.

Existen dos servicios de posicionamiento global cuya diferencia radica en la exactitud, el utilizado por los sistemas AVL es el servicio SPS o servicio de posicionamiento normal, donde en el 95% de los casos el error no supera los 100m en la horizontal, 156m en la vertical y 185m en 3 dimensiones. El otro servicio, de mayor exactitud, es para uso militar y se denomina PPS o servicio de posicionamiento preciso, donde en el 95% de los casos el error no supera los 22m en la horizontal, 27.7m en la vertical y 34.5m en tres dimensiones. El error en el tiempo no supera los 340ns y los 200ns respectivamente.

La constelación de satélites GPS se ha diseñado de tal manera que su principal función es la geolocalización, cuyo principio fundamental es la medición de tiempo que dura en llegar una señal de radio desde el satélite hasta un receptor en tierra. Con este dato del tiempo y con la velocidad conocida para una onda electromagnética, se obtiene realmente la distancia entre el satélite y el receptor terrestre. Para obtener una medición exacta del tiempo, todas las partes del sistema se encuentran en sincronismo y producen un código pseudoaleatorio de tal forma que la diferencia de tiempo entre el código generado por el receptor terrestre y el código recibido desde el satélite definen el diferencial de tiempo

necesario para que el receptor determine la distancia con el satélite. Dicha distancia establece el radio de una esfera donde el satélite es el centro de la misma, de tal forma que se puedan establecer una serie de coordenadas tal y como se muestra en la Figura 28.

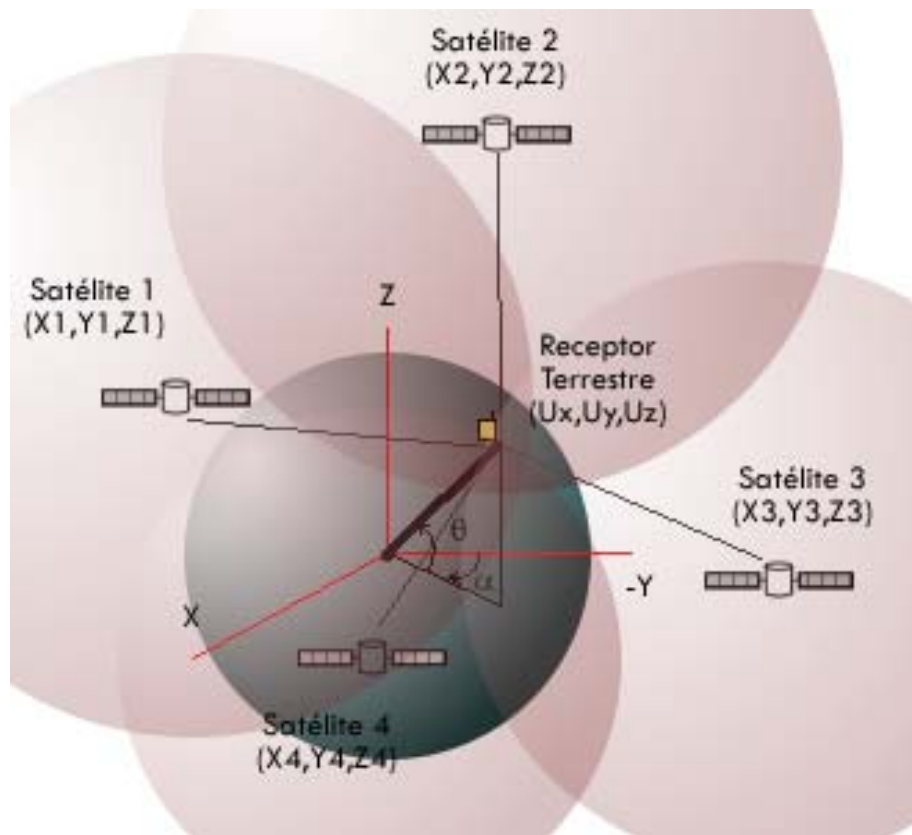


Figura 28. Geolocalización con GPS
Fuente: Autor

Estas coordenadas se utilizan para establecer un sistema de cuatro ecuaciones con cuatro incógnitas, lo que permitirá encontrar U_x , U_y , U_z y r_4 de tal forma que se obtiene la longitud, la latitud y la altitud. Con tres satélites se podría obtener la longitud y la latitud pero el margen de error se disminuye notablemente al utilizar un cuarto satélite dado que con este se puede tener en cuenta el error del reloj

(Cb), además habilita al sistema para el cálculo de altitud. Las siguientes son las ecuaciones respectivas:³

$$\begin{aligned}(X_1 - U_x)^2 + (Y_1 - U_y)^2 + (Z_1 - U_z)^2 &= (r_1 - C_b)^2 \\(X_2 - U_x)^2 + (Y_2 - U_y)^2 + (Z_2 - U_z)^2 &= (r_2 - C_b)^2 \\(X_3 - U_x)^2 + (Y_3 - U_y)^2 + (Z_3 - U_z)^2 &= (r_3 - C_b)^2 \\(X_4 - U_x)^2 + (Y_4 - U_y)^2 + (Z_4 - U_z)^2 &= (r_4 - C_b)^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Latitud = \theta &= \cos^{-1} \left[\frac{\sqrt{U_x + U_y}}{|U|} \right] \\Longitud = \alpha &= \tan^{-1} \left[\frac{U_x}{U_y} \right]\end{aligned}$$

r1, r2, r3 y r4 son las distancias desde los satélites hasta el receptor terrestre.

Los sistemas de posicionamiento global utilizan CDMA para reducir la interferencia atmosférica y entre los mismos satélites, de tal forma que cada satélite se identifica por un código específico ya que en la bóveda celeste pueden confluír hasta seis satélites simultáneamente.

Cada equipo utilizado en los sistemas AVL posee su propio GPS el cual entrega al radio celular los datos para ser transmitidos a la central, bien sea por solicitud de la central de servicio o por reestablecimiento de la señal.

Se ha mencionado que el problema de la red celular es el cubrimiento, en el caso del sistema GPS este también es un inconveniente. Si el vehículo no recibe la señal de por lo menos cuatro satélites no podrá ser ubicado, hecho que puede ocurrir si el vehículo ingresa a un túnel, a un contenedor metálico o a un cañón e incluso, un valle. Dada la geografía de Colombia estas dos últimas situaciones son

³ Ecuaciones desarrolladas en el libro de Sistemas de Comunicaciones Electrónicas de TOMASI.

muy comunes, sin embargo el tiempo que se desvanece la señal no es tan traumático como lo que ocurre con la red celular.

Para evitar que los delincuentes anulen los sistemas de localización, en cada vehículo se camuflan tanto las antenas como los equipos, de tal forma que no sean fáciles de eliminar o detectar. Además, el conductor generalmente tiene a disposición un botón de alarma que accionará cuando él considere necesario y con el cual reporta su ubicación.

4.3. Sistemas de Localización Celular

Existen diferentes técnicas para la ubicación de un terminal móvil, en el caso específico de Colombia en la localización de vehículos, tan sólo se utiliza GPS. Los sistemas de posicionamiento global poseen la ventaja sobre cualquier otro sistema de localización en cuanto a precisión y exactitud, por ello a nivel mundial es la técnica más utilizada cuando se desea el reporte de las coordenadas de ubicación de un terminal móvil. Actualmente, la mayoría de los teléfonos en plataforma CDMA2000 tienen incorporado un GPS; además algunas leyes en los Estados Unidos definidas por la FCC obligan a los operadores celulares a reportar la posición de un terminal desde el cual se ha marcado al número de emergencia 911, promoviendo de ésta forma el desarrollo de técnicas en la ubicación del terminal móvil.

Tener la ubicación de sus clientes es muy importante para los operadores , ya que posibilita ofrecer diferentes servicios según la exactitud y precisión requeridas, como por ejemplo: El terminal móvil entra en la cobertura de una celda e inmediatamente se carga en su celular publicidad de un establecimiento que se encuentre en dicha área, ó el usuario solicita desde su terminal móvil la información de algunos establecimientos específicos que estén cerca de él.

Si se desea obtener niveles de exactitud superiores a la simple ubicación dentro de la celda utilizando únicamente la red celular, se pueden utilizar técnicas basadas en la identidad celular, técnicas basadas en la red o técnicas basadas en el terminal móvil.

Las técnicas basadas en la identidad celular no requieren modificaciones en la red ni terminales móviles especiales ya que las MSC deben ubicar la celda en que está operando el MT para dar servicio. Esta técnica se denomina como Identidad Celular Global (Cell Global Identity, CGI) o Identidad Celular Perfeccionada (Enhanced Cell ID).

Las técnicas basadas en la red o en el terminal móvil hace que especialmente las BS posean equipos capaces de determinar procesos complejos respecto a la señal transmitida desde las MS.

4.3.1. Angulo de llegada (Angle of Arrival, AOA)

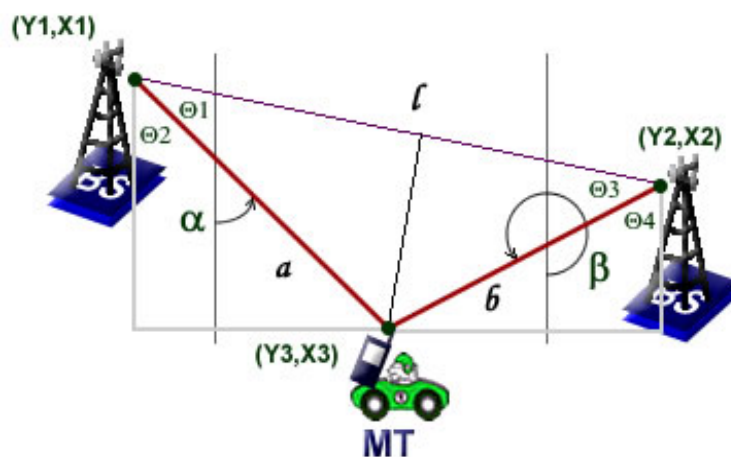


Figura 29. Localización por AOA
Fuente: Autor

Esta técnica requiere de por lo menos dos BS, cada una con equipos similares encargados de determinar el ángulo en que llega la señal desde el MT; ésto se logra solo si las BS posee antenas multiarray⁴.

Cada estación posee la información de su propia ubicación (Y,X) y la distancia entre una BS y otra (l).

Cada BS obtiene su ángulo de llegada α y β como se observa en la figura 29. Con esta información y con la información previamente descrita se obtiene Θ_1 , Θ_2 , Θ_3 , Θ_4 , necesarios para establecer las siguientes ecuaciones:

$$l = b \cos \Theta_1 + a \cos \Theta_3$$

$$Y_3 - Y_1 = a \cos \Theta_2$$

$$Y_3 - Y_2 = b \cos \Theta_4$$

$$X_3 - X_1 = a \sin \Theta_2$$

$$X_3 - X_2 = a \sin \Theta_2$$

De esta manera se puede encontrar Y_3 y X_3 y hacer referencia a coordenadas tanto de longitud, como de latitud.

Esta técnica es ideal para situaciones donde escasean BS como en las zonas rurales. Sin embargo, la técnica fácilmente se desorienta por efectos naturales (viento, lluvia), que modifican la posición de la antena perdiendo exactitud en la ubicación del MT. Además, la multitrayectoria puede ser otro factor que puede llegar a afectar el resultado del proceso de localización.

4.3.2. Tiempo de Llegada (Time of Arrival, TOA)

Mientras que para la técnica AOA la distancia entre MT y BS es desconocida, para la técnica TOA lo que se desconoce son los ángulos α y β , por lo tanto se requiere de por lo menos tres BS cuya distancia al MT se calcula midiendo el tiempo en

⁴ Las antenas multiarray reciben las señales desde distintos ángulos.

que tarda la señal del MT en ser recibida por cada BS. El problema de TOA es que su exactitud se afecta cuando no hay línea de vista con alguna de las BS y lo que se percibe es resultado de la multitrayectoria.

Una técnica más completa resulta al medir la diferencia entre los tiempos de llegada a distintos pares de estaciones o (Time Difference of Arrival, TDOA). Con la medición de éstos tiempos se puede establecer hipérbolas cuyo punto de cruce corresponde al MT, dando así la ubicación del mismo. La figura 30 ilustra ésta técnica.

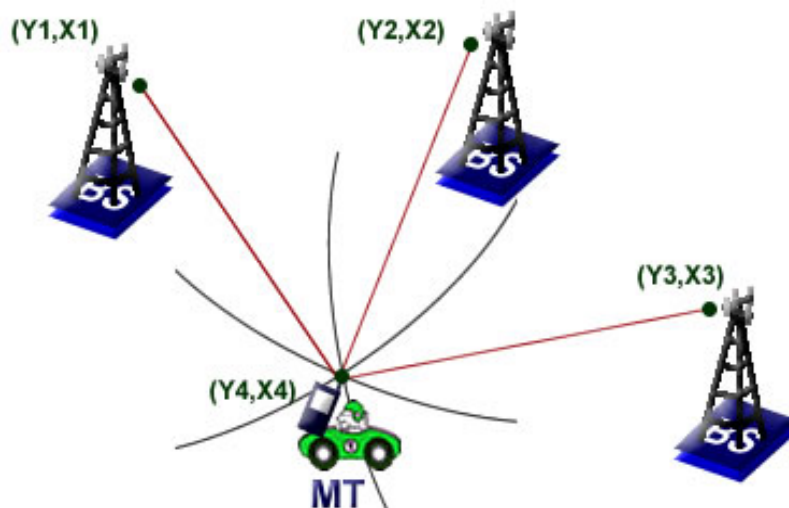


Figura 30. Localización por AOA
Fuente: Autor

Una forma de aumentar la exactitud de la localización del MT es que éste sea detectado por más BS o adicionar las técnicas de AOA.

El concepto TOA puede ser aplicado desde el terminal móvil, donde éste envía marcas temporales (time stamps) a por lo menos tres BS informando el instante exacto en que se origina la transmisión, de forma tal que los retardos son medidos eficientemente pero con la salvedad de que los relojes, tanto del MT como de las

BS, deben ser precisos y sincronizados. Esta técnica de localización se conoce como tiempo de llegada en terminal modificado.

4.3.3. Huella multitrayecto (Multipath Fingerprint, MF)

En la figura 31 se puede observar la técnica de localización por MF, para lo cual previamente se han realizado recorridos con equipos especiales de tal forma que una base de datos se va cargando con los datos de las multitrayectorias típicas de cada zona, así que la ubicación se realiza por la detección de patrones de multitrayectorias, por lo tanto, la base de datos debe ser actualizada cada vez que se cambia el ambiente, generalmente por construcción o demolición de edificaciones.

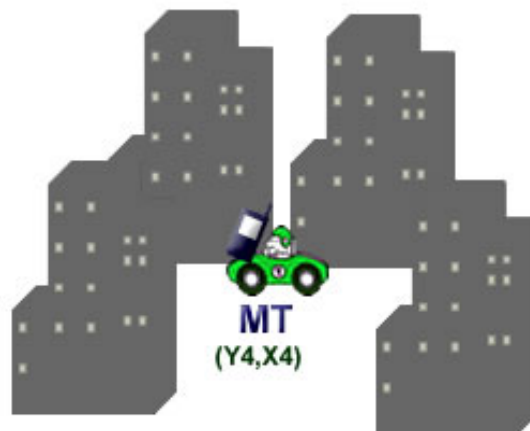


Figura 31. Localización por MF
Fuente: Autor

4.3.4. Localización en redes GSM

En redes GSM y GPRS se utiliza la técnica conocida como “diferencia de tiempo de llegada perfeccionada (Enhanced Observed Time Difference, E-OTD), en la cual se requiere de sistemas especiales tanto en la BS como en los MT. Para realizar el proceso de triangulación se requieren las coordenadas de las BS y el tiempo de llegada de las ráfagas de cada BS. Además es necesario obtener la

diferencia de tiempo entre las BS en un sistema GSM ya que los MT no están sincronizados con éstas.

La técnica E-OTD es muy similar a la TDOA en cuanto al proceso de triangulación por medio de hipérbolas por lo que son necesarios por lo menos tres BS y unidades de medida de posición (LMU). Las LMU (Location Measurement Units) pueden ser tan numerosas como BS existan en la red, entre más, más precisión se tendrá, pero se requieren de por lo menos una LMU por cada dos BS, preferiblemente las LMU tomaran información de por lo menos tres pares de BS y teniendo en cuenta el desfase entre BS midiendo las diferencias de tiempo reales obtendrán la mejor exactitud que la arquitectura de la red y el terminal móvil les posibilite.

4.3.5. Localización en redes CDMA

CDMA es un sistema síncrono y utiliza una técnica denominada A-FLT (Advanced Forward Link Trilateration), trilateración⁵ avanzada de enlace hacia delante. La técnica A-FLT utiliza principios similares a los de TDOA pero en éste caso, la medición se maneja conjuntamente por la red y por el MT, de tal forma que se recopila la información para obtener el retardo de fase entre señales enviadas a un par de estaciones base y compararla con la información obtenida de otro par. Se requiere de por lo menos tres BS para obtener la posición del MT.

4.3.6. Otras técnicas de localización

Además de las técnicas propias de la red celular, se pueden anexar equipos con otras tecnologías que permitan obtener la posición, para posteriormente ser transmitida por la red celular o por cualquier sistema inalámbrico. Los sistemas

⁵ Localización por Trilateración: La posición se calcula de acuerdo a la distancia del móvil con los puntos de medición. Localización por Triangulación: La posición se calcula de acuerdo al ángulo del móvil con los puntos de medición.

GPS descritos anteriormente son los más utilizados actualmente, pero tienen muy baja exactitud en interiores, por lo que se vienen analizando técnicas en las cuales utilizando la señal de sincronismo de por lo menos tres emisoras de televisión se puede realizar el proceso de triángulación.

Algunos sistemas de localización utilizando wi-fi o Bluetooth también están siendo analizados para aplicaciones donde se requiere una exactitud alta en interiores, donde los GPS no son realmente útiles.

4.4. Servicio M2M

Los sistemas de comunicación (máquina a máquina) proporcionan un sistema inalámbrico de transmisión de datos, confiable y económico, entre sistemas o dispositivos remotos con personas o centros de control y supervisión. Hoy día la transmisión de datos utilizando la red celular es la mejor de las opciones para los sistemas M2M.

Entre las aplicaciones más importantes de los sistemas M2M se tiene la de los sistemas AVL (Localización de Vehículos) desarrollados por diferentes empresas, entre ellas la empresa NUMEREX CORP. con su producto Cellemetry el cual se ha detallado en este libro.

Otras empresas a nivel mundial ofrecen productos similares como los desarrollados por Aeris. Además, los mismos fabricantes de Handset están produciendo sistemas que permiten al desarrollador tener toda una gama de servicios en un hardware fácil de adquirir. Por ejemplo los productos de Sony-Ericsson GT47/GT48 y GM28/GM29 los cuales son terminales de GSM, GR47/GR48, GM47/GM48 Radio Dispositivos de GSM, y los Módulos GM41, CM42, DM15/DM25; que soportan tanto GSM como CDMA. Ver figura 32.



Figura 32. Productos M2M Sony-Ericsson

Fuente: www.sonyericsson.com

Numerex Corporation, pensando en la flexibilidad que deben poseer sus radios sacó en el 2004 una nueva versión de Cellemetry, CELLEMETRY-XG, los cuales contienen un modulo de acceso a la red; Multi-Mode/Multi-Path o MMP, el cual se encarga de permitir el enlace con redes AMPS, GSM, CDMA y SMS para GSM y CDMA, independizando el equipo de la red celular y ajustándose a el proveedor que mejor le preste el servicio. El módulo MMP viene preparado para su actualización a banda ancha, por lo cual se le puede configurar una dirección IP, sin embargo la real ventaja del modulo MMP es que asegura la longevidad del radio, dado que puede ser configurado por puerto serial RS-232 de manera sencilla para ajustarlo fácilmente a los cambios de los operadores celulares. En Colombia la tendencia de los instaladores de los radios CELLEMETRY-XG ha sido la de ajustarlos para trabajar en la red SMS tanto de CDMA como de GSM. A este nivel las ventajas que poseían los radios CELLEMETRY no son tan notorias, pues están utilizando la red SMS, como lo hacen otras marcas en el mercado, por lo tanto cada vez existe dentro del país, radios celulares para sistemas de localización de vehículos de diferentes fabricantes y tecnologías.

La concepción ideológica de NUMEREX CORP. es clara, ellos no solo exponen su radio CELLEMETRY-XG como uno más del mercado, ellos están preparados para la banda ancha de tal forma que se pueda transportar no solo datos de telemetría por la red, sino voz sobre IP e incluso video, pensando claro está, en servicios para compañías y para sus sistemas de seguridad.

NUMEREX CORP. posee diferentes productos desarrollados para sistemas M2M basados en CELLEMETRY-XG: VendView(TM), Uplink(TM) y MobileGuardia(R).

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El análisis de los sistemas de comunicación móvil celular es hoy día bastante complejo, amplio e interesante pues confluyen una cantidad de principios que requieren de un buen tiempo de investigación y estudio.

La diversidad tecnológica y la falta de rápida estandarización de las mismas ha propiciado el surgimiento de escenarios donde hay equipos que trabajan con unas tecnologías, así, CELLEMETRY solo tiene cubrimiento donde lo tenga BELLSOUTH.

La localización de vehículos actualmente utiliza las redes celulares de BELLSOUTH y COMCEL que trabajan en la banda de UHF sobre los 800MHz, específicamente en los rangos de 824MHz a 894MHz. Cada uno cuenta con canales uplink y downlink, separados 45MHz, sobre los cuales se aprovecha de la mejor forma el acceso a la red utilizando CDMA2000 o GSM/GPRS, para transmitir datos basados en el protocolo SS7.

A pesar de la capacidad tecnológica, en Colombia la ubicación de un terminal móvil solo se hace por GPS ya que ésta es la mejor opción en cuanto a exactitud se refiere. Sin embargo donde quiera que la red no tenga cubrimiento, tampoco habrá posibilidades de ubicar el móvil.

A pesar de que la mayor cantidad de usuarios a nivel mundial y en Colombia pertenecen a redes GSM, CDMA es la mejor tecnología para sistemas de comunicación móvil, así lo evidencian, el aprovechamiento en el re-uso de frecuencias y la seguridad en la transmisión de información.

Las políticas comerciales de COMCEL respecto a consumo de datos por acceso a Internet está permitiendo un rápido crecimiento de aplicaciones WAP y algunas compañías dedicadas al servicio AVL han pasado de ser clientes de BELLSOUTH a COMCEL.

El principal problema de los sistemas AVL es el cubrimiento, pues para un delincuente es fácil determinar estrategias respecto a esta variable. Sin embargo a medida que crece la red celular se hacen más efectivos estos sistemas.

Los sistemas móviles son el futuro, la convergencia entre Bluetooth, Wi-Fi, Wi-Max, sistemas de información móvil y la comunicación móvil en general serán próximamente incorporados a múltiples productos comunes: vehículos, neveras, aires acondicionados e incluso hasta hornos; pues la limitación para crear aplicaciones con ésta tecnología solo estará en la creatividad y en la imaginación.

El grado de conocimiento de la tecnología por parte de los ingenieros de la parte técnica de las empresas de operación celular en Colombia es bastante bajo. Básicamente se hace uso de la tecnología y están solamente preparados con conocimientos básicos en la materia y altos en la manipulación de equipos. No se desea demeritar la capacidad del talento nacional, sino que se desea dejar en evidencia una sentida preocupación por el atraso tecnológico en que seguirá nuestro país si los operadores celulares y la academia no se unen a desarrollar proyectos que contribuyan a aumentar el conocimiento en ésta área, en procura de un mejor aprovechamiento de las oportunidades como se hace masivamente en los países industrializados.

Los cambios en los sistemas basados en comunicaciones móviles, están siendo modificados y mejorados día a día. En el proceso de creación de éste libro se intentó mantener actualizada parte de la información, pero prácticamente se estaba convirtiendo en un diario interminable, por lo cual el autor invita al lector a mantenerse mejor informado.

BIBLIOGRAFIA

AERIS CORP. Aeris M2M Network Services. [online]. USA. En: aeris.com (Septiembre 22, 2004). Disponible en WWW:<<http://www.aeris.com/m2mServices/index.shtm>>.

ASOSEL. Visión sobre la nueva ley en Telecomunicaciones. [online]. Colombia. En: leytelecomunicaciones.gov.co (agosto 15, 2004). Disponible en WWW:<http://www.mincomunicaciones.gov.co/mincom/src/user_docs/Archivos/Fondo/presenteyfuturo.pdf>.

BELLSOUTH CORP. Large Business: Products and Services. [online]. USA. En: bellsouth.com (Diciembre 1, 2004). Disponible en WWW:<http://www.bellsouthlargebusiness.com/products_category.aspx?ctg_id=38>.

BELLSOUTH CORP. Zonas de Cubrimiento. [online]. Colombia. En: bellsouth.com.co (Septiembre 10, 2004). Disponible en WWW:<<http://www.bellsouth.com.co/mapas.htm>>.

BERNARDOS BALBOLLA, Ana María. Servicios móviles de Localización. [online]. España. En: ceditec.etsit.upm.es (Enero 10, 2005). Disponible en WWW:<http://www.ceditec.etsit.upm.es/Informes_globales/ceditec_loc.pdf>.

BLAUNSTEIN, Nathan. Radio Propagation in cellular networks, Mobile Communication Series.. Artech House Publishers Boston London, 1998.

CARDONA, Julian. Aspectos Fundamentales para una ley de Telecomunicaciones. [online]. Colombia. En: leytelecomunicaciones.gov.co (agosto 15, 2004). Disponible en WWW:<http://www.leytelecomunicaciones.gov.co/docs/foro_feb_6/ACIEM_LEY.ppt>.

COMCEL S.A. Localización y administración de vehículos. [online]. Colombia. En: comcel.com.co (Septiembre 25, 2004). Disponible en WWW:<<http://www.comcel.com/aplicaciones3gsm/aplicaciones.php>>.

COMTRO. Telemetria MT300. [online]. ESPAÑA. En: comtro.com (Diciembre 5, 2004). Disponible en WWW:<<http://www.comtro.com>>.

FONT, Luis. CDMA Technology Highlights. [online]. USA. En: nortel.com (marzo 22, 2004). Disponible en WWW:<http://www130.nortelnetworks.com/cgi-bin/eserv/cs/main.jsp/cdma_m1_Overview.ppt>.

FONT, Luis. CDMA Technology Highlights. [online]. USA. En: nortel.com (marzo 22, 2004). Disponible en WWW:<http://www130.nortelnetworks.com/cgi-bin/eserv/cs/main.jsp/cdma_m2_Forward_link.ppt>.

FONT, Luis. CDMA Technology Highlights. [online]. USA. En: nortel.com (marzo 22, 2004). Disponible en WWW:<http://www130.nortelnetworks.com/cgi-bin/eserv/cs/main.jsp/cdma_m2_Reverse_link.ppt>.

GROE, John B., LARSON, Lawrence E. CDMA, Mobile Radio Design, Artech House Publishers Boston London, 1998.

HERRERA BARRERA, Luis Antonio. Estado del Arte de la Evolución de CDMA, Monografía Escuela de Ingeniería Electrónica, Especialización en Telecomunicaciones UPB, 2003.

HONOR Y LAUREL. Vigilancia Satelital. [online]. Colombia. En: [honorylaurel.com](http://www.honorylaurel.com) (Diciembre 5, 2004). Disponible en WWW:<<http://www.honorylaurel.com>>.

LOJACK de Colombia S.A. Seguridad Vehicular. [online]. Colombia. En: [lojack.com.co](http://www.lojack.com.co) (Diciembre 5, 2004). Disponible en WWW:<<http://www.lojack.com.co/xtolock.htm>>.

Manual de usuario, CELLULAR MODEM MODULE FOR CELLEMETRY CMM7700, 1997.

MENESES, Arnaldo. Sector de Telecomunicaciones en colombia. [online]. Colombia. En: [leytelecomunicaciones.gov.co](http://www.leytelecomunicaciones.gov.co) (agosto 15, 2004). Disponible en WWW:<http://www.leytelecomunicaciones.gov.co/docs/foro_feb_6/CCIT_Banco_Mundial.ppt>.

MINISTERIO DE COMUNICACIONES. Servicios de comunicación personal PCS. [online]. Colombia. En: [mincomunicaciones.gov.co](http://www.mincomunicaciones.gov.co) (Septiembre 22, 2004). Disponible en WWW:<http://www.mincomunicaciones.gov.co/mincom/src/index.jsp?find=ok&page=../mods/legislacion/legislacion_user_list>.

MINISTERIO DE COMUNICACIONES. Espectro radioeléctrico. [online]. Colombia. En: [mincomunicaciones.gov.co](http://www.mincomunicaciones.gov.co) (Septiembre 22, 2004). Disponible en WWW:<http://www.mincomunicaciones.gov.co/mincom/src/?page=../mods/contenido/view_page&id_contents=215&l=2>.

M2M Magazine. M2M Magazine. [online]. USA. En: m2mmag.com (Diciembre 1, 2004). Disponible en WWW:<http://www.m2mmag.com/readerlogin.asp?Error=123&ARTICLE_ID=199>.

M2M Magazine. M2M Magazine. [online]. USA. En: m2mmag.com (Diciembre 1, 2004). Disponible en WWW:<http://www.m2mmag.com/readerlogin.asp?Error=123&ARTICLE_ID=199>.

NOKIA CORP. Developer. [online]. USA. En: nokia.com (noviembre 30, 2004). Disponible en WWW:<<http://www.nokia.com/nokia/0,8764,64431,00.html>>.

NOKIA CORP. Machine-to-Machine. [online]. USA. En: nokia.com (noviembre 30, 2004). Disponible en WWW:<<http://www.nokia.com/nokia/0,8764,43159,00.html>>.

NOKIA CORP. M2M. [online]. USA. En: nokiaforum.com (noviembre 30, 2004). Disponible en WWW:<http://www.forum.nokia.com/main/0,,1_70,00.html>.

NOKIA CORP. M2M products. [online]. USA. En: nokiausa.com (noviembre 30, 2004). Disponible en WWW:<<http://www.nokiausa.com/solutions/m2m/products>>.

NUMEREX CORP. Powering M2M. [online]. USA. En: cellemetry.com (noviembre 21, 2004). Disponible en WWW:<<http://www.cellemetry.com/home.asp>>.

NUMEREX CORP. Cellemetry Network. [online]. USA. En: cellemetry.com (noviembre 21, 2004). Disponible en WWW:<<http://www.cellemetry.com/network.asp>>.

NUMEREX CORP. CellemetryXG Solutions. [online]. USA. En: cellemetry.com (noviembre 21, 2004). Disponible en WWW:<<http://www.cellemetry.com/solutions.asp>>.

NUMEREX CORP. Products. [online]. USA. En: [cellemetry.com](http://www.cellemetry.com/products.asp) (noviembre 21, 2004). Disponible en WWW:<<http://www.cellemetry.com/products.asp>>.

NUMEREX CORP. Applications & Partners. [online]. USA. En: [cellemetry.com](http://www.cellemetry.com) (noviembre 21, 2004). Disponible en WWW:<<http://www.cellemetry.com/applications.asp>>.

NUMEREX CORP. CPN Forum - Cellemetry Developer's Web Site. [online]. USA. En: [nmrx.com](http://www.nmr.com) (Septiembre 25, 2004). Disponible en WWW:<<http://www.cellemetry.com/coveragemaps.asp>>.

RASTRACK S.A. Rastreo Satelital. [online]. Colombia. En: [rastrack.com](http://www.rastrack.com) (Diciembre 5, 2004). Disponible en WWW:<www.rastrack.com>.

SKYTRACKERS S.A. Sistemas y Servicios Integrados de Monitoreo y Posicionamiento Global (GPS). [online]. México. En: [skytrackers.com](http://www.skytrackers.com) (Diciembre 5, 2004). Disponible en WWW:<<http://www.skytrackers.com/eintro.htm>>.

SONYERICSSON CORP. Localización y administración de vehículos. [online]. USA. En: [sonyericsson.com](http://www.sonyericsson.com) (Noviembre 10, 2004). Disponible en WWW:<<http://www.sonyericsson.com/spg.jsp?cc=co&lc=es&ver=4002&template=ph1&zone=ph>>.

STREMLER, Ferrel G. Introducción a los Sistemas de Comunicación, Tercera Edición, 1993.

STÜBER, Gordon L. Principles of MOBILE COMUNICATION, Second Edition, Georgia Institute Of Technology Atlanta, Georgia USA. 567 – 583, 1996.

TABBANE, Sami. HandBook of Mobile Radio Networks, Mobile communications series, 1998.

TOMASI, Wayne. Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, Cuarta Edición. 801 – 804, 864 – 900, 2003.

ANEXO

Plan de distribución de canales redes de telefonía móvil celular banda de 800MHz.

Fuente: www.mincomunicaciones.gov.co

Canal	f (Tx)	f (Rx)	Canal	f (Tx)	f (Rx)	Canal	f (Tx)	f (Rx)
1	825,03	870,03	41	826,23	871,23	81	827,43	872,43
2	825,06	870,06	42	826,26	871,26	82	827,46	872,46
3	825,09	870,09	43	826,29	871,29	83	827,49	872,49
4	825,12	870,12	44	826,32	871,32	84	827,52	872,52
5	825,15	870,15	45	826,35	871,35	85	827,55	872,55
6	825,18	870,18	46	826,38	871,38	86	827,58	872,58
7	825,21	870,21	47	826,41	871,41	87	827,61	872,61
8	825,24	870,24	48	826,44	871,44	88	827,64	872,64
9	825,27	870,27	49	826,47	871,47	89	827,67	872,67
10	825,30	870,30	50	826,50	871,50	90	827,70	872,70
11	825,33	870,33	51	826,53	871,53	91	827,73	872,73
12	825,36	870,36	52	826,56	871,56	92	827,76	872,76
13	825,39	870,39	53	826,59	871,59	93	827,79	872,79
14	825,42	870,42	54	826,62	871,62	94	827,82	872,82
15	825,45	870,45	55	826,65	871,65	95	827,85	872,85
16	825,48	870,48	56	826,68	871,68	96	827,88	872,88
17	825,51	870,51	57	826,71	871,71	97	827,91	872,91
18	825,54	870,54	58	826,74	871,74	98	827,94	872,94
19	825,57	870,57	59	826,77	871,77	99	827,97	872,97
20	825,60	870,60	60	826,80	871,80	100	828,00	873,00
21	825,63	870,63	61	826,83	871,83	101	828,03	873,03
22	825,66	870,66	62	826,86	871,86	102	828,06	873,06
23	825,69	870,69	63	826,89	871,89	103	828,09	873,09
24	825,72	870,72	64	826,92	871,92	104	828,12	873,12
25	825,75	870,75	65	826,95	871,95	105	828,15	873,15
26	825,78	870,78	66	826,98	871,98	106	828,18	873,18
27	825,81	870,81	67	827,01	872,01	107	828,21	873,21
28	825,84	870,84	68	827,04	872,04	108	828,24	873,24
29	825,87	870,87	69	827,07	872,07	109	828,27	873,27
30	825,90	870,90	70	827,10	872,10	110	828,30	873,30
31	825,93	870,93	71	827,13	872,13	111	828,33	873,33
32	825,96	870,96	72	827,16	872,16	112	828,36	873,36
33	825,99	870,99	73	827,19	872,19	113	828,39	873,39
34	826,02	871,02	74	827,22	872,22	114	828,42	873,42
35	826,05	871,05	75	827,25	872,25	115	828,45	873,45
36	826,08	871,08	76	827,28	872,28	116	828,48	873,48
37	826,11	871,11	77	827,31	872,31	117	828,51	873,51
38	826,14	871,14	78	827,34	872,34	118	828,54	873,54
39	826,17	871,17	79	827,37	872,37	119	828,57	873,57

Canal	f (Tx)	f (Rx)	Canal	f (Tx)	f (Rx)	Canal	f (Tx)	f (Rx)
40	826,20	871,20	80	827,40	872,40	120	828,60	873,60
121	828,63	873,63	161	829,83	874,83	201	831,03	876,03
122	828,66	873,66	162	829,86	874,86	202	831,06	876,06
123	828,69	873,69	163	829,89	874,89	203	831,09	876,09
124	828,72	873,72	164	829,92	874,92	204	831,12	876,12
125	828,75	873,75	165	829,95	874,95	205	831,15	876,15
126	828,78	873,78	166	829,98	874,98	206	831,18	876,18
127	828,81	873,81	167	830,01	875,01	207	831,21	876,21
128	828,84	873,84	168	830,04	875,04	208	831,24	876,24
129	828,87	873,87	169	830,07	875,07	209	831,27	876,27
130	828,90	873,90	170	830,10	875,10	210	831,30	876,30
131	828,93	873,93	171	830,13	875,13	211	831,33	876,33
132	828,96	873,96	172	830,16	875,16	212	831,36	876,36
133	828,99	873,99	173	830,19	875,19	213	831,39	876,39
134	829,02	874,02	174	830,22	875,22	214	831,42	876,42
135	829,05	874,05	175	830,25	875,25	215	831,45	876,45
136	829,08	874,08	176	830,28	875,28	216	831,48	876,48
137	829,11	874,11	177	830,31	875,31	217	831,51	876,51
138	829,14	874,14	178	830,34	875,34	218	831,54	876,54
139	829,17	874,17	179	830,37	875,37	219	831,57	876,57
140	829,20	874,20	180	830,40	875,40	220	831,60	876,60
141	829,23	874,23	181	830,43	875,43	221	831,63	876,63
142	829,26	874,26	182	830,46	875,46	222	831,66	876,66
143	829,29	874,29	183	830,49	875,49	223	831,69	876,69
144	829,32	874,32	184	830,52	875,52	224	831,72	876,72
145	829,35	874,35	185	830,55	875,55	225	831,75	876,75
146	829,38	874,38	186	830,58	875,58	226	831,78	876,78
147	829,41	874,41	187	830,61	875,61	227	831,81	876,81
148	829,44	874,44	188	830,64	875,64	228	831,84	876,84
149	829,47	874,47	189	830,67	875,67	229	831,87	876,87
150	829,50	874,50	190	830,70	875,70	230	831,90	876,90
151	829,53	874,53	191	830,73	875,73	231	831,93	876,93
152	829,56	874,56	192	830,76	875,76	232	831,96	876,96
153	829,59	874,59	193	830,79	875,79	233	831,99	876,99
154	829,62	874,62	194	830,82	875,82	234	832,02	877,02
155	829,65	874,65	195	830,85	875,85	235	832,05	877,05
156	829,68	874,68	196	830,88	875,88	236	832,08	877,08
157	829,71	874,71	197	830,91	875,91	237	832,11	877,11
158	829,74	874,74	198	830,94	875,94	238	832,14	877,14
159	829,77	874,77	199	830,97	875,97	239	832,17	877,17
160	829,80	874,80	200	831,00	876,00	240	832,20	877,20
241	832,23	877,23	281	833,43	878,43	321	834,63	879,63
242	832,26	877,26	282	833,46	878,46	322	834,66	879,66
243	832,29	877,29	283	833,49	878,49	323	834,69	879,69
244	832,32	877,32	284	833,52	878,52	324	834,72	879,72
245	832,35	877,35	285	833,55	878,55	325	834,75	879,75

Canal	f (Tx)	f (Rx)	Canal	f (Tx)	f (Rx)	Canal	f (Tx)	f (Rx)
246	832,38	877,38	286	833,58	878,58	326	834,78	879,78
247	832,41	877,41	287	833,61	878,61	327	834,81	879,81
248	832,44	877,44	288	833,64	878,64	328	834,84	879,84
249	832,47	877,47	289	833,67	878,67	329	834,87	879,87
250	832,50	877,50	290	833,70	878,70	330	834,90	879,90
251	832,53	877,53	291	833,73	878,73	331	834,93	879,93
252	832,56	877,56	292	833,76	878,76	332	834,96	879,96
253	832,59	877,59	293	833,79	878,79	333	834,99	879,99
254	832,62	877,62	294	833,82	878,82	334	835,02	880,02
255	832,65	877,65	295	833,85	878,85	335	835,05	880,05
256	832,68	877,68	296	833,88	878,88	336	835,08	880,08
257	832,71	877,71	297	833,91	878,91	337	835,11	880,11
258	832,74	877,74	298	833,94	878,94	338	835,14	880,14
259	832,77	877,77	299	833,97	878,97	339	835,17	880,17
260	832,80	877,80	300	834,00	879,00	340	835,20	880,20
261	832,83	877,83	301	834,03	879,03	341	835,23	880,23
262	832,86	877,86	302	834,06	879,06	342	835,26	880,26
263	832,89	877,89	303	834,09	879,09	343	835,29	880,29
264	832,92	877,92	304	834,12	879,12	344	835,32	880,32
265	832,95	877,95	305	834,15	879,15	345	835,35	880,35
266	832,98	877,98	306	834,18	879,18	346	835,38	880,38
267	833,01	878,01	307	834,21	879,21	347	835,41	880,41
268	833,04	878,04	308	834,24	879,24	348	835,44	880,44
269	833,07	878,07	309	834,27	879,27	349	835,47	880,47
270	833,10	878,10	310	834,30	879,30	350	835,50	880,50
271	833,13	878,13	311	834,33	879,33	351	835,53	880,53
272	833,16	878,16	312	834,36	879,36	352	835,56	880,56
273	833,19	878,19	313	834,39	879,39	353	835,59	880,59
274	833,22	878,22	314	834,42	879,42	354	835,62	880,62
275	833,25	878,25	315	834,45	879,45	355	835,65	880,65
276	833,28	878,28	316	834,48	879,48	356	835,68	880,68
277	833,31	878,31	317	834,51	879,51	357	835,71	880,71
278	833,34	878,34	318	834,54	879,54	358	835,74	880,74
279	833,37	878,37	319	834,57	879,57	359	835,77	880,77
280	833,40	878,40	320	834,60	879,60	360	835,80	880,80
361	835,83	880,83	401	837,03	882,03	441	838,23	883,23
362	835,86	880,86	402	837,06	882,06	442	838,26	883,26
363	835,89	880,89	403	837,09	882,09	443	838,29	883,29
364	835,92	880,92	404	837,12	882,12	444	838,32	883,32
365	835,95	880,95	405	837,15	882,15	445	838,35	883,35
366	835,98	880,98	406	837,18	882,18	446	838,38	883,38
367	836,01	881,01	407	837,21	882,21	447	838,41	883,41
368	836,04	881,04	408	837,24	882,24	448	838,44	883,44
369	836,07	881,07	409	837,27	882,27	449	838,47	883,47
370	836,10	881,10	410	837,30	882,30	450	838,50	883,50
371	836,13	881,13	411	837,33	882,33	451	838,53	883,53

Canal	f (Tx)	f (Rx)	Canal	f (Tx)	f (Rx)	Canal	f (Tx)	f (Rx)
372	836,16	881,16	412	837,36	882,36	452	838,56	883,56
373	836,19	881,19	413	837,39	882,39	453	838,59	883,59
374	836,22	881,22	414	837,42	882,42	454	838,62	883,62
375	836,25	881,25	415	837,45	882,45	455	838,65	883,65
376	836,28	881,28	416	837,48	882,48	456	838,68	883,68
377	836,31	881,31	417	837,51	882,51	457	838,71	883,71
378	836,34	881,34	418	837,54	882,54	458	838,74	883,74
379	836,37	881,37	419	837,57	882,57	459	838,77	883,77
380	836,40	881,40	420	837,60	882,60	460	838,80	883,80
381	836,43	881,43	421	837,63	882,63	461	838,83	883,83
382	836,46	881,46	422	837,66	882,66	462	838,86	883,86
383	836,49	881,49	423	837,69	882,69	463	838,89	883,89
384	836,52	881,52	424	837,72	882,72	464	838,92	883,92
385	836,55	881,55	425	837,75	882,75	465	838,95	883,95
386	836,58	881,58	426	837,78	882,78	466	838,98	883,98
387	836,61	881,61	427	837,81	882,81	467	839,01	884,01
388	836,64	881,64	428	837,84	882,84	468	839,04	884,04
389	836,67	881,67	429	837,87	882,87	469	839,07	884,07
390	836,70	881,70	430	837,90	882,90	470	839,10	884,10
391	836,73	881,73	431	837,93	882,93	471	839,13	884,13
392	836,76	881,76	432	837,96	882,96	472	839,16	884,16
393	836,79	881,79	433	837,99	882,99	473	839,19	884,19
394	836,82	881,82	434	838,02	883,02	474	839,22	884,22
395	836,85	881,85	435	838,05	883,05	475	839,25	884,25
396	836,88	881,88	436	838,08	883,08	476	839,28	884,28
397	836,91	881,91	437	838,11	883,11	477	839,31	884,31
398	836,94	881,94	438	838,14	883,14	478	839,34	884,34
399	836,97	881,97	439	838,17	883,17	479	839,37	884,37
400	837,00	882,00	440	838,20	883,20	480	839,40	884,40
481	839,43	884,43	521	840,63	885,63	561	841,83	886,83
482	839,46	884,46	522	840,66	885,66	562	841,86	886,86
483	839,49	884,49	523	840,69	885,69	563	841,89	886,89
484	839,52	884,52	524	840,72	885,72	564	841,92	886,92
485	839,55	884,55	525	840,75	885,75	565	841,95	886,95
486	839,58	884,58	526	840,78	885,78	566	841,98	886,98
487	839,61	884,61	527	840,81	885,81	567	842,01	887,01
488	839,64	884,64	528	840,84	885,84	568	842,04	887,04
489	839,67	884,67	529	840,87	885,87	569	842,07	887,07
490	839,70	884,70	530	840,90	885,90	570	842,10	887,10
491	839,73	884,73	531	840,93	885,93	571	842,13	887,13
492	839,76	884,76	532	840,96	885,96	572	842,16	887,16
493	839,79	884,79	533	840,99	885,99	573	842,19	887,19
494	839,82	884,82	534	841,02	886,02	574	842,22	887,22
495	839,85	884,85	535	841,05	886,05	575	842,25	887,25
496	839,88	884,88	536	841,08	886,08	576	842,28	887,28
497	839,91	884,91	537	841,11	886,11	577	842,31	887,31

Canal	f (Tx)	f (Rx)	Canal	f (Tx)	f (Rx)	Canal	f (Tx)	f (Rx)
498	839,94	884,94	538	841,14	886,14	578	842,34	887,34
499	839,97	884,97	539	841,17	886,17	579	842,37	887,37
500	840,00	885,00	540	841,20	886,20	580	842,40	887,40
501	840,03	885,03	541	841,23	886,23	581	842,43	887,43
502	840,06	885,06	542	841,26	886,26	582	842,46	887,46
503	840,09	885,09	543	841,29	886,29	583	842,49	887,49
504	840,12	885,12	544	841,32	886,32	584	842,52	887,52
505	840,15	885,15	545	841,35	886,35	585	842,55	887,55
506	840,18	885,18	546	841,38	886,38	586	842,58	887,58
507	840,21	885,21	547	841,41	886,41	587	842,61	887,61
508	840,24	885,24	548	841,44	886,44	588	842,64	887,64
509	840,27	885,27	549	841,47	886,47	589	842,67	887,67
510	840,30	885,30	550	841,50	886,50	590	842,70	887,70
511	840,33	885,33	551	841,53	886,53	591	842,73	887,73
512	840,36	885,36	552	841,56	886,56	592	842,76	887,76
513	840,39	885,39	553	841,59	886,59	593	842,79	887,79
514	840,42	885,42	554	841,62	886,62	594	842,82	887,82
515	840,45	885,45	555	841,65	886,65	595	842,85	887,85
516	840,48	885,48	556	841,68	886,68	596	842,88	887,88
517	840,51	885,51	557	841,71	886,71	597	842,91	887,91
518	840,54	885,54	558	841,74	886,74	598	842,94	887,94
519	840,57	885,57	559	841,77	886,77	599	842,97	887,97
520	840,60	885,60	560	841,80	886,80	600	843,00	888,00
601	843,03	888,03	641	844,23	889,23	681	845,43	890,43
602	843,06	888,06	642	844,26	889,26	682	845,46	890,46
603	843,09	888,09	643	844,29	889,29	683	845,49	890,49
604	843,12	888,12	644	844,32	889,32	684	845,52	890,52
605	843,15	888,15	645	844,35	889,35	685	845,55	890,55
606	843,18	888,18	646	844,38	889,38	686	845,58	890,58
607	843,21	888,21	647	844,41	889,41	687	845,61	890,61
608	843,24	888,24	648	844,44	889,44	688	845,64	890,64
609	843,27	888,27	649	844,47	889,47	689	845,67	890,67
610	843,30	888,30	650	844,50	889,50	690	845,70	890,70
611	843,33	888,33	651	844,53	889,53	691	845,73	890,73
612	843,36	888,36	652	844,56	889,56	692	845,76	890,76
613	843,39	888,39	653	844,59	889,59	693	845,79	890,79
614	843,42	888,42	654	844,62	889,62	694	845,82	890,82
615	843,45	888,45	655	844,65	889,65	695	845,85	890,85
616	843,48	888,48	656	844,68	889,68	696	845,88	890,88
617	843,51	888,51	657	844,71	889,71	697	845,91	890,91
618	843,54	888,54	658	844,74	889,74	698	845,94	890,94
619	843,57	888,57	659	844,77	889,77	699	845,97	890,97
620	843,60	888,60	660	844,80	889,80	700	846,00	891,00
621	843,63	888,63	661	844,83	889,83	701	846,03	891,03
622	843,66	888,66	662	844,86	889,86	702	846,06	891,06
623	843,69	888,69	663	844,89	889,89	703	846,09	891,09

Canal	f (Tx)	f (Rx)	Canal	f (Tx)	f (Rx)	Canal	f (Tx)	f (Rx)
624	843,72	888,72	664	844,92	889,92	704	846,12	891,12
625	843,75	888,75	665	844,95	889,95	705	846,15	891,15
626	843,78	888,78	666	844,98	889,98	706	846,18	891,18
627	843,81	888,81	667	845,01	890,01	707	846,21	891,21
628	843,84	888,84	668	845,04	890,04	708	846,24	891,24
629	843,87	888,87	669	845,07	890,07	709	846,27	891,27
630	843,90	888,90	670	845,10	890,10	710	846,30	891,30
631	843,93	888,93	671	845,13	890,13	711	846,33	891,33
632	843,96	888,96	672	845,16	890,16	712	846,36	891,36
633	843,99	888,99	673	845,19	890,19	713	846,39	891,39
634	844,02	889,02	674	845,22	890,22	714	846,42	891,42
635	844,05	889,05	675	845,25	890,25	715	846,45	891,45
636	844,08	889,08	676	845,28	890,28	716	846,48	891,48
637	844,11	889,11	677	845,31	890,31	717	846,51	891,51
638	844,14	889,14	678	845,34	890,34	718	846,54	891,54
639	844,17	889,17	679	845,37	890,37	719	846,57	891,57
640	844,20	889,20	680	845,40	890,40	720	846,60	891,60
721	846,63	891,63	759	847,77	892,77	796	848,88	893,88
722	846,66	891,66	760	847,80	892,80	797	848,91	893,91
723	846,69	891,69	761	847,83	892,83	798	848,94	893,94
724	846,72	891,72	762	847,86	892,86	799	848,97	893,97
725	846,75	891,75	763	847,89	892,89	991	824,04	869,04
726	846,78	891,78	764	847,92	892,92	992	824,07	869,07
727	846,81	891,81	765	847,95	892,95	993	824,10	869,10
728	846,84	891,84	766	847,98	892,98	994	824,13	869,13
729	846,87	891,87	767	848,01	893,01	995	824,16	869,16
730	846,90	891,90	768	848,04	893,04	996	824,19	869,19
731	846,93	891,93	769	848,07	893,07	997	824,22	869,22
732	846,96	891,96	770	848,10	893,10	998	824,25	869,25
733	846,99	891,99	771	848,13	893,13	999	824,28	869,28
734	847,02	892,02	772	848,16	893,16	1000	824,31	869,31
735	847,05	892,05	773	848,19	893,19	1001	824,34	869,34
736	847,08	892,08	774	848,22	893,22	1002	824,37	869,37
737	847,11	892,11	775	848,25	893,25	1003	824,40	869,40
738	847,14	892,14	776	848,28	893,28	1004	824,43	869,43
739	847,17	892,17	777	848,31	893,31	1005	824,46	869,46
740	847,20	892,20	778	848,34	893,34	1006	824,49	869,49
741	847,23	892,23	779	848,37	893,37	1007	824,52	869,52
742	847,26	892,26	780	848,40	893,40	1008	824,55	869,55
743	847,29	892,29	781	848,43	893,43	1009	824,58	869,58
744	847,32	892,32	782	848,46	893,46	1010	824,61	869,61
745	847,35	892,35	783	848,49	893,49	1011	824,64	869,64
746	847,38	892,38	784	848,52	893,52	1012	824,67	869,67
747	847,41	892,41	785	848,55	893,55	1013	824,70	869,70
748	847,44	892,44	786	848,58	893,58	1014	824,73	869,73
749	847,47	892,47	787	848,61	893,61	1015	824,76	869,76

Canal	f (Tx)	f (Rx	Canal	f (Tx)	f (Rx	Canal	f (Tx)	f (Rx
750	847,50	892,50	788	848,64	893,64	1016	824,79	869,79
751	847,53	892,53	789	848,67	893,67	1017	824,82	869,82
752	847,56	892,56	790	848,70	893,70	1018	824,85	869,85
753	847,59	892,59	791	848,73	893,73	1019	824,88	869,88
754	847,62	892,62	792	848,76	893,76	1020	824,91	869,91
755	847,65	892,65	793	848,79	893,79	1021	824,94	869,94
756	847,68	892,68	794	848,82	893,82	1022	824,97	869,97
757	847,71	892,71	795	848,85	893,85	1023	825,00	870,00
758	847,74	892,74						