

SISTEMAS MOVIL-CELULAR

Introducción a la variedad de sistemas de telefonía celular, sus principales características y una clasificación por aplicaciones.

1- HISTORIA Y CLASIFICACION

DIGRESIÓN HISTÓRICA. El sistema de telefonía celular está diseñado para proveer servicios móviles, mediante un plan de frecuencias, de cobertura angular o radial mediante celdas sobre un área definida. El primer sistema se puso en uso en USA luego de la Segunda Guerra Mundial y operaba con conmutación manual en onda métrica. En 1946 la FCC (*Federal Communication Commission*) garantizó a **AT&T** (*American Telephone & Telegraph*) la licencia para telecomunicaciones móviles en St. Louis del tipo *Trunking* de 120 kHz con modulación FM, y en 1949 reconoce el nuevo servicio de radio móvil. Anteriormente, en los años `20, la policía de New Jersey disponía de un radio de 2-vías. Las bandas de baja frecuencia tenían el problema del ruido de ignición de los vehículos.

IMTS (*Improved Mobile Telephone Service*). En 1964 se introduce el sistema "*Trunking*" conmutado. Este sistema disponía la asignación de canales tipo full-dúplex entre un grupo de posibles canales por demanda. El sistema se denomina IMTS e introduce la idea de celdas de servicio.

Hasta 1978 existían en USA tres sistemas en funcionamiento:

-**MTS** (*Mobile Telephone Service*) en 40 MHz con 11 canales de radiofrecuencia.

-**IMTS-MJ** en la banda de 150 MHz con 11 portadoras.

-**IMTS-MK** en la banda de 450 MHz y con 12 canales.

Por ejemplo, la ciudad de New York poseía en aquella época 12 canales con 550 usuarios y 3700 en lista de espera.

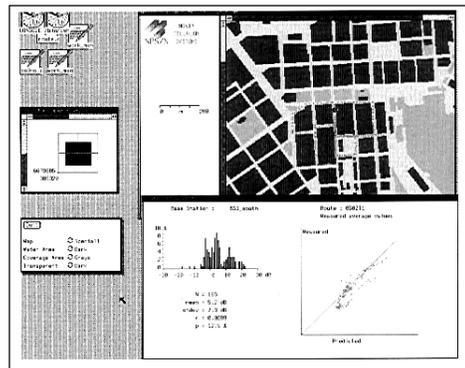
AMPS (*Advanced Mobile Phone Service*). En 1971 Bell System introduce el término "celular". El primer sistema celular se instala en Chicago-1978; pero hasta 1983 no se implementó totalmente debido a dificultades del plan de frecuencias. Se utilizó en la banda de 800 MHz asignada previamente por la FCC para TV educacional.

La FCC adoptó en 1980 la política de 2 empresas por área; previamente asignaba a una empresa el servicio de telefonía móvil. La misma política se repite para América Latina para facilitar la competencia entre empresas. Se dispone de una empresa ligada al servicio telefónico básico (denominado *wire-line*) y otra no ligada a dicho servicio (*non-wire-line*) para establecer una base de competencia. La división de la banda en dos operadores produce una degradación en el uso del espectro debido a que ciertas portadoras deben reservarse para el acceso. Sin embargo, dicha degradación se estima en 8,5 % y es tolerable.

Hacia 1995 simultáneamente en varios países de América se licitan las bandas A y B para el sistema **PCS** (*Personal Communication System*) con un máximo de 6 operadores (bandas A...F). Los sistemas de telefonía y datos celulares se diversifican y el mercado crece rápidamente.

CLASIFICACIÓN. En los años `90 los sistemas digitales comienzan a dominar el mercado impulsados por el desarrollo de técnicas de fabricación de alta densidad de componentes **VLSI**. Esta tecnología permitió implementar en un reducido espacio los criterios de codificación vocal y procesamiento digital ya conocidos teóricamente pero de difícil realización debido al elevado número de compuertas.

Se desarrollo entonces una amplia variedad de soluciones basadas en sistemas radioeléctricos. En la **Tabla 01** se presenta una clasificación de los sistemas. Se trata de los siguientes sistemas:



SISTEMAS MOVIL-CELULAR

-Sistemas analógicos (AMPS, TACS).

La variedad de estos sistemas ha sido muy grande. Debe tenerse en cuenta que esta característica impidió una uniformidad en Europa y obligó a crear un sistema totalmente nuevo (GSM) para realizar el Roaming entre países de la Comunidad Europea. El sistema AMPS desarrollado en USA se extendió en los otros países de América del Sur.

-Sistemas digitales (D-AMPS, GSM, CDMA).

El sistema AMPS analógico (norma IS-19) se extendió mediante el sistema dual digital D-AMPS (norma IS-54). La principal característica es la compatibilidad de sistemas (IS-19 y IS-54). En GSM se tomó como principal argumento la compatibilidad con ISDN. El sistema CDMA (norma IS-95) se abre camino en los años `90 como un sistema de gran perspectiva futura pero poco maduro.

-Sistemas del tipo cordless (CT2, DECT y DCS1800).

Los sistemas cordless se desarrollaron desde los analógicos (CT0) a los digitales (DECT) como una forma de eliminar el cableado dentro de edificios. El sistema DECT se deriva del GSM.

-Sistemas de acceso wireless (DECT, Tadiran, Krone, etc).

Estos sistemas son digitales desde el inicio y tienen como objetivo eliminar el cableado de la red de acceso al usuario (la denominada *Last Mille*). Se disponen de varios sistemas propietarios. El sistema DECT también se adaptó a esta aplicación.

-Sistemas Trunked.

Para aplicaciones similares a las celulares pero con un número cerrado de clientes, principalmente empresas.

-Sistemas para cobertura de aviones (TFTS, AMSS).

Estos sistemas permiten una cobertura sobre las rutas de aviones y aeropuertos.

-Sistema Geostacionario (Inmarsat).

Con una constelación de satélites geostacionarios Inmarsat brinda desde hace años servicios móviles para diversas aplicaciones. Las estaciones móviles de usuario son de elevado costo y tamaño.

-Sistemas con cobertura mundial (Iridium, Globalstar, etc).

Estos sistemas se desarrollan mediante una amplia constelación de satélites de baja altura. Con inversiones de capital muy elevadas pueden ser de amplia extensión en el próximo decenio. Comenzaron su actividad comercial en 1998.

SISTEMAS MOVIL-CELULAR

Tabla 01. Clasificación general de los sistemas de telefonía móvil celular.

Denominación	AMPS	TACS	D-AMPS	GSM	CT2	DECT	DCS1800	CDMA	TFTS	AMSS	Iridium	Globalstar	Odyssey	Inmarsat
Normalización	IS-19	England	IS-54	ETSI	ETSI	ETSI	ETSI	IS-95	ETSI 300	Inmarsat-A	Motorola	Qualcomm	TRW	Inmarsat-C
Año de inicio del sistema	1983	1985	1992	1992	1992	1992		1994			1998	1998	2000	2000
Banda de frecuencia MHz	850	900	850	900	850	1900	1800	850/1800	1700	1600	L-Ka	L-C	L-Ka	
Forward: Base-a-Móvil MHz		870-890	935-960	870-890	935-960	864-868	1880-1900	1710-1785		1800-1805	1645-1656			
Reverse: Móvil-a-Base MHz		825-845	890-915	825-845	890-915	idem	idem	1805-1880		1670-1675	1544-1555			
Tipo de acceso	FDMA	FDMA	F/TDMA	F/TDMA	F/TDMA	F/TDMA	F/TDMA	F/CDMA	TDMA	FDMA	TDMA	CDMA	CDMA	CDMA
Tipo de duplexión	FDD	FDD	FDD	FDD	TDD	TDD	FDD	FDD	FDD	FDD	FDD	FDD	FDD	FDD
Shift de duplexión MHz	45	45	45	45	---	---	95		130	101,5				
Separación entre canales kHz	30	25	30	200	100	1728	200	1250	30,3	17,5				
Números de portadoras	666	1000	666	40	10	374			164	600		13		
Canales por portadora	1	1	3 (6)	8 (16)	1	12	8 (16)	52-62	4	1		128		
Número de canales	666	600	832	124				798						
Potencia del móvil Watt	3	10	2 a 9	2 a 20					25	40				
Radio de la celda Km	2 a 20	2 a 20	0,5 a 20	0,5 a 35	0,2	0,15	10		240	Global	Global	Latitud 70°	Continente	Global
Canal de telefonía	Analógico	Analógico	Analógico											
Tipo de modulación	FM	FM	FM											
Desviación de frecuencia kHz	±12	±9,5	±12											
Señal del canal de control Kb/s	10	8	10											
Codificación	Manch	Manch	Manch											
Corrección de error	BCH	BCH	BCH											
Modulación canal de control	FSK	FSK	FSK											
Desviación de frecuencia kHz	±8	±6,4	±8											
Canal de telefonía			Digital	Digital	Digital	Digital	Digital	Digital	Digital	Digital	Digital	Digital	Digital	Digital
Tipo de codificación			VSELP	RPE-LTP	ADPCM	ADPCM	RPE-LTP	QCELP	MP-LPC	MP-LPC	VSELP	CELP		
Velocidad del canal Kb/s			7,95	13	32	32	13	1,2 a 9,6	9,6	9,6		9,6		
Velocidad por portadora Kb/s			48,6	270,833	72	1152	270	1229	44,2	21		1229		
Corrección de errores			FEC1/2	RS								FEC-1/2		
Duración de trama mseg				2	10									
Roaming/Handoff			Si/Si	Si/Si	Si/Si	Si/Si	Si/No	No/No	Si/Si	Si/Si	Si/Si	Si/Si		
Tipo de modulación			$\pi/4$ DQPSk	GMSK	GMSK	GMSK	GMSK	B/OQPSK	QPSK	QPSK	QPSK	QPSK	QPSK	BPSK

SISTEMAS MOVIL-CELULAR

2- TECNOLOGIAS

Los sistemas móviles celulares forman una familia con amplia diversidad genética (están en permanente mutación; si la analogía es válida). Existen diversos procesos que identifican a un sistema móvil, muchas veces puede ser caracterizados mediante unos pocos parámetros (forma de codificación, corrección de errores, velocidad, forma de multiplexación, forma de duplexión, plan de frecuencias, forma de modulación, posibilidad de handoff y roamer, etc).

En la **Tabla 02** se presenta una clasificación de algunos elementos básicos de análisis:

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

SISTEMAS MOVIL-CELULAR

Tabla 02. Técnicas de codificación vocal y de modulación para sistemas celulares.

CODIFICACIÓN VOCAL.	
-VSELP	<i>(Vector Sum Excited Linear Predictive)</i> . División de la palabra en vectores de corto y largo plazo. Es usado en D-AMPS y en Iridium a 8 Kb/s. Los métodos siguientes son variantes del mismo proceso genérico.
-RPE-LTP	<i>(Regular Pulse Excitation-Long Term Prediction)</i> . Análisis de predicción de corto y largo plazo. Se transmite el código de error residual. Usado en GSM y DCS1800 a 13 Kb/s.
-CELP	<i>(Code Excited Linear Prediction)</i> . Transmisión de predicción lineal de corto y largo plazo junto con el error residual. Usado en CDMA con un ajuste de velocidad de acuerdo con el ruido entre 1,2 y 9,6 Kb/s.
-ADPCM	<i>(Adaptive Delta Pulse Code Modulation)</i> . La codificación diferencial PCM adaptativa se usa a 32 Kb/s en DECT, CT2 y TETS. Este método corresponde de codificación por muestra. Tiene menor retardo y mayor calidad pero ocupa también mayor ancho de banda.
TÉCNICAS DE MODULACIÓN.	
-FSK	<i>(Frequency Shift Keying)</i> . Se define así a la modulación de frecuencia cuando la señal modulante es digital. Normalmente se utilizan filtros de señal digital antes del modulador. Se utiliza en Hermes.
-GFSK	<i>(Gaussian Frequency Shift Keying)</i> . FSK con filtrado gaussiano. Se aplica en DECT y CT2.
-CP-FSK	<i>(Continuous Phase Frequency Shift Keying)</i> . Se produce un filtrado de la señal digital antes de alcanzar al modulador FSK. Esto entrega una transición continua entre frecuencias.
-MSK	<i>(Minimum Shift Keying)</i> Corresponde a una desviación máxima igual a la mitad de la tasa de bits (índice de modulación $K = 0,5$). El índice de modulación se define como $K = 2 \cdot \Delta F / R_b$, donde ΔF es el corrimiento de frecuencia máximo y R_b la tasa de datos. En MSK la palabra Minimum significa que es el menor valor (mínima separación de frecuencia) que es factible de ser demodulada en forma coherente (ortogonal). Cuando el tipo de filtro es Gaussiano la modulación se denomina GMSK.
-GMSK	<i>(Gaussian Minimum Shift Keying)</i> . Se adopta un filtrado gaussiano y se utiliza en GSM y DCS1800. El filtro Gaussiano (<i>Gaussian Pulse-Shaping Filter</i>) no satisface el criterio de Nyquits de ISI cero. La función transferencia en frecuencia y la respuesta temporal a un impulso de señal son exponenciales: $H(f) = \exp(-\alpha^2 \cdot f^2)$ donde $\alpha = 1,1774/BW$ y el ancho de banda BW es a 3 dB. Si el valor de α se incrementa la eficiencia espectral disminuye y la dispersión temporal del pulso de salida aumenta.
-QPSK	<i>(Quadrature Phase Shift Keying)</i> . Se trata de la modulación de fase PSK de cuatro niveles (4PSK). Se utiliza en el uplink (Forward) de los sistemas CDMA.
-OQPSK	<i>(Offset QPSK)</i> . Versión de la modulación QPSK donde solo un bit cambia por vez. Se usa en CDMA en el enlace downlink.
-DQPSK	<i>(Differential PSK)</i> . Se trata de la modulación QPSK con codificación diferencial.
$-\pi/4$DQPSK	<i>(Differential PSK)</i> . Se trata de una variante de QPSK con codificación diferencial. El corrimiento offset es de $\pi/4$. Se utiliza en D-AMPS.
TECNICA DE ACCESO.	
La asignación de canales se efectúa por demanda del usuario DAMA (<i>Demand Assigned Multiple Access</i>). La evolución histórica repasa en los siguientes estadios:	
-FDMA	<i>(Frequency Division Multiple Access)</i> El acceso múltiple por división de frecuencia asigna un canal para cada portadora.
-TDMA	<i>(Time DMA)</i> El acceso múltiple por división de tiempo distribuye mediante una trama los intervalos de tiempo para distintos usuarios. En general se presenta como una combinación de TDMA sobre varias portadoras FDMA.
-CDMA	<i>(Code DMA)</i> El acceso múltiple por división de código se trata de un acceso sobre la misma portadora de varios usuarios en banda ancha al mismo tiempo. La principal ventaja está dada por la posibilidad de reutilización del plan de frecuencias en todas las celdas. La capacidad de canales está limitada por el procesamiento <i>soft</i> de la señal.
TECNICA DE DUPLEXIÓN.	
Se define como la conexión simultánea móvil-a-base Reverse y base-a-móvil Forward. Se disponen de dos variantes:	
-FDD	<i>(Frequency Division Duplex)</i> . La duplexión por división de frecuencia asigna distinta banda para las portadoras de subida y bajada.
-TDD	<i>(Time Division Duplex)</i> . La duplexión por división de tiempo asigna sobre la misma portadora distintos intervalos de tiempo (ping-pong).

SISTEMAS MOVIL-CELULAR: Analog-AMPS

Referido al funcionamiento, las tramas, los procesos de codificación y la señalización en el sistema celular analógico AMPS.

1- NOCIONES DEL FUNCIONAMIENTO.

COMPONENTES DEL SISTEMA. Un sistema típico móvil celular del tipo AMPS, como el mostrado en la Fig 01, posee los siguientes subsistemas:

Subsistema de radio:

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

Subsistema de conmutación MTSO:

- Centro de conmutación de llamadas.
- Registro de localización: temporal y permanente HLR y VLR.
- Centro de autenticación AuC: para asegurar la entrada de usuarios a la red.
- Registro de identificación del teléfono.
- Centro de operación y mantenimiento O&M.

El MTSO (*Mobile Telephone Switching Office*) se encuentra en medio al subsistema de acceso de radiofrecuencia y la red pública PSTN. La central de conmutación puede ser centralizada o descentralizada. El procesador central realiza varias funciones específicas de la red celular en comparación con un centro de la red PSTN. Por ejemplo, algunas de estas diferencias son: realiza la asignación de frecuencias para la conexión móvil-a-base y sostiene la toma de decisiones para un eventual *handoff* (cambio de celda). Debe efectuar la autenticación del usuario y mantener un registro de la localización del móvil.

El MTSO maneja el Sistema de Señalización SS7 en la comunicación hacia la red pública PSTN (capa 7: ISUP) y entre componentes del sistema MTSO (capa 7: MAP). MTSO contiene el centro de memoria que mantiene la información referida a la posición de cada móvil de acuerdo con la potencia recibida en cada celda y permite la autenticación del móvil antes de iniciar el proceso de comunicación.

En lo que sigue se describe con más detalle la conexión y las características del enlace desde el usuario al MTSO. La conexión de la red pública PSTN o ISDN se analiza en otros trabajos.

1.1 CARACTERISTICAS DEL SISTEMA

1.1.1- CALIDAD DEL SISTEMA. La calidad del servicio de un sistema celular se mide sobre la base de diversos parámetros, entre los cuales se encuentran los siguientes:

- Área de cobertura: se evalúa como un porcentaje del área con acceso esperado (90% del territorio y 95% de la población).
- Eficiencia espectral: definida como la posibilidad de reutilizar una frecuencia en la misma área de servicio.
- Grado de servicio: se especifica como probabilidad de bloqueo para iniciar una llamada en la hora de máximo tráfico.
- Tasa de llamadas *Dropped*: indicada como la relación del número de llamadas interrumpidas respecto al total.
- Criterios de performance vocal: medido mediante una cifra de mérito subjetiva (MOS).

Estos aspectos y otros relacionados con el servicio celular son analizados a continuación.

1.1.2- AREA DE COBERTURA. Un objetivo general del proyectista de un servicio radiomóvil es el incremento de la eficiencia espectral de la red (se trata de maximizar el número de conexiones por unidad de superficie). Con ello se logra aumentar el tráfico en la red (medido en Erlang).

La mejora de la eficiencia espectral se logra mediante alguno de los siguientes aspectos:

SISTEMAS MOVIL-CELULAR: Analog-AMPS

- La reducción del diámetro de las celdas en forma progresiva y en la medida que se incrementa el número de usuarios;
- El incremento del número de usuarios en cada portadora mediante la multiplexación TDMA y CDMA;
- La reducción de la interferencia co-canal (iso-frecuencia) mejorando la relación C/I (Portadora-a-Interferencia) y
- El uso de antenas direccionales para habilitar sectores en cada celda.

El área de cobertura se divide en celdas a las cuales se le asignan una porción de los canales de radio disponibles en la banda. Un canal usado en un área puede ser reutilizado en otra celda espaciada lo suficiente dentro de la misma área de servicio para que la interferencia iso-frecuencia esté acotada. La interferencia en el sentido de estación móvil-a-base es la más complicada debido a la ubicación aleatoria de las estaciones interferentes y como consecuencia de la pérdida por penetración en edificios.

La cobertura de la antena queda determinada por la altura y la potencia isotrópica efectivamente irradiada IERP. La IERP es la suma de la potencia del transmisor (típicamente +43 dBm) más la ganancia de la antena (cerca a +7,5 dB) menos la atenuación del circuito de alimentador (del orden de -1,5 dB). El valor de IERP es entonces cercano a +19 dBw (equivalente a 100 w isotrópicos).

Debido a los cambios de propagación de acuerdo con la posición del móvil, el área de cobertura se define en términos estadísticos de Área vs Tiempo:

- Se considera aceptable una cobertura del 90% del área el 90% del tiempo.
- Comercialmente puede indicarse el 95% de área y el 95% de la población de un país o región.
- La FCC determina que en la banda de 900 MHz una densidad de potencia de 39 dBuV/m (son -93 dBm en el móvil).
- Éste valor corresponde a un contorno de área del 90% de disponibilidad el 50% del tiempo.

1.1.3- INTERFERENCIAS. Las principales interferencias son la co-canal (iso-canal), la del canal adyacente y el *fading multipath*. En un sistema celular analógico la interferencia produce el incremento del ruido; en un sistema digital en cambio produce microcortes y una voz "mecánica" debido a la alta tasa de error BER. En el sistema dual D-AMPS los canales digitales afectan en mayor medida a los analógicos que viceversa. Una interferencia co-canal de 17 dB se considera inaceptable y en IS-55/56 se determina que produce una BER del orden de 3% ($3 \cdot 10^{-2}$). El mismo valor de tasa de error BER se obtiene con una interferencia sobre el canal adyacente de 13 dB (equivalente a $C = -94$ dBm y $I = -107$ dBm).

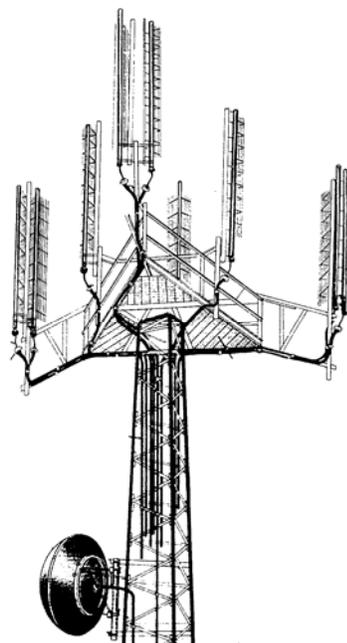
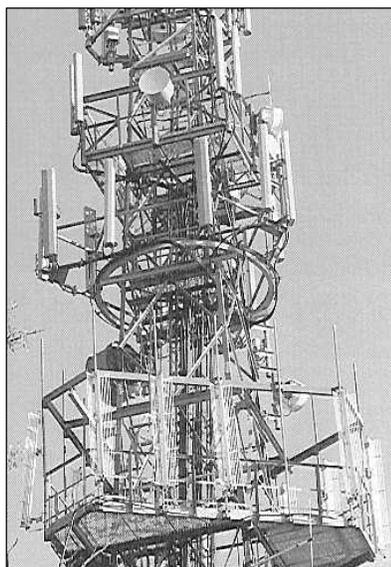
Un problema de sustancial importancia en los sistemas celulares es el *Fading Multipath*. Conocido como desvanecimiento selectivo producido por múltiples trayectorias. Es generado por reflexiones y consiste en la llegada al receptor de varias señales con retardos diversos. Este retardo puede ser elevado en áreas urbanas, del orden de μ seg (comparar este valor con los nseg en radioenlaces terrestres). Debe tenerse presente que una reflexión produce un corrimiento de fase de 180° . El mecanismo de corrección requiere de complejos ecualizadores de banda base que son analizados en un Capítulo por separado.

1.1.4- EFICIENCIA ESPECTRAL. Debido a la posibilidad de **reutilizar** las frecuencias portadoras la tendencia es realizar pequeñas celdas en lugar de grandes celdas. Los sistemas existentes permiten iniciar el servicio con celdas grandes y comenzar a reducirlas (aumentando la densidad) en las áreas de mayor tráfico. Este proceso se conoce como *Splitting* de una celda.

Podemos señalar los siguientes tipos de celdas básicas:

- Celdas overlay: centenares de km mediante satélites;
- Hiper-celdas: más de 20 km de radio usadas en áreas rurales;
- Macro-celdas: entre 1 y 20 km áreas densamente pobladas;
- Micro-celdas: entre 100 y 1000 m áreas internas a una celda;
- Pico-celdas: menos de 100 m para edificios y fábricas.

Otra forma de incrementar la capacidad del sistema (además de la



SISTEMAS MOVIL-CELULAR: Analog-AMPS

reutilización de frecuencias con celdas de menor diámetro) es mediante el uso de **antenas direccionales** en lugar de las comunes antenas **omnidireccionales**. Es posible dividir una celda de 360° en 3 áreas de 120° cada una, lo que permite incrementar la relación portadora a interferencia C/I en 5 dB.

En la **Fig 01** se muestra la estructura de división de celdas para antenas omnidireccionales 360°, y direccionales de 120° y 60°. Obsérvese la distribución de portadoras en 7 celdas; esta estructura permite el reuso de frecuencias cada $D=4,6.R$ (R es el radio de la celda). Sucesivamente se dispone de un mejor aprovechamiento del espectro (eficiencia espectral) y un incremento de las interferencias y problemas relacionados con el *handoff* (pase desde una celda a otra).

Teniendo en cuenta que cada sistema celular ocupa 333 portadoras en total en el sistema D-AMPS la estructura puede ser:
 -Con 7 celdas y 3 sectores de 120°: se tienen 15 portadoras por sector.
 -Con 4 celdas y 6 sectores de 60° son 13 portadoras por sector.

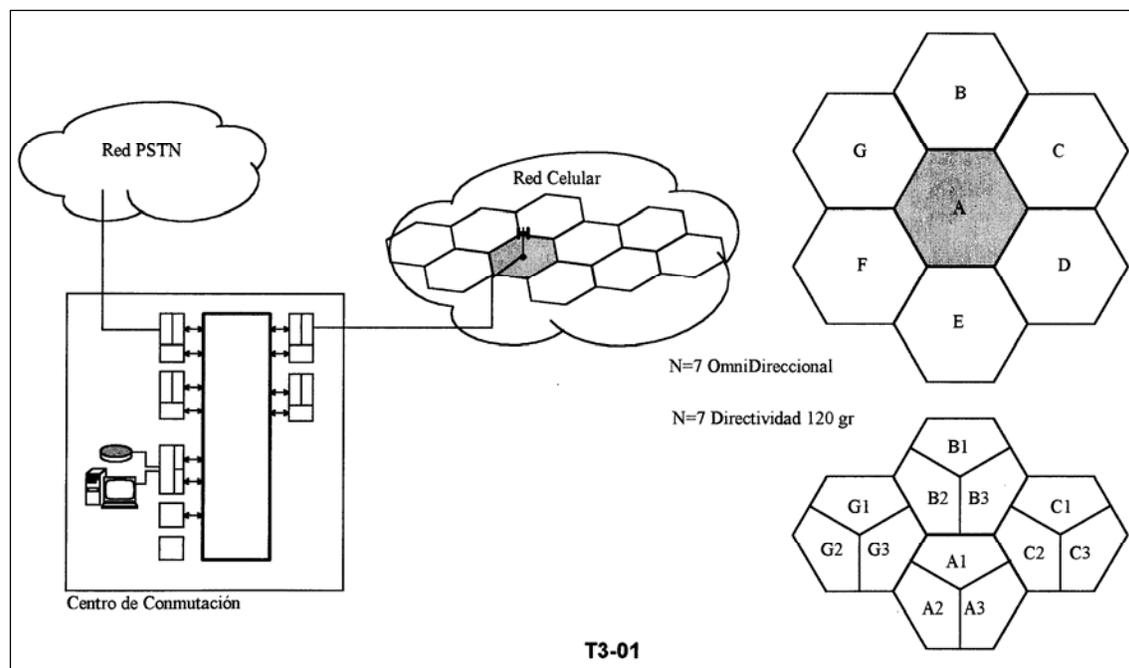


Fig 01. Esquema general de un sistema móvil celular.

1.2- CALCULO DEL ENLACE RADIOELECTRICO

La atenuación básica en el enlace radioeléctrico es la del espacio libre (teoría de **Friis** para la región de **Fraunhofer** que es el campo lejano de propagación de la onda). El nivel de potencia de emisión se expresa en términos de potencia efectiva **EIRP** (*Effective Isotropic Radiated Power*), consistente en el producto de la potencia irradiada por la ganancia de la antena.

Los problemas de propagación fundamentales son:

- La reflexión con grandes retardos y ángulos de entrada también elevados. Origina el *fading multipath*.
- La difracción producida por la presencia de obstáculos de acuerdo con la teoría de **Fresnel**.
- El *scattering* producido por un gran número de obstáculos con pequeñas dimensiones respecto de la longitud de onda.

La interpretación de los datos de campo ha permitido establecer una teoría de cálculo de atenuación del enlace en áreas urbanas. La secuencia de avances en el modelo de cálculo tiene la siguiente historia:

- La primer expresión corresponde a **Longley-Rice** en 1967 para la gama superior a 40 MHz.
- El modelo es mejorado por **Durkin** en 1968 para la JRC de Inglaterra.
- Okimura** en 1968 genera el actual modelo tradicional de 150 a 1920 MHz (extrapolado hasta 3000 MHz).
- Este modelo es válido desde 1 a 100 Km y con altura de antenas desde 30 a 1000 mts.
- El modelo **Hata** de 1990, es derivado del anterior y se aplica mediante la siguiente expresión:

$$L_{so} = 69,55 + 26,16 \cdot \log f_c - 13,82 \cdot \log h_{te} - a(h_{re}) + (44,9 - 6,55 \cdot \log h_{te}) \cdot \log d$$

$$a(h_{re}) = 3,2 \cdot (\log 11,75 \cdot h_{re})^2 - 4,97$$

SISTEMAS MOVIL-CELULAR: Analog-AMPS

Lso	atenuación del enlace en dB para el 50% del tiempo.
fc	frecuencia en MHz (válido desde 150 a 1500 MHz).
hte	altura de antena de estación base (desde 30 a 200 mts).
hre	altura de antena de estación móvil (desde 1 a 10 mts).
d	distancia entre base y móvil en km.
a(hre)	factor de correlación (válido para grandes ciudades y a más de 300 MHz).

Para mejorar las condiciones de recepción en momentos de propagación adversa se han implementado diversos tipos de diversidad, son los siguientes:

- diversidad de espacio entre antenas de transmisión y de recepción sobre la misma torre.
- diversidad de polarización de la onda radioeléctrica (solo en enlaces punto-a-punto).
- diversidad angular mediante el cambio de ángulo de las antenas.
- diversidad de frecuencia mediante cambios periódicos y conocidos de la portadora (en CDMA FH-SS).
- diversidad de trayecto (en CDMA DS-SS).
- diversidad de tiempo mediante intercalado de datos *interleaver* o retransmisión ARQ.

1.3- PROCESAMIENTO DE UNA LLAMADA: IS-41

El tratamiento de la llamada en un sistema celular requiere de las siguientes fases generales:

- Arranque e inicialización.
- Activación: detección de origen, respuesta de ordenes.
- Exploración de canal de control, gestión interfaz de usuario.
- Control de potencia y frecuencia.
- Conversación, liberación y reposo.

El usuario (**estación móvil**) se comunica con la **estación base** de una celda la cual a su vez depende de una **estación central** del sistema. El acceso del usuario al sistema se efectúa mediante un canal de control distintivo de cada celda y sector; en el sistema AMPS se denomina canal de *setup* o de control y es asignado exclusivamente a tal efecto (una portadora por celda y por sector). Normalmente en cada sector se disponen cerca de 15 portadoras de tráfico y una de *setup*.

INICIO. El procesamiento inicial de acceso al servicio móvil celular se realiza mediante una portadora de control *Setup*. En el caso de 7 celdas con 3 sectores son 21 portadoras de control las asignadas para todo el sistema (una por sector).

Con el encendido (*Power On*) del móvil, se procede a estudiar (*Scanner*) los canales de control *Setup*. Se selecciona a la portadora que se recibe con mayor potencia. El proceso de acceso y recepción de parámetros desde la estación base no puede superar los 3 seg. En caso contrario se procede a seleccionar otro canal de control. El canal de control tiene dos direcciones: base-a-móvil *Forward* y móvil-a-base *Reverse*.

Se tienen dos formas de reducir los efectos de colisión en el canal de control:

- Cada 10 bits del canal de control *Forward* se inserta un bit que informa si el canal de control está libre.
- En el canal *reverse* se añade un precursor de 48 bits a la tentativa de toma asíncrona del móvil. Se lo utiliza para sincronización de bit y de palabra e indica a la base quién dirige la tentativa. Esto reduce las falsas tomas causadas por interferencias.

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

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

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

SISTEMAS MOVIL-CELULAR: Analog-AMPS

HANDOFF. El proceso *Handoff* (denominado *Handover* en el sistema europeo GSM) tiene las siguientes características:

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

-La primer generación de handoff tiene en cuenta la detección del nivel en la estación base. Pueden ocurrir tiempos de demora elevados (hasta 10 seg). La segunda generación de handoff se aplica en los sistemas digitales y se denomina **MAHO** (*Mobile Assisted Handoff*). En MAHO el móvil reporta a base el nivel de potencia de recepción o alguna otra característica para asistir el proceso. El nivel de potencia de emisión del usuario es variable y depende del nivel de recepción en la estación base. Entonces la estación central informa al móvil el nivel de la potencia con que debe transmitir en cada momento. Sin embargo, las condiciones de propagación en uno y otro sentido pueden ser distintas.

-El handoff se realiza debido a diversas causas relacionadas con el nivel de recepción desde el móvil. En un caso se utiliza un algoritmo que determina un umbral de ruido ambiente (por ejemplo, -100 dBm) y un umbral de relación C/I. Para C/I= 18dB en AMPS el 75% de los usuarios indica que la calidad vocal es buena (BellLabs-1979). Próximo al umbral se prepara el handoff y superado el umbral (3 dB por encima) se efectúa.

-Se disponen de procesos del tipo *Hard-Handoff* que involucra el cambio de frecuencia en el acceso FDMA o TDMA. El tipo *Soft-Handoff* consiste en un cambio de código sobre la misma frecuencia en el sistema CDMA. El proceso Handoff entre distintos proveedores de servicio en Globalstar (móvil satelital) genera un hard-handoff en CDMA (normalmente es soft-handoff).

CRITERIOS DE PERFORMANCE. La calidad vocal de un sistema celular se mide en base a un criterio subjetivo de la señal. Se trata de la cifra de mérito **CM** (*Circuit Merit*) asignada por un usuario (desde CM1 a CM5). El valor obtenido mediante el promedio de evaluación de usuarios se denomina **MOS** (*Mean Opinion Score*). Ambos valores se indican en la misma **Tabla 01/02**.

Un criterio de calidad adicional es el **GOS** (*Grade Of Service*) definido como la posibilidad de acceso al sistema. Requiere del estudio de la teoría de tráfico en colas de espera (Erlang).

Tabla 01. Figura de mérito y calidad subjetiva de un canal.

CM5	Calidad excelente.
CM4	Calidad buena, señal con algo de ruido.
CM3	Calidad fallada, requiere algunas repeticiones.
CM2	Calidad pobre, requiere repeticiones permanentes.
CM1	Calidad insatisfactoria, no se reconoce la señal vocal.

Tabla 02. Comparación entre sistemas de codificación.

Codificación	Velocidad kb/s	Norma	Año	MOS	Tamaño trama mseg
PCM	64	G.711/712	1972	4,3	0,125
ADPCM	32	G.721	1984	4,1	0,125
ADPCM	16, 24, 32, 40	G.726	1990		0,125
LD-CELP	16	G.728	1992	4,0	0,625
CS-CELP	8	G.729	1995		10
MPC-MLQ	5,3 y 6,4	G.723.1	1995		30
RPE-LTP	13	GSM	1991	3,5	20
VSELP	8	IS-54	1993	3,5	20
IMBE	6,4	Inmarsat-M	1993	3,4	
QCELP	1...8	IS-95	1993	3,4	20
CELP	4,8	FS-1016	1991	3,2	30
LPC-10	2,4	FS-1015	1984	2,3	22,5

SISTEMAS MOVIL-CELULAR: Analog-AMPS

2- CANALES DE TRAFICO Y CONTROL.

El sistema que se describe corresponde al denominado "Sistema Americano AMPS" normalizado a través de los estándar **OST-53** de FCC-USA, coherente con la norma **EIA IS-19/IS-20** y usado en más de 40 países, entre ellos en casi toda América Latina. Una derivación genera la norma **IS-54** para sistemas digitales conocido como **Digital-AMPS**.

2.1- PLAN DE FRECUENCIAS.

El plan de frecuencias para el sistema **AMPS** posee las siguientes características:

- La banda ocupa desde 825 hasta 915 MHz, con el centro de banda en 870 MHz.
- Se dispone de un ancho de banda de 20 MHz para ubicar 666 canales.
- Se denominan sistemas A y B básicos.
- Se distribuyen en dos empresas (el sistema A se asigna normalmente a *non-wireline* y el B para *wireline*).
- Sistema A: Móvil-a-Base 824-835 y 845-846,5 MHz y Base-a-Móvil 869-880 y 890-891,5 MHz.
- Sistema B: Móvil-a-Base 835-845 y 846,5-849 MHz y Base-a-Móvil 880-890 y 891,5-894 MHz.
- Existe una banda adicional de 5 MHz para los canales del 667 a 799 (sistemas A' y B' desde 1986).
- Las portadoras están separadas por 30 kHz una de la otra.
- Ejemplo: La portadora 1 desde el móvil-a-base dispone la frecuencia 825,030 MHz y la 1' es 870,030 MHz.

En la **Tabla 03** se indica la distribución de portadoras en un diagrama de 7 celdas y con antenas de 120° (**Fig 01**). De esta forma se determinan 3 sectores por celdas. Se indican además los sistemas A y B para ambos prestatarios del servicio.

Tabla 03. Distribución de portadoras para el sistema AMPS-NADC con 7 celdas y 3 sectores.

A1	B1	C1	D1	E1	F1	G1	A2	B2	C2	D2	E2	F2	G2	A3	B3	C3	D3	E3	F3	G3
A																				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63
...
295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	--	--	--
313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333
B																				
334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354
355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375
376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396
...
628	629	630	631	632	633	634	635	636	637	638	639	640	641	642	643	644	645	646	647	648
649	650	651	652	653	654	655	656	657	658	659	660	661	662	663	664	665	666	--	--	--

Se pueden obtener las siguientes conclusiones:

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

2.2- SEÑALES SOBRE EL CANAL DE TRÁFICO

El espectro completo está formado por 3 componentes:

- Canal vocal analógico que modula a la portadora en FM (desviación de ± 12 kHz);
- Tono de supervisión de 6 kHz que modula en FM a la portadora (desviación de ± 2 kHz);
- El canal de control o señalización con 10 kb/s modulado en FSK sobre una portadora a +10 kHz (± 8 kHz).

CANAL VOCAL. En este sistema el canal vocal se transmite en forma analógica. Las principales características son:

- Se efectúa una compresión-expansión silábica de relación 2:1 (2 dB de cambio en la entrada se traduce a 1 dB).
- Se realiza luego una pre-acentuación de 6 dB/octava entre las frecuencias de 300 y 3400 Hz.

SISTEMAS MOVIL-CELULAR: Analog-AMPS

- Se logra de esta forma confinar la energía en la banda del canal y un salto inferior entre pulsos de palabras.
- Se trata de un tiempo de 3 mseg de ataque y 13,5 mseg de recuperación.
- La señal vocal se modula en frecuencia FM con una desviación máxima de ± 12 kHz.
- La desviación eficaz es de $\pm 2,9$ kHz sobre la portadora del canal.

TONO DE SUPERVISIÓN DE AUDIO. Sobre el canal vocal se coloca un SAT (*Supervisory Audio Tone*):

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

CANAL DE CONTROL. Este canal se utiliza para emitir datos de señalización (ver próximo ítem):

- Se trata de una señal digital de 10 kb/s en codificación Manchester.
- Se modula en FSK con una desviación de ± 8 kHz sobre un tono a 10 kHz sobre el canal vocal.
- Ambos espectros están separados por la concentración de energía.

2.3- CANALES DE SEÑALIZACION

Tanto sobre el canal de Setup (usado para acceso en llamadas salientes y para paging en llamadas entrantes), como sobre el canal de Tráfico (usado para control de handoff y potencia de transmisión del móvil) se encuentra una señal de 10 kb/s para datos de señalización **IS-41**. Las tramas de datos son distintas en cada caso y se define una interfaz común para el enlace radioeléctrico denominada **CAI** (*Common Air Interface*). Contiene 4 canales:

	Denominación	Dirección	Función
-RECC	(Reverse Control Channel)	Móvil-a-Base	Sobre canal de Setup.
-FOCC	(Forward Control Channel)	Base-a-Móvil	Sobre canal de Setup.
-RVC	(Reverse Voice Channel)	Móvil-a-Base	Sobre canal de Tráfico vocal.
-FVC	(Forward Voice Channel)	Base-a-Móvil	Sobre canal de Tráfico vocal.

Los dos primeros canales (RECC y FOCC) sirven para el acceso al sistema y se envían sobre el canal de Setup. Durante una llamada saliente o entrante la señalización se transmite por los canales de tráfico vocal obteniéndose entonces los dos canales finales (RVC y FVC). Las características de cada canal se encuentran a continuación; en las Tablas siguientes se describen los datos en las tramas.

2.3.1- RECC.

Se trata del control sobre canal de Setup en Reverse. En la **Fig 02** se muestra el formato de los mensajes de control desde la estación móvil a la estación base (Reverse) enviado sobre el canal de Setup. El mensaje RECC tiene hasta 5 palabras (A...E) de 48 bits cada una, las cuales se describen en la **Tabla 04**.

Se tienen las siguientes características:

- Cada palabra se repite 5 veces para corregir 2 errores (decisión por mayoría). Como se observa existe una gran redundancia en el mensaje, se repite cada palabra y se agregan bits de paridad BCH.
- El mensaje de requerimiento de servicio se emite en forma continua con separación de 25 mseg de portadora sin modular. Si en 5 seg no existe respuesta desde la base se interrumpe la llamada.
- Los tipos de mensajes a enviarse sobre el RECC son:
 - .mensaje de origen de llamada para llamada saliente,
 - .mensaje de respuesta a una llamada entrante por el paging (Word A, bit T),
 - .mensaje de confirmación de orden y mensaje de orden a la estación base.

Obsérvese la presencia de la información para autenticación del móvil dado por las señales **MIN** (número de usuario de la red) y **ESN** (número serial del aparato), en las palabras A-B-C. Este mensaje permite realizar el proceso de autenticación (mensaje **RAND**) que se realiza con el auxilio de los registros de usuarios del sistema HLR y de visitantes VLR (Roamer). Una vez realizada la autenticación el mismo tipo de mensaje permite enviar el discado en una llamada saliente mediante los dígitos **DIG** en las palabras D-E.

SISTEMAS MOVIL-CELULAR: Analog-AMPS

Tabla 04: Trama del Canal de Control Reverse RECC

-DOT	30 bits. Funciona como señal de activación. Consiste en una secuencia 1010..10 y lleva contenida la frecuencia de reloj para sincronismo de bit.
-SYN	11 bits. Palabra de alineamiento de trama consistente en la secuencia 1110 0010 010.
-DCC	7 bits. Código de color digital de respuesta al PSCC recibido desde la estación base conteniendo la información sobre que tono de supervisión de audio se está usando. El DCC digital se trata de 2 bits codificados en 7 bits -código H(7:4)- para identificar la estación de base a la que se dirige el mensaje.
-Word	48 bits. Consiste en 1 a 5 palabra de mensaje cuyo contenido se indica a continuación.
WORD A. PALABRA DE DIRECCIÓN ABREVIADA	
-F	1 bit. Indica el inicio de la palabra (en Word A vale 1 y en las siguientes vale 0).
-NAWC	3 bits. Número de palabras adicionales que faltan en el mensaje (máximo total 5).
-T	1 bit. Indica si el mensaje es una orden (origen de llamada) o respuesta a la orden de paging.
-S	1 bit. Campo de número serial de emisión (vale 1 cuando se emite el número serial).
-E	1 bit. Campo de dirección extendido (indica si la dirección es extendida y existe la Word B).
-ER	1 bit. Indica que se trata de un protocolo extendido.
-SCM	4 bits. Indica la clase de estación móvil (ancho de banda 20/25 MHz; transmisión continua o discontinua; potencia efectiva irradiada).
-MIN	24 bits. (<i>Mobile Identification Number</i>) Campo de 34 bits en total para identificar el número del móvil correspondiente a 10 dígitos decimales del directorio telefónico.
-P	12 bits. Bits de paridad para corrección de errores código BCH (48,36) .
WORD B. PALABRA DE DIRECCIÓN EXTENDIDA.	
-F/NAWC/P	Idem a la Word A.
-LOC	5 bits. Campo asignado al control local de la estación móvil.
-ORD	8 bits. Campo de ordenes.
-LT	1 bit. Campo de orden <i>Last-Try</i> .
-EP	1 bit. Indica que el móvil puede usar un protocolo extendido.
-SCM	1 bit. Campo de marca de tipo de estación.
-MPCI	2 bits. Indica un móvil analógico AMPS o dual (análogo-digital) NADC.
-SDCC	2x2 bits. Código de color digital suplementario.
-MIN	10 bit similares a la Word A. Complemento del mensaje MIN.
WORD C1. PALABRA DE NÚMERO SERIAL DEL PRODUCTOR DEL TERMINAL MÓVIL.	
-F/NAWC/P	Idem a la Word A.
-ESN	32 bits. Número de serie del móvil de 32 bits, para identificar a la estación móvil correspondientes a un seteado en fábrica. Los bits 0 a 17 son para el número de serie del aparato, del 18 al 23 se encuentran reservados y los bits del 24 al 31 identifican al fabricante del aparato.
WORD C2. PALABRA DE AUTENTIFICACIÓN.	
-F/NAWS/P	Idem a la Word A.
-COUNT	6 bits. Usado para autenticación y anti-fraude.
-RANDC	8 bits. Usado para confirmar el último RAND recibido.
-AUTHR	18 bits. Respuesta de salida del algoritmo de autenticación.
WORD C3. PALABRA DE CONFIRMACIÓN DE ORDEN DE CAMBIO.	
-F/NAWC/P	Idem a la Word A.
-RSVD	14 bits. Reservados.
-AUTHU	Idem a la Word C2.
WORD C4. PALABRA DE CAMBIO DE ESTACIÓN BASE.	
-F/NAWC/P	Idem a la Word A.
-RANDBS	32 bits. Número random usado para actualización de SSD.
WORD D Y E. PALABRAS USADAS PARA TRANSFERIR LA DIRECCIÓN LLAMADA.	
-F/NAWC/P	Idem a la Word A.
-DIG	8x4 bits. Dígitos de discado del número llamado. 8 dígitos decimales por cada palabra D y E de 4 bits cada uno.

SISTEMAS MOVIL-CELULAR: Analog-AMPS

2.3.2- FOCC.

Control sobre canal de Setup Forward. El mensaje FOCC se describe en la **Tabla 05**. Se indica también el Mensaje de estación móvil como ejemplo de este tipo de campo (se trata de 2 palabras consecutivas repetidas 5 veces). FOCC es un canal de transmisión continua que identifica el código de color SAT.

Tabla 05: Trama del Canal de Control Forward FOCC.

-DOT	10 bits para señal de activación (1010..10). Lleva contenida la frecuencia de reloj para sincronismo de bit.
-SYN	11 bits. Palabra de alineamiento de trama consistente en 1110 0010 010.
-Word	5x40 bits. Palabra de mensaje. Se trata de 1 o más palabras repetidas 5 veces.
WORD 1 Y 2. PALABRA DE DIRECCIÓN ABREVIADA Y EXTENDIDA.	
-TT	2 bits. Campo para indicar si es una palabra única (00) o múltiple (01).
-DCC	2 bits. Código de color SAT (codifica la frecuencia emitida). Es recibido por el móvil y codificado en 7 bits sobre RECC. Por ejemplo DCC= 01 en FOCC, corresponde a DCC=0011111 en RECC y una frecuencia de 6000 Hz.
-MIN	24 bits. Campo de número de identificación del móvil.
-P	12 bits. Campo de paridad para corrección de error BCH (40,28).
WORD 3. PALABRA DE ASIGNACIÓN DE CANAL.	
-TT	2 bits. Campo para indicar el inicio y fin de secuencia de palabras.
-RSVD	1 bit. Reservado.
-MEM	1 bit. Indica si el mensaje de señalización está criptografiado.
-DVCC	8 bits. Campo de código de color de verificación digital.
-PM	1 bit. Indicador de modo privacidad.
-DMAC	4 bit. Código de atenuación vocal del móvil. Especifica la potencia de emisión para la estación móvil.
-CHAN	11 bits. Campo de número de canal. Indica el canal de voz asignado.
-P	12 bits. Campo de paridad para corrección de error BCH (40,28).

Los dos mensajes descriptos hasta el presente son enviados sobre la portadora de Setup (Fo+10 kHz) a una velocidad de 10 kb/s. Una vez que el usuario es trasladado al canal de tráfico el diálogo continua sobre el tono (+10 kHz) a la misma velocidad pero con dos tipos de mensajes distintos RVC y FVC.

2.3.3- RVC.

Control sobre canal de Tráfico en Reverse. Este canal de control RVC desde la estación móvil-a-base contiene el formato general de trama de la **Tabla 06**. Este formato se repite 5 o 10 veces; 5 veces con la palabra de mensaje 1 y otras 5 veces con la palabra 2. El primer DOT posee 101 bits mientras que los siguientes poseen 37 bits. Se tienen varios tipos de mensajes a transmitir y se utiliza durante toda la fase de comunicación en el canal de tráfico vocal. La principal función de este canal es la confirmación de acciones y comandos enviados desde la estación base.

Tabla 06: Trama del Canal Vocal en Reversa RVC.

-DOT	101/37 bits. Funciona como señal de activación (1010..101). Contiene el reloj para sincronismo de bit.
-WS	11 bits. Palabra de alineamiento de trama consistente en 1110 0010 010.
-Word	48 bits. Palabra de mensaje. Se tienen 1 o 2 palabras.
MENSAJE DE CONFIRMACIÓN DE ORDENES: (posee una palabra)	
-F	1 bit. Indica el inicio de la palabra.
-NAWC	3 bits. Número de palabras adicionales que faltan en el mensaje.
-T	1 bit. Identifica que el mensaje es una confirmación de orden.
-LOC	5 bits. Campo asignado al control local de la estación móvil.
-ORD	8 bits. Campo de ordenes.
-RSV	19 bits. Reservados (00...0)
-P	12 bits. Campo asignado para bits de paridad código BCH (48,36) .
MENSAJE DE DIRECCIÓN DE LLAMADA: (dos palabras, 16 dígitos)	
-F	1 bit. Indica el inicio de la palabra.
-NAWC	2 bits. Número de palabras adicionales que faltan en el mensaje.
-T	1 bit. Identifica que el mensaje es una confirmación de orden.
-DIG	8x4 bits. Campo de dígitos. Son 8 dígitos de 4 bits cada uno.
-P	12 bits. Campo asignado para bits de paridad código BCH (48,36) .

SISTEMAS MOVIL-CELULAR: Digital-AMPS

Referido al funcionamiento, la codificación y señalización y las tramas utilizadas en el sistema dual (análogo-digital) AMPS.

1- SISTEMA DIGITAL D-AMPS

1.1- GENERALIDADES

La principal característica de diseño del sistema dual D-AMPS es la compatibilidad de banda de frecuencias con el sistema analógico. Esto permite una transición suave desde el sistema analógico AMPS al digital NADC (*North-American Dual-mode Cellular*) y la convivencia en forma dual simultánea de ambos. El sistema NADC es mejor conocido como **D-AMPS** (*Digital-AMPS*). D-AMPS introduce la posibilidad de transmisión de datos y facsímil y se encuentra normalizado mediante **EIA IS-54**. El proceso de normalización se inicia en 1987 y está disponible desde 1990.

Permite un incremento de la eficiencia espectral. Cada portadora de 30 kHz acomoda 3 canales digitales TDMA mediante la codificación y modulación apropiada. Se proyecta una capacidad de 6 canales por portadora en el futuro a la mitad de velocidad. En D-AMPS se ha privilegiado la compatibilidad con el sistema AMPS. En tanto que en **GSM**, el sistema europeo, ante la imposibilidad de compatibilizar todos los distintos sistemas se prefirió la compatibilidad Roamer y el acceso a ISDN.

1.2- CODIFICACIÓN, TRAMA Y MODULACION

Una forma eficiente de codificación es la predicción lineal **LPC** (*Linear Predictive Coders*). Es útil para señales que pueden modelarse como un sistema lineal. Mientras que PCM-ADPCM-Delta son «técnicas de codificación de forma de onda», LPC se basa en la «estimación lineal de la fuente». Las muestras $X(n)$ se determinan como una función lineal de una Secuencia de Excitación $V(n)$ (señal de pulsos) y una predicción en base a las muestras anteriores $X(n-i)$. Matemáticamente:

$$X(n) = A.V(n) + \sum^N a_i.X(n-i)$$

El orden de cálculo N es el valor total de muestras $X(n-i)$ usadas en la predicción. Los valores de A y a_i se codifican y transmiten en lugar de la muestra $X(n)$. Para reducir el número de bits se toman varias muestras y se transmiten los parámetros A y a_i . En lugar de codificar cada muestra individual se codifican los parámetros de un grupo de ellas (parámetros del sistema lineal). Este tipo de codificación da lugar a diferentes métodos de reducción de velocidad en sistemas de telefonía móvil.

VSELP (*Vector Sum Excited Linear Predictive*). Es una variante del codificador CELP desarrollado por Motorola. Se utilizan 3 fuentes de excitación al filtro de síntesis LPC. Uno de ellos utiliza un código de largo plazo adaptativo (*code-book*). Los restantes son conjuntos de códigos de 128 vectores cada uno. Las 3 señales se multiplican por la ganancia para obtener la amplitud adecuada y se suman para ingresar al filtro de síntesis. El resultado se utiliza para actualizar al código adaptativo. El filtro de síntesis es de orden 10. Actúa sobre 40 muestras de entrada en 5 mseg. Es usado en el sistema celular dual americano NADC (IS-54) y en Iridium a una velocidad de 7,95 Kb/s.

TRAMA DE CANAL VOCAL. La codificación del canal vocal se realiza mediante **VSELP**. La tasa de muestreo es de 8 kHz y la codificación inicial es de 13 bits por muestra. Las características de codificación son:

- Las muestras se reúnen en tramas con longitud de 160 muestras (20 mseg).
- La trama se divide en 4 sub-tramas de 40 muestras (5 mseg).
- El filtro de síntesis digital es un predictor **LPC** con señal de excitación de corto y largo plazo y de orden 10.
- La tasa de información de la codificación es 7950 b/s y corresponde a 159 bits/trama. Ver la **Tabla 01**.
- Este proceso introduce un retardo de 100 mseg y entrega una calidad MOS cercana a 3.

SISTEMAS MOVIL-CELULAR: Digital-AMPS

Tabla 01: Trama de 159 bits para el canal vocal en codificación VSELP

-R0	5 bits. Energía de trama. Señala el nivel de energía promedio de las muestras.
-LPC	38 bits. Coeficientes de predicción del filtro de corto plazo. Son 10 coeficientes LPC con longitud desde 6 a 2 bits. Se trata de un filtro de síntesis Predictivo Lineal.
-LAG	28 bits. Retardo del predictor a largo plazo con 7 bits para cada una de las 4 sub-tramas.
-CODE	56 bits. Se usan 2 secuencias de códigos (<i>codebook</i> 1 y 2) y se cambian en cada subtrama. CODE identifica al bloque usado. Son 2 palabras de códigos para cada una de las 4 subtramas (2x4x7 bits).
-GSPO	32 bits. Identifica la ganancia con 8 bits/subtrama.

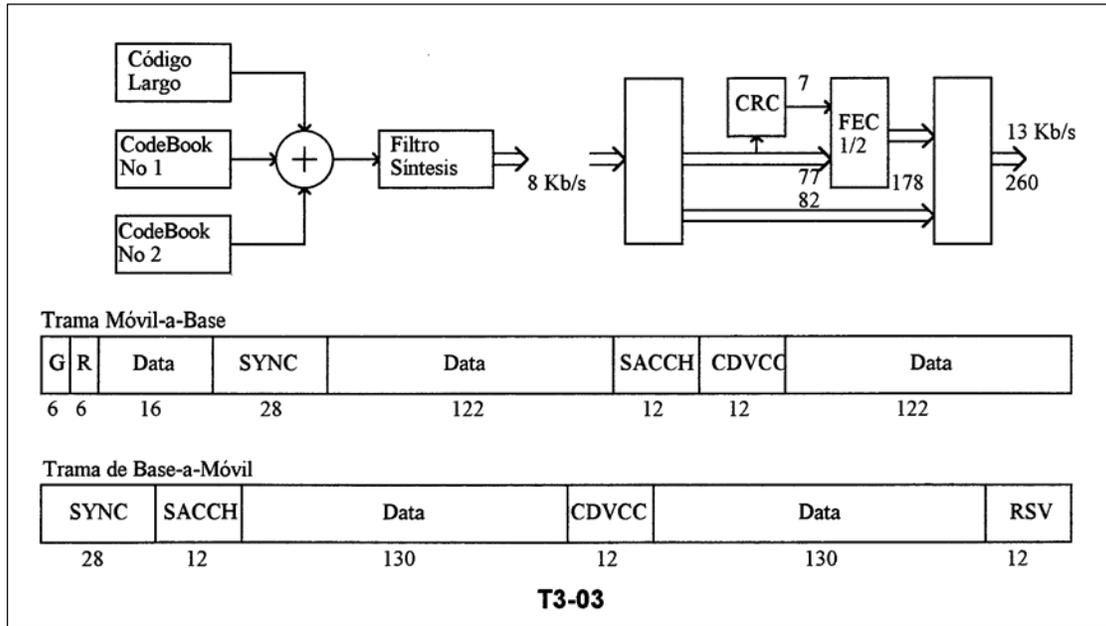


Fig 01. Codificación vocal y trama de datos en D-AMPS.

PROTECCIÓN CONTRA ERRORES. De acuerdo con la Fig 01. La secuencia de 159 bits de la trama son protegidos contra errores mediante la codificación convolucional. El procedimiento es el siguiente:

- Los bits se separan en dos grupos 77+82 bits (clase I y II). Solo los 82 bits de clase II no se someten a la protección.
- A los 77 bits de clase I se le añaden 7 bits de control CRC con el polinomio generador 10110111.
- A los 84 bits resultantes se le agregan 5 bit de *Tail* y se los someten a una codificación convolucional del tipo 1/2.
- Los polinomios generadores para FEC-1/2 son 111101 y 101011. La cantidad de bits se duplica.
- El conjunto de bits de clase I es 178 bits. El conjunto de clase I y II forma una secuencia de 260 bits por trama.

Para reducir el efecto de las ráfagas de errores se aplica un codificador *interleaver*. El interleaver es una matriz de 26x10 bits que afecta a dos tramas sucesivas y distribuye los datos en el tiempo. La velocidad final de este procesamiento es de **13 kb/s**.

SILENCIAMIENTO DEL CANAL VOCAL. Luego de la corrección de errores mediante FEC-1/2 y si persisten los errores (de acuerdo con el estado de la paridad CRC en recepción), se procede al silenciamiento de la señal vocal:

- Una o dos tramas sucesivas con error: Se repiten R0 y LPC. Los otros bits se decodifican sin modificación.
- Tres, cuatro o cinco tramas sucesivas con error: La energía promedio R0 se atenúa sucesivamente en saltos de 4 dB.
- Los demás coeficientes se decodifican y LPC se repiten.
- Seis tramas sucesivas con error: El valor de R0 se lleva a cero y el canal se silencia (*Squelch*).
- Alternativamente se puede insertar ruido en el canal vocal para simular la línea conectada.

ESTRUCTURA DEL CANAL DE TRAFICO. En la Fig 01 y Tabla 02 se muestra la información asociada. Se procesa de la siguiente forma:

- Los 260 bits de codificación se ingresan en una trama de 6 intervalos de tiempo *slot* (1 a 6).
- Dos slot (1-4, 2-5, 3-6) por cada uno de los 3 canales de usuario TDMA sobre la misma portadora.
- La trama posee un total de 1944 bits sobre una duración de 40 mseg. La velocidad es de 48,6 kb/s.
- Cada intervalo ocupa 324 bits con una duración de 6,667 mseg.
- Existe un offset entre el canal Forward y Reverse de 414 bits para determinar la temporización de trama del móvil.

SISTEMAS MOVIL-CELULAR: Digital-AMPS

Tabla 02: Estructura de Trama del Canal de Tráfico Digital TDMA.

SLOT REVERSE	
-GT	6 bits. Tiempo de guarda.
-RT	6 bits. Tiempo de crecimiento de rampa. GT y RT se requiere en la transmisión del móvil para armar la trama TDMA en la base.
-Data	16 bits. Datos de usuario.
-Sync	28 bits. Para sincronización, temporización de ecualizador por fading selectivo e identificación del intervalo de tiempo.
-Data	122 bits. Datos de usuario.
-SACCH	12 bits. (<i>Slow Associated Control Channel</i>). Canal de control asociado para funciones de supervisión y control. Usado para Handoff.
-CDVCC	12 bits. Código de color de verificación digital, similar al tono SAT. Dos bases adyacentes usan códigos distintos para identificación. DVCC es una palabra de 8 bits en código Hamming (15,11) llevada a 12 bits (12,8) para obtener CDVCC.
-Data	122 bits. Datos de usuario.
SLOT FORWARD	
-Sync	28 bits. Para sincronización.
-SACCH	12 bits. Canal de control asociado lento.
-Data	130 bits. Datos de usuario.
-CDVCC	12 bits. Código de color de verificación digital.
-Data	130 bits. Datos de usuario.
-Rsvd	12 bits. Reservados (00...0)

MODULACIÓN DE DATOS. El plan de frecuencias permite una banda de 30 kHz para cada portadora. Para poder acomodar la señal de 48,6 kb/s se procede a la modulación QPSK:

- La modulación usada es la PSK de 4 fases con codificación Offset $\pi/4$.
- La información se somete a la codificación diferencial y la constelación de fases a una cartografía de código Gray.
- Se denomina $\pi/4$ QPSK, corresponde a 4PSK con rotación de fase de 45° por salto de fase (constelación 8PSK).
- En tanto AMPS dispone de 8 niveles de potencia, en D-AMPS se disponen de 11 niveles (+6 a -34 dBw en pasos de 4 dB).

1.3- CANALES DE CONTROL

Para la supervisión de la conexión del canal vocal se requieren las siguientes señales. Así como sobre el canal vocal analógico se coloca el Tono de Supervisión de Audio **SAT** y el Tono de Señalización **ST**, en el canal vocal digital se coloca el Código de Color de Verificación Digital **DVCC** (12 bits en la trama de tráfico). También se dispone del Canal de Control Asociado **FACCH-SACCH** (rápido y lento) de 12 bits sobre la trama. F/SACCH se diferencian por el tipo de mensaje que llevan. El SACCH es transmitido en todos los intervalos de tiempo.

FACCH (*Fast Associated Control Channel*).

- Es una ráfaga de datos para supervisión entre la base y el móvil, la misma se muestra en la **Tabla 03**.
- Cada 49 bits de información se genera una secuencia de paridad CRC-16 bits con polinomio $X^{16} + X^{12} + X^5 + 1$.
- La secuencia se protege contra errores mediante codificación convolucional de tasa FEC 1/4.
- Los polinomios generadores son: 111011; 100111; 101111 y 110101.
- La secuencia se ingresa en un interleaver de matriz 26x10 para evitar ráfagas de error.

SACCH (*Slow Associated Control Channel*).

- Es una señal de control de 12 bits por slot que se transmite en forma permanente para la supervisión entre base y móvil.
- Cada 50 bits de información se genera una secuencia de paridad CRC-16 bits con polinomio $X^{16} + X^{12} + X^5 + 1$.
- La secuencia se protege contra errores mediante codificación convolucional de tasa FEC 1/2.
- Los polinomios generadores para el FEC son 101011; 111101.
- La secuencia se ingresa en un interleaver de matriz 12x12 para evitar ráfagas de error.
- Las palabras de datos para FACCH y SACCH poseen una trama idéntica.

CONTENIDO DE LOS MENSAJES. El contenido de los mensajes es distinto en el canal en Reverse y Forward.

-Reverse:

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

SISTEMAS MOVIL-CELULAR: Digital-AMPS

Mensaje de orden de cambio de estación base (FACCH).

-Forward:

Mensaje con orden de medición (FACCH).

Mensaje con orden de Handoff (FACCH).

Mensaje de confirmación de cambio de estación base (FACCH).

Tabla 03: Trama del mensaje de supervisión para SACCH y FACCH.

-SWH	1 bit. Palabra de señalización de encabezado. Bandera de inicio a lo largo de todos los paquetes de datos que forman el mensaje: 01..11.
-RSVD	1 bit. Reservado. Solo disponible en SACCH.
-CONT	Nx48 bits. Contenido del mensaje.
.PD	2 bits. Discriminador de protocolo.
.MT	8 bits. Tipo de mensaje contenido en la trama.
.MFIE	Elementos de longitud de información fija obligatorios.
.MVIE	Elementos de longitud de información variable obligatorios.
.RL	6 bits. Longitud remanente.
.OVIE	Elementos de longitud de información variable opcional.
-CRC	16 bits. Verificación de errores.

2- PROCESAMIENTO DE UNA LLAMADA: IS-41

2.1- GENERALIDADES

El tratamiento de la llamada en un sistema celular requiere de las siguientes fases generales:

- Arranque e inicialización.
- Activación: detección de origen, respuesta de ordenes.
- Exploración de canal de control, gestión interfaz de usuario.
- Control de potencia y frecuencia.
- Conversación, liberación y reposo.

El usuario (**estación móvil**) se comunica con la **estación base** de una celda la cual a su vez depende de una **estación central** del sistema. El acceso del usuario al sistema se efectúa mediante un canal de control distintivo de cada celda y sector; en el sistema AMPS se denomina canal de *setup* o de control y es asignado exclusivamente a tal efecto (una portadora por celda y por sector). Normalmente en cada sector se disponen cerca de 15 portadoras de tráfico y una de *setup*.

INICIO. El procesamiento inicial de acceso al servicio móvil celular se realiza mediante una portadora de control *Setup*. En el caso de 7 celdas con 3 sectores son 21 portadoras de control las asignadas para todo el sistema (una por sector).

Con el encendido (*Power On*) del móvil, se procede a estudiar (*Scanner*) los canales de control *Setup*. Se selecciona a la portadora que se recibe con mayor potencia. El proceso de acceso y recepción de parámetros desde la estación base no puede superar los 3 seg. En caso contrario se procede a seleccionar otro canal de control. El canal de control tiene dos direcciones: base-a-móvil *Forward* y móvil-a-base *Reverse*.

Se tienen dos formas de reducir los efectos de colisión en el canal de control:

- Cada 10 bits del canal de control *Forward* se inserta un bit que informa si el canal de control está libre.
- En el canal *reverse* se añade un precursor de 48 bits a la tentativa de toma asíncrona del móvil. Se lo utiliza para sincronización de bit y de palabra e indica a la base quién dirige la tentativa. Esto reduce las falsas tomas causadas por interferencias.

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

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

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

HANDOFF. El proceso *Handoff* (denominado *Handover* en el sistema europeo GSM) tiene las siguientes características:

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

-La primer generación de *handoff* tiene en cuenta la detección del nivel en la estación base. Pueden ocurrir tiempos de demora elevados (hasta 10 seg). La segunda generación de *handoff* se aplica en los sistemas digitales y se denomina **MAHO** (*Mobile Assisted Handoff*). En MAHO el móvil reporta a base el nivel de potencia de recepción o alguna otra característica para asistir el proceso. El nivel de potencia de emisión del usuario es variable y depende del nivel de recepción en la estación base. Entonces la estación central informa al móvil el nivel de la potencia con que debe transmitir en cada momento. Sin embargo, las condiciones de propagación en uno y otro sentido pueden ser distintas.

-El *handoff* se realiza debido a diversas causas relacionadas con el nivel de recepción desde el móvil. En un caso se utiliza un algoritmo que determina un umbral de ruido ambiente (por ejemplo, -100 dBm) y un umbral de relación C/I. Para C/I=

SISTEMAS MOVIL-CELULAR: Digital-AMPS

18dB en AMPS el 75% de los usuarios indica que la calidad vocal es buena (BellLabs-1979). Próximo al umbral se prepara el handoff y superado el umbral (3 dB por encima) se efectúa.

-Se disponen de procesos del tipo *Hard-Handoff* que involucra el cambio de frecuencia en el acceso FDMA o TDMA. El tipo *Soft-Handoff* consiste en un cambio de código sobre la misma frecuencia en el sistema CDMA. El proceso Handoff entre distintos proveedores de servicio en Globalstar (móvil satelital) genera un hard-handoff en CDMA (normalmente es soft-handoff).

2.2- PROCESO DE COMUNICACIÓN.

Encendido del móvil.

- Cuando el móvil se enciende (*On*) se efectúa un análisis (*scanning*) de los canales de control (*setup*).
- El canal de Setup dispone del tono de supervisión para la detección de potencia y la identificación de la base.
- Se selecciona el canal Setup de mejor nivel y se realiza la operación de acceso al sistema enviando datos de configuración.
- Se procede a autenticar al usuario mediante el registro **HLR** (*Home Location Register*) y **VLR** (*Visitor LR*).
- Los datos de configuración corresponden a un mensaje RECC.
- Por el canal de Setup (actuando como paging) se reciben los datos de configuración desde el sistema (mensaje FOCC).
- El canal de paging (Setup) continua bajo monitoreo para recibir llamadas entrantes. Se trata del estado de reposo (Idle).

Llamada saliente.

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

Llamada entrante.

- En una llamada entrante la conexión se efectúa mediante el canal de paging (Setup).
- Se detecta el mensaje y se emite una respuesta. Se espera la información por el canal de Setup.
- Se recibe el mensaje Alert y se para al modo de conversación mediante Send.
- En el caso de cambio de celda handoff se requiere una reasignación de frecuencia, potencia, SAT o DVCC.
- El mensaje para el handoff se transmite usando el campo de datos FACCH sobre el canal de tráfico.

HANDOFF MAHO (*Mobile-Assisted HandOff*). Se trata del proceso de handoff asistido por el usuario (en el sistema analógico solo se toma en cuenta la potencia de recepción de la estación base). Para este efecto se miden dos tipos de indicaciones: la tasa de error BER y el nivel de potencia de recepción en el móvil.

El proceso MAHO consiste de 3 mensajes:

- Mensaje de inicio de medición (Forward) y Mensaje de reconocimiento (Reverse).
- Mensaje de stop de medición (Forward) y Mensaje de reconocimiento (Reverse).
- Mensaje con los resultados de la calidad de canal (Reverse). Los resultados se transmiten sobre el canal SACCH o FACCH con lo que se asiste a la base para realizar el handoff.

2.3- SEÑALIZACION ENTRE SISTEMAS CELULARES.

EIA/TIA IS-41. Este standard permite la operación de distintos sistemas y operadores celulares. Describe las siguientes operaciones:

- Handoff intersistema. El handoff intersistemas tiene como objetivo permitir que el usuario continúe la conexión entre dos sistemas que cooperan.
- Roaming automático. El Roaming automático permitirá al usuario identificarse como visitante en otro proveedor de servicio celular. Se requiere entonces el auxilio del registro de visitantes VLR y de residentes HLR para eliminar accesos fraudulentos.
- OA&M. Para las acciones de operación y mantenimiento. Se trata de registrar las condiciones anormales, fallas del sistema, datos de *roamer* no disponibles, pruebas de enlaces, performance de la red, etc.
- Red de comunicación de datos. IS-41 soporta la interconexión de señalización intersistemas en los protocolos SS7.

En el sistema AMPS y D-AMPS se disponen de señales para la validación (autenticación) del usuario. Son las siguientes informaciones:

- El número de identificación del móvil **MIN**. Secuencia de 34 bits derivado del directorio telefónico de 10 dígitos.

SISTEMAS MOVIL-CELULAR: Digital-AMPS

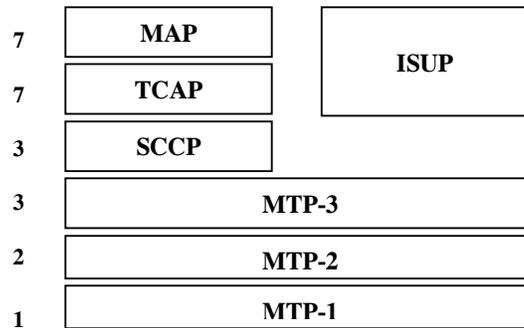
-El número serial electrónico **ESN** que identifica a la estación móvil en el sistema celular. Se trata de 32 bits donde los 18 primeros identifican al número de serie del aparato y los 8 finales al fabricante.

-El número de identificación del sistema **SID** consiste de 15 bits e identifica el sistema celular contratado. Los 2 últimos bits identifican el país (01 para Sudamérica).

SEÑALIZACION SS7. Los centros de conmutación celulares se comunican con la red pública mediante el sistema de señalización **SS7** (Capa 7-3 mediante **ISUP-ISDN User Part**). El protocolo de señalización entre sistemas celulares se basa en SS7 (adoptado por **IS-41**). Las capas involucradas en la comunicación entre:

- Capa 7b: **MAP** (*Mobile Application Part*).
- Capa 7a: **TCAP** (*Transaction Capabilities Application Part*). Según ITU-T Q. 771/775.
- Capa 3b: **SCCP** (*Signaling Connection Control Part*). Según ITU-T Q.711/716.
- Capa 1-3a: **MTP** (*Message Transfer Part*).

En la **Tabla 04** se encuentra un resumen de funciones de cada capa. En un Capítulo por separado se estudia en más detalle el SS7 para redes públicas de tipo ISDN. El modelo de capas en SS7 no tiene previstas las capas 4-5-6, en tanto que las capas 3 y 7 se encuentran subdivididas.



SISTEMAS MOVIL-CELULAR: Digital-AMPS

Tabla 04. Funciones de las capas SS7 para servicio móvil celular.

MTP-1	Capa 1. Tiene las funciones de conexión física entre módulos a interconectar.
MTP-2	Capa 2. Se ocupa del alineamiento de paquete mediante banderas (<i>Flag</i>) al inicio y final. Permite la detección de errores mediante un código CRC-16. Realiza el proceso de numeración secuencial de mensajes e indicación de retransmisión. Efectúa la confirmación o rechazo del mensaje para la retransmisión automática en mensajes con errores. Los paquete son numerados en forma secuencial con módulo-7. Indica la longitud total del mensaje transmitido.
MTP-3	Capa 3. Posee la dirección de punto de acceso al servicio SAP en el octeto de información de servicio SIO . SAP permite identificar a la capa superior SCCP sobre el protocolo MTP3. En la red PSTN se dispone de las direcciones de procesador CPU de origen y destino (14 bits de dirección). Por otro lado identifica el enlace de señalización utilizado cuando existe más de uno. Realiza las funciones de Routing dentro de la red de señalización SS7.
SCCP	Capa 3. Efectúa funciones de direccionamiento adicionales a MTP3, especial para sistemas celulares. La combinación de SCCP y el MTP3 se denomina parte de servicio de red NSP (<i>Network Service Part</i>). El SCCP puede brindar servicios con y sin conexión. En telefonía celular se trata de un servicio connectionless y la capa superior es TCAP. En el caso de servicio con conexión la capa superior es ISUP. El caso con conexión se aplica para consulta de base de datos (ejemplo, tarjeta de crédito). El protocolo SCCP entrega una dirección (adicional a los 14 bits de MTP3) que se denominada SSN (<i>SubSystem Number</i>). Permite direccionar al usuario (dentro del nodo de comunicaciones) del protocolo SCCP. Se trata de 4 direcciones: al registro de localización VLR y HLR, la red de conmutación MSC, el centro de autenticación EIR. El campo de direcciones de SCCP posee la dirección de origen y destino y la selección de ruta de señalización. Dispone de 16 tipos de mensajes: requerimiento de conexión, confirmación de conexión, conexión negada, formato de datos, control de flujo, datos urgentes (puntea el control de flujo), requerimiento de reset y confirmación de reset, etc.
TCAP	Capa 7. Facilita la transferencia de mensajes en tiempo real entre MSC, HLR y VLR. Se aplica a enlaces con O&M. Realiza el control de diálogo (servicio de transporte) con el terminal remoto. La información contiene: tipo de mensaje (unidireccional, inicio, final, intermedio, aborto); longitud del mensaje (número de bytes total); identificador de origen y destino de transacción; tipo de contenido (retorno de resultado, reporte de error y de reject) y contenido de información (código de operación, de error, de problema, parámetros, etc).
MAP	Capa 7. Se trata de una normalización ETSI y IS-41 que se ha especificado para transferencia de información que no corresponde a circuitos de usuario. Se utiliza para interconectar los siguientes elementos entre sí: HLR (<i>Home Location Register</i>), VLR (<i>Visitor LR</i>), MSC (<i>Mobile Switching Center</i>), EIR (<i>Equipment ID Register</i>). Además permite conectar a varios MSC de distinto proveedor de servicio SP (<i>Service Provider</i>). Permite las operaciones de: Actualización de localización; Roaming; Handoff; autenticación; información de llamada entrante; información de servicio de subscriptor; identificación de equipos móviles; carga de información a los registros; etc.
ISUP	Capa 7. Sirve para los mensajes de señalización de usuario ISDN. Algunos tipos de mensajes son:
IAM	(<i>Initial Address Message</i>). Contiene la información inicial de llamada para el encaminamiento.
SAM	(<i>Subsequent Address Message</i>). Transporta las cifras no enviadas en el mensaje IAM.
ACM	(<i>Address Complete Message</i>). Indica que se ha obtenido en acceso al destino.
ANM	(<i>Answer Message</i>). Indica que el usuario llamado ha respondido.
BLO	(<i>Blocking Message</i>). Permite el bloqueo del canal útil.
UBL	(<i>Unblocking Message</i>). Desbloquea el canal útil.
REL	(<i>Release Message</i>). Permite iniciar la liberación del canal.
RLC	(<i>Release Complete Message</i>). Informa que la liberación ha sido completada.

SISTEMAS MOVIL-CELULAR: GSM

Descripción del funcionamiento, codificación y tramas del sistema móvil celular GSM.

1- SISTEMA PAN-EUROPEO GSM

1.1- GENERALIDADES

El sistema denominado paneuropeo **GSM** (*Global System Mobile*) es recomendado por el grupo de estudio **ETSI-GSM-03.03** (*Group Special Mobile*). Se analizó desde 1982 como medio de compatibilizar los distintos sistemas analógicos europeos (*Roamer* automático en toda Europa) debido a la diversidad de sistemas existentes en la técnica analógica.

Una premisa de diseño fue la compatibilidad con la red de servicios ISDN. Por ello tienen previstos servicios suplementarios como ser transferencia de llamada, identificación de llamada maliciosa, restricciones a llamadas entrantes, llamada conferencia, etc. Además de telefonía es posible también la transmisión de datos de hasta 9,6 kb/s (E-mail mediante protocolos X.400) y facsímil del grupo 3. Se ha implementado un servicio de paging sobre el mismo aparato con un máximo de 160 caracteres alfanuméricos.

COMPONENTES DEL SISTEMA GSM. Los elementos que componen el sistema son indicados en la **Tabla 01**.

Tabla 01. Componentes de la red GSM.

MS	(<i>Mobile Station</i>). Es la estación de usuario. La interfaz hacia la BTS utiliza protocolo de comunicación LAP-Dm. La interfaz aérea puede disponer de diferentes normas.
BTS	(<i>Base Transceiver Station</i>). La estación de transreceptores radioeléctricos se comunica con un centro de control mediante la interfaz A-bis con protocolo LAP-D.
BSC	(<i>Base Station Controller</i>). El controlador se comunica con el centro de conmutación MSC mediante la denominada interfaz-A que utiliza el protocolo de señalización SS7-MTP.
MSC	(<i>Mobile Switching Center</i>). El centro de conmutación posee varias bases de datos: HLR y VLR para registro de usuarios locales y visitantes y AuC para la autenticación. AuC contiene el registro de identificación de equipos EIR (<i>Equipment Identity Register</i>). El EIR contiene la identidad de cada móvil IMEI (<i>International Mobile Station Equipment Identity</i>).
PSTN	La red pública PSTN o ISDN dispone de la señalización con protocolo SS7-ISUP.

1.2- PROCESAMIENTO DIGITAL

A continuación se analiza la codificación vocal de la señal vocal, la formación del intervalo de tiempo y la multiplexación de los distintos canales TDMA, llegando de esta forma hasta el modulador. Todos estos procesos se observan en la **Fig 01**.

CODIFICACION DE LA PALABRA. El canal telefónico en banda analógica se somete a un proceso de codificación digital de la palabra denominada **RPE-LTP** (*Regular Pulse Excitation-Long Term Prediction*). Mediante el mismo es posible obtener la secuencia de datos de 13 kb/s. El procesamiento es el siguiente:

-El canal telefónico se muestrea a 8 kHz (teorema del muestreo) y cada muestra se codifica inicialmente en 13 bit (formato no-comprimido). Las muestras se agrupan en secciones de 20 mseg con un total de las 160 muestras cada una. Las 160 muestras serán codificadas en **260 bits** totales resultando en una velocidad de **13 kb/s**.

-La codificación RPE genera impulsos de ruido para simular la naturaleza de la palabra. En tanto, LTP genera formas de onda mediante filtros de 8 coeficientes en tramas de 20 mseg. STP (*Short Term Prediction*) genera 8 coeficientes LAR (*Logarithmic Area Ratio*). El codificador LPC (*Linear Predictive Coding*) y RPE generan mediante LTP los coeficientes Pn y Gn (período y ganancia).

El siguiente proceso permite formar una secuencia de datos que contiene la codificación vocal, control de errores, secuencia conocida de Training (0000) y FEC para corrección de errores. La secuencia es la siguiente:

-Los 260 bits del tipo PE-LTP se dividen en tres grupos: 50 bits de clase Ia, 132 bits de clase Ib y 78 bits de clase II.

-Clase Ia. A los 50 bits de clase Ia se le adicionan 3 bits de paridad CRC-3 para detección de errores.

-Clase Ib. A los 132 bits de clase Ib se le adicionan 4 bits de *Trainig* (0000) para el ajuste del equalizador de recepción.

SISTEMAS MOVIL-CELULAR: GSM

- Clase Ia+Ib. El total de 189 bits de clase Ia+Ib es sometido a una codificación convolucional FEC-1/2.
- Esto eleva el número de bits a 378 del tipo clase I y 78 del tipo clase II.
- En total se dispone de un *Burst* de **456 bits** lo cual corresponde a una velocidad equivalente a **22,8 kb/s**.

VAD (Voice Activity Detector). El sistema GSM utiliza un sistema de detección de la actividad vocal para la transmisión discontinua de la señal. Esto permite obtener una mayor duración de las baterías y reducir las interferencias instantáneas. Para mantener una simulación del canal activo se genera en recepción un ruido acústico de fondo durante los tiempos de silencio del canal.

Un problema típico en telefonía móvil es la diferenciación entre el ruido generado por ambientes ruidosos (automóviles) y la fonía. En GSM se resuelve empleando una combinación de umbrales comparativos (nivel de señal) y técnicas de dominio espectral para detección de actividad vocal o ruido aleatorio.

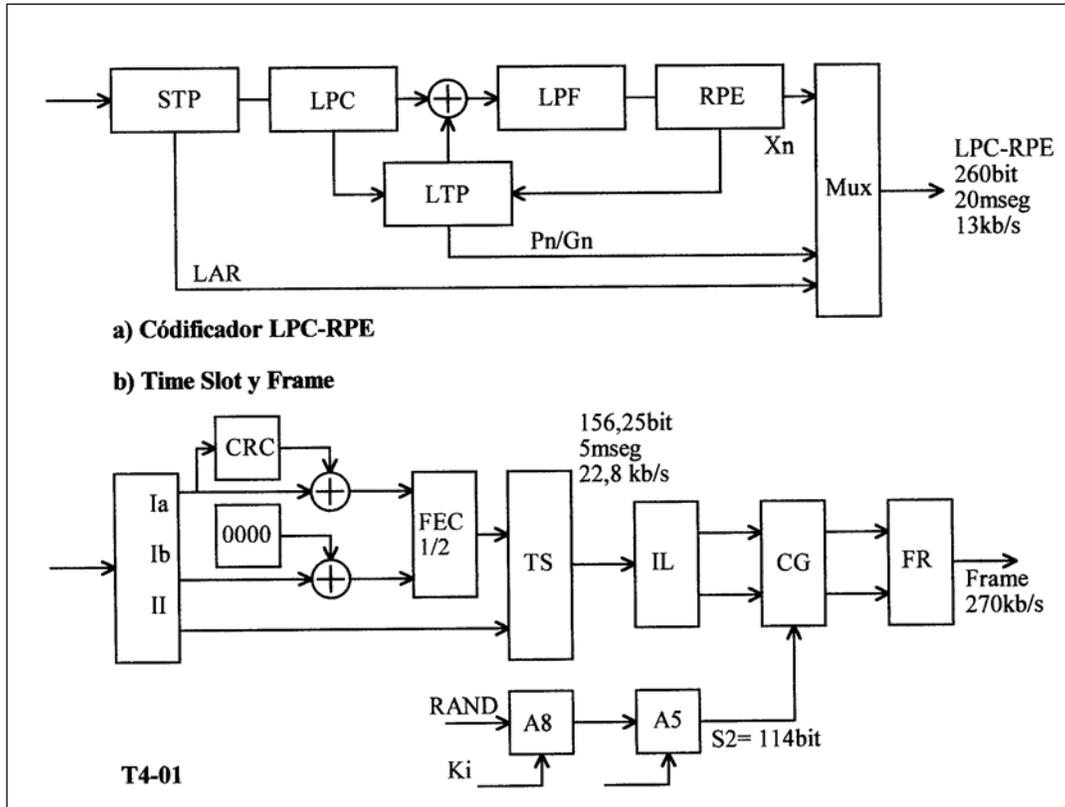


Fig 01. Codificación de señal vocal en sistemas GSM.

INTERLEAVER. Los datos codificados son sometidos al proceso de *Interleaver (scrambler)* de tipo convolucional (en AMPS y CDMA se utilizan de tipo matricial). Esto permite reducir el efecto de las ráfagas de errores y mejorar la corrección de errores mediante el algoritmo de Viterbi.

El proceso de Interleaver se aplica sobre los **456 bits** resultantes del proceso de codificación vocal. Los 456 bits se separan en 2x4 grupos de 57 bits. Cada 2 grupos se forma un intervalo de tiempo TS. El codificador trabaja con un retardo relativo de 4 bits. Por ejemplo: considérese las dos secuencias siguientes:

1a 2a 3a 4a 5a 6a 7a 8a y 1b 2b 3b 4b 5b 6b 7b 8b el intercalado resulta ser el siguiente:
1a 5b 2a 6b 3a 7b 4a 8b 5a 1b 6a 2b 7a 3b 8a 4b

CRIPTOGRAFIA (Cyphering). La información de **456 bits** del codificador vocal, luego de entrelazada mediante el interleaver se somete a un proceso de cifrado criptográfico. En GSM se procede a criptografiar la información para protección de escuchas no autorizadas. El cifrado se realiza sobre pares de grupos de 57 bits con la operación de

SISTEMAS MOVIL-CELULAR: GSM

interleaver ya realizada. Se tienen algoritmos distintos pero similares para el proceso de autenticación (ver más adelante) y cifrado de datos de usuario.

- La red GSM (desde el centro de switching MSC) envía un número random **RAND** de 128 bits.
- El móvil utiliza a **RAND** para mezclarlos con un parámetro secreto **Ki** disponible en el centro de autenticación.
- La mezcla se realiza mediante un algoritmo denominado **A8** y permite obtener la señal **Kc** de 64 bits.
- Por otro lado, se recibe la numeración secuencial de la trama por el canal de control de sincronismo SCH.
- Con el número de trama de 22 bits y **Kc** (64 bits) se generan la señal **S2** de 114 bits.
- Para ello se utiliza un algoritmo conocido como **A5**.
- Esta señal **S2** se usa para componer los datos (2x57 bits) a ser transmitidos mediante compuertas Exclusive-Or.

Tabla 02. Resumen comparativo entre los principales sistemas celulares.

Sistema	AMPS	GSM	CDMA
Codificador	VSELP	RPE-LTP	QCELP
Tiempo de codec	20 mseg	20 mseg	20 mseg
Velocidad	7,9 kb/s	13 kb/s	9,6 kb/s
Corrección de errores	FEC-1/2	FEC-1/2	FEC-1/3
Control de error	CRC-7	CRC-3	CRC-12
Intervalo de tiempo	13 kb/s	22,8 kb/s	28,8 kb/s
Multiplexación	3-TDMA	8-TDMA	64-CDMA
Velocidad final	48,6 kb/s	270 kb/s	1,2288 Mb/s
Modulación	QPSK	GMSK	QPSK
Canal de control	FDMA	TDMA	CDMA

INTERVALO DE TIEMPO. Una vez codificada la señal vocal se procede a formar un intervalo de tiempo **TS** (*Time Slot*) que se define para del proceso de multiplexación. Las características del intervalo de tiempo son:

- La secuencia burst de 456 bits se divide en 8 grupos de 57 bits para emitir en cuatro intervalos de tiempo consecutivos.
- Cada intervalo de tiempo posee una velocidad final a **33,9 kb/s** con dos grupos de 57 bits ya criptografiados.
- El retardo resultante del método de codificación es de 57,5 mseg.
- El TS puede llevar información de tráfico o de control. Posee 156,25 bits distribuidos según se indica en la **Tabla 03**.

MULTIPLEXACION TDM. Los intervalos de tiempo son multiplexados en TDMA para obtener una trama final de media velocidad. La banda de guarda entre TS impide el solapamiento en la estación base que es donde se forma la trama de *burst* enviados por los móviles. Las distintas etapas de formación de tramas se indica en la **Tabla 03**. El objetivo es obtener una trama cuya velocidad total es de **270 kb/s**.

Tabla 03. Información contenida en el intervalo de tiempo Time Slot.

Tail	3 bits. (<i>Tail</i>) Para indicar el inicio del intervalo de tiempo.
Data	57 bits. Para datos codificados de la señal vocal ya criptografiados.
Flag	1 bit. (<i>Stealing flag</i>) Separación de secuencia.
Training	26 bits. Secuencia de Training conocida y usada para programar al ecualizador y reducir la ISI.
Guard	1 bit. Separador de secuencia.
Data	7 bits. Para datos codificados de la señal vocal ya criptografiados.
Guard	1 bit. Para indicación del final del intervalo de tiempo.
Guard	8,25 bits. Tiempo de guarda entre intervalos de tiempo para impedir el solapamiento de los burst de datos.

Tabla. Formación de los distintos estratos de tramas.

-Time Slot	156,25 bits	0,57692 mseg	33,9 kb/s	Para datos y control
-Frame	8 intervalos de tiempo	4,615 mseg	270,833 kb/s	múltiple de TS
-MultiFrame	26 Frame	120 mseg		Para canal SACCH
-SuperFrame	51 MultiFrame	6,12 seg		Para canales de control
-HiperFrame	2048 SuperFrame	208 min		Para criptografía

SISTEMAS MOVIL-CELULAR: GSM

2- INTERFAZ RADIOELECTRICA

2.1- MODULACION GMSK.

La modulación de frecuencia FSK o de fase PSK es utilizada en varios sistemas bajo formatos de 2 o 4 niveles. Normalmente se realiza un filtrado previo de características particulares para obtener la eficiencia espectral más conveniente. Son dos los tipos de filtros aplicados:

-Filtro coseno realzado (*Raised Cosine Rolloff Filter*). Este tipo satisface la condición de Nyquist de anulación de la señal en los instantes de decisión anteriores y posteriores (interferencia intersímbolo ISI igual a cero). La respuesta en frecuencia tiene la siguiente ley:

$$H(f) = \frac{1}{2} \cdot [1 + \cos \pi \cdot (1 + \{f - f_N / f_N \cdot \beta\}) / 2] \quad \text{donde} \quad (1 + \beta) \leq f \leq f_N \cdot (1 - \beta)$$

-Filtro Gaussiano (*Gaussian Pulse-Shaping Filter*). Este filtro no satisface el criterio de Nyquist de ISI cero. La función transferencia en frecuencia y la respuesta temporal a un impulso de señal son exponenciales:

$$H(f) = \exp(-\alpha^2 \cdot f^2) \quad \text{y} \quad h(t) = \sqrt{\pi/\alpha} \cdot \exp(-\pi \cdot t/\alpha)^2$$

Donde $\alpha = 1,1774/BW$ y el ancho de banda BW es a 3 dB. Si el valor de α se incrementa la eficiencia espectral disminuye y la dispersión temporal del pulso de salida aumenta.

La modulación de fase continua **CP-FSK** (*Continuous Phase Frequency Shift Keying*) se produce filtrando la señal digital antes de alcanzar al modulador FSK. Cuando el filtro cumple ciertas condiciones se tiene la modulación **MSK** (*Minimum Shift Keying*). MSK corresponde a una desviación máxima igual a la mitad de la tasa de bits (índice de modulación K de 0,5). El índice de modulación se define como $K = 2 \cdot \Delta F / R_b$, donde ΔF es el corrimiento de frecuencia máximo y R_b la tasa de datos.

En MSK la palabra Minimun significa que es el menor valor (mínima separación de frecuencia) que es factible de ser demodulada coherentemente ortogonal. Cuando el tipo de filtro es Gaussiano la modulación se denomina **GMSK**. Esta es utilizada en el sistema celular GSM.

CANAL RADIOELECTRICO. Una vez obtenida la información final a transmitir de **270 kb/s** con los canales de tráfico y de control en los intervalos de tiempo se procede a formar la interfaz radioeléctrica entre el móvil y la base. La modulación, como ya se mencionó es la **GMSK**. Se trata de una variante de FSK con índice de modulación de 0,5 y filtrado continuo CP-FSK. El filtrado es Gaussiano donde el producto del tiempo del ancho de banda a 3 dB por el período de un bit es 0,3.

PLAN DE FRECUENCIAS. Ha sido asignado por WARC-1978 e indica las siguientes bandas:

-Banda de 900 MHz: con 890-915 para enlace Reverse (*upward*) y 935-960 para Forward (*downward*).

-Cada portadora ocupa un ancho de banda de 200 kHz y existen 124 portadoras en todo el espectro.

-La separación dúplex es de 45 MHz entre el enlace upward y downward.

-Banda de 1800 MHz: 1710-1785 para (*upward*) y 1805-1880 para (*downward*) en el sistema **DCS-1800**.

2.2- CARACTERISTICAS GENERALES.

-En GSM se utiliza *Slow Frequency Hopping*. Es un cambio periódico del intervalo de tiempo y frecuencia. Esta operación involucra saltos a una velocidad de 217 veces/seg; 1200 bits por hop. Esto permite disminuir los efectos periódicos de propagación sobre un canal individual.

-Existe un corrimiento de 3 intervalos de tiempo en la numeración desde el enlace Forward y Reverse. Se impide de esta forma la transmisión y recepción simultánea y el sincronismo entre Forward y Reverse. La emisión por ráfagas (600 μ seg cada 5 mseg) optimiza el consumo de potencia. También se corta la transmisión durante los silencios, el canal se rellena con ruido (mecanismo VAD). De esta manera, se reduce el tiempo de ocupación del espectro, las interferencias y la potencia del móvil. Solo cuando los 2 abonados extremos se encuentran en línea se establece la comunicación del canal vocal. Este aspecto permite un ahorro de energía y del tiempo de uso del medio de enlace sobre el sistema D-AMPS.

-Se dispone de un control y ajuste de potencia de emisión de la estación móvil cada 60 mseg. En AMPS se estructuran mensajes esporádicos de control de potencia; en tanto que en CDMA se realiza un control cada 1,25 mseg. Se tienen 15 estados de potencia con un margen de 26 dB (entre 20 mw a 8 watt). En AMPS el control es entre 8 niveles de potencia entre 10 mw y 4 watt.

SISTEMAS MOVIL-CELULAR: GSM

-La sensibilidad (mínima potencia de trabajo) del receptor es cercana a -104 dBm (en D-AMPS es de -93 dBm). El rango dinámico de funcionamiento permite recibir sin saturación hasta -10 dBm. -El Control de Ganancia **AGC** y un ecualizador permiten compensar el efecto Doppler y el desvanecimiento selectivo. El ecualizador es del tipo autoadaptativo y se utiliza una secuencia fija conocida (training) dentro de la trama para el ajuste de los coeficientes del ecualizador.

SISTEMAS MOVIL-CELULAR: GSM

3- CANALES DE CONTROL

3.1- CANALES EN LA INTERFAZ AEREA.

De los 8 intervalos de tiempo *Time Slot* el primero se lo usa para canales común de control **CCH** y el resto para canales de tráfico **TCH**. En la **Tabla 04** se indican todos los tipos de canales de información existentes en GSM (tráfico y control). Este burst ocupa el intervalo de tiempo cero TS:0 de la trama de 270 kb/s. Una superframe de canales de control ocupa 51 multitramas (de 26 Frame c/u) donde se envía una secuencia de canales de control.

Tabla 04. Tipos de canales de tráfico y de control en GSM.

TCH ↘	<i>Traffic Channel</i> . Se tienen 6 distintos tipos de canal de tráfico TCH . Se trata de los canales de fonía y de datos a velocidades desde 2,4 a 9,6 kb/s.
TCH/FS	<i>Full rate Speech</i> . En el ítem anterior se describió en detalle la forma de codificación para un canal vocal de tasa completa (13 kb/s). TCH/FS se trata de dicho canal a 13 kb/s.
TCH/HS	<i>Half rate Speech</i> . Es un canal físico para voz a tasa nominal de 13 kb/s en TCH/FS o la mitad en el caso TCH/HS (donde se utilizan intervalos de tiempo alternados). Los canales de datos trabajan a 2400, 4800 o 9600 b/s. En todos los casos la velocidad se eleva a 22,8 kb/s en TCH/FS o a 11,4 kb/s en TCH/HS.
CCH ↘	<i>Control Channels</i> . Es utilizado para diversas funciones de control.
BCH ↘	<i>Broadcast Channel</i> . El canal broadcasting BCH permite diversas aplicaciones y está embebido en un canal de tráfico. Es utilizado solo en la dirección forward.
BCCH	<i>Broadcast CCH</i> . El BCCH es emitido regularmente para todos los móviles activos para señalar la disponibilidad de canales, informar de congestión, identificación y localización.
FCCH	<i>Frequency CCH</i> . El FCCH se encuentra disponible para el cambio de frecuencia del móvil con 124 bits cada 235 mseg (permite la sintonía del oscilador del usuario respecto de la base). La trama se compone de: Start de trama (3 bits); secuencia todos cero (142); Stot (3) y banda de guarda (8,25 bits).
SCH	<i>Synchronization CCH</i> . El SCH continúa luego del FCCH en el TS:0 para ajuste de frecuencia y sincronismo de trama. Se emite el número de trama y el código de identificación de la estación base. La estructura de trama de SCH es: Start de trama (3 bits); Datos criptografiados (39 bits); bits de training (64 bits); Datos criptografiados (39 bits); Stop de trama (3 bits); período de guarda (8,25 bits).
CCCH ↘	<i>Common CCH</i> . Los canales PCH y AGCH son forward, en tanto que RACH es reverse.
PCH	<i>Paging CCH</i> . El PCH es un canal utilizado para la función de búsqueda en llamadas entrantes desde la PSTN y para información de mensaje de textos (paging) en caracteres ASCII.
RACH	<i>Random Access CCH</i> . RACH es el único canal Reverse para identificación y acceso de llamada saliente. Se utiliza como confirmación del canal PCH. El acceso a RACH se realiza mediante un <i>Slotted Aloha</i> , consistente en un pedido de acceso al canal.
AGCH	<i>Access Grant CCH</i> . Se aplica como cierre del diálogo con el móvil antes de llevar a off el canal de control. Por otro lado, es usado como respuesta a RACH.
DCCH ↘	<i>Dedicated CCH</i> . Estos canales son dedicados al canal de tráfico. Todos son bidireccionales con igual formato.
SDCCH	<i>Stand alone CCH</i> . SDCCH es utilizado para muy baja tasa de datos para roaming, autenticación y criptografía.
SACCH	<i>Slow Associated CCH</i> . SACCH se usa como canal de tasa lenta para decisiones de control (potencia de transmisión) y mediciones.
FACCH	<i>Fast Associated CCH</i> . Las funciones de FACCH son similares a SACCH pero de mayor urgencia: para la autenticación y comandos de handover.

SISTEMAS MOVIL-CELULAR: GSM

3.2- PROCEDIMIENTO DE LLAMADA.

El procedimiento inicial incluye cuando el móvil selecciona el canal BCCH para obtener información broadcasting y PCH para el paging. Los canales FCCH y SCH entregan la sintonía de frecuencia y el sincronismo de reloj al móvil. Se utiliza además el canal de acceso RACH para hacer un requerimiento de canal SDCCH. La estación base responde por el canal AGCH.

El proceso de autenticación se realiza mediante un algoritmo que se indica más abajo. La conexión del canal de tráfico TCH se realiza solo cuando la comunicación vocal está establecida. Cuando el móvil hace un nuevo roaming el VLR informa al HLR la nueva localización. Se actualiza entonces el registro de localización.

AUTENTICACION. El proceso de autenticación es similar en los sistemas basados en la norma IS-41 (para AMPS y CDMA) y GSM. Se utilizan secuencias pseudoaleatorias RAND para calcular en el móvil y en el centro de autenticación una secuencia de comprobación.

Las características del proceso de autenticación en **GSM** son indicadas en la **Tabla 05**. El proceso dispone de dos fases.

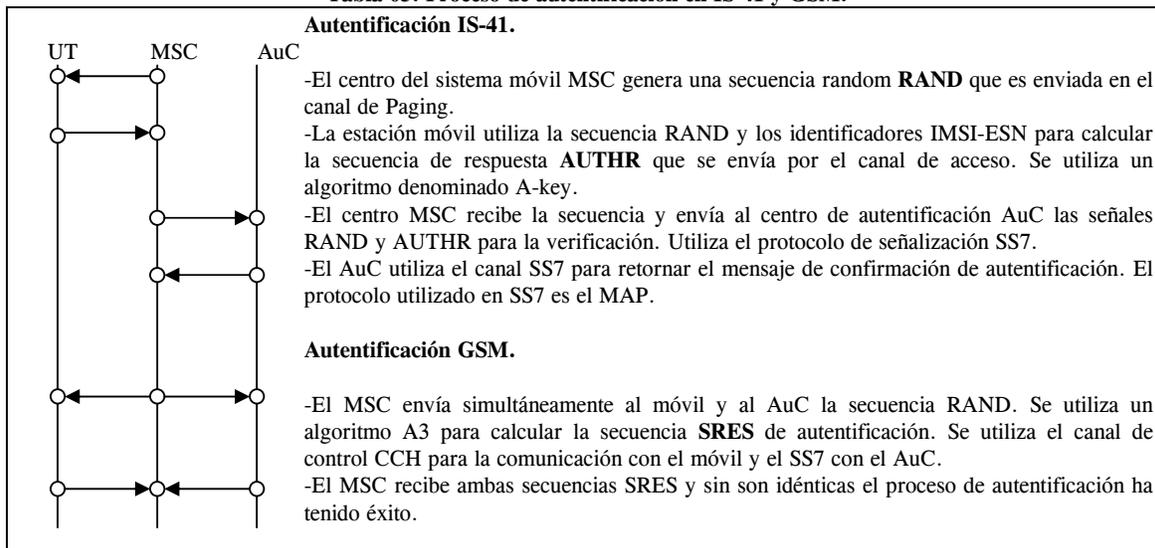
-En la primer fase: un código **PIN** (*Personal Identification Number*) protege al **SIM** (*Subscriber Identity Module*). El PIM es chequeado por el SIM en forma local. Por ello el SIM no es enviado al enlace de radio.

-En la segunda fase: la red GSM envía un número random RAND de 128 bits. RAND es mezclado por el móvil con un parámetro secreto (denominado Ki) y un algoritmo conocido (denominado A3). Esto produce un resultado de 32 bits denominado **SRES** que se devuelve a la red GSM para su verificación. Cada usuario se equipa con un módulo **SIM** (*Subscriber Identity Module*), similar a una tarjeta de crédito.

-El SIM posee un código permanente o temporario para un área exclusiva. Se trata de **IMSI** (*International Mobile Subscriber Identity*) y **TMSI** (*Temporary MSI*). El registro VLR controla la asignación del TMSI en el SIM.

-Estos elementos permiten realizar la autenticación para evitar llamadas no autorizadas. El mecanismo de criptografía utiliza también la secuencia RAND y otros algoritmos similares, denominados A8 y A5.

Tabla 05. Proceso de autenticación en IS-41 y GSM.



SISTEMAS MOVIL-CELULAR: CDMA

Con referencia a la tecnología con acceso Spread Spectrum para sistemas celulares. Sobre la teoría básica y las aplicaciones.

1- INTRODUCCION

El sistema CDMA es una forma de acceso que permite la transmisión de telefonía, datos y facsímil. Una ventaja de CDMA radica en la posibilidad de reutilización de frecuencias entre celdas y sectores contiguos con el correspondiente incremento de la **eficiencia espectral**. Cada uno de los sectores del área de cobertura dispone de varias portadoras FDMA (cerca de 10) y canales CDMA (cerca de 40).

1.1- DIVERSIDADES.

Introduce una "**diversidad de frecuencia**" al usar una banda ancha de espectro (1,2288 MHz) respecto al desvanecimiento selectivo (*notch*) que actúa usualmente sobre períodos de ancho 300 kHz. Una pequeña porción del espectro es afectada por la atenuación selectiva. Además el método de modulación es suficientemente robusto frente a la dispersión del espectro producido por el notch. Una atenuación (y dispersión) de espectro en CDMA corresponde a una fuerte pérdida de señal en FDMA.

Se dispone de **diversidad de espacio** mediante dos métodos; la comunicación simultánea con dos o más estaciones base y el empleo de receptores múltiples que equalizan la fase y combinan la señal (*Soft-Handoff*). Una llamada es cursada por dos celdas en forma simultánea para permitir el cambio de celda sin cambiar de portadora (*Soft-Handoff*). Eliminando la conexión y desconexión errática del terminal. Esto es posible porque las portadoras se usan en todas las celdas. Se interpreta que la principal interferencia es producida por los usuarios sobre la misma portadora en la celda, más que la de otro usuario en celdas adyacentes.

El uso de codificadores *interleaving* y FEC convolucional permite la distribución de datos en el tiempo con lo que se introduce una **diversidad de tiempo**. El efecto producido por las ráfagas de errores se atenúa mediante esta codificación entrelazada (*interleaver*). Las señales reflejadas debido a los caminos múltiples se consideran como un código desplazado (baja auto-correlación) y el efecto es mínimo como interferencia.

1.2- PLANES DE FRECUENCIA

El sistema CDMA se ha diseñado para diversos planes de frecuencias, sin embargo las aplicaciones más importantes son para las bandas de PCS y telefonía móvil satelital Globalstar. Para el sistema de comunicaciones personales **PCS** (*Personal Communication System*) o **PCN** (*PC Network*) se han determinado para América las bandas de frecuencia de la **Tabla 01**.

Tabla 01. Planes de frecuencias para servicio PCS.

Forward	1850-1910 MHz	Reverse	1930-1990 MHz.
A = 15 MHz	1850-1865 MHz	A' = 15 MHz	1930-1945 MHz.
B = 5 MHz	1865-1870 MHz	B' = 5 MHz	1945-1950 MHz.
C = 15 MHz	1870-1885 MHz	C' = 15 MHz	1950-1965 MHz.
D = 5 MHz	1885-1890 MHz	D' = 5 MHz	1965-1970 MHz.
E = 5 MHz	1890-1895 MHz	E' = 5 MHz	1970-1975 MHz.
F = 15 MHz	1895-1910 MHz	F' = 15 MHz	1975-1990 MHz.

Planes de frecuencia para Globalstar.

Dirección		Frecuencias	Portadoras
Gateway-a-Satélite	Forward	Banda C 5091-5250 MHz	16 portadoras de 16,5 MHz
Satélite-a-Usuario	Forward	Banda S 2483,5-2500 MHz	16 portadoras de 16,5 MHz
Usuario-a-Satélite	Reverse	Banda L 1610-1626,5 MHz	13 portadoras de 1,23 MHz
Satélite-a-Gateway	Reverse	Banda C 6875-7075 MHz	13 portadoras de 1,23 MHz

Las bandas de frecuencias indicadas no tienen designadas una tecnología definida. Los distintos países licitan estas bandas de acuerdo con las necesidades y legislación propias. La tecnología utilizada (CDMA, GSM, etc.) depende en general del Proveedor del Servicio.

SISTEMAS MOVIL-CELULAR: CDMA

El espacio de frecuencia entre 1910 y 1930 MHz en el plan de PCS se ha asignado para los sistemas de acceso inalámbrico al usuario; se trata de los sistemas WLL mencionados también en este trabajo (ejemplo, sistema Tadiran). En Europa las bandas son 1710-1785 MHz y 1805-1880 MHz mediante el sistema DCS1800. La WARC-1992 asignó las bandas de 1885-2025 y 2110-2200 MHz para el sistema **IMT-2000** (*International Mobile Telecomm*) del ITU-T para el sistema PCN global mediante satélites de baja altura LEO.

En la misma **Tabla 01** se muestra el plan de frecuencias para el sistema satelital Globalstar. El canal Forward y Reverse en Banda C está formado por 8 portadoras cada una con dos polarizaciones ortogonales, la circular derecha **RHCP** (*Right-Hand Circular Polarized*) e izquierda **LHCP** (*Left-Hand*). La separación entre portadoras es de 22,5 MHz. Se tienen en total 16 portadoras canalizadas (correspondientes a 16 sectores o Beams del área de cobertura satelital). El ancho de banda disponible es de 16,5 MHz en cada portadora que corresponde a los 13 sub-beams de 1,23 MHz.

El canal Forward en Banda S hacia el móvil ocupa un total de 16,5 MHz dividido en 13 portadoras (sub-beams) separadas por 1,23 MHz. Cada portadora CDMA puede acomodar hasta 64 funciones Walsh en el enlace Forward de IS-95 (CDMA para PCS) y 128 funciones en el sistema satelital Globalstar. De las 13 portadoras, por razones de coordinación e interferencia con sistemas vecinos, solo se utiliza un sector parcial de la banda (5 al 13). El canal Reverse en Banda L ocupa también 13 portadoras de las cuales se utilizan por razones de interferencia una fracción (1 a 9).

SISTEMAS MOVIL-CELULAR: CDMA

2- TEORIA BASICA: SPREAD SPECTRUM

El acceso **CDMA-FDD** se propuso para evitar la aglomeración en sistemas militares. Se trata de disponer de una portadora de banda ancha para varios usuarios que transmiten simultáneamente. La codificación se denomina Espectro Expandido **SS** (*Spread Spectrum*). La normalización se encuentra en **IS-95** (iniciada en 1989 y finalizada en 1992).

La codificación **SS** se basa en la ley de C.Shannon sobre la capacidad de canal:

$$C = BW \cdot \log_2(1 + S/N)$$

La capacidad C del canal se relaciona con el ancho de banda BW y la relación señal a ruido S/N. Puede efectuarse una comunicación con una S/N insignificante a condición de usar una banda BW lo suficientemente ancha. Por ejemplo, para transmitir 3 kb/s con una relación señal-a-ruido S/N de 10^{-2} se requiere una banda de 200 kHz.

SS permite reducir los efectos de las interferencias intencionadas denominadas *Jamming*. Se conocen 3 técnicas de codificación de espectro expandido:

- Secuencia directa **DS-SS**: producto convolucional con un código denominado *Chips*.
- Frecuencia *Hoppers* **FH-SS**: saltos de frecuencia siguiendo una secuencia conocida.
- Frecuencia *Chirp*: pulsos de modulación FM; es usada en radar.

En **FH-MFSK** (*Frequency Hopping-MFSK*) los datos producen saltos de una portadora sobre toda la banda. Un generador de código sintetiza las frecuencias dentro de banda. En una modulación FM los datos modulan una portadora en forma continua. Al set posible de frecuencias se lo denomina *hopset*. Existen dos anchos de banda, el del canal instantáneo y el del canal *hopping*. Se define el período de hopping y se obtiene, dependiendo si la tasa de información es menor o mayor, las variantes *Fast* y *Slow* (en GSM se utiliza una *slow-FH*).

2.1- SPREAD-SPECTRUM DS-SS.

En el caso DS-SS se recurre en cambio a códigos de baja correlación entre ellos. Se definen los siguientes tipos de correlación:

- Autocorrelación**: grado de correspondencia entre un código y sí mismo con un desplazamiento T (retardo): $S_1(t) \times S_1(t-T)$
- Correlación Cruzada**: grado de correspondencia entre códigos distintos desplazados en el tiempo: $S_1(t) \times S_2(t-T)$

Para denominarse códigos **ortogonales** deben cumplir la siguiente condición general (en funciones continuas) para el coeficiente de correlación Z_{ij} :

$$Z_{ij} = \frac{\int S_i \cdot S_j \cdot dt}{\int S_i^2 \cdot dt} \quad \text{con} \quad \begin{matrix} Z_{ij} = 1 & \text{si } i=j \\ Z_{ij} = 0 & \text{si } i \neq j \end{matrix}$$

Para señales de datos binarios esta definición equivale a la siguiente expresión:

$$Z_{ij} = \frac{\text{Nº bits que concuerdan} - \text{Nº bits que no-concuerdan}}{\text{Nº bits totales}} \quad \text{con} \quad \begin{matrix} Z_{ij} = 1 & \text{si } i=j \\ Z_{ij} = 0 & \text{si } i \neq j \end{matrix}$$

Existen dos formas para generar funciones ortogonales que se aplican simultáneamente en CDMA. En un caso se recurre a las Funciones Walsh y en el segundo a las secuencias **PN** (*Pseudorandom-Noise*).

2.2- FUNCIONES WALSH-N.

Se tiene la siguiente secuencia para la generación de códigos ortogonales. Partiendo desde la función $H_1 = 0$:

$$H_2 = \begin{matrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{matrix} \quad \text{en general:} \quad H_{2N} = \begin{matrix} H_N & H_N \\ H_N & \overline{H_N} \end{matrix}$$

La norma **IS-95**, propone la codificación mediante funciones ortogonales Walsh-64 o Walsh-128 (también conocidas como matrices Hadamard) que proporcionan 64 o 128 códigos diferentes ortogonales de 64 o 128 bits de largo. La autocorrelación y correlación cruzada es cero cuando es promediada en unos cuantos bits. Esto permite la aislación de señales interferentes desde otras celdas o sectores. De esta forma una función Walsh-16 requiere 16 bits y posee 16 secuencias distintas. En el cuadro anexo se muestra la secuencia H16, también utilizada en el ejemplo.

0000	0000	0000	0000
0101	0101	0101	0101
0011	0011	0011	0011
0110	0110	0110	0110
0000	1111	0000	1111
0101	1010	0101	1010
0011	1100	0011	1100
0110	1001	0110	1001
0000	0000	1111	1111
0101	0101	1010	1010
0011	0011	1100	1100
0110	0110	1001	1001
0000	1111	1111	0000
0101	1010	1010	0101
0011	1100	1100	0011
0110	1001	1001	0110

SISTEMAS MOVIL-CELULAR: CDMA

EJEMPLO. Supóngase codificar el bit 1 mediante la función Walsh W15 (0110 1001 1001 0110) de la tabla anterior (mediante una función exclusive-Or). La salida a transmitir será (1001 0110 0110 1001). En recepción el patrón recibido si es decodificado con W15 resultará en una secuencia (1111 1111 1111 1111), es decir el máximo de correlación.

En cambio, con W13 (0000 1111 1111 0000) se tendrá una salida (1001 1001 1001 1001), en otras palabras la salida es ortogonal; no hay correlación. En una transmisión donde la relación señal-a-ruido es mala y los errores son muchos se tendrá una correlación tendiendo al máximo o al mínimo.

2.3- SECUENCIA PN.

Otra forma de generar secuencias ortogonales entre sí es mediante las funciones **PN** (*Pseudorandom Noise*). Se generan mediante un registro de desplazamiento realimentado **LFSRG** (*Linear Feedback Shift Register Generator*). Normalmente se identifican mediante el polinomio generador o mediante la longitud de periodicidad del código 2^N-1 . Una secuencia PN posee una mínima autocorrelación cuando el desplazamiento relativo es lo suficientemente elevado (más de 2 bits).

De esta forma es posible generar secuencias ortogonales por simple desplazamiento de la función PN. En el caso **CDMA-FDD-DS** los canales de Forward y Reverse disponen de una forma de codificación ortogonal distinta; ya sea mediante funciones Walsh o mediante PN desplazadas.

EJEMPLO. El código PN con polinomio generador X^3+X^2+1 entrega la secuencia de período $2^3-1=1110010$. Esta secuencia es ortogonal con sí misma cuando dispone de un desplazamiento. Con un desplazamiento de 2 bits se tienen las secuencias: 1001011 y 1110010 que entrega como resultado 0111010 (no hay correlación). En CDMA se utilizan varias secuencias PN: el código largo de período $2^{42}-1$ y las secuencias de identificación de eje I y Q de período $2^{15}-1$.

2.4- COMBINADOR DE RECEPCION.

La separación de las distintas señales en recepción, codificadas mediante códigos ortogonales, se debe efectuar utilizando diferentes técnicas.

-Detección de unión. En este tipo de separación de señales se toma en cuenta el código de los usuarios asignados en la misma celda, suponiendo insignificante la interferencia intercelda (esto se resuelve mediante un paso de separación entre repetición de códigos y ecualización convenientes). Conocidos todos los códigos que se transmiten en la celda, se puede, por diferencia (compuerta exclusive-Or), obtener uno de ellos en particular. Se trata de un proceso de integración de señal que es distinta de cero solo para la función Walsh o PN con offset deseada.

-Tipo Rake: este método de detección usa técnicas correlativas disponiendo de un filtro adaptado al código de cada suscriptor. Como cada código es conocido y periódico genera un espectro con rayas espectrales definidas y separables mediante filtros apropiados.

CONCLUSIONES. -Todos los usuarios se reciben en la misma portadora. Todos con el mismo ancho de banda y en forma simultánea. La señal de recepción es una combinación de toda esta información. Puede separarse los distintos usuarios si se combina la recepción con cada código usado en transmisión. Es decir: la función de un filtro elimina banda en FDMA es realizado por una compuerta exclusive-or en CDMA.

-El proceso de componer (mediante una función exclusive-or) la señal de datos a transmitir con una función particular (unívoca para cada usuario) tomada desde un set de funciones ortogonales (Walsh o PN) permite la separación en recepción. Por otro lado, este mismo proceso introduce un incremento de velocidad substancial (expansión del espectro). El número de símbolos de código (señalado como *chips*) por cada bit de los datos se denomina **ganancia de procesamiento**. Esta estructura de código permite la distribución del espectro sobre una amplia banda utilizando la misma portadora.

SISTEMAS MOVIL-CELULAR: CDMA

3- CANALES DE TRAFICO.

3.1- FUNCIONES

Los canales desde la **MS** (*Mobile Station*) hacia la **BS** (*Base Station*) se denominan *Reverse*, en tanto que el canal en dirección opuesta se denomina *Forward*. Las características de procesamiento son distintas en ambas direcciones. En la **Tabla 02** se determinan los procesos involucrados en ambos canales. Un diagrama a bloques de los mismos se muestra en la **Fig 01**.

Las características diferenciales entre las direcciones Reverse y Forward para el canal de tráfico son:

- La dirección Forward posee un control de potencia sobre el . Se trata de 1 bit cada 1,25 mseg a una tasa de 800 b/s.
- La trama de datos a 9600 b/s se compone con un distinto FEC. Se usa FEC 1/3 en reverse y FEC 1/2 en forward.
- La velocidad resultante del canal de tráfico es de 28,8 kb/s en reverse y de 19,2 kb/s en forward.
- El codificador Interleaver matricial es del tipo 32x18 en reverse y 24x16 en forward.
- La ortogonalización para separar las señales CDMA se realiza mediante un Código PN y una máscara en reverse.
- En el canal forward la ortogonalización se realiza mediante funciones Walsh-64/128.
- Las funciones Walsh utilizadas son Walsh-64 en reverse y forward en IS-95. Globalstar utiliza Walsh-128 en forward.
- Un grado de privacidad se obtiene debido a que el código largo se compone con los identificadores MIN y ESN.

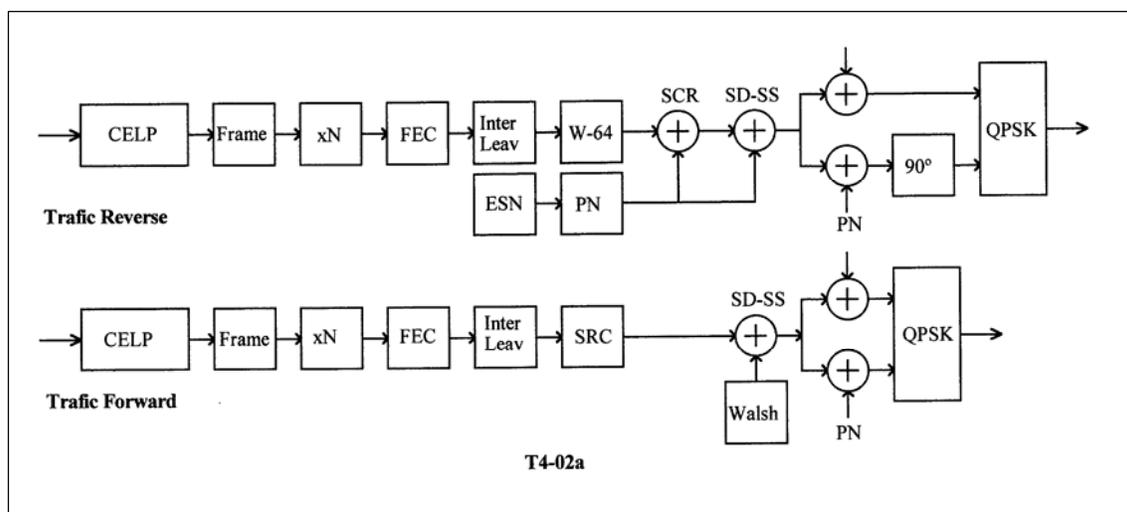


Fig 01. Canal de tráfico en reverse y Forward para CDMA.

El canal de tráfico en Reverse se encuentra criptografiado por una máscara *Code Mask* que se combina con la secuencia de código largo. La misma se trata de 42 bits de los cuales 10 son de alineamiento (1100011000) y el resto son los 32 bits del código **ESN** (*Electronic Serial Number*). El canal de acceso Forward también está criptografiado mediante 42 bits que contienen: 9 bits de alineamiento (110001111), número de canal de acceso (5 bits), número de canal de paging (3 bits), identificador de estación base (16 bits) y número de PN del canal piloto (9 bits).

SISTEMAS MOVIL-CELULAR: CDMA

Tabla 02. Procesamiento sobre el canal de TRAFICO: Reverse y Forward

REVERSE.																					
CELP	-El algoritmo empleado para la digitalización del canal vocal es la Predicción Lineal Expandida CELP. Se trata de una velocidad de 0,8/2,0/4,0/8,6 kb/s que equivale a 16/40/80/172 bit/trama de 20 mseg. Los umbrales de cuantificación son adaptativos con el ruido ambiente manteniendo solo la señal vocal. El tiempo de adaptación de los umbrales es de una trama (20 mseg).																				
CRC	-Sobre las señales de tráfico a 4,0/8,6 kb/s se adicionan bits de paridad CRC para el control de errores. El polinomio generador es 1111100010011 (CRC-12) para 8600 b/s y 110011011 (CRC-8) para 4000 b/s. Se obtiene una tasa de salida de 0,8/2,0/4,4/9,2 kb/s. CRC sirve para la detección de errores FER (<i>Frame Error Rate</i>) y asistencia del handoff (MAHO).																				
Frame	-El tipo de trama depende de la velocidad de codificación. Se señal de finalización de trama (Tail) sirve de alineamiento y CRC para el handoff asistido.																				
	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Velocidad</th> <th style="text-align: left;">Señal vocal</th> <th style="text-align: left;">CRC</th> <th style="text-align: left;">Tail</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Tráfico 9600 b/s</td> <td>172 bits</td> <td>12 bits</td> <td>8 bits</td> </tr> <tr> <td>Tráfico 4800 b/s</td> <td>80 bits</td> <td>8 bits</td> <td>8 bits</td> </tr> <tr> <td>Tráfico 2400 b/s</td> <td>40 bits</td> <td>0 bits</td> <td>8 bits</td> </tr> <tr> <td>Tráfico 1200 b/s</td> <td>16 bits</td> <td>0 bits</td> <td>8 bits</td> </tr> </tbody> </table>	Velocidad	Señal vocal	CRC	Tail	Tráfico 9600 b/s	172 bits	12 bits	8 bits	Tráfico 4800 b/s	80 bits	8 bits	8 bits	Tráfico 2400 b/s	40 bits	0 bits	8 bits	Tráfico 1200 b/s	16 bits	0 bits	8 bits
Velocidad	Señal vocal	CRC	Tail																		
Tráfico 9600 b/s	172 bits	12 bits	8 bits																		
Tráfico 4800 b/s	80 bits	8 bits	8 bits																		
Tráfico 2400 b/s	40 bits	0 bits	8 bits																		
Tráfico 1200 b/s	16 bits	0 bits	8 bits																		
9600 b/s	-En la tasa de 1,2/2,4/4,8 kb/s los símbolos se repiten para acceder en todos los casos a 9600 b/s. La repetición de información permite la detección y corrección de errores.																				
FEC 1/3	-El codificador convolucional FEC permite la corrección de errores en recepción (algoritmo de Viterbi). Se trata de un registro de 9 etapas y tasa 1/3. La velocidad es uniforme y de 28,8 kb/s.																				
Interleaver	-La etapa de codificación <i>Interleaver</i> permite una diversidad temporal. Reduce el efecto de las ráfagas de errores facilitando la acción del algoritmo de Viterbi. Se trata de un codificador matricial de 32x18. Escritura en 18 columnas y lectura por 32 filas.																				
Walsh-64	-Es un codificador Walsh-64 (son 64 códigos distintos y ortogonales entre sí de 64 bits cada uno). Por cada secuencia de 6 bits de entrada se obtiene una secuencia de 64 bits de salida. Por ejemplo: con entrada: 100011 (decimal 35) se tiene la salida 0110 0110 0110 (función Walsh W35). La velocidad de entrada de 28,8 kb/s se extiende a 307,2 kb/s. Este proceso sirve para la detección de errores en recepción por aproximación a la secuencia más probable.																				
Scrambler	-Este codificador permite aleatorizar la secuencia de las funciones Walsh que son altamente periódicas. Por otro lado permite efectuar una codificación con funciones ortogonales (tiempo de inicio y máscara). Se trata de un generador de código largo $2^{42}-1$ (chip PN) que arranca con el inicio del canal a 307,2 kb/s. Esta señal esta compuesta con los códigos MIN y ESN de identificación del móvil (<i>Mask Pattern</i>). El código largo PN permite la ortogonalización del usuario. Cada uno lleva una máscara distinta.																				
Spread SD	-Se efectúa la función exclusive-Or del canal de tráfico y la secuencia de código largo. El polinomio generador del código largo es de orden 42; periodicidad $2^{42}-1$: $X^{42} + X^{35} + X^{33} + X^{31} + X^{27} + X^{26} + X^{25} + X^{22} + X^{21} + X^{19} + X^{18} + X^{17} + X^{16} + X^{10} + X^7 + X^6 + X^5 + X^3 + X^2 + X + 1$																				
Spread Q	-La velocidad obtenida es 1228,8 kb/s. Este proceso es el Spread Spectrum de secuencia directa. -La señal se codifica con dos secuencias distintas para obtener los ejes en cuadratura I y Q. Se utilizan secuencias de período $2^{15}-1$ (26,66 mseg) sin incremento de velocidad. Los polinomios generadores de orden 15 son: (1010001110100001) y (1001110001111001).																				
Offset	-El canal Q se somete a un retardo <i>Offset</i> de 406,9 nseg para obtener una modulación desplazada.																				
QPSK	-La modulación utilizada hacia el sistema radioeléctrico es del tipo Offset-QPSK.																				
FORWARD. Tomando como base el canal en Reverse se indican solo algunas variantes.																					
CELP	-La señal vocal desde y hacia la red PSTN se transcodifica desde PCM-64 kb/s a CELP.																				
CRC	-CRC sirve para la detección de errores FER (<i>Frame Error Rate</i>) y asistencia del handoff (MAHO).																				
9600 b/s	-En la tasa de 1,2/2,4/4,8 kb/s los símbolos se repiten para acceder en todos los casos a 9600 b/s.																				
FEC 1/2	-El codificador convolucional FEC permite la corrección de errores en recepción (algoritmo de Viterbi). Se trata de una tasa FEC 1/2, lo que logra una velocidad uniforme de 19,2 kb/s.																				
Interleaver	-Permite una diversidad temporal para favorecer el algoritmo de Viterbi en presencia de burst de errores. Se trata de un codificador matricial 24x16 (de 24 filas por 16 columnas).																				
Scrambler	-Se trata de un generador de código largo $2^{42}-1$ que arranca con el inicio del canal. Trabaja a 19,2 kb/s.																				
Bit Power	-Se trata de una tasa de 800 b/s (cada 1,25 mseg). Envía in bit multiplexado sobre la señal de 19,2 kb/s y se utiliza para el control de potencia abierta (16 bits por trama de 20 mseg). La Frame utilizada ocupa para 9,6 kb/s: Bit power (1 bit) + Información (171) + CRC (12) + Tail (8).																				
Walsh-N	-Cada canal de tráfico tiene asignado un código W-64 en IS-95 y W-128 en Globalstar, ortogonales entre sí. Por ello el canal Forward dispone de ortogonalidad mediante funciones Walsh a velocidad de 1,23 Mb/s. Se trata de un proceso de ortogonalización y spread-spectrum simultáneo.																				
Code PN	-La señal de 1228,8 kb/s se codifica con dos secuencias de período $2^{15}-1$ (26,66 mseg).																				

SISTEMAS MOVIL-CELULAR: CDMA

QPSK	-La modulación es del tipo QPSK sin Offset.
-------------	---

SISTEMAS MOVIL-CELULAR: CDMA

3.2- CONTROL DE POTENCIA.

La alta tasa de errores se mide en términos de **FER** (*Frame Error Rate*), con el auxilio de los bits CRC. En la operación de un sistema CDMA se obliga al uso de códigos correctores de errores convolucionales FEC (tasa 1/2 y 1/3) debido a la baja relación señal a ruido (E_b/N_0). En la conexión para telefonía celular se pueden tener grandes retardos si la FER es elevada (para 10^{-1} un retardo de 90 mseg) pero requiere solo un cancelador en el extremo de la central de la red telefónica pública conmutada PSTN.

La relación entre la energía de bit a densidad espectral de ruido E_b/N_0 requerida es de 6 dB con modulación QPSK; en tanto que los sistemas analógicos requieren 18 dB de C/I. En CDMA la potencia de transmisión se fija para que E_b/N_0 sea el valor medio mínimo requerido para una buena recepción. Se trata de controlar permanentemente la emisión del móvil para mantener el mínimo de potencia.

Para mejorar el consumo de potencia se aplican 2 criterios de control:

-**Control abierto:** el móvil controla la potencia de emisión de acuerdo con la potencia de recepción. El algoritmo tiene previsto una relación $PR_x + PT_x = -73$ dBm. Luego, si la PR_x es de -85 dBm la PT_x se setea en +12 dBm. Este mecanismo no es exacto debido a que el fading no es el mismo en ambos sentidos de propagación (dúplex tipo FDD).

-**Control cerrado:** la base envía 800 mensajes por segundo (cada 1,25 mseg) para control de emisión del móvil. Se trata de pasos de 1 dB (modulación Delta: 0 corresponde a un incremento de la potencia y 1 a un decremento). El algoritmo corresponde a una función diente de sierra donde la base es la FER aceptable del sistema.

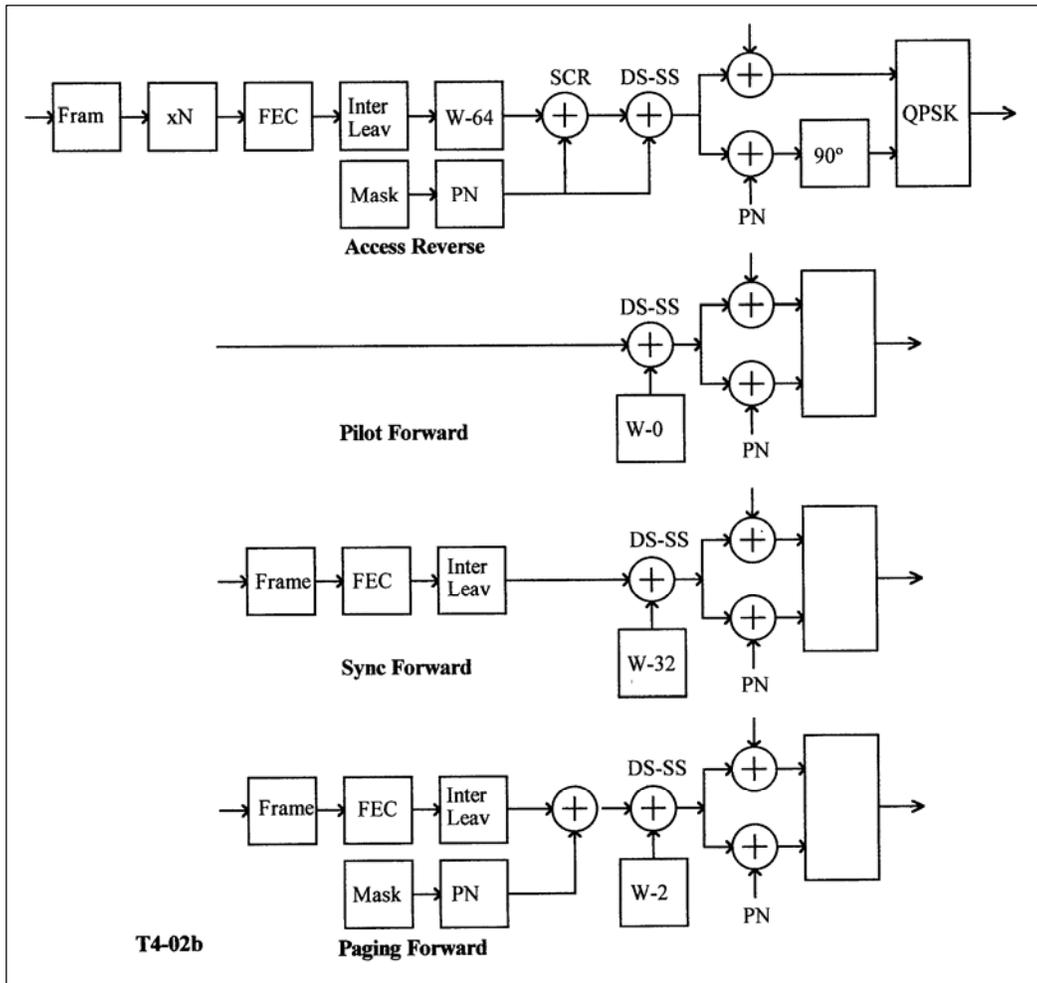


Fig 02. Canales de control en CDMA.

SISTEMAS MOVIL-CELULAR: CDMA

3.3- CANALES DE CONTROL

Los distintos canales que se intercambian en el enlace Reverse y Forward son:

-Reverse: canal de tráfico (ítem anterior) y canal de acceso.

-Forward: canal de tráfico, piloto, sincronismo y paging.

En la **Tabla 03** y en la **Fig 02** se determinan las funciones y forma de codificación de cada canal.

La **sincronización** de las estaciones base Gateway se realiza mediante el método de distribución de tiempo satelital GPS. La señal piloto y de sincronismo permite la sincronización de los móviles. De esta forma se sincroniza la frecuencia, el reloj y los códigos y es posible determinar el retardo entre señales producido por la propagación.

PROCESO DE COMUNICACIÓN. Los pasos de comunicación en el sistema CDMA, de acuerdo con el Setup de **IS-41**, son los siguientes:

Encendido del móvil (ON).

-Cuando el móvil se enciende en el sistema analógico AMPS se efectúa un análisis (*scanning*) del tono de supervisión. En CDMA en cambio el móvil analiza las señales piloto (W-0) que se encuentran en tiempos distintos con offset fijos. El móvil selecciona el canal piloto más potente y recibe la frecuencia y temporización de referencia.

-Luego demodula el canal de sincronismo que posee la función Walsh W32 y entrega el reloj maestro. Escucha el canal de paging a la espera de poder registrarse en el sistema. Envía entonces por el canal de acceso la información para autenticación.

-El proceso de autenticación sigue los lineamientos de IS-41 descriptos en GSM.

-Localizada la posición del usuario se determina el proveedor del servicio **SP**. Se consulta la base de datos del registro de localización local **HLR** o visitante **LSR**. Se efectúa un *scanning* de las señales piloto y en caso de obtener una con mayor potencia se requerirá un handoff. La escucha del canal de paging permite determinar la entrada de una llamada desde la red fija PSTN.

Llamada saliente (SEND).

-Si se desea efectuar una llamada saliente se debe seleccionar un número y enviar la información mediante la tecla "*Send*". Esto inicia el proceso por el canal de acceso. El enlace aún no se establece y el control de potencia es del tipo cerrado. Se detectan las colisiones que pueden ocurrir en el canal de acceso y se espera la respuesta por el canal paging.

-La estación base Gateway responde asignando un canal de tráfico (función Walsh y offset de PN).

-Se procede a realizar el setup del enlace de radio. Por otro lado se realiza el setup del canal hacia la **PSTN**. La acción final corresponde a enlazar el canal de radio con la línea hacia la PSTN.

-Una llamada entrante se origina en un mensaje sobre el canal de paging, con una secuencia posterior similar.

Handoff.

-Si se requiere un soft-handoff se procede a asignar la función Walsh en ambas estaciones base (anterior y nueva). El móvil promedia ambos valores, en tanto que la estación base selecciona la mejor señal por bloques de 20 mseg. Si alguna de ambas señales se degrada el handoff se da por terminado.

SISTEMAS MOVIL-CELULAR: CDMA

Tabla 03. Canales de Control: canal Piloto, Sincronismo, Paging y Acceso.

ACCESS	<p>REVERSE.</p> <p>-Este canal es usado por el móvil como respuesta al canal de paging o para iniciar una llamada saliente. Proporciona comunicación del móvil-a-base cuando no se usa el canal de tráfico. La velocidad del canal de acceso es de 4800 b/s. La trama dispone de 96 bits (20 msec): 88 bits de información y 8 bits de Tail. No posee paridad CRC. Cada símbolo se repite para llevar al canal a 9600 b/s. Los tipos de mensajes son: registración, autenticación, respuesta al Paging, requerimiento de canal, etc.</p> <p>Utiliza codificación convolucional e interleaver. Los móviles presentes en la celda acceden a la red sobre el mismo canal de acceso. Cada estación base o Gateway utiliza una <i>Address Mask</i> para componer el código largo. La máscara de direcciones Address Mask contiene 42 bits, 16 de los cuales es la dirección de Gateway. Esto permite eliminar el posible reuso del canal piloto de Gateway adyacentes. Se trata de la modulación ortogonal. La velocidad de salida es 102,4 kb/s. Se procede a efectuar el Spread Spectrum a 1,23 Mb/s y la modulación QPSK.</p>
PILOT	<p>FORWARD.</p> <p>Este canal se transmite constantemente por todas las estaciones base (PCS) o Gateway (Globalstar). La señal es la función Walsh cero W0 (consistente en 64 ceros). Es un canal no modulado (sin información). El emisor se identifica mediante el retardo relativo de la secuencia (código Outer PN) a 1,23 Mb/s. Sirve para iniciar el acceso del móvil al sistema, reconocer la estación base y detectar el nivel de potencia. Entrega referencia de fase para demodulación coherente y la medición de potencia para handoff.</p> <p>En Globalstar cada sub-beam posee un offset de 15 msec sobre la Outer PN para la identificación. Este valor elevado de offset es necesario para discriminar las diferencias producidas por efecto Doppler.</p> <p>Téngase presente los siguientes tiempo: retardo de propagación con un usuario perpendicular al satélite (0°) de 4,7 msec; retardo con un ángulo de 48° de 8,4 msec. Cada plano orbital posee una identificación. Existe un Spread a 1,23 Mb/s mediante la secuencia Outer PN. Existen 8 secuencias para identificación de cada plano orbital. Los 6 satélites de cada órbita poseen una relativa aislación geográfica dada por la posición por lo que utilizan la misma identificación. Las señales se codifican con secuencias distintas ($2^{15}-1$) para obtener I/Q de modulación QPSK sin offset. Un offset sobre la secuencia I y Q es usado por el usuario para temporización e identificación de I/Q.</p>
SYNC	<p>Es un canal transmitido sincrónicamente con el canal piloto. Lleva una información repetitiva sobre cada Gateway, cada satélite y cada beam. Entrega la temporización del sistema; la identificación del satélite y del beam y la asignación de Gateway. Proporciona al móvil la temporización desde la base al sistema y la velocidad del canal de paging. Transporta información necesaria para decodificar el canal de Paging y generar el canal de acceso del móvil.</p> <p>Tiene una velocidad de 1200 b/s con una trama de 80 msec (286 bits). La Frame contiene la siguiente información: 8 bits de longitud de paquete, 8 a 248 bits de mensaje, 30 bits CRC y padding de relleno. Sobre los 1200 b/s se realiza una codificación convolucional FEC 1/2 y una repetición de símbolos (x2). Dispone un codificador interleaver matricial de (8x16). La tasa de 4800 b/s se compone con una función Walsh W32 a la velocidad de 1228,8 kb/s. Las señales se codifican con secuencias distintas ($2^{15}-1$) para obtener I/Q de modulación QPSK sin offset.</p>
PAGING	<p>Proporciona información de servicio (asignación de canal) desde la base al móvil. Se trata de una trama para varios móviles. Opera con una velocidad de 1,2/2,4/4,8/9,6 kb/s. Se realiza una codificación convolucional de tasa FEC 1/2 y una repetición de símbolos hasta 19,2 kb/s. Se dispone de un codificador interleaver matricial (24x16) y una codificación scrambler (período $2^{42}-1$).</p> <p>La señal se compone con una máscara (Address Mask). Se trata de 42 bits que identifican al canal de paging y a la base (beam y gateway en Globalstar). Estos bits codifican al código largo. Se compone con una secuencia de 1228,8 kb/s con una de 7 funciones Walsh. Normalmente hay un canal de Paging (Walsh 2) aunque la Gateway puede manejar hasta 7 canales.</p> <p>Es utilizado para localizar y registrar a un UT y procesar una llamada entrante. El mensaje es utilizado para registro del sistema; para informar de una llamada entrante; para informar de un mensaje en el voice-mail; como servicio de mensajes cortos sobre el display; para mensajes de handoff cuando no hay llamada. Las señales se codifican con secuencias distintas ($2^{15}-1$) para obtener I/Q de modulación QPSK sin offset.</p>

SISTEMAS MOVIL-CELULAR: SATELITAL

Referido a los sistemas móviles con cobertura global mediante una constelación de satélites en órbita terrestre.

1- SISTEMAS MOVIL SATELITAL

Un sistema que se desarrolla a partir de 1990 es el servicio de telefonía móvil con satélites artificiales. Se trata de una red de satélites de órbita de distinto tipo:

Tabla 01. Órbitas para satélites terrestres.

-GEO	(<i>Geostationary Earth Orbit</i>). A una distancia de 35.800 km sobre la Tierra, en órbita ecuatorial (inclinación 0°), velocidad de rotación 3,1 km/seg y período de 24 horas. Ejemplo: Inmarsat-M. Cobertura global con 3 satélites.
-MEO	(<i>Medium Earth Orbit</i>). Entre 10.000 y 20.000 km sobre la Tierra, en órbita inclinada y período de rotación entre 6 y 10 horas. Ejemplo: Odyssey y GPS. Cobertura global con 10 a 20 satélites.
-LEO	(<i>Low Earth Orbit</i>). Debajo de 2000 km de altura, en órbita inclinada y con período de rotación inferior a 2 horas. Ejemplo: Iridium y Globalstar. Cobertura global con 40 a 60 satélites.

En el caso de órbitas de baja altura LEO lo reducido de la órbita permite requerir una potencia menor del usuario a cambio de un mayor número de satélites para lograr la cobertura permanente. La aplicación es complementaria de los demás sistemas celulares, con cobertura en áreas de baja densidad de usuarios.

INMARSAT (*International Maritime Satellite*). Inmarsat fue fundada en 1979. Es una organización internacional similar a Intelsat. Su función son servicios marítimos y actualmente terrestres y aéreos. Dispone de servicios de transmisión de mensajes del tipo TDMA en 1,5 GHz con transmisión digital a 1,2 kb/s y con modulación 2PSK. Los servicios son:

Tabla 02. Diferentes tipos de servicios de Inmarsat.

-Inmarsat A	Para datos, telefonía, telex en móvil marítimo (desde 1982). Canal analógico y módem FM.
-Inmarsat B/C	Similar a Inmarsat A trabajando a 16 kb/s.
-Inmarsat Aero	Para datos y telefonía desde aviones (desde 1990).
-Inmarsat M/E	Para datos, teléfono y fax en servicio móvil terrestre (desde 1992). Trabaja a 6,4 kb/s.
-Inmarsat Paging	Para datos (desde 1994).
-Inmarsat P	Para servicio portátil celular ("Proyecto 21" desde el año 2000).

SISTEMAS MOVIL-CELULAR: SATELITAL

2- SISTEMA IRIDIUM

En la **Tabla 03** se resumen los diversos tipos de sistemas celulares satelitales comparados con Iridium.

Tabla 03: Telefonía móvil satelital

	Iridium	Globalstar	Odyssey
Líder del grupo	Motorola	Qualcomm	TRW
Número de satélites	66+7	48+8	12+3
Altura nominal Km	LEO= 780	LEO= 1414	MEO= 10354
Período de órbita	100 min	113 min	6 hs
Inclinación de órbita	86°	52°	55°
Masa y potencia del satélite	700 kg y 1.200 w	450 kg y 1.100 w	1134 kg
Bandas involucradas	L-Ka	L-C	L-Ka
Spot por satélite	48	16	19
Número de celdas	3168	768 (384)	228
Cobertura	Global	Latitud 70° N/S	Continentes
Método de acceso	FDMA/TDMA	CDMA	CDMA
Tipo de modulación	QPSK	QPSK	BPSK
Circuitos satelitales	3840	2700	2300
Vida del satélite en años	5	7,5	10

IRIDIUM¹⁾. Es anunciado en 1990 como un sistema de acceso múltiple del tipo **FDMA/TDMA** y duplexión **TDD**. El nombre se debe al elemento con número atómico 77 (la red proyectaba originalmente 77 satélites). Opera experimentalmente desde 1998.

Las características de la constelación satelital son las siguientes:

- Son 66 satélites en 6 órbitas **circulares cuasi-polar**. La inclinación de la órbita es de 86° respecto del ecuador.
- La separación entre planos orbitales es 31,6°; entre el primer y último plano de órbitas es de 22°.
- Son órbitas de baja altura **LEO** a 780 km de altura sobre la Tierra. Esto determina un período de rotación de 100 minutos.
- Los satélites giran en igual sentido (excepto el plano de órbita 6) y en forma entrelazada.
- Cada satélite proyecta 48 haces formando celdas de 700 km de diámetro y una cobertura total de 4000 km.
- Del total de 3168 haces (66 satélites con 48 haces) solo 2150 se encuentran activos para ahorro de energía.
- Los haces se apagan en los polos donde hay mayor superposición de celdas.
- Como el satélite se mueve a 24000 km/h permanece en una celda cerca de 1 minuto.
- La celda se mueve a 7,4 km/seg sobre el terreno y requiere del proceso de handoff entre haces y satélites.
- El ángulo de elevación mínimo para una eficiente cobertura es de 15°.

Las características del canal telefónico son las siguientes:

- Cada celda dispone de 340 canales de tráfico como máximo.
- Cada satélite cursa tráfico entre celdas adyacentes (la misma órbita y las adyacentes).
- Se tienen enlaces en **banda-L** (1616-1626,5 MHz) para la conexión satélite-a-usuario.
- En la banda-Ka (23 GHz) se realiza el enlace satélite-a-satélite.
- Desde satélite-a-Gateway se usa la banda Ka (up-link 29 y down-link 19 GHz).
- Se requieren 15 Gateway en Tierra para el acceso a la red internacional.
- Usa transponder con conversión de banda Ka hacia banda L en el trayecto de subida y bajada.
- Sobre la banda-Ka se disponen de la conexión al centro de control de la red y el satélite.
- Es el único sistema que prevé una comunicación entre satélites.
- Para una mejor eficiencia espectral los canales en la banda-L se separan por 5 kHz.
- La codificación vocal es del tipo **VSELP**. La modulación aplicada es **QPSK**
- La codificación vocal y los datos son a 4800 b/s; no se codifican los silencios para reducir interferencias.

¹⁾ En 1980 se encontraron trazas excesivas de Iridio en capas geológicas entre el Cretácico y el Terciario. Esto motivó la teoría según la cual un asteroide chocó con la Tierra en el actual Golfo de México produciendo la extinción de los dinosaurios hace 65 millones de años.

SISTEMAS MOVIL-CELULAR: SATELITAL

3- SISTEMA CDMA-GLOBALSTAR

3.1- SEGMENTO ESPACIAL.

La constelación de satélites se prevén con un total de 48 satélites. La órbita es de baja altura LEO a 1414 km sobre la superficie de la Tierra. En 1998 un accidente en la segunda etapa del vector de lanzamiento desde Baikonur (Rusia) destruyó 12 satélites. Se trata de 8 planos orbitales de 52° de inclinación.

El satélite se mueve a 7,15 km/s y tiene un período de rotación de 113 minutos. La cobertura máxima es hasta 70° Norte/Sur de latitud. El diámetro de enfoque de un satélite es de 5800 km lo que se logra con un ángulo de enfoque de 108°. Esta área de cobertura posee 16 celdas. Las celdas están distribuidas en distinta forma para el up y down-link. Las celdas Forward al móvil se distribuyen con una central, 6 en una primera corona circular y 9 en una corona externa. Las celdas en el enlace Reverse se distribuyen de otra forma: una central y 15 celdas radiales. Cada celda (conocida como *Beam*) posee 13 portadoras CDMA de 1,23 MHz (denominadas sub-beam).

La velocidad binaria es de 1,23 Mb/s producto de la codificación Spread-Spectrum con código PN = $2^{42}-1$. El soft-handoff incluye el cambio de código entre beams del mismo satélite o entre beams de distintos satélites. El hard-handoff se verifica por el cambio de frecuencia dentro del mismo beams.

SEGMENTO SATELITAL. Las principales características de la constelación de satélites son ²⁾:

- Serán 48 satélites con órbita de baja altura LEO (1414 km de altura) en 8 planos orbitales de 52° de inclinación.
- El satélite se mueve a 7,15 km/s y tiene un período de rotación de 113 minutos. Cobertura máxima: 70° N/S.
- El diámetro de enfoque de un satélite es 5800 km lo que se logra con un ángulo de enfoque de 108°.
- Esta área de cobertura posee 16 celdas. Las celdas están distribuidas en distinta forma para el up y down-link.
- Las celdas en el enlace Forward se distribuyen: una central, 6 en una primera corona circular y 9 en una corona externa.
- Las celdas en el enlace Reverse se distribuyen de otra forma: una central y 15 celdas radiales.
- Cada celda (conocida como Beam) posee 13 portadoras CDMA de 1,23 MHz (denominadas sub-beam).
- La velocidad binaria es de 1,23 Mb/s producto de la codificación Spread-Spectrum con código PN = $2^{15}-1$.
- El soft-handoff incluye el cambio de código entre beams del mismo satélite o entre beams de distintos satélites.
- El hard-handoff se verifica por el cambio de frecuencia dentro del mismo beams.

SATELITE DE COMUNICACIONES. Los componentes del satélite son:

- Payload de comunicaciones. Contiene conversores (bandas C y L/S), amplificadores LNA y SSPA y multiplexores.
- La comunicación en banda S posee 91 amplificadores SSPA para 16 beam y en banda L posee 61 amplificadores LNA.
- La electrónica de Procesamiento permite la telemetría y comandos y supervisión del sistema satelital.
- Control de altitud y órbita: Corresponde al receptor de GPS, medición de campo magnético sistema de propulsión, etc.
- Sistema de energía: Con paneles solares y baterías de Ni-H₂.
- Control térmico: Para regulación del sistema de calefacción.
- Estructura: Formato trapecoidal para acomodar más satélites en el Payload del vector de lanzamiento.

ESTACION TERRENA DE GATEWAY.

- La estación terrestre posee el subsistema de radiofrecuencia para transmisión y recepción en Banda C.
- Se utiliza una frecuencia intermedia de 841-1000 MHz en transmisión hacia 5091-5250 MHz.
- En recepción desde 6875-7075 MHz se pasa a la IF nominal de 2185 MHz.
- Incluye los conversores, amplificadores LNA/SSPA y una instalación de 4 antenas de 5,5 o 6,1 mts de diámetro.
- La conexión con el up y down-converter se realiza mediante fibras ópticas por encima de los 200 mts.
- El subsistemas de conversores se encuentra junto a los equipos de comunicaciones.
- En el enlace forward se utilizan dos conversiones a 340 MHz y 841-1000 MHz.
- En el enlace reverse se utilizan las IF de 435 MHz y 70 MHz.

Todas las características de comunicaciones de Globalstar se encuentran en el Capítulo referido a los sistemas de acceso móvil CDMA (IS-95).

²⁾ En septiembre de 1988 el tentativo de poner en órbita el número record de 12 satélites simultáneos falló. La segunda etapa del vector satelital Zenith-2 de fabricación ucraniana no trabajó adecuadamente. Este portador ha tenido 7 fallos sobre 30 lanzamientos desde 1985. El lanzamiento se realizó desde Baikonur en Kazakistan. Globalstar debe operar desde 1999 con solo 36 satélites en forma inicial.

SISTEMAS MOVIL-CELULAR: SATELITAL

3.2- SEGMENTO TERRESTRE.

Se trata de la Gateway o estación satelital que provee la interfaz entre el usuario (Segmento Satelital) y la red pública PSTN. Es operada por el proveedor local del servicio **SP** (*Service Provider*). Soporta hasta 1000 circuitos y 18 procesamientos (call setup) por segundo. Realiza funciones de conmutación, routing de paquetes y conversión vocal hacia la red PSTN.

Posee la comunicación con el **VLR/HLR** y **AuC** donde se conserva la información para registro y autenticación para sistemas bajo norma IS-41. Dispone de las conexiones hacia PSTN a 2 Mb/s. Utiliza protocolos de señalización SS7. **VLR** es la interfaz hacia el **HLR** (*Home Location Register*) para información de autenticación y registración. Mantiene un reporte de los móviles existentes en el área de cobertura.

La interacción entre el HLR y el **AuC** (*Authentication Center*) permite realizar las operaciones de Registración y Autenticación. El proceso de Registración permite al usuario identificarse a sí mismo y obtener el acceso al sistema móvil. El proceso de Autenticación permite al sistema verificar la legitimidad del suscriptor. En HLR se registra la posición del usuario dentro de toda la red de Globalstar y en AuC se registran las informaciones de autenticación. HLR mantiene actualizada la base de datos de la última posición del suscriptor. Existe un HLR distinto para operación IS-41 (AMPS, CDMA) y GSM.

Posee el subsistema transceptor. En el enlace forward se utilizan dos conversiones a 340 MHz y 841-1000 MHz; en el enlace reverse se utilizan las IF de 435 MHz y 70 MHz. La conexión con el up y down-converter del GRS se realiza mediante fibras ópticas por encima de los 200 mts. La fuente de temporización y frecuencia se sintoniza desde el sistema de posicionamiento global **GPS**. El subsistema de radiofrecuencia para transmisión y recepción en Banda C utiliza una frecuencia intermedia de 841-1000 MHz en transmisión hacia 5091-5250 MHz. En recepción desde 6875-7075 MHz se pasa a la IF nominal de 2185 MHz. Incluye los conversores, amplificadores LNA/SSPA y una instalación de 4 antenas de 5,5 o 6,1 mts de diámetro para la Banda C.

SEGMENTO TERRESTRE. Los sistemas involucrados en Globalstar se dividen en el segmento terrestre y el satelital. El segmento espacial fue mencionado en otro tramo de este Capítulo. El segmento terrestre esta constituido por una gran cantidad de sistemas y subsistemas que se resumen en la **Tabla 04** y **Fig 01**.

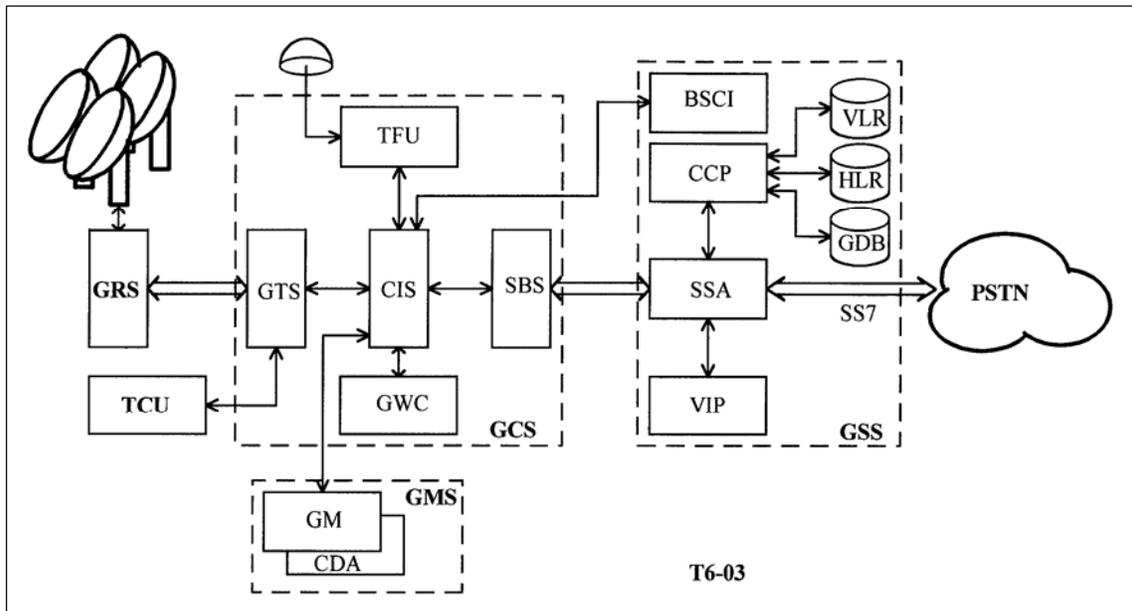


Fig 01. Componentes del sistema Globalstar.

SISTEMAS MOVIL-CELULAR: SATELITAL

3.3- SERVICIOS AL SUBSCRIPTOR.

Se disponen de los siguientes servicios: telefonía con codificación CELP, Facsímil del tipo Grupo 3 a 9600 b/s, Servicio de mensajería (voice mail), servicio de paging (cortos mensajes) y servicio de posición (error entre 300 mts y 10 km). La cobertura del sistema asegura una probabilidad de 100% de observar un satélite hasta los 70° de latitud. Dos satélites pueden ser captados hasta 50° de latitud. Mientras que tres satélites pueden ser recibidos con una probabilidad promedio del 60% y cuatro satélites con una probabilidad promedio del 20%.

Se tienen 3 tipos de aparatos de usuario **UT** (*User Terminal*): Single-Mode para operación CDMA Globalstar; Dual-Mode para CDMA Globalstar y GSM y la versión Tri-Mode para CDMA celular, CDMA Globalstar y AMPS. Como se observa no soporta D-AMPS (IS-54).

Cada terminal de usuario contiene alguno de los siguientes números identificatorios:

- MIN** (*Mobile Identification Number*) utilizado en las normas IS (código de país, red y subscritor) y
- ESN** (*Electronic Serial Number*) tiene de 4 a 7 bytes para identificar al fabricante y al aparato. Para IS-95.
- IMEI** (*International Mobile Equipment Identifier*) tiene 15 dígitos decimales definidos en ETS 300-523 para GSM.

Estos códigos son aleatorizados mediante un scrambler de tipo $2^{42}-1$ a velocidad de 1,23 Mb/s y con período de 42,5 días. Un decimador permite llevar la señal de 1,23 Mb/s a 9,6 o 19,2 kb/s (divisor por 128 o 64).

Este sistema opera en forma diversa a Iridium. No existe comunicación entre satélites y por ello requiere una cantidad mayor de Gateway en Tierra para conexión hacia la red pública PSTN. En tanto que Iridium dispone de una Gateway en América del Sur, Globalstar dispone más de tres. Debe tenerse presente que la gestión del servicio es también distinta: Globalstar dispone de proveedores de servicios **SP** para cada país y por ello existe una Gateway por país. Mediante una combinación de informaciones es posible detectar en que posición se encuentra el móvil (error de 10 km) y de esta forma no aceptar conexiones que se encuentran fuera de la cobertura asignada a la Gateway. Así que un móvil puede encontrarse dentro del área de cobertura del satélite pero fuera del área de cobertura asignada al proveedor de servicios (en Mar abierto) y la conexión puede no realizarse.

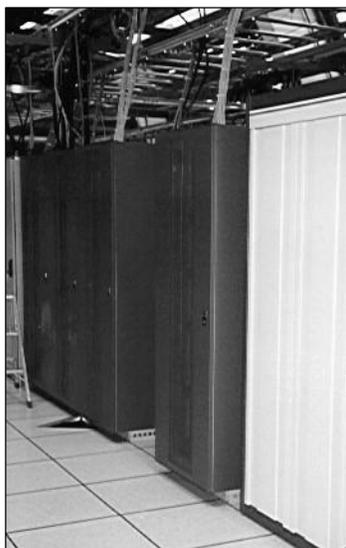
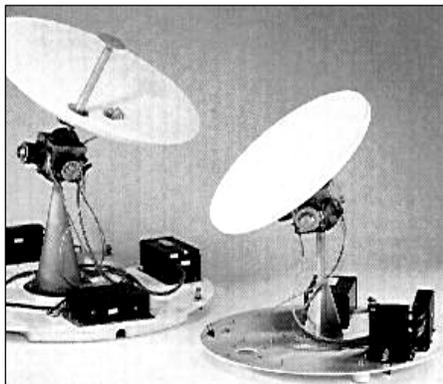
SISTEMAS MOVIL-CELULAR: SATELITAL

Tabla 04. Sistemas y subsistemas para Globalstar. Segmento terrestre.

GW	-Se trata de la Gateway o estación satelital que provee la interfaz entre el usuario (Segmento Satelital) y la red pública PSTN. Es operada por el proveedor local del servicio SP (<i>Service Provider</i>). Soporta hasta 1000 circuitos y 18 procesamientos (call setup) por seg. Realiza funciones de conmutación, routing de paquetes y conversión vocal hacia la red PSTN. Esta formado por los siguientes subsistemas:
GSS	-Subsistema de conmutación. Posee la comunicación con el VLR/HLR y AuC donde se conserva la información para registro y autenticación para sistemas bajo norma IS-41. Dispone de las conexiones hacia PSTN a 2 Mb/s. Utiliza protocolos de señalización SS7. Esta formado por los siguientes subsistemas:
SSA	-Ajuste de servicios suplementarios para interfaz en territorios IS-41 o GSM. Es la interfaz al switching, contiene los circuitos E1.
VIP	-Es el proveedor perisférico de mensajes grabados en caso de imposibilidad de alcanzar el destino. Es controlado por el CCP.
CCP	-Procesador central de llamada para control del setup, control de localización, conexión a la PSTN, etc. Contiene el VLR que es un registro temporal de usuarios visitantes al proveedor de servicio..
VLR	-Interfaz hacia el HLR para información de autenticación y registración. Mantiene un reporte de los móviles existentes en el área de cobertura.
HLR	-La interacción entre el HLR (<i>Home Location Register</i>) y el AuC (<i>Authentication Center</i>) permite realizar las operaciones de Registración y Autenticación. El proceso de Registración permite al usuario identificarse a sí mismo y obtener el acceso al sistema móvil. El proceso de Autenticación permite al sistema verificar la legitimidad del subscriber. En HLR se registra la posición del usuario dentro de toda la red de Globalstar y en AuC se registran las informaciones de autenticación. HLR mantiene actualizada la base de datos de la última posición del subscriber. Existe un HLR distinto para operación IS-41 (AMPS, CDMA) y GSM.
BSCI	-Interfaz de control de la estación base para procesar llamadas GSM.
GWR	-Base de datos regional de la Gateway donde se encuentra los proveedores disponibles de servicios.
SS7	-El servidor del SS7 permite manejar los VLR/HLR.
GCS	-Para el procesamiento CDMA (codificación y modulación Spread-Spectrum). Posee los siguientes subsistemas:
SBS	-Convierte la señal PCM en CELP, conforma el handoff y control de potencia. Se utiliza funciones Walsh de 64 y 128 bits.
CIS	-Interconexión de temporización y frecuencia entre distintas Gateway
GTS	-Subsistemas transreceptor. En el enlace forward se utilizan dos conversiones a 340 MHz y 841-1000 MHz; en el enlace reverse se utilizan las IF de 435 MHz y 70 MHz. La conexión con el up y down-converter del GRS se realiza mediante fibras ópticas por encima de los 200 mts.
TFU	-Fuente de temporización y frecuencia sintonizado desde el sistema de posicionamiento global GPS .
GWC	-Para operación y supervisión de la Gateway CDMA.
GRS	-Subsistema de radiofrecuencia para transmisión y recepción en Banda C. Se utiliza una frecuencia intermedia de 841-1000 MHz en transmisión hacia 5091-5250 MHz. En recepción desde 6875-7075 MHz se pasa a la IF nominal de 2185 MHz. Incluye los conversores, amplificadores LNA/SSPA y una instalación de 4 antenas de 5,5 o 6,1 mts de diámetro para la Banda C.
GMS	-Subsistema de gestión para la operación de la Gateway. Utiliza protocolos de comunicación X.25. Está compuesto por:
GM	-WorkStation para Manager para operación, generación de reportes, etc.
CDA	-Para el acceso a reportes de detalle de llamadas.
TCU	-Unidad de telemetría y comando.
GOCC	-Centro de control de operaciones terrestre. Es responsable del planeamiento y gestión de las disponibilidades del sistema Globalstar. Sostiene los datos de configuración de satélites, los datos geográficos y de localización de recursos. Sirve de soporte para los proveedores de servicio SP .
SOCC	-Centro de control satelital para controlar la constelación de satélites. Encargado del sistema de telemetría, tracking y comando del satélite. La tasa de datos es de 1 kb/s y puede mover solo un satélite a la vez. Realiza las efemérides (predicción de la posición actual) del satélite.
GDN	-Es una red WAN para interconexión de datos del sistema Globalstar.

SISTEMAS MOVIL-CELULAR: SATELITAL

LAMINA. Arriba se muestran las antenas para los servicios de Inmarsat satelitales móviles. Debajo las antenas y equipos para los servicios móviles de Globalstar en Argentina.



SISTEMAS WIRELESS

Descripción de los sistemas de tipo wireless, cordless, de pequeña y gran cobertura. Sobre las normas y el funcionamiento.

1- SISTEMAS CORDLESS.

CT0-CT1 (Cordless Telephone).

Ambos sistemas transmiten la información telefónica en forma analógica. CT0 es una norma de USA opera inicialmente en la banda de 46 a 59 MHz. Se trata de teléfonos inalámbricos comunes del mercado actual doméstico (aplicación residencial). No posee handoff. CT1 es una norma europea CEPT que opera en la banda de 900 MHz con 40 portadoras separadas por 50 kHz. La modulación utilizada es FM con canales analógicos. La cobertura es menor a 300 mts con potencia de 5 a 10 mw.

CT2.

Fue desarrollado en Inglaterra por GPT-1989 como el primer sistema con duplexión TDD para radio móvil. Los sistemas posteriores como DECT adoptaron esta estructura. Tiene una normalización europea en ETSI 300-131. Es un sistema de telepunto público en ambientes domésticos o comerciales. Mejora a CT0/CT1 por la codificación digital. Son microceldas de 200 m donde no puede realizarse el handoff. Posee sustanciales mejoras respecto a CT1. Se reduce el *dropping* sobre los móviles que se mueven a alta velocidad en las esquinas. Se dispone también de las variantes CT2-CAI (*Common Air Interface*) o la variante CT2-Plus. CT2-Plus opera en Canadá con 100 canales en banda de 940 MHz.

Sus características más interesantes son:

- Opera en la banda de 864,1-868,1 MHz. Se tiene una separación de 100 kHz entre cada una de las 40 portadoras.
- Trabaja con un canal por portadora FDMA (no tiene multiplexación TDMA) a 32 kb/s con codificación ADPCM (G.721).
- El mecanismo de duplexión es en el tiempo TDD con velocidad total sobre la portadora de 72 kb/s.
- El uso de TDD elimina la necesidad de dos filtros en el aparato de usuario.
- La trama tiene dos intervalos de tiempo con duración de 2 mseg (1 mseg para cada dirección Forward y Reverse).
- La distribución de datos es: banda de guarda (4,5 bits); canal D (2 bit); canal B (64 bit); canal D (2 bit); guarda (3,5 bit).
- El canal D lleva control y sincronismo a 2 kb/s. Sirve para acceso, control de potencia, localización dinámica del canal.
- La modulación utilizada es GMSK, como en el sistema GSM. La desviación máxima es de 25,2 kHz (para 72 kb/s).

CT3.

Fue desarrollado en Suecia por Ericsson como un upgrade de CT2 y permite una conexión a PABX. Originalmente se denominó DCT900 (*Digital Cordless Telephone*). Posee handoff a baja velocidad del móvil, criptografía y roaming. Sus características más destacadas son:

- Trabaja en la banda de 862-864 MHz con 100 portadoras y 100 kHz de ancho de banda. La modulación es MSK.
- Es un sistema TDMA/FDMA-TDD. La tasa de información es 640 kb/s por portadora.
- La multiplexación TDMA posee 8 time slot por trama.
- El canal vocal se codifica a 32 kb/s mediante el método ADPCM.
- El máximo de portadoras por celda es de 8.
- Trama por canal es: burst y sincronismo (32 bits), señalización e identificación (56 bits), datos (512), CRC (16 bits).
- Se dispone de un tiempo de guarda entre tramas de 0,037 mseg.

DECT (Digital European Cordless Telephone).

Opera como evolución de CT2 para todo el ámbito de Europa. Inicialmente se pensó como sistema Cordless privado, pero hoy día está integrado a la red pública. Se ofrece como aplicación para centrales PABX y en el loop de abonado WLL. Es compatible con GSM y la red ISDN. Las características se indican más adelante.

DCS 1800 (Digital Cellular System).

Es conocido como PCN (*Personal Communication Network*). Es la red de comunicaciones personales en la banda 1710-1785 (Reverse) y 1805-1880 MHz (Forward). Las celdas son inferiores a 1 km en áreas urbanas y menor de 8 km en áreas rurales. Sus características más destacadas son:

- Se basa en la norma europea GSM para 900 MHz. Es del tipo TDMA/FDM/FDD.
- El espaciamiento entre canales es de 200 kHz con 374 portadoras.
- Cada portadora tiene una velocidad de 271 kb/s con 8 canales. La modulación es GMSK.

SISTEMAS WIRELESS

-Puede trabajar a mitad de velocidad con 16 canales de 22,8 kb/s. La codificación es RPE-LTP a 13 kb/s.

TETRA (*Trans European Trunked Radio*).

Los sistemas Trunked son del tipo half-duplex; generalmente carecen de privacidad trabajando varios usuarios sobre la misma portadora. Tetra se trata de un sistema Trunked para el ámbito europeo desde 1994. Opera en la banda de 450 MHz. Es un sistema digital TDMA de 4 canales por portadora. El canal vocal se codifica a 7,2 kb/s y la modulación es $\pi/4$ DQPSK.

SISTEMAS WIRELESS

2- SISTEMAS PAGING.

Las bandas más populares del sistema Paging son las 138-175, 267-284, 330, 420-470 y 900 MHz. El sistema POCSAG ha sido usado en todas las bandas en tanto que Ermes solo en la banda de 169 MHz. Todos disponen de radiocanales de 16x25 kHz y la modulación es FSK (2 o 4 niveles de frecuencia).

POCSAG (*Post Office Code Standard Advisory Group*).

Es el primer sistema y opera desde los años `70 (originalmente en Londres operado por la *British Post Office*). Fue normalizado en CCIR Rc.584 en 1981. Sus características son las siguientes:

- Opera en la banda de 460-470 MHz con 7 canales separados por 25 kHz.
- Es del tipo símplex (unidireccional) con multiplexación FDMA/TDMA.
- Trabaja con velocidad desde 320 a 750 b/s por canal, que se eleva hasta 512 a 1200 b/s en la portadora.
- La modulación es del tipo 2FSK y no posee handoff.
- Emite en forma de broadcasting: todos los mensajes llevan su dirección y se emiten en forma continua y repetitiva.

FLEX.

Es una norma de facto de Motorola de gran difusión en toda América. Se aplica en 48 países y con 229 operadores (a inicios de 1999) lo que representaba el 92 del mercado mundial. En 1995 disponía del 90% (fue introducido en 1993). Se han optimizado el FLEX-1 para paging de una vía en alta velocidad y ReFLEX para dos vías (sistema *SkyTel*). En la variante InFLEXion se tiene prevista la introducción de voz comprimida. A continuación se resumen las características:

- Dispone de 4 canales de datos de 1600 b/s cada uno por portadora.
- Cada canal ocupa una fase y son independientes.
- La modulación es 4-FSK ($F_o \pm 4,8$ kHz y $F_o \pm 1,6$ kHz).
- El ciclo de multitrama es de 240 seg, conteniendo 128 tramas de 1,875 seg.
- Cada trama contiene sincronismo y 11 bloques para dirección y mensaje.

ERMES (*European Radio Message System*).

Es un radio búsqueda para el ámbito de Europa. En Europa el sistema Paging tiene menos éxito que en USA. Sus características son:

- Son 16 canales FDMA ubicados entre 169,4125 y 169,8125 MHz con 25 kHz de ancho de banda entre canales.
- La velocidad de datos es 3500 b/s que se eleva por formación de la trama a 6250 b/s en la portadora.
- Utiliza una corrección de errores FEC (30,18).
- Utiliza un interleaver de 6 palabras de código para mejorar la respuesta al *fading multipath*.
- La modulación es 4-FSK con desviación de $\pm 4,6875$ y $\pm 1,5625$ kHz.
- Protocolo: 60 ciclos/hora; 1 ciclo son 5 subsecuencias (1 min); 1 subsecuencia 16 *batche* y 1 *batche* (0,75 seg).
- El *batche* posee una secuencia de sincronismo, información de sistema, dirección y mensaje.

SISTEMAS WIRELESS

3- SISTEMA WIRELESS LOCAL LOOP.

Se trata de sistemas de acceso a usuarios **WLL** (*WireLess Local Loop*) mediante un canal radioeléctrico. Evitando de tal forma la planta externa de cobre convencional. Se reemplaza por un acceso inalámbrico constituido por una antena angular que abarca la zona a ser cubierta. El usuario dispone entonces de una movilidad reducida dentro de la zona de cobertura. No dispone de handoff. Los mismos sistemas celulares se han adaptado a esta aplicación.

Se indica a continuación una **Tabla 01** comparativa de sistemas móviles y celulares adaptados para la operación como acceso al loop de abonado WLL.

Tabla 01. Comparación de sistemas Wireless.

Sistema comparativo	CDMA IS-95		TDMA IS-136		ETSI GSM	
	Móvil	WLL	Móvil	WLL	Móvil	WLL
Aplicación						
Ancho de banda kHz	1228	1228	30	30	200	200
Cantidad de canales	3	3	167	167	25	25
Diseño Eb/No dB	7	6	18	14	12	12
Reuso de frecuencia	1	1	7	4	3	3
Canales por sector	3	3	7,95	7,95	2,78	2,78
Usuario por canal por sector	25	31	3	3	8	8
Canales vocal por sector	75	93	23,85	41,76	22,24	22,24
Tráfico por sector Erlang	63,9	81,2	16,4	32,7	15,2	15,2
Erlang por celda por MHz	38,3	48,7	9,84	19,6	9,12	9,12

EJEMPLO. DECT (*Digital European Cordless Telephone*).

Se ha normalizado en ETSI 300-175. Opera como evolución de CT2 para todo el ámbito de Europa. Inicialmente se pensó como sistema Cordless privado, pero hoy día está integrado a la red pública. Se ofrece como aplicación para centrales PABX y en el loop de abonado. No posee handoff y la cobertura depende del sistema. Es compatible con GSM y la red ISDN.

Sus características radioeléctricas y de señales son:

- Es un sistema TDMA-FDMA/TDD que opera en la banda de 1881,792 a 1897,344 MHz.
- Dispone de 10 portadoras y cada una de ellas lleva una señal TDMA de 12 canales.
- La separación entre las 10 portadoras FDMA es de 1728 kHz. Cada portadora se modula en GMSK a 1152 Mb/s.
- Se diseña sobre una base de 33 usuarios por celda. La eficiencia es de 70 mErl/MHz.
- La potencia máxima del móvil es de +24 dBm y la sensibilidad es de -92 dBm.
- Cada canal se codifica en ADPCM a 32 kb/s (G.721). La multiplexación TDMA es de 12 canales sobre cada portadora.
- Siendo la duplexión TDD se tienen 24 intervalos para ambos sentidos.
- Cada intervalo de tiempo es asignado a diferentes canales para introducir un *Frequency Hopping* de protección.

La estructura de datos, cuya velocidad final es de 1152 kb/s y posee 12 canales TDD, tiene las siguientes características:

- Frame: la trama tiene una duración de 10 mseg con 24 intervalos de tiempo TS de 424 bits (0,417 mseg) cada uno.
- Los intervalos TS:0 a TS:11 se utilizan para la conexión base a móvil y desde TS:12 a TS:23 para móvil a base.
- Time Slot: Poseen 32 bits de preámbulo, 388 de datos (Payload) y 60 bits de tiempo de guarda.
- Payload: alineamiento (8 bits), canal de control (40 bits), CRC (16), datos canal-B (320) y CRC (4).
- La secuencia CRC-16 bits se calcula para el canal de control y CRC-4 bits para detección de interferencia sobre datos.
- CRC-4 permite una evaluación de errores para seleccionar la antena de recepción más apropiada.
- La tasa de información total es de 1152 kb/s (canal individual de 32 kb/s-ADPCM y señalización de 6,4 kb/s).
- La codificación introduce un retardo total de 14 mseg.

Como ejemplo se mencionan algunos parámetros del sistema DECT-Link de Siemens. Para una aplicación WLL la antena de estación base estándar tiene las siguientes dimensiones 101x95x32 mm (H.W.T). Tiene polarización vertical con ganancia de 7,5 dBi y F/B de 15 dB. La potencia de salida es de 75 watt con impedancia de 50 ohm. El conector es el SMA. La apertura de 3 dB tiene 80° horizontal y 50° vertical. La VSWR es inferior a 1,5.

EJEMPLO: WLL TADIRAN.

Existe una amplia diversidad de sistemas propietarios por lo que se informa a continuación del sistema *Tadiran* denominado MultiGain. Este sistema es usado con éxito en la red de Argentina. Los componentes del sistema son indicados en la **Tabla 02**.

SISTEMAS WIRELESS

Tabla 02. Unidades constitutivas del sistema WLL de Tadiran.

-RPCU	(<i>Radio Port Control Unit</i>). Se trata de la unidad que se conecta a la red telefónica convencional PSTN mediante enlaces digitales. Trabaja con hasta 20 interfaz de tipo E1 (2 Mb/s) y con hasta 10 RPU hacia el lado abonado. Con un tráfico estimado de 0,1 Erlang y 80 conexiones se pueden abastecer a 300 usuarios. La gestión se realiza mediante un sistema <i>CraftMap</i> que trabaja sobre HP Open View.
-RPU	(<i>Radio Port Unit</i>). Se trata de la unidad que recibe enlaces E1 y dispone de la interfaz radioeléctrica hacia el usuario FAU. Se conecta mediante líneas digitales DSL (<i>Digital Subscriber Loop</i>) de hasta 6 km como longitud máxima sobre conductores de 0,6 mm de diámetro (enlace ISDN por dos pares). Permite gestionar la concentración de hasta 48 usuarios. Utiliza antenas omnidireccionales (ganancia de 6 dBi) o direccionales de 60 grados horizontal y 30 grados vertical (ganancia 10 dBi), con diversidad de espacio con una separación superior a 1 metro.
-FAU	(<i>Fixed Access Unit</i>). Es el equipo colocado en el lado de usuario. La antena tiene una abertura HPBW de 43 grados horizontal y 28 grados vertical (ganancia de 12,5 dBi).

Las principales características del sistema son:

- Se codifica el canal telefónico mediante ADPCM a 32 kb/s (ITU-T G.726).
- Este proceso produce un retardo muy reducido sobre la señal vocal (3 mseg).
- Se forma una trama TDMA-TDD (*Time Division Duplexing*) de 8 canales dúplex.
- La velocidad total resultante es de 875 kb/s.
- En una multitrama de 2 mseg se acomodan 16 intervalos de tiempo: 8 para el sentido Forward y 8 en Reverse.
- Cada intervalo dura 125 useg (85 bits) y contiene: Información vocal (64 bits), de control (9) y paridad CRC (12).
- Se realiza una codificación FH-CDMA (*Frequency Hopping*) sobre la multitrama de 2 mseg en total.
- Se trata de 500 saltos/seg sobre un total de 18 frecuencias en la banda de 1910-1930 MHz.
- Existe una secuencia fija y conocida de saltos de frecuencia. Existe un corrimiento en el FH para identificación de celdas.
- La modulación es CPFSK de 3 niveles (respuesta sintetizada).
- Permite obtener una Eb/No de 14 dB a BER = 10^{-6} . Esto determina una sensibilidad del receptor es de -87 dBm.
- Una tasa de error por trama **WER** (*Word Error Rate*) de 10^{-2} equivale a una tasa de bit BER de 10^{-4} .

SISTEMAS WIRELESS

4- SISTEMAS DE AMPLIA COBERTURA.

La propuesta de la FCC aprobado por la **WARC-ITU** (*World Administrative Radio Conference*) determina en 1988 la **banda-L** de 1530-1559 MHz (espacio-Tierra) y 1626,5-1660 MHz (Tierra-espacio) para el servicio móvil satelital (MSAT). En WARC-1992 se extiende la banda desde 1525-1530 MHz y 1610-1626,5 MHz.

COMUNICACIÓN AÉREA. Un sistema interesante es el usado para la comunicación con aviones. Se disponen de dos tipos de técnicas: una celular terrestre TFTS y otra satelital AMSS de Inmarsat.

TFTS. (*Terrestrial Flight Telecom System*)

Define celdas de baja-media-grande amplitud dependiendo de la posición del avión. Es un sistema útil en áreas de alta densidad de aeropuertos. Opera en la banda de 1800-1805 y 1670-1675 MHz con un total de 164 portadoras separadas por 30,3 kHz. La modulación utilizada es la QPSK. El acceso es del tipo TDMA-FDD. La codificación vocal es 9,6 kb/s (MP-LPC) y multiplexación de 4 canales de 44,2 kb/s.

AMSS. (*Aeronautical Mobile Satellite Service*)

Es un sistema basado en 4 satélites Inmarsat en órbita geoestacionaria (servicio *Skyphone*). La cobertura es global más allá del aeropuerto cercano. Se encuentra en funcionamiento desde 1989. Opera en la banda de 1645-1656 y 1544-1555 MHz. Son 600 portadoras separadas por 17,5 kHz. El acceso es del tipo FDMA-FDD. La codificación vocal es 9,6 kb/s (MP-LPC) y la modulación es QPSK a 21 kb/s.

Los satélites de **Inmarsat** (*International Maritime Satellite* fundada en 1979) pertenecen a una organización internacional similar a Intelsat. Su función son servicios marítimos y actualmente terrestres y aéreos. Dispone de servicios de transmisión de mensajes del tipo TDMA en 1,5 GHz con transmisión digital a 1,2 Kb/s y con modulación 2PSK. Los servicios son:

Tabla 03. Tipos de servicios del sistema Inmarsat. Tipos de orbitas.

-Inmarsat A	Para datos, telefonía, telex en móvil marítimo (desde 1982). Canal analógico y módem FM.
-Inmarsat B/C	Similar a Inmarsat A trabajando a 16 Kb/s.
-Inmarsat Aero	Para datos y telefonía desde aviones (desde 1990).
-Inmarsat M/E	Para datos, teléfono y fax en servicio móvil terrestre (desde 1992). Trabaja a 6,4 Kb/s.
-Inmarsat Paging	Para datos (desde 1994).
-Inmarsat P	Para servicio portátil celular ("Proyecto 21" desde el año 2000) similar a Odyssey.
TIPOS DE ORBITAS	
-GEO	(<i>Geostationary Earth Orbit</i>). A una distancia de 35.800 km sobre la Tierra, en órbita ecuatorial (inclinación 0°), velocidad de rotación 3,1 km/seg y período de 24 horas. Ejemplo: Inmarsat-M. Cobertura global con 3 satélites.
-MEO	(<i>Medium Earth Orbit</i>). Entre 10.000 y 20.000 km sobre la Tierra, en órbita inclinada y período de rotación entre 6 y 10 horas. Ejemplo: Odyssey y GPS. Cobertura global con 10 a 20 satélites.
-LEO	(<i>Low Earth Orbit</i>). Debajo de 2000 km de altura, en órbita inclinada y con período de rotación inferior a 2 horas. Ejemplo: Iridium y Globalstar. Cobertura global con 40 a 60 satélites.

SISTEMAS MOVILES SATELITALES. Un sistema que se desarrolla a partir de 1990 es el servicio de telefonía móvil con satélites artificiales. Se trata de una red de satélites de órbita de distinto tipo. En el caso de órbitas de baja altura LEO lo reducido de la órbita permite requerir una potencia menor del usuario a cambio de un mayor número de satélites para lograr la cobertura permanente. La aplicación es complementaria de los demás sistemas celulares, con cobertura en áreas de baja densidad de usuarios.

IRIDIUM.

Es anunciado en 1990 como un sistema de acceso múltiple del tipo **FDMA/TDMA** y duplexión **TDD**. El nombre se debe al elemento con número atómico 77 (la red proyectaba originalmente 77 satélites). Opera desde 1998 y sus características se entregan en la **Tabla 04**.

Cada celda dispone de 340 canales de tráfico como máximo. Cada satélite cursa tráfico entre celdas adyacentes (la misma órbita y las adyacentes). Se tienen enlaces en banda-L (1616-1626,5 MHz) para la conexión satélite-a-usuario. En la banda-Ka (23 GHz) se realiza el enlace satélite-a-satélite. Desde satélite-a-Gateway se usa la banda Ka (up-link 29 y down-link 19 GHz). Se requieren 15 Gateway en Tierra para el acceso a la red internacional. Es el único sistema que prevé una comunicación entre satélites. La codificación vocal es del tipo **VSELP**. La modulación aplicada es **QPSK**. La codificación vocal y los datos son a 4800 b/s; no se codifican los silencios para reducir interferencias.

SISTEMAS WIRELESS

GLOBALSTAR. Este sistema opera en forma diversa a Iridium. No existe comunicación entre satélites y por ello requiere una cantidad mayor de Gateway en Tierra para efectuar la conexión hacia la red pública PSTN. En tanto que Iridium dispone de una Gateway en América del Sur, Globalstar dispone de varias (una de ellas abastece a Argentina, Chile, Paraguay y Uruguay). Debe tenerse presente que la gestión del servicio es también distinta: Globalstar dispone de proveedores de servicios **SP** para cada país y por ello existen tantas Gateway.

Mediante una combinación de informaciones es posible detectar en que posición se encuentra el móvil (error de 10 km) y de esta forma no aceptar conexiones que se encuentran fuera de la cobertura asignada a la Gateway. Así que un móvil puede encontrarse dentro del área de cobertura del satélite pero fuera del área de cobertura asignada al proveedor de servicios (en Mar abierto) y la conexión puede no realizarse.

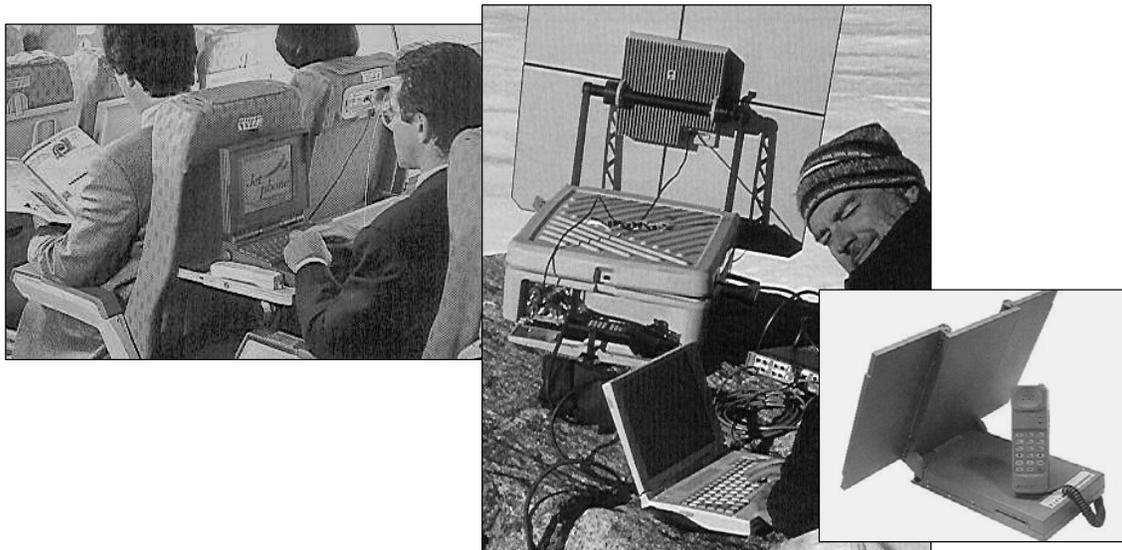
Tabla 04: Telefonía móvil satelital

	Iridium	Globalstar	Odyssey
Líder del grupo	Motorola	Qualcomm	TRW
Número de satélites	66+7	48+8	12+3
Altura nominal Km	LEO= 780	LEO= 1414	MEO= 10354
Período de órbita	100 min	113 min	6 hs
Inclinación de órbita	86°	52°	55°
Masa y potencia del satélite	700 kg y 1.200 w	450 kg y 1.100 w	1134 kg
Bandas involucradas	L-Ka	L-C	L-Ka
Spot por satélite	48	16	19
Número de celdas	3168	768 (384)	228
Cobertura	Global	Latitud 70° N/S	Continentes
Método de acceso	FDMA/TDMA	CDMA	CDMA
Tipo de modulación	QPSK	QPSK	BPSK
Circuitos satelitales	3840	2700	2300
Vida del satélite en años	5	7,5	10

Nota. Más detalles sobre la constelación de satélites para los sistemas móviles se encuentra en el Capítulo referido a sistemas satelitales.

SISTEMAS WIRELESS

LAMINA. Algunos servicios mediante sistemas wireless. En la primera línea: un aparato paging del tipo Flex y un Nokia para transmisión de datos y telefonía celular. Debajo: acceso de tipo DECT en Milano-Italia, mediante cabinas de telefonía pública y mediante cableado subterráneo con acceso aéreo. Antenas para acceso wireless de Tadiran. Más abajo: servicio móvil en aviones y servicio móvil de Inmarsat (terminal de usuario).



SISTEMA SATELITAL DE INTELSAT

Con referencia a las normas de INTELSAT para los servicios satelitales fijos. Sobre los satélites, las antenas y la cobertura terrestre.

1- INTELSAT

1.1- HISTORIA DE INTELSAT

La **Intelsat** (*International Telecommunication Satellite Consortium*) es la Organización de Telecomunicaciones por Satélite de la Unión Internacional ITU. El concepto de un sistema global de comunicaciones por satélite geostacionario en órbita ecuatorial fue presentado por primera vez por **A. Clarke**-1945 en la revista inglesa *Wireless World*. En 1957 se puso en órbita el primer satélite artificial de la Tierra (Sputnik de la URSS) y en 1962 el primer satélite geostacionario (Syncom de USA) para ser usado en los juegos olímpicos. En 1962 se constituye **Comsat** (*Communications Satellite Corporation*) que luego se convierte en Intelsat en 1965.

Tabla 01a. Características destacadas de los satélites Intelsat.

Intelsat I.	Se lanzó en abril de 1965 y fue conocido como "pájaro madrugador". Estaba dotado de 2 transponder (transmisor-receptor) de 30 MHz de ancho de banda cada uno.
Intelsat II.	La serie de satélites Intelsat II comenzó en enero de 1967 con transponder de 120 MHz de ancho de banda. Este sistema permitía el acceso múltiple de varias estaciones.
Intelsat III.	El primer satélite de esta serie se puso en órbita en diciembre de 1968. Varios satélites de esta serie sufrieron inconvenientes. Contaba con 2 transponder de 225 MHz de ancho de banda. El satélite recibía señales en la banda de 5932-6418 MHz y emitía en 3707-4192 MHz (banda C=6/4 GHz).
Intelsat IV.	Comenzó a funcionar en enero de 1971. Se usaron 12 transponder de 36 MHz, uno de los cuales se aplicó para portadoras monocanales SCPC (<i>Single Channel Per Carrier</i>). Este satélite inauguró el uso de haces pincel para enfocar áreas estrechas de la Tierra. La versión ampliada Intelsat IV-A , lanzado a partir de septiembre de 1975, poseía 20 transponder con haces pincel (<i>Spot</i>) lo que permitía reutilizar frecuencias en distintos continentes.
Intelsat V.	En mayo de 1981 se coloca en órbita el Intelsat V (diagrama de layout anexo). Inauguró el uso de la banda 14/11 GHz y la técnica de aislación por polarización ortogonal lineal en la banda de 6/4 GHz. En la banda de 14/11 GHz se recurre a la polarización ortogonal lineal para los haces pincel. El número total de transponder es de 27 con anchos de banda de 34 a 241 MHz. Se incorpora también la tecnología de FET-AsGa. El Intelsat V-A se lanzó en marzo de 1985 debido a los requerimientos de tráfico. Se introducen 2 antenas orientadas en haz pincel a 4 GHz. Comienza el uso de los servicios digitales IBS en la banda C (6/4 GHz) para América del Sur y en la banda Ku (14/11 GHz) para América del Norte y Europa. Se asignaron 10 transponder de 36 MHz de ancho de banda.
Intelsat VI.	Se pone en servicio en 1987 incorporando en el futuro el sistema de conmutación en el satélite sobre un acceso múltiple por división de tiempo (SSTDMA). Cuenta con 50 transponder con tecnología FET-AsGa y amplificadores de potencia de tubo de onda progresiva TWT. Intelsat VII comenzó a funcionar en 1994 para las bandas C (hemisférico, zonal, spot y global) y Ku (spot). Los transponder tienen 77, 72, 38 y 36 MHz. La EIRP varía desde 26 a 48 dBw y la G/T desde -11 a +5 dB/K.

Tabla 1b. Resumen comparativo de satélites INTELSAT.

<i>Intelsat</i>	<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>IV-A</i>	<i>V</i>	<i>V-A</i>	<i>VI</i>	<i>VII</i>	<i>VII-A</i>	<i>VIII</i>
Fecha	1965	1967	1968	1971	1975	1980	1985	1987	1993	1995	1996
Contratista	Hughes	Hughes	TRW	Hughes	Hughes	Ford	Ford	Hughes	Loral	Loral	
Vida Util	1,5	3	5	7	7	7	7	13	15	15	
AnchoBanda	50	130	300	500	800	2144	2250	3300	2504	2952	
Canales fonía	240	240	1500	4000	6000	12K	15K	24K	18K	22,5K	
Canales vídeo	1	1	4	2	2	2	2	3	3	3	

SISTEMA SATELITAL DE INTELSAT

2- SATELITES GEO-ESTACIONARIOS

2.1- TIPOS DE ÓRBITAS (Fig 02).

Se disponen de 3 configuraciones básicas:

Tabla 02. Tipos de órbitas terrestres.

-GEO	(<i>Geostationary Earth Orbit</i>). A una distancia de 35.800 km sobre la Tierra, en órbita ecuatorial (inclinación 0°), velocidad de rotación 3,1 km/seg y período de 24 horas. Cobertura de 17,4°. Ejemplo: Intelsat. Cobertura global con 3 satélites.
-MEO	(<i>Medium Earth Orbit</i>). Entre 10.000 y 20.000 km sobre la Tierra, en órbita inclinada y período de rotación entre 6 y 10 horas. Ejemplo: Odyssey y GPS. Cobertura global con 10 a 20 satélites.
-LEO	(<i>Low Earth Orbit</i>). Debajo de 2000 km de altura, en órbita inclinada y con período de rotación inferior a 2 horas. Ejemplo: Iridium y Globalstar. Cobertura global con 40 a 60 satélites.

Intelsat trabaja con satélites GEO en órbita ecuatorial geo-estacionaria. Las características y ventajas de este tipo de órbita frente a las órbitas inclinadas o polares son:

- El satélite tiene un período de 23 hs, 56 min y 4,00954 seg.
- Radio de órbita: 42.165 km del centro de la Tierra. Equivalente a 35.787 km de altura desde el Ecuador.
- La velocidad tangencial es de 3,0747 km/seg.
- Requiere un seguimiento de satélite (*tracking*) simplificado. La acción correctiva se denomina *Station Keeping*.
- No hay cambio de satélite (*handoff*) para una conexión.
- Existe un reducido efecto Doppler, producido por las velocidades relativas distintas (3 m/s).
- Esto produce un corrimiento de frecuencia de 100 Hz en la banda-C y 260 Hz en la banda-Ku.

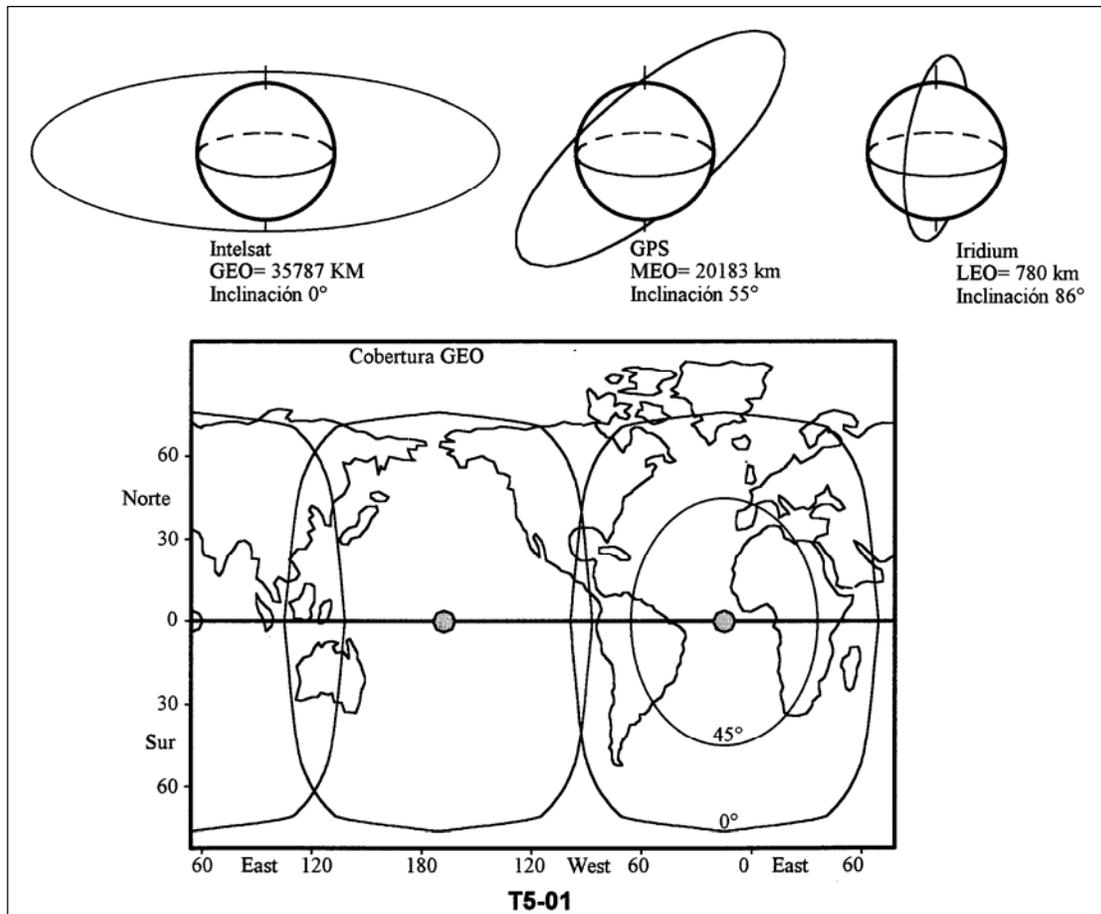


Fig 02. Tipos de órbitas y cobertura de los satélites geoestacionarios.

SISTEMA SATELITAL DE INTELSAT

Algunas de las desventajas de la órbita geoestacionaria son:

- El retardo es elevado y obliga al uso de canceladores de eco sobre sistemas telefónicos.
- Existe una elevada atenuación de espacio libre debido a la elevada altura de órbita.
- Por la posición ecuatorial no tiene cobertura en los polos.
- Los eclipses de sol impiden la alimentación de celdas solares (corte por 72 min anuales).
- El sol detrás del satélite incrementa el ruido (defectos por 10 minutos anuales).
- El espacio en la órbita GEO se encuentra en proceso de saturación debido a la separación angular mínima entre satélites.
- El área de cobertura se indica en la **Fig 02** y en las fotografías anexas.

2.2- IESS-308 y IESS-309

Las normas de Intelsat se denominan **IESS** (*Intelsat Earth Station Standard*). En ellas se entrega la performance que deben cumplir los circuitos con portadoras digitales. En la **Tabla 03** se muestra un resumen de antenas normalizadas por Intelsat. Los circuitos IDR operan con el estándar de antenas A, B, C, E2, E3, F2, F3.

También se recomienda el uso de velocidades normalizadas:

- 64, 192, 384 kb/s.
- 1544(G.733), 6312(G.743), 32064(G.752), 44736(G.752) kb/s.
- 2048(G.732), 8448(G.742), 34368(G.751) kb/s.

Tabla 03: Tipos de antenas normalizadas por Intelsat.

<i>Tipo y estándar</i>	<i>Diámetro [m]</i>	<i>Banda</i>	<i>Servicio</i>
Grande A	26-32,5	6/4	TF-TV-IDR-IBS
Grande B	10-13	6/4	TF-TV-IDR-IBS
Grande C	16-19	14/11	TF-TV-IDR-IBS
Intermedia F3	9-10	6/4	TF-TV-IDR-IBS
Intermedia E3	8-10	14/11	TF-TV-IDR-IBS
Intermedia F2	7-8	6/4	TF-TV-IDR-IBS
Intermedia E2	5-7	14/11	TF-TV-IDR-IBS
Pequeña F1	4,5-5	6/4	TV-IBS
Pequeña E1	3,5	14/11	TV-IBS
Pequeña D1	4,5-5,5	6/4	TV-IBS
Doméstica G	0,6-2,4	6/4	Intelnet
Doméstica G	1,2	14/11	Intelnet
Doméstica Z	0,6-3,2	6/4	Doméstica
Doméstica Z	0,6-3,2	14/11	Doméstica

Los **planes de frecuencia** utilizados son la banda C y Ku. En la **Fig 03** se dan las bandas que ocupan y los transponder usados (ancho de banda en MHz).

-BANDA C: Se dispone de las frecuencias de ascenso a 5850-6425 MHz y descenso a 3625-4200 MHz. Contiene haces hemisféricos, zonales y global.

-BANDA Ku: Dispone de las bandas de ascenso a 14-14,5 GHz y descenso a 11,7-12,2 GHz.

En IESS-308 se encuentra el valor de potencia irradiada equivalente isotrópica **EIRP** (*Equivalent Isotropically Radiated Power*) para las bandas de 6 y 14 GHz; para distintos tipos de antenas y velocidades digitales. La EIRP es la ganancia de antena más la potencia de transmisión. El EIRP debe ser mantenido en el orden de $\pm 0,5$ dB en la dirección del satélite en condiciones de claridad respecto del valor nominal establecido por Intelsat. Por ejemplo, si la potencia de transmisión se aproxima a 1 dBw (+30 dBm) y la ganancia de la antena es de 50 dB el valor de EIRP es de 50 dBw; es decir, una potencia equivalente a 10 Kwatts de una antena isotrópica.

Por lo que respecta a la directividad de las antenas el **ITU-R** (antes CCIR) **Rc.524-2** ha establecido el criterio para la envolvente de los lóbulos de emisión equivalente a:



SISTEMA SATELITAL DE INTELSAT

para 6/4 GHz $32-(25 \cdot \log \Phi)$

para 14/11 GHz $29-(25 \cdot \log \Phi)$

En unidades de [dBw/4KHz] y donde Φ es el ángulo respecto de la dirección de máxima directividad.

Intelsat señala que el valor de las emisiones espurias, con excepción de los productos de intermodulación, deben encontrarse 40 dB por debajo del nivel de la portadora no modulada hasta 2048 Kb/s y 50 dB para velocidades superiores. La respuesta de amplitud debe encontrarse en valores inferiores a 0,5 dB y el retardo de grupo inferior a 10 nseg en un entorno de 0,6 de la frecuencia de símbolo a la salida del modulador. También indica la plantilla para el ruido de fase de la portadora.

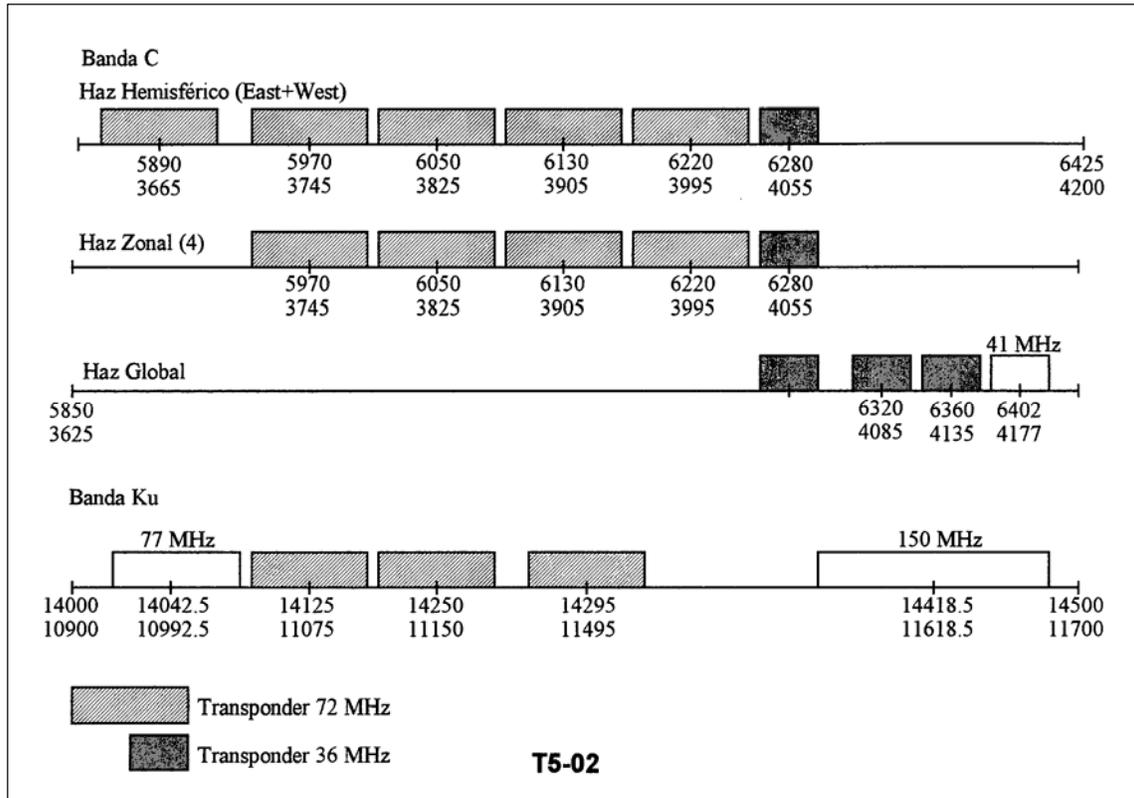
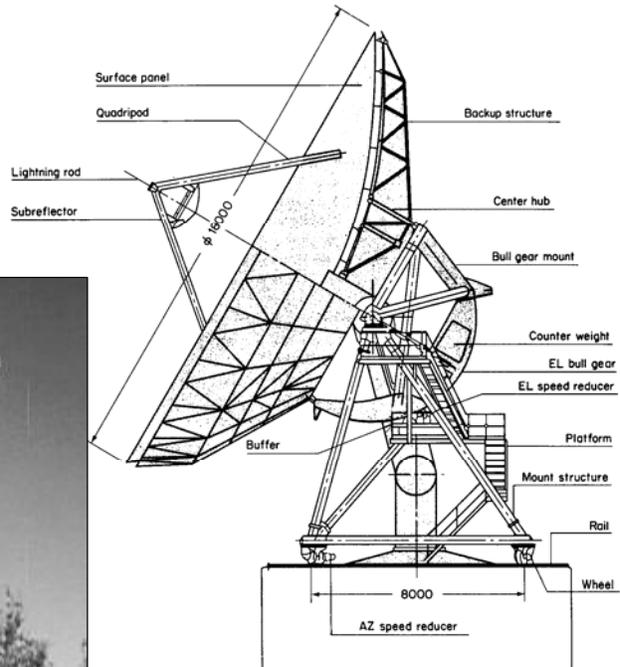
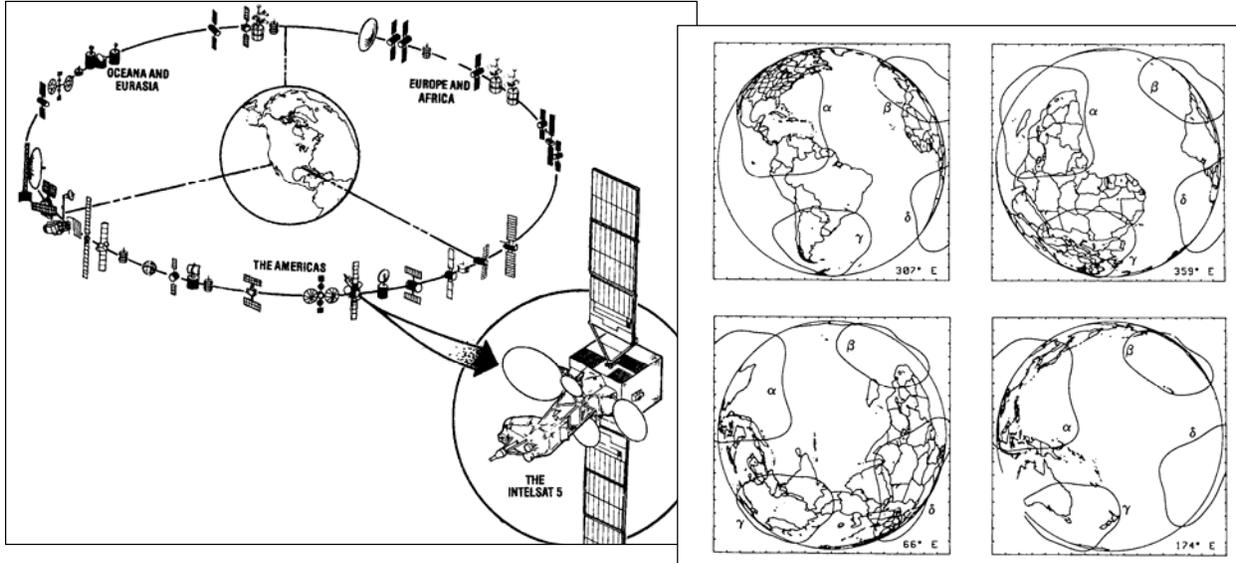


Fig 03. Plan de frecuencias y transponder en los satélites de INTELSAT.

SISTEMA SATELITAL DE INTELSAT

LAMINA. SEGMENTO SATELITAL. Arriba a la izquierda se muestra el diagrama de órbitas geoestacionarias para Intelsat. A la derecha se observa la cobertura de satélites mediante el haz hemisférico y spot. Debajo a la izquierda se muestra una fotografía de una estación terrena estándar A. En la derecha se tiene un layout de la misma estación.



SISTEMAS SATELITALES: IDR-IBS

Referido al funcionamiento de los sistemas fijos IDR, IBS y TDMA. Sobre las normas, codificación, tramas y el funcionamiento de los mismos.

1- TIPOS DE SERVICIOS DIGITALES

1.1- SERVICIOS Y CALIDAD

Los servicios digitales de Intelsat son las portadoras de velocidad intermedia **IDR** (*Intermediate Data Rate*) y los servicios empresariales **IBS** (*Intelsat Business Service*); para redes públicas y privadas respectivamente. Estos servicios requieren antenas de menor tamaño; permitirán la integración a la Red Digital de Servicios Integrados ISDN y en muchos casos el acceso del propio usuario al satélite. Otros satélites internacionales (Panamsat) o nacionales cumplen especificaciones similares a los servicios de Intelsat IDR, IBS.

Para cumplir con los objetivos determinados sobre la ISDN la Intelsat ha previsto requerimientos similares. Por ejemplo, respecto de la estabilidad de relojes se cumplirá con la **ITU-T G.811**. El reloj de la estación terrena estará subordinado al reloj de la red con precisión de 10^{-11} a largo plazo, a un reloj propio o al reloj de la antena corresponsal a través del satélite.

El **ITU-T G.822** determina el número de deslizamientos controlados permisibles en el nodo de la estación internacional. Dicho valor debe ser inferior a 1 deslizamiento cada 70 días. Los deslizamientos no controlados producidos por la deriva del satélite deben ser absorbidos por una memoria buffer colocada en la estación cuya capacidad múltiplo de una multitrama. La tolerancia de los multiplexores de ± 50 ppm es suficiente para absorber las variaciones debidas al movimiento del satélite. Un movimiento de 3° de inclinación orbital corresponde al orden de algunas partes en 10^7 .

Según **ITU-T G.821** los objetivos de calidad (segundos con muchos errores, minutos degradados y segundos con error) se asignan en una proporción total del 20% del valor previsto para el Circuito Hipotético de Referencia de 27.500 Km para los servicios por satélite; correspondiendo al 50% del valor asignado al tramo de Grado Alto de 25.000 Km. Es decir, es equivalente a 12.500 Km de cable de fibra óptica. Referido a la disponibilidad que ofrece Intelsat las estadísticas entre 1971 y 1980 en el circuito estación al satélite ida y vuelta, tiene un valor promedio de 99,878 % con extremos en 1971 de 99,812 % y en 1977 con 99,904 %.

1.2- EQUIPO MULTIPLICADOR DE CANALES DCME

El equipo **DCME** (*Digital Channel Multiplied Equipment*) permite una ganancia de canales de telefonía y facsímil para enlaces internacionales. Se normalizan mediante **ITU-T G.763/766**.

CANALES DE TELEFONÍA. Las operaciones con señales digitales por satélite permiten obtener un alto factor de ganancia de canales mediante la codificación de baja velocidad **ADPCM ITU-T G.726** y la interpolación de señal vocal **DSI** (*Digital Speech Interpolation*). Se aplica sobre servicios IDR a 1544 o 2048 kb/s (hasta 8 tramas de 2 Mb/s).

Como el **promedio de actividad** de un canal telefónico es del 35 al 45% del tiempo, el resto se puede aprovechar para enviar otros canales. La asignación del canal dentro de la trama es dinámica (**multiplexación estadística**) y la longitud en bits puede ser variable (32 Kb/s ADPCM o inferior). El **ITU-T** ha determinado 3 tipos de codec ADPCM:

-**ITU-T G.721.** Un canal de voz se codifica en 4 bits a 32 Kb/s. No admite módem superiores a 4800 b/s.

-**ITU-T G.723.** Codifica a 3-4 bits o a 4-5 bits en forma adaptativa. Permite codificar módem de 9600 b/s a 40 kb/s.

-**ITU-T G.726.** Se extiende el concepto para 2-3-4 bits (16-24-32 kb/s). Permite superar los momentos de congestión.

La interpolación de la palabra hace necesario definir el funcionamiento del detector de actividad en el canal de 64 kb/s. El **umbral del detector de actividad** se ajusta en forma automática con respecto a la potencia media de ruido en la banda de 300 a 3400 Hz. Si la potencia media es inferior a -40 dBmO permanecerá inactivo. Para niveles entre -40 y -30 dBmO se dispondrán de zonas correlacionadas con el nivel de la relación señal a ruido y el tiempo de duración de la misma.

Para compensar el retardo del detector de actividad, la señal vocal se retarda 20 mseg en una línea. En tanto no se transmite señal, durante los silencios, en el receptor se generan un nivel de ruido para dar la sensación de línea conectada.

SISTEMAS SATELITALES: IDR-IBS

El proceso DSI produce el efecto *freezer* o *clipping* que consiste en el corte de las palabras debido al tiempo de detección y asignación de un intervalo en la trama disponible. Este tiempo debe ser inferior a 50 mseg para evitar mutilaciones perceptibles.

CONGESTIÓN. La **sobrecarga** ocurre cuando muchos canales desean tomar a la vez el sistema portador. Entonces se pone en marcha la reducción de velocidad vocal de 32 Kb/s a 24 o 16 Kb/s (proceso *overload*), con una pequeña degradación pero impidiendo el corte de palabras (*clipping*). El valor máximo teórico de carga sobre 2 Mb/s es de 5 sistemas para evitar la congestión. Sin embargo, si los extremos conectados tienen suficiente diferencia horaria (debido a la falta de correlación entre horas de máximo tráfico) es posible llevar el máximo a 8 sistemas de entrada. El proceso de reducción de velocidad se denomina robo de bits. Se efectúa reduciendo el número de bits de algunos canales en la trama. Para que el efecto no sea apreciable se efectúa el robo de bits sobre canales diferentes en distintas multitramas. Un canal de datos o facsímil no está sujeto a este proceso. El funcionamiento puede ser punto-a-punto o punto-a-multipunto. En este último caso una misma trama lleva espacios para distintas estaciones remotas destinatarias; cada una de ellas extrae los intervalos de tiempo de la trama que le corresponden.

CANALES DE DATOS. Un canal de datos a 64 Kb/s puede ser transparente usando los 8 bits (por ejemplo, datos con señalización **SS7**). Un canal de datos proveniente de un módem analógico se codifica en 4 bits (para velocidades hasta 4800 b/s) o 5 bits (para más de 4800 b/s). El reconocimiento de un canal de datos transmitido a través de un módem se efectúa detectando un tono de 2100 Hz que los módem de **ITU-T Serie V** utilizan para neutralizar los supresores de eco. El **supresor de eco (ITU-T G.164)** se usa cuando existen retardos superiores a 20 mseg en una vía. Se coloca luego del híbrido a 4 hilos el cual produce por desbalance un eco en la señal. Se tienen 2 formas de funcionamiento:

- modo 1: cuando se habla en una dirección se atenúa al otro sentido en 50 dB;
- modo 2: cuando ambos sentidos tienen señal se atenúan ambas vías en 6 dB con lo cual el eco se atenúa 12 dB.

Se dispone de un detector de tono de 2100 Hz que inhabilita el supresor de eco cuando el tono dura más de 30 mseg; es decir, cuando el canal telefónico está ocupado por un módem. Este mismo tono es usado por el circuito de interpolación para reconocer un módem de datos.

CANAL DE CONTROL. La trama E1 = 2048 kb/s que procesa el DCME contiene en el TS:0 el alineamiento de trama. En los 4 primeros bits del TS:1 se coloca un canal de control. El resto de los TS se ocupan con 61 canales de 4 bits cada uno. Como la **asignación** de los canales es **estadística** se requiere un canal de control de comunicación ambos extremos. Por este canal de control de 32 Kb/s se envía la siguiente información:

- Asignación de canales troncales en cada soporte de 4 bits (la posición asignada es estadística).
- Información del control dinámico de carga del sistema.
- Información de autodiagnóstico del multiplexor y alarmas.
- Clasificación de señales y señalización de canales.
- Ruido en el canal en reposo.

Cada mensaje del canal de control contiene 64 bits en 16 tramas. El primer bit del cuarteto (16 bits en total) se ocupa con una secuencia de alineamiento del canal y los restantes 3 bits se usan para información. Estos 48 bits ocupan 24 de paridad (código Golay 1/2).

SISTEMAS SATELITALES: IDR-IBS

2- SERVICIOS -IDR

Se trata de la aplicación típica para redes públicas desde 64 Kb/s a 34 Mb/s. Comenzó a funcionar en Junio de 1984 y en 1996 la totalidad es de este tipo. Se trata de un acceso múltiple por división de frecuencia FDMA, con un canal por portadora SCPC. En la Fig 01 se presenta el diagrama a bloques genérico del canal IDR y una fotografía anexa de los módem satelitales. Contiene una unidad para el armado de trama para velocidades superiores a 1544 Kb/s, un aleatorizador SCR, la codificación para corrección de errores 3/4 FEC y el modulador (QPSK).

2.1- BANDA BASE Y MÓDEM

TRAMA PARA 2048 Kb/s. Hasta 1,5 Mb/s los datos se transmiten sin formar una trama adicional. Por encima, la trama digital consiste de 268 bits y 125 μ seg de duración; 12 bits funcionan como encabezamiento y 256 como carga útil de datos. Un incremento de **2048 a 2144 Kb/s** (con overhead de 96 Kb/s). Una multitrama tiene 8 tramas y 1 mseg de duración.

Contiene:

- 0100 para alineamiento,
- V,W=2x32 Kb/s canales vocal,
- A para 4 telealarmas,
- D canal de datos a 8 Kb/s.

0 1 0 0	V V V V	W W W W
1 A D D	V V V V	W W W W
0 1 0 0	V V V V	W W W W
0 A D D	V V V V	W W W W
0 1 0 0	V V V V	W W W W
1 A D D	V V V V	W W W W
1 1 0 0	V V V V	W W W W
1 A D D	V V V V	W W W W

Se entiende que el alineamiento se ha perdido cuando se encuentran 4 lecturas consecutivas con error y se recupera con la primera lectura correcta de la palabra de alineamiento. Durante la falta de alineamiento se genera una secuencia continua de palabras de alineamiento.

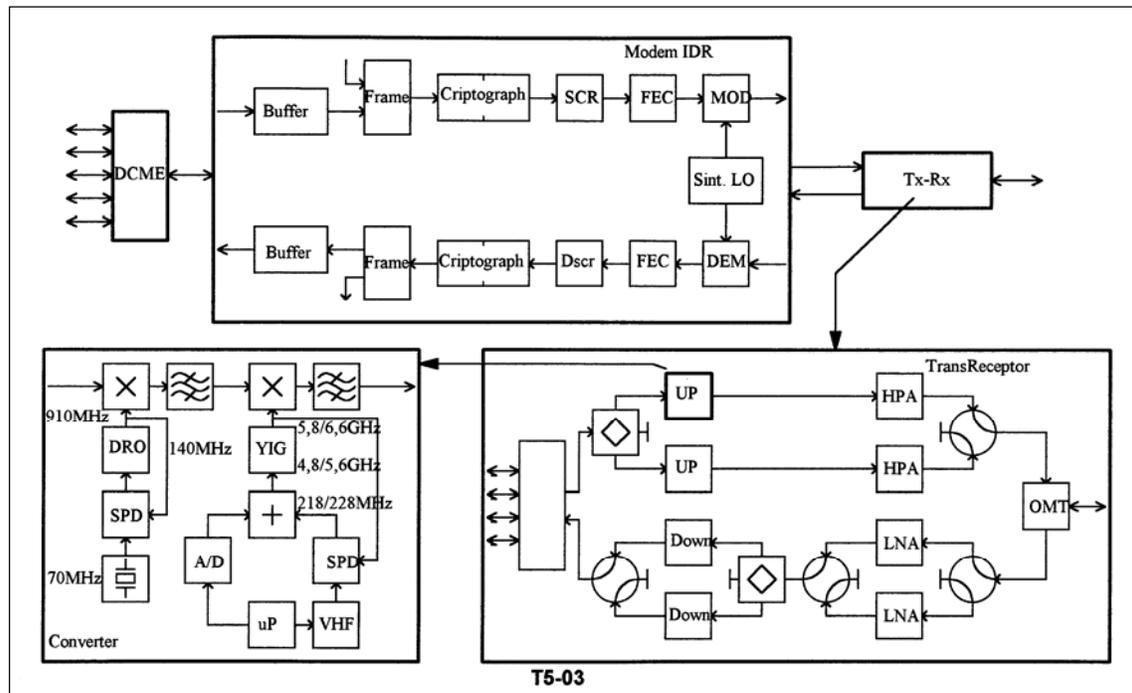


Fig 01. Diagrama a bloques del sistema IDR.

CODIFICACIÓN. El conjunto se aleatoriza para reducir la densidad de potencia máxima en concordancia con el **ITU-R Rc. 358-3** y el criterio de densidad de EIRP de la **ITU-R Rc. 524-2**. El **aleatorizador** responde a **ITU-T V.35**: es del tipo autosincrónico y de 20 bits de longitud (período $2^{20}-1$). La codificación para corrección de errores **FEC** trabaja según el método de codificación convolucional con tasa 3/4 (3 bits se convierten en 4 bits) que se construye a partir de la tasa 1/2. El FEC contiene un **codificador diferencial** y un generador polinomial de base 133 y 171 en notación octal.

SISTEMAS SATELITALES: IDR-IBS

En la **Fig 01** se muestra el diagrama a bloques; con un bit de entrada se obtienen dos bit en paralelo y para obtener el pasaje de tasa 1/2 a 3/4 se procede de la siguiente forma:

- en el primer bloque se transmiten ambos códigos,
- en el segundo se transmite el generado por el polinomio 133,
- en el tercero se transmite el generado por el polinomio 171.

La decodificación permite, mediante el uso del algoritmo de Viterbi, la corrección de errores. La característica de BER es de $E_b/N_0 = 5,3$ dB para $BER = 10^{-3}$. La codificación FEC produce un incremento de la velocidad en 4/3 partes y el encabezamiento añadido a las señales de 2048 Kb/s o superiores la incrementa en 96 Kb/s.

BUFFER DE DATOS Y TEMPORIZACIÓN. Se requiere el uso de un *buffer* (memoria elástica) para compensar la diferencia entre relojes de ambos extremos y el movimiento del satélite. La ubicación del buffer es en recepción y depende de la configuración del sistema (antes del demultiplexor). La longitud del buffer es generalmente un múltiplo de 2 mseg (multitrama de 2 Mb/s, 16x256 bit), para evitar pérdidas de sincronismo debido a los deslizamientos. Con relojes de estrato 1 apropiados (estabilidad 10^{-11} , según **G.811**) se debe obtener menos de un deslizamiento cada 70 días. El reloj primario puede obtenerse desde una fuente de Cesio local o externa (Loran-C o GPS). También puede engancharse el reloj con la señal proveniente desde la otra estación. En este caso el buffer se encuentra en un solo extremo.

MODULACIÓN. La modulación usada es de 4 estados de fase **4PSK** (QPSK) coherente y absoluta (no diferencial); la relación entre bits y fase es: 11=0°; 01=90°; 00=180° y 10=270°. La ambigüedad de la portadora se resuelve en el codificador diferencial del FEC. El espectro de transmisión a la salida del modulador se encuentra en la **Fig 01**. La tasa de símbolos luego del modulador se indica con la letra R. Intelsat asegura una BER mejor a 10^{-7} en tiempo despejado y mejor a 10^{-3} durante el 99,96 % del año debido a condiciones degradadas.

2.2- ETAPA DE RADIOFRECUENCIA

De acuerdo con la **Fig 01** se observa que luego del modulador de Frecuencia Intermedia IF se dispone de un combinador que reúne las distintas señales en una sola vía que ingresa al convertor de transmisión (*up-converter*). Se tienen 2 convertidores up-converter y amplificadores de potencia **HPA**. Generalmente los HPA tienen integrado un amplificador de potencia intermedia IPA del tipo estado sólido o tubo de onda progresiva TWT antes de un TWT de alta potencia.

En recepción se tienen 2 amplificadores de bajo ruido LNA y el convertor de recepción (*down-converter*). Cada uno de ellos se encuentra duplicado y seleccionado mediante un switch de radiofrecuencia. El **plan de frecuencias** para el ingreso al combinador de IF tiene un ancho de 76 MHz centrado en 140 MHz y con 3200 pasos de programación de frecuencia en intervalos de 22,5 kHz. El primer paso se encuentra en 35988,75 kHz debajo de 140 MHz.

En la **Fig 01** se muestra con más detalle un típico convertor *up-converter* de 2 etapas desde 140 ± 36 MHz para la banda C (5,85 a 6,65 GHz). La primera etapa de conversión se encuentra constituida por un oscilador fijo de 910 MHz del tipo Resonante Dieléctrico **DRO** estabilizado en un loop de fase PLL. La segunda etapa es sintonizable mediante un generador de VHF de referencia y un oscilador de granate de Itrio y Hierro **YIG**. La particularidad del circuito mostrado es el **SPD** (*Sampling Phase Detector*) el cual genera una tensión de control para el DRO o YIG como comparación de fase. La configuración contiene el generador de impulsos con un diodo **SRD** (*Step Recovery Diode*). El pulso generado depende de la polarización y el tren de impulsos tiene el mismo período de la VHF de referencia.



Luego del SRD se dispone de un muestreador de la señal proveniente del YIG mediante un FET. La envolvente del muestreo es una señal de baja frecuencia igual al producto de la conversión de la microonda y la armónica de la señal de referencia. Un microprocesador puede sintonizar la tensión de polarización tanto para el YIG como para el generador de referencia de VHF.

SISTEMAS SATELITALES: IDR-IBS

2.3- ANCHO DE BANDA

La **capacidad del transponder** para el servicio IDR es de 24 y 77 Mb/s para el satélite Intelsat V/V-A con un ancho de banda de 72 MHz. La velocidad de transmisión se incrementa por encima de 2 Mb/s debido a un encabezado de trama. Un nuevo incremento se obtiene debido a la codificación FEC y se reduce debido a la modulación QPSK. El espacio ocupado en un transponder digital es **múltiplo entero de 22,5 kHz**. El valor admitido es 0,7 de la velocidad de transmisión.

Por ejemplo (ver **Tabla 01**). Un sistema de 2 Mb/s (30 canales de 64 Kb/s) puede reducirse a 512 Kb/s (8 canales de 64 Kb/s) mediante ADPCM. En codificación FEC 3/4 se requieren 683 Kb/s con una frecuencia de Nyquist de 171 kHz luego de la modulación 4PSK. La banda requerida es de 341 kHz correspondiente a 15 unidades de 22,5 kHz. Una estación del tipo transportable IDR/IBS requiere (la banda C requiere mayor potencia y diámetro de antena que la banda Ku debido al incremento de la ganancia de la antena con la frecuencia).

Tabla 01: Ancho de banda y C/N para una BER= 10⁻⁷.

<i>Codificador</i>	<i>Datos</i>	<i>Velocidad</i>	<i>AnchoBanda</i>	<i>22,5KHz</i>	<i>C/N</i>
FEC3/4	64Kb/s	85Kb/s	67,5KHz	x 3	9,7dB
FEC3/4	2048Kb/s	2859Kb/s	2002,5KHz	x 89	9,7dB
FEC1/2	64Kb/s	137Kb/s	112,5KHz	x 5	6,8dB
FEC1/2	2048Kb/s	4369Kb/s	3173,0KHz	x 141	6,8dB

Ejemplos de servicio IBS en banda C y Ku.

	<i>Banda C</i>	<i>Banda Ku</i>
-64Kb/s = 3Fonía + 1Datos		
Antena en metros	2,4 a 3	1,8 a 2,4
SSPA en W	1	0,5
EIRP en dBW	43,5	45
G/T en dBW/K	19,5	22,5
-256Kb/s = 12Telefonía + 2Datos		
Antena en metros	3 a 3,7	1,8 a 2,4
SSPA en W	5	0,5
EIRP en dBW	52	45
G/T en dBW/K	21,5	22,5

SISTEMAS SATELITALES: IDR-IBS

3- SERVICIOS - IBS

3.1- DESCRIPCION DEL SERVICIO.

GENERALIDADES. Los Servicios Empresariales de Intelsat **IBS** (*Intelsat Business Service*) tienen normas similares que los IDR. Se trata de accesos de un canal por portadora **SCPC** (*Single Channel Per Carrier*). Pueden trabajar en un contexto de redes de datos abierta o cerrada. Las velocidades para la red abierta son: 64, Nx64, 1536, 1920 y 2048 Kb/s. En el caso de velocidades inferiores (0,3; 1,2; 2,4; 4,8; 9,6; 48 y 56 Kb/s) se llevan a 64 Kb/s.

Intelsat prevé 2 **grados de servicio**: básico y super. El servicio IBS básico se diseñó para maximizar la capacidad del canal en los transponder de las bandas C y Ku. Como opción el IBS super en la banda Ku tiene una disponibilidad igual a la banda C debido a que se incrementa el EIRP en 4 dB. Por ejemplo, se puede compararlos de acuerdo con la Tabla anexa:

Los servicios IBS son del tipo punto a punto y no se conectan a la red pública. La topología de la red puede ser del mismo tipo que en las Redes de Área Local LAN. Para los servicios IBS se prefieren las topologías de malla o bus. Los mismos se prestan mediante antenas estándar A, B, C, F3, F2, F1, E3, E2 y E1.

<i>Banda</i>	<i>C</i>	<i>Ku</i>	<i>Ku</i>
Servicio	básico	básico	super
Indisponibilidad	0,04%	1%	0,04%
Umbral de BER	10^{-3}	10^{-6}	10^{-3}
Margen sistema	3	2,5	7

Las velocidades de acceso se indican en ITU-T donde se determina la forma de ensamblaje en paquetes de los datos de baja velocidad hasta 1200 b/s y la multiplexación de datos hasta 9600 b/s llevándolos a 64 Kb/s. Los datos sincrónicos de baja velocidad (X.21/24/27) se multiplexan de acuerdo con X.50 y los sincrónicos de alta velocidad se ingresan a 48 y 64 Kb/s (X.21/24/27), 56 Kb/s (V.35), Nx64 Kb/s (G.703) y 1544 y 2048 Kb/s (G.732 y 733).

A la etapa de banda base pertenece la memoria buffer que permite reducir el número de deslizamientos producidos por la deriva del satélite y la tolerancia de relojes. La capacidad del buffer será de 2 mseg si ambos terminales están sincronizados desde la respectiva red nacional. Si alguno se encuentra sincronizado desde un reloj local la estabilidad es inferior y por ello la longitud de la memoria elástica debe ser mayor (16 mseg).

ESTRUCTURA DE TRAMA. Se construye en la etapa de banda base y responde a **G.732**. Consiste de 4 tramas y 64 Bytes en total. Las 4 tramas de 16 bytes cada una contiene el primer byte para alineamiento y señalización; con los siguientes bits:

X 0 0 1	1 0 0 1	Alineamiento de trama	X = bit disponible; A = alarma remota; M = multitrama; C = alineamiento criptografía.
S S S S	S S S S	Señalización	
X 1 A M	X X C C	Mensaje de campo	
S S S S	S S S S	Señalización	

La multitrama se define mediante el alineamiento y permite sincronizar la criptografía y la aleatorización del sistema. En los servicios IBS se ha previsto opcionalmente la criptografía de los datos de mutuo acuerdo entre los respectivos corresponsales.

CODIFICACIÓN Y MODEM. El aleatorizador de la señal digital está constituido por un generador polinomial del tipo $X^{-15} + X^{-14} + 1$. La palabra de alineamiento de trama y el encabezamiento no se aleatorizan. El encabezamiento oficia de sincronismo para el aleatorizador (inicializado con 001...001). Como en el caso de los servicios IDR se usa una codificación FEC para la corrección de errores. Es del tipo convolucional 1/2 como en la **Fig 01**. Permite obtener una BER de 10^{-3} para una relación Eb/No de 4,2 dB; mejor en 1,1 dB que con FEC 3/4 del servicio IDR.

El modulador es **QPSK** coherente y no diferencial, similar al caso IDR. La etapa de RF es similar a la descrita en el caso IDR. La trama incrementa la velocidad en 16/15, llevando los 64 Kb/s a 68,27 Kb/s. La codificación FEC eleva el valor al doble, mientras que la modulación QPSK reduce la banda de Nyquist a la mitad.

3.2- FEC ADICIONAL PARA IDR/IBS

Las normas IESS de Intelsat han determinado la posibilidad de mejorar la performance de BER en un enlace satelital mediante la adición de un corrector FEC a bloques adicional al FEC convolucional de tasa 1/2 o 3/4.

FEC Reed-Solomon. Se dispone de un codificador FEC del tipo RS distinto para velocidades de Nx64 kb/s y de 2048 kb/s. Las características de ambos son las siguientes:

SISTEMAS SATELITALES: IDR-IBS

Tabla 02. Consecuencias del uso de FEC en el formato de trama.

Velocidad de transmisión	Nx64 kb/s	2048 kb/s
Tipo de codec RS utilizado	RS (126,112,7)	RS (219,201,9)
Cantidad de símbolos de 8 bits de información	112	201
Cantidad de símbolos de 8 bits total	126	219
Cantidad de errores corregibles en el bloque	7	9
Expansión resultante del ancho de banda	0,125	0,0896
Retardo introducido por el procesamiento de la información	115 mseg a 64 kb/s	7 mseg

El FEC convolucional permite la corrección de errores aislados en el tiempo. En cambio el FEC RS actúa sobre ráfagas de errores, lo cual complementa sus actividades. El uso de un interleaver incrementa en forma adicional las prestaciones.

INTERLEAVER. Adicional al FEC RS se introduce una etapa de intercalador que trabaja de la siguiente forma (basado en una velocidad de 2048 kb/s, como ejemplo):

- Se dispone de una memoria de 4 filas. En cada fila se acomoda un bloque completo de 219 símbolos de 8 bits.
- Cada bloque se coloca corrido respecto de la fila superior en $(219-1)/4$ símbolos (*shift* temporal).
- Una secuencia de bloques A-B-C-D-F-G... ocupa en la primer fila los bloques A-F..., en la segunda B-G..., etc.
- La lectura se realiza por símbolos en forma de columnas.
- De esta forma se logra mejorar la respuesta del FEC RS a secuencias largas de ráfagas de error.
- Se dispone de una etapa de scrambler del tipo $X^{-15} + X^{-14} + 1$ del tipo sincrónico.
- Tanto el FEC como el interleaver y el scrambler requieren de una palabra de alineamiento de trama cada 16 bloques.

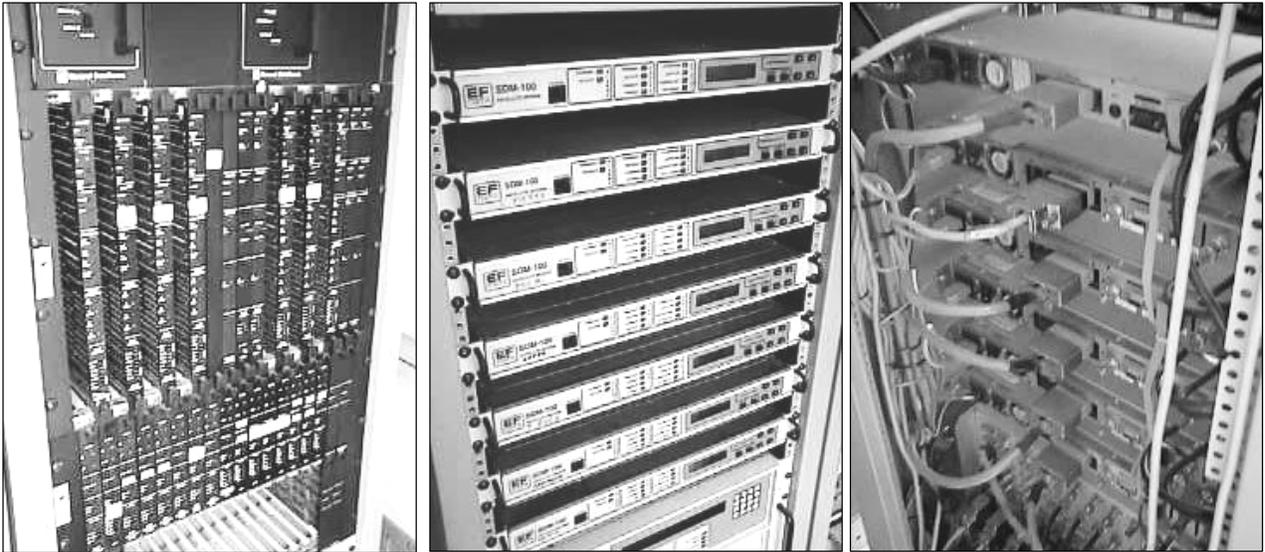
El uso de FEC RS y de interleaver introduce un incremento de la banda ocupada en el espectro y un retardo de procesamiento adicional al producido por un enlace satelital. La suma de retardos es la siguiente:

- Componente de retardo por propagación al satélite de 250 mseg.
- Componente de retardo por uso de memoria buffer para compensar la diferencia de relojes de 4 mseg.
- Componente de retardo en una portadora IDR de 2 Mb/s por el uso de FEC RS de 7 mseg.

A cambio de estas desventajas se dispone una ganancia de algunos dB en la relación **Eb/No** (energía de bit a densidad de ruido). La mejora se expresa como:

Eb/No	FEC 3/4	FEC 1/2	FEC 3/4 + FEC RS	FEC 3/4 + FEC RS
BER = 10^{-6}	7,6 dB	6,1 dB	5,6 dB	4,1 dB
BER = 10^{-10}	10,3 dB	9,0 dB	6,3 dB	5,0 dB

SISTEMAS SATELITALES: IDR-IBS



LAMINA. SERVICIO IBS-ACCESO SCPC. Los servicios empresariales punto-a-punto con acceso de un canal por portadora SCPC contienen los siguientes elementos:

-Unidades Indoor (fotografías superiores): Etapa de banda base (izquierda) y etapa de módem (central y derecha; vista frontal y posterior). La etapa de banda base genera la trama con canales de servicio. La señal es enviada al módem sobre el cual se realiza la codificación para corrección de errores. Las señales de IF se combinan en un branching y mediante cables coaxiales se accede a la unidad exterior.

-Unidades Outdoor (fotografías de la derecha): Se compone de la antena con la etapa de radiofrecuencia (fotografía central) y el receptor de bajo ruido (inferior). La etapa de RF contiene el convertidor de IF a RF y el amplificador de potencia. EL amplificador de bajo ruido se encuentra integrado al alimentador de la antena.

Las fotografías de esta lámina han sido tomadas de la instalación que posee EPEN (*Ente Provincial de Energía de Neuquén*) en Argentina en 1998. Corresponden a un sistema de 9,6 y 19,2 Kb/s con protocolo X.25 para gestión de la red de transporte de energía. El equipamiento pertenece a *Impsat*.



4- ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISIÓN DE TIEMPO - TDMA

ACCESO MULTIPLE TDMA. El acceso a un satélite mediante la división de tiempo utiliza un transponder completo y en forma secuencial en el tiempo se envían ráfagas de datos de las distintas antenas. Por lo general, un transponder de 35 MHz logra una capacidad de 1600 canales. Dicho valor se puede incrementar con el uso de codificación ADPCM e interpolación de la palabra.

La principal ventaja del **acceso por división de tiempo** frente al acceso por división de frecuencia usado en los servicios IDR e IBS es que al usar una sola portadora por transponder no existe el problema de la intermodulación entre portadoras.

Tabla 03: Comparación entre acceso FDMA y TDMA al satélite.

FDMA	TDMA
Tecnología madura	Máximo uso de potencia en transponder
No requiere temporización	Requiere temporización
Interfaz simple	Mayor necesidad de buffer
Sin flexibilidad de tráfico	Flexibilidad de tráfico. Posible conmutación.

Por esta razón se obtiene un mejor aprovechamiento de la potencia del amplificador de salida con un back-off reducido. Por otro lado, la asignación de portadoras en este acceso es substancialmente más económico.

4.1- SINCRONIZACIÓN.

La clave de la operación TDMA se encuentra en la sincronización para controlar la posición relativa de las ráfagas de datos con relación a la ráfaga de referencia. El principal problema del TDMA es el sincronismo debido al movimiento del satélite en órbita. Se puede prever un valor máximo de variación de tiempo de propagación de 40 nseg/seg respecto del valor nominal. Los métodos de sincronización son

-Loop Directo Cerrado: donde la estación de referencia envía una **ráfaga de referencia RB** y la estación de tráfico envía la **ráfaga de tráfico TB**. Esta última mide el intervalo entre ráfagas en recepción para la corrección de la diferencia.

-Loop Realimentado Cerrado: en el caso de usarse enlace con haz pincel la estación de tráfico no recibe su propia emisión y por ello no reconoce la diferencia de tiempo. En tal caso, la estación de referencia efectúa la medición y la realimenta a la estación de tráfico.

-Loop Abierto: en este caso la estación de tráfico emite una ráfaga TB luego de un tiempo calculado desde que recibió la ráfaga RB. Este método no tiene mecanismo de corrección y el error de transmisión puede ser alto.

El Intelsat-TDMA usa durante la puesta en servicio el loop abierto y durante el servicio normal el loop realimentado cerrado.

La trama dura 2 mseg y está constituida de **ráfagas de referencia RB** y **ráfagas de tráfico TB**. Con 16 tramas se organiza una **multitrama**; con 32 multitramas se obtiene una **trama de control**; con 16 de éstas se organiza una **supertrama**. Durante la trama de control establecen contacto todas las estaciones de referencia y tráfico; durante la supertrama es posible coordinar los cambios de plan de asignación de ráfagas. La modulación usada es la 4PSK sin codificación diferencial, con una velocidad de 120.832 Kb/s (56x2 Mb/s) y un ancho de banda de 80 MHz. Se usa una corrección de errores del tipo FEC 7/8 mediante el algoritmo **BCH (128,112)** que permite una corrección de 2 errores por secuencia de 112 bit y detecta un triple error.

4.2- RÁFAGA DE REFERENCIA Y TRAFICO

La ráfaga de referencia tiene el propósito de suministrar información sobre la temporización, el control y la gestión del sistema. Se trata de 2 ráfagas RB1 y RB2 (primaria y secundaria) que son emitidas cada una por una estación de referencia ubicada en los extremos del enlace satelital en Europa y América del Norte. La ráfaga de tráfico tiene como propósito cursar la carga útil del sistema y está constituida por un preámbulo igual a la ráfaga de referencia de 280 símbolos. Los datos se agrupan en ráfagas de longitud variable en pasos de 64 símbolos. La separación entre ráfagas es de al menos 64 símbolos. Los módulos de datos se denominan **DSI (Digital Speech Interpolation)** y **DNI (Digital Not-interpolated Interface)**.

La señal DSI interpola la señal vocal aprovechando los espacios de inactividad en la conversación. La ganancia del sistema DSI se encuentra entre 2 y 2,4. La capacidad máxima corresponde a 240 canales concentrados en 127 canales DSI. La señal DNI no está comprimida y funciona en forma preasignada; en este caso se aceptan canales ADPCM a 32 Kb/s. En la actualidad se agregó la interfaz **DDI (Digital Direct Interface)** para disponer de interfaces simples sin capacidad de interpolación.

La trama TB permite un máximo de 8 sub-ráfagas del tipo DSI o DNI. El valor máximo de canales DSI es 128 y en DNI es 127. Cada canal en el satélite lleva una secuencia de canales PCM con un máximo de 16. Cada canal PCM corresponde

SISTEMAS SATELITALES: IDR-IBS

a un Byte. La señal DSI se codifica para la corrección de errores mediante el código FEC denominado **Golay (24,12)**. Permite corregir 3 errores en la secuencia de 24 bits.

Tabla 04: Información contenida en la Ráfaga de Referencia RB de TDMA.

-SOF	176 símbolos. (<i>Start of TDMA Frame</i>). Se disponen de 176 símbolos en 4PSK equivalentes a 352 bits. Ofician de alineamiento de trama. Los 48 símbolos iniciales es una secuencia de 11..11 sin aleatorizar; equivale a transmitir la portadora sin modular y permite la recuperación de la fase en el receptor. Al no tener codificación diferencial se requiere recuperar la fase original de la portadora a cambio de lo cual no se multiplican errores. Los 128 símbolos siguientes son una secuencia 1010..10 y permite recuperar la temporización.
-UW	24 símbolos. (<i>Unique Word</i>). Permite distinguir entre una ráfaga de referencia y una de tráfico. Existen 4 secuencias distintas UW0 a UW3 para identificar a RB1, RB2, TB1 y TBN. Los primeros 12 símbolos (0111 1000 1001) son para el alineamiento de la secuencia.
-TTY	8 símbolos. (<i>Teletype orderwire</i>). Permite transmitir 8 canales telegráficos en total para operación del sistema.
-SC	8 símbolos. (<i>Service Channel</i>). Permite transmitir un canal de servicio en la RB.
-VW	2x32 símbolos. (<i>Voice Orderwire</i>). Acomoda 2 canales vocales con modulación delta a una velocidad de 32 Kb/s. Se transmiten 2 bit de paridad con cada señal.
-CDC	8 símbolos. (<i>Control and Delay Channel</i>). Contiene información para cada estación terminal de tráfico desde la estación de referencia, por ello se transmite en RB y no se envía en TB. Transmite el retardo y el plan de numeración para la sincronización. La trama tiene un total de $(N+2) \times 32$ bit de longitud total; donde N es el número de estaciones de tráfico.

4.2- TDMA CONMUTADO EN SATÉLITE –SSTDMA.

Fue **T.Muratana-1974** el primero en proponer el uso de la conmutación a bordo del satélite. El sistema TDMA comenzó a funcionar con un transponder de 120 MHz en noviembre de 1984 con el Intelsat V. Desde el inicio se previó que el Intelsat VI debería realizar la operación de conmutación **SSTDMA** (*Satellite Switched TDMA*). Este servicio está en funcionamiento desde 1990. El sistema realiza una conmutación dinámica de los haces ascendentes hacia los descendentes dentro de la trama conforme con el plan programado con anterioridad.

La conmutación se efectúa en microondas en la banda C mediante una matriz de conmutación para cada canal. La matriz se programa para varios estados de conectividad: limitada, sencilla y radiodifusión parcial o máxima. Sin embargo, no se puede conectar varios haces ascendentes a uno solo descendente. Se disponen de memorias de conmutación triplicadas en el satélite. La temporización depende del generador con redundancia triple que se sincroniza con los relojes de las estaciones terrenas. El efecto Doppler debido al movimiento del satélite se corrige en este generador. La deriva máxima permitida es de 5×10^{-11} al día; luego de sincronizado con el reloj de Tierra permite cumplir con **ITU-T G.811**.

La duración mínima de cualquier estado de conmutación es de 4 tramas y el incremento es en pasos de 1 trama. Es el primer proyecto que prevé el procesamiento a bordo del satélite con el objeto de optimizar la capacidad de tráfico y en el que el satélite es un elemento dinámico y controlado del sistema.



SISTEMAS SATELITALES: VSAT

Referido al sistema de acceso satelital para enlaces de datos de baja velocidad. Sobre el funcionamiento y ejemplos comerciales.

1- INTRODUCCION

En los años recientes se han extendido los servicios de redes de telecomunicaciones por satélite usando terminales de apertura muy reducida VSAT (*Very small aperture terminals*). VSAT comenzó cuando el *Wall Street Journal* transmite datos por satélite en 1975. La primera generación en 1980 ocupaba solo servicios de datos. En 1983 comenzaron los servicios interactivos y en 1987 la arquitectura distribuida.

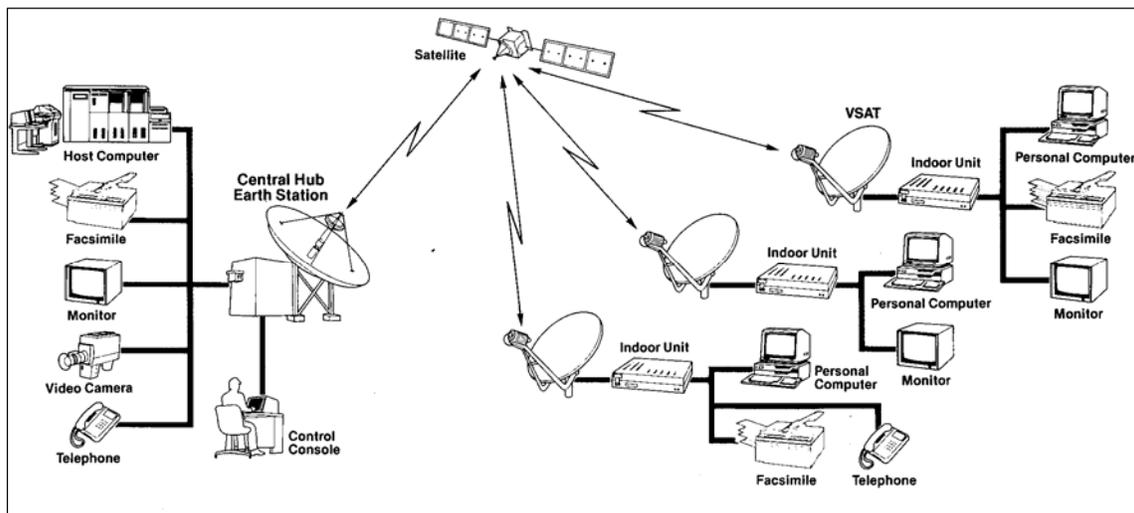


Fig 01. Diagrama a bloques de componentes de la red VSAT.

1.1- APLICACIÓN DE VSAT

Un sistema de este tipo está constituido por el **terminal VSAT** de usuario y la **Hub Station** que actúa de master del sistema. La estructura de red es una estrella con la estación Hub en el centro. Con el incremento de potencia en los satélites es posible en la década de los '90 la conexión y comunicación entre estaciones de usuarios directamente.

Las aplicaciones para VSAT son:

- Distribución de datos en un sentido; con velocidad de 9,6 a 512 kb/s. La antena VSAT tiene diámetro de 0,5 a 0,8 mts.
- Comunicación de datos punto-a-punto; para interconexión de PABX, teleconferencia y LAN. La velocidad es de 16 a 2048 kb/s y la antena de 1,2 a 5 m de diámetro.
- Redes de datos en estrella: se trata de redes interactivas con cortas intervenciones de la VSAT y respuestas largas de la estación master Hub. Con una velocidad entre 9,6 y 512 kb/s y antenas de 1,2 a 1,8 m de diámetro (2,4 m en áreas de alta densidad de lluvia).
- SCADA** (*Supervisory Control and data Acquisition*) es un sistema uni o bidireccional con paquetes cortos (10 a 100 Bytes) y en mediano plazo (segundo-minuto). Se aplica para adquisición de datos en redes de energía, petróleo, plataformas, etc.
- VSAT puede soportar voz mediante un *vocoder* con velocidad hasta 9,6 kb/s.

Por datos se entiende:

- Datos de alta velocidad (2,4 a 19,2 kb/s; 56 kb/s a 2 Mb/s),
- Facsimil (grupo 3 compatible a 9,6 kb/s),
- Telefonía (comprimida a hasta 9,6 kb/s) o
- Vídeo (desde V.35 a 56 kb/s, hasta 2 Mb/s).

SISTEMAS SATELITALES: VSAT

Intelsat dispone del servicio VSAT denominado **Intelnet**. Los servicios identificados son de clase I para distribución de datos y clase II para enlace bidireccional. La estructura de capas de VSAT contiene en la capa 2 el protocolo del tipo HDLC y en la capa 1 la interfaz del tipo RS-232C. Intelnet trabaja sobre el satélite Intelsat VI. El protocolo usado en el tramo espacial de la red VSAT difiere del utilizado en el tramo terrestre. En principio el tramo espacial tiene un gran retardo (270 mseg) y errores abundantes (requiere corrección de errores FEC).

1.2- TÉCNICAS DE ACCESO

Un enlace VSAT está compuesto de dos direcciones:

-**Outbound** o *Outroute* desde el Hub al VSAT y

-**Inbound** o *Inroute* desde VSAT al Hub.

El servicio de adquisición de datos **SCADA** tiene, por ejemplo, un tamaño típico de paquete Inbound de 100 Byte y Outbound de 10 Bytes.

Las técnicas de acceso son heterogeneas. La asignación del canal puede ser fija **FA** (*Fixed Assignment*) o por demanda **DA** (*Demand Assignment*). A continuación se mencionan las posibles técnicas.

-**FDMA pre-asignado SCPC** (*Single Channel Per Carrier*). Es una técnica de bajo costo para pequeñas redes, con pocos terminales y canales por sitio. Intelnet funciona a 9,6 kb/s y el acceso SCPC es con modulación MSK y corrección de errores FEC 1/2.

-**SPADE** (*Single PCM Access Demand Equipment*). Se trata de canales SCPC asignados por demanda. Un canal de 64 kb/s con modulación QPSK ocupa una banda de 45 kHz. La señalización para asignación de portadora se realiza a 128 kb/s (TDMA común con trama de 50 mseg) con modulación BPSK con una banda de 160 kHz. En VSAT se aplica la variante conocida como **DAMA** (*Demand Assigned Multiple Access*).

-**TDMA acceso distribuido**. Es usada en redes estrella con gran número de terminales. Al Instante de Tiempo (*slot*) dentro de la trama asignado a cada usuario puede accederse en forma aleatoria (*random*), en forma preasignada (localización determinista) o por demanda. En TDMA sobre el satélite se forma una secuencia de tramas compuestas de slot. El Burst contiene un tiempo de guarda inicial, un preámbulo, el paquete de datos y un post-ámbulo. El paquete de datos se compone de una bandera inicial y final, el campo de direcciones, el control de enlace, los datos de usuario y el control de errores.

-**ALOHA**. Propuesto por Hawaii University-1971 involucra variantes en su funcionamiento. Los pasos a seguir son:

- Modo transmisión: acceso al satélite en cualquier momento con corrección FEC.
- Modo *listening*: con confirmación de recepción por parte del receptor (ACK/NACK).
- Modo retransmisión: en caso de recepción del pedido NACK.
- Modo *Timeout*: retransmisión si no se recibe ACK o NACK.

El protocolo de **acceso random RA/TDMA** requiere de un complicado proceso de retransmisión de información en caso de colisión de tramas en el satélite. En este caso el acceso al receptor confirma la correcta detección de la trama (ACK). De existir una colisión no se confirma la recepción y se obliga a la retransmisión. Se disponen de dos variantes: El *Stotted-Aloha* contiene paquetes de datos contantes, y acceso aleatorio con pulsos de sincronismo de las estaciones broadcast. El protocolo *Reservation-Aloha* dispone de acceso en un tiempo predeterminado para reservar un intervalo en la próxima trama.

-**Acceso CDMA** (*Spread Spectrum*). Se trata del acceso simultáneo de varios canales sobre la misma portadora. Son diferenciadas mediante una codificación ortogonal. Por ejemplo, para una tasa de datos de 9600 b/s se puede usar una secuencia de codificación de 256 bits, lo cual implica una tasa de 2,46 Mb/s que se transmite sobre una banda de 5 MHz. Este método es de máxima utilidad en casos de alta interferencia.

SISTEMAS SATELITALES: VSAT

2- COMPONENTES DEL SISTEMA VSAT

2.1- ANTENAS VSAT-HUB.

La **Tabla 01** indica las principales características de las antenas para VSAT y Hub. Se trata de la ganancia G4-G11 y G6-G14 para la banda C (4-6 GHz) y Ku (11-14 GHz) respectivamente en el enlace de subida Up-link y bajada Down-link. Se determinan también el valor de G/T en dB/K y EIRP en dBw. En muchos sistemas comerciales se prefiere la banda Ku 14/11 porque permite una mayor EIRP, reduciendo el diámetro de la antena de usuario. Por otro lado, la banda Ku tiene menor interferencia y se encuentra menos congestionada. Sin embargo, la banda C es la más experimentada y simple desde el punto de vista del equipamiento. Para redes VSAT militares se usa la banda-X (Up 7,9-8,4 GHz y Down 7,25-7,75 GHz).

Tabla 01: Características principales de antenas para el sistema VSAT-Hub.

Antenas VSAT para Banda C y Ku.

Φ mts	G4 dB	G11 dB	G/T5	G/T11	G6 dB	G14 dB	EIRP6	EIRP14
1,2	31,9	41,4	9	15,5	35,4	42,7	37	44
1,5	33,8	43,3	11	17,5	37,3	44,7	39	47
1,8	35,4	44,9	12,6	19,1	38,9	46,3	41	48
2,0	36,3	45,8	13,5	20	39,8	47,1	42	49
2,4	37,9	47,4	15,1	21,6	41,4	48,7	43	51

Antenas Hub para Banda C y Ku

Φ mts	G4 dB	G11 dB	G/T5	G/T11	G6 dB	G14 dB	EIRP6	EIRP14
6	45,8	55,4	21,1	29,3	49,3	56,7	74,4	81,7
7	47,2	56,7	22,5	30,7	50,7	58,1	75,7	83,1
8	48,3	57,9	23,6	31,9	51,8	59,2	76,8	84,2
9	49,4	58,9	24,6	32,9	52,9	60,2	77,9	85,2
10	50,3	59,8	25,6	33,8	53,8	61,1	78,8	86,1

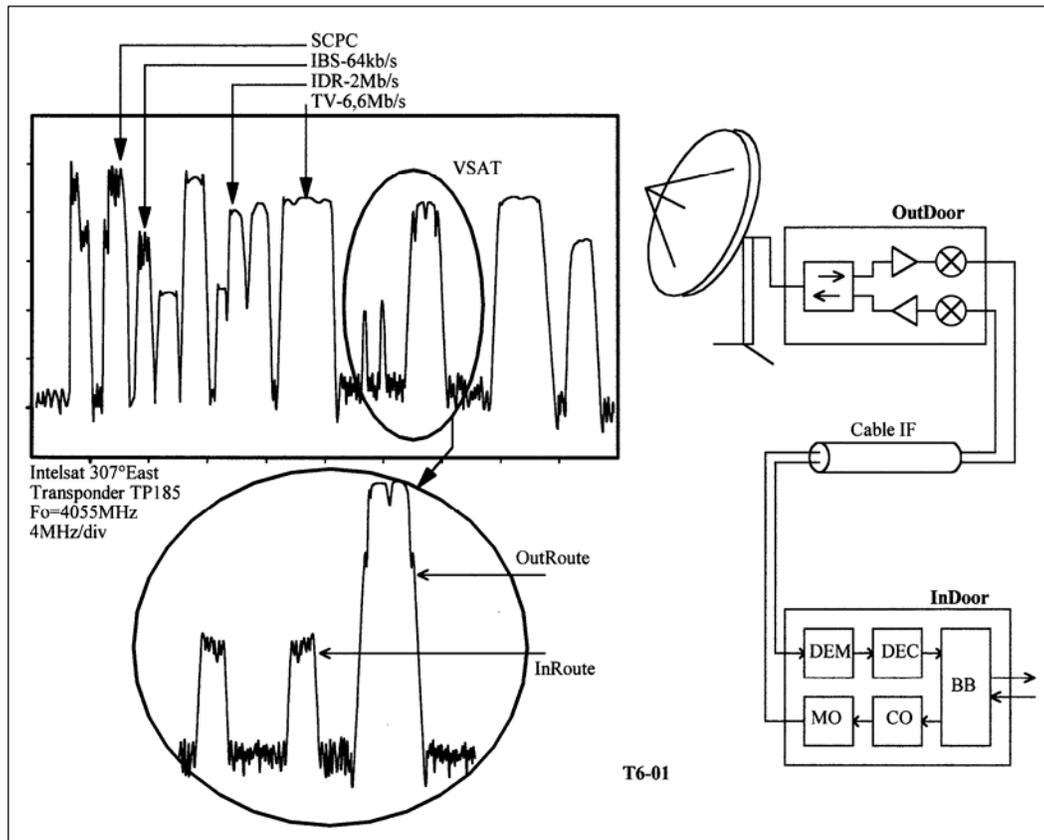


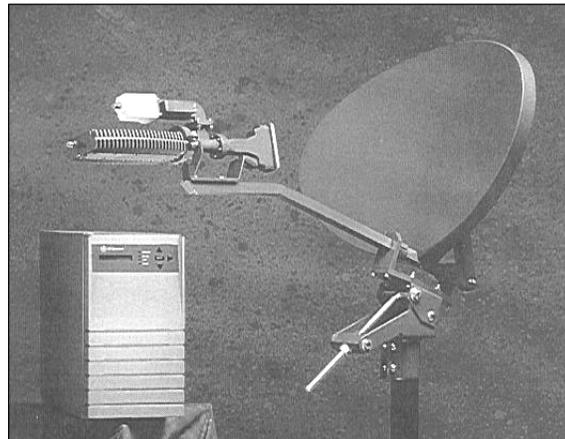
Fig 02. Espectro de frecuencias de la conexión VSAT.

SISTEMAS SATELITALES: VSAT

Un problema en el sistema VSAT es la interferencia debido a la pequeña apertura de la antena. El ángulo de apertura para una caída de 3 dB se define como: $\Phi_{3dB} = 70.c/D.f$

Donde, D es el diámetro de la antena en mts, f es la frecuencia en Hz y c (3.10^8 m/s). Por ello la banda-C tiene más interferencia que la banda-Ku. Por ejemplo, para 1,8 mts de diámetro la apertura a 3 dB es de 3 grados a 4 GHz y de 1 grado en 12 GHz. También, la ganancia máxima de una antena se expresa como:

$$G_{max} \text{ (dBi)} = 44,6 - 20.\log \Phi_{3dB}$$



2.2- ESTACION VSAT Y HUB

ESTACION VSAT. La estación de usuario está compuesta, además de la antena, por una unidad exterior (*outdoor*) y otra interior (*indoor*).

-La **antena** incluye el reflector (tipo *horn-offset*) y los montantes. Se suele construir de fibra de vidrio con un revestimiento hidrófobo para la lluvia.

-La unidad **exterior** está montada sobre el punto focal de la antena. Se trata del amplificador de RF y el convertor. La salida puede ser a una frecuencia intermedia IF (banda L de 950 a 1450 MHz) y se conecta mediante un cable que proporciona alimentación desde el interior y alarmas hacia el mismo.

-La unidad **interior** se encuentra junto con los equipos de usuario. Se trata del convertor y demodulador a banda base y las interfaz de datos, telefonía y vídeo. Se dispone del codificador FEC y modulador BPSK. El método de modulación usado es el BPSK, por razones de simplicidad, con corrección de errores del tipo FEC 1/2 convolucional.

ESTACION HUB. La estación *hub* se ubica en un "telepuerto". Se dispone de una sala de equipos que contiene los componentes de banda base, modulador de IF y equipo de RF. Una red LAN permite efectuar los procesos de gestión. El protocolo de acceso al satélite es un proceso "propietario" de cada fabricante. Existen reglas generales, pero a la vez muchas variantes.

El Hub hacia VSAT generalmente efectúa una multiplexación TDM, en tanto que VSAT hacia Hub aplica el sistema de uno o varios canales TDM por portadora, con acceso preasignado o por demanda. El acceso permite efectuar la función de **control de flujo** típica en las redes de datos. El mismo puede ser distribuido (acceso *random*) o centralizado (asignación por demanda). Generalmente los equipos en la estación Hub se disponen duplicados para mantener una disponibilidad por fallas de equipo del 99,99% del tiempo.

2.3- EJEMPLO: SISTEMA HUGHES

El acceso es una combinación del tipo FDM-TDM: se distribuyen varias portadoras para usuarios VSAT con una asignación de tiempo TDM. La ruta *Inroute* (VSAT a Hub) se realiza a 64 kb/s y con modulación 2PSK. La ruta *Outroute* (Hub a VSAT) se realiza a 512 kb/s (2PSK).

En la **Fig 02** se muestra el espectro completo de un transponder de 36 MHz (Intelsat 307E). Se observan portadoras para servicios SCPC, IDR, IBS, canales de audio y de TV digitales (6,6 Mb/s). El sistema VSAT se caracteriza por la presencia

SISTEMAS SATELITALES: VSAT

de la portadora Outroute a 512 kb/s desde el Hub a las VSAT y las portadoras de 64 kb/s para la conexión Inroute desde VSAT a Hub. Cada portadora de 64 kb/s multiplexa en TDMA hasta 30 usuarios. La trama (45 mseg) está compuesta de paquetes de datos levemente distintos para el caso de datos asincrónicos, sincrónicos y telefonía.

Tabla 02: Composición de la trama OutRoute e InRoute Hub-VSAT.

Supertrama	Duración de 360 mseg. Compuesta de 8 tramas
Trama	Duración 45 mseg. Contiene 2880 B a 512 kb/s y 360 B a 64 kb/s.
	PAQUETE DE DATOS ASINCRÓNICOS NON-REAL TIME
ADD	2 Bytes. Dirección de destino.
FEC	1 Byte. Paridad para corrección de error.
LEN	1 Byte. Longitud de la información enviada.
CON	1 Byte. Campo de control.
SES	1 Byte. Número de trama secuencial de emisión.
ARQ	2 Bytes. Control de reconocimiento automático.
Data	Desde 0 a 246 Bytes. Datos hacia el usuario.
CRC	2 Bytes. Paridad para chequeo de errores.
	PAQUETE DE DATOS SINCRÓNICOS REAL-TIME
	Idem anterior sin los campos SES y ARQ. Datos 0-249 Bytes.
	PAQUETE DE DATOS TELEFONÍA REAL-TIME
	Idem anterior sin el campo ARQ. Longitud de datos 90 Bytes.

SISTEMAS SATELITALES: GPS

Referido al sistema de posicionamiento global GPS y otros métodos de distribución de tiempo.
Sobre el funcionamiento y los datos emitidos.

1- DISTRIBUCION DE TIEMPO

1.1- DEFINICION DE TIEMPO.

El **BIPM** (*Bureau of International Weights and Measures*) establece el estándar de tiempo actual. Lo define mediante el **IAT** (*International Atomic Time*) basado en un proceso atómico invariante del átomo de Cesio (isótopo Cs-133). La 13a Conferencia de Pesos y Medidas-1967 indica que el segundo es la duración de 9.191.631.770 períodos de la radiación correspondiente a la transición entre dos niveles hiperfinos del estado bajo del átomo de Cs-133. El BIPM dispone en realidad de una comparación de 100 relojes atómicos distribuidos en el mundo. El BIPM no entrega un tiempo estándar solo provee una comparación de los relojes que recibe desde distintas naciones.

UTC (*Universal Time Coordinated*) es el anteriormente denominado **GMT** (*Greenwich Meridian Time*) y se toma en base al medio día de la ciudad de Greenwich ¹⁾. La coordinación entre el **IAT** y **UTC** se obtiene por adición y sustracción de segundos (segundos «bisiestos» que se colocan el 30/06 o 31/12 de cada año). El UTC se obtiene de los estándar entregados por el **NIST** (*National Institute of Standards and Technology*), antes denominado **NBS** (*National Bureau of Standards*) y por el **USNO** (*US Naval Observatory*) desde 160 relojes y 10 patrones primarios de Cs independientes.

Mediante el UTC y la frecuencia de la USNO se obtiene el sistema **LORAN-C** para distribución en aplicaciones militares y de navegación. Mediante el UTC y la frecuencia del NBS se obtiene la radio estación **WWV** para distribución de tiempo comercial desde 1960 (**ITU-R I.518-5**).

1.2- DIVERSIDAD DE SISTEMAS. (1º Parte)

LORAN-C. El sistema más antiguo de distribución de tiempo es **LORAN-C** (*Long-Range Navigation*). Se puso en práctica a fines de la década de 1950 y es operado por la Guardia Costera de USA. Las características de este sistema son las siguientes:

- Consiste en recibir (3 a 5) transmisiones de baja frecuencia de radio a 100 ± 10 kHz y de alta potencia.
- Estas señales disparan temporización (trenes de 8 pulsos con 1 mseg entre pulsos) en lugares fijos y en tiempos precisos.
- En la actualidad el sistema tiene 3 relojes de Cesio en cada localización.
- Permiten una incertidumbre inferior a 1 μ seg hasta los 2000 km de distancia.
- La recepción de al menos 3 transmisores permite el cálculo de la posición mediante el criterio de **navegación hiperbólica**.
- La recepción de solo una estación Loran-C permite determinar cambios de tiempo o frecuencia.

El receptor para el sistema Loran-C es de bajo costo pero su señal no está disponible por igual en todo el planeta. Permite una corrección de frecuencia pero no entrega el valor del tiempo real. En diversas aplicaciones el sistema Loran-C es actualmente reemplazado por sistemas de distribución mediante satélites. Desde 1962 se realiza la distribución horaria por satélite. En aquel año se compararon los relojes de **USNO** en USA y de **RGO** (*Royal Greenwich Observatory*) intercambiando impulsos de 5 μ seg de duración con un ritmo de 10 Hz mediante el satélite de telecomunicaciones Telstar.

TRANSIT. Este sistema denominado Transit opera desde el año 1965 hasta por lo menos 1997. Las principales características son:

- Disponía hacia 1990 de 7 satélites en órbita polar lo cual impide una cobertura permanente.
- Es gestionado por la Marina de USA y se referencia con el UTC (USNO) permitiendo una precisión de ± 10 μ seg.
- Cada satélite transmite un mensaje continuo en la portadora de 400,1 MHz ± 25 kHz (UHF).
- El mensaje contiene 6103 bits en 156 palabras de 39 bits con 19 bits adicionales.
- De los 39 bits se disponen de 36 datos y 3 bits de paridad, telemetría y corrección de error.

¹⁾ El Observatorio de Greenwich fue fundado por la Royal Society en 1675 con el objetivo de "averiguar la longitud, para una correcta navegación".

SISTEMAS SATELITALES: GPS

- Las limitaciones son: elevado tiempo de medición para obtener resultados (30 min) y reducida velocidad del móvil.
- Algunos avances especiales se introdujeron con el Nova Spacecraft del programa Transit desde 1975.

El costo de un receptor para el sistema Loran-C se encuentra entre 1000 y 10000 \$us; mientras que para el sistema Transit es de 15000 \$us y para el GPS de 25000 \$us. Los relojes atómicos de Cesio locales tienen la dificultad del alto costo (entre 35.000 y 45.000 \$us).

INMARSAT. Esta es una organización civil dedicada a las comunicaciones móviles marítimas. Sin embargo, en sus planes se encuentra entregar información de temporización. Sus satélites se encuentran en órbita geoestacionaria, en comparación con los de mediana altura (GPS y Glonass). Sus características de mayor interés son indicadas más adelante en este Capítulo, luego del sistema GPS.

GLONASS (*Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema*). Se trata de un sistema similar a GPS. Una descripción más detallada se desarrolla luego de GPS.

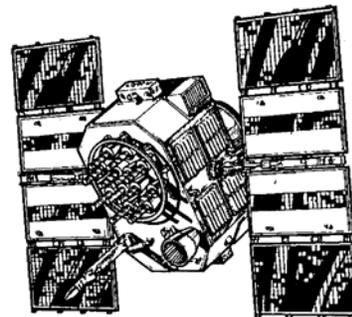
GLOBALSTAR. La constelación de satélites LEO permite la comunicación entre móviles de tráfico vocal y de datos. Por otro lado, los componentes del satélite incluyen el control de altitud y órbita que incluye el receptor de GPS, la medición de campo magnético, etc. Entre los servicios al subscriptor se encuentra el de posición (error entre 300 mts y 10 km). La cobertura del sistema asegura una probabilidad de 100% de observar un satélite hasta los 70° de latitud. Dos satélites pueden ser captados hasta 50° de latitud. Mientras que tres satélites pueden ser recibidos con una probabilidad promedio del 60% y cuatro satélites con una probabilidad promedio del 20%.

SISTEMAS SATELITALES: GPS

2- SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL GPS.

2.1- EL SISTEMA GPS

El más conocidos sistemas de distribución de tiempo es el **GPS** (*Global Positioning System*). Fue desarrollado por el Departamento de Defensa **DoD** de USA mediante los satélites **Navstar**. Operó inicialmente para la transferencia de señales horarias y luego como sistema de navegación. La ex-URSS dispone de un sistema similar al GPS. GPS es un sistema referido a UTC (USNO). Está formado por 2 componentes: la constelación satelital y la red de monitoreo y control de Tierra. El control del sistema permite mantener los parámetros de efemérides por 4 a 6 hs. Es operado por la Fuerza Aérea de USA en Colorado.



CONSTELACION SATELITAL.

- GPS consta de una cobertura global desde 1991.
- Son 21 satélites y 3 de reserva ubicados en 6 planos orbitales equiespaciados (60° de desfasaje). Hay 4 satélites por órbita.
- Los planos orbitales son: 272,8-W; 332,8-W; 32,8-W; 92,8-E; 152,8-E; 212,8-E. Se denominan A, B, ..., F.
- La inclinación de las órbitas es de 55° sobre ecuador y la altura sobre la superficie de la Tierra de 20183 km.
- El período orbital es de 11 horas y 58 min.
- Hacia 1997 se encuentran en servicio 3 tipos de satélites: Block I, II y IIA. Hasta 2004 se tendrán Block IIR y IIF.

SATELITES GPS.

- El satélite tiene una duración de 4,5 años.
- Cada satélite tiene relojes patrón (2 de Cesio 10^{-14} /día y 2 de Rubidio 10^{-13} /día).
- El sistema GPS Block II se inicia en 1995 y lleva a bordo relojes de Hidrógeno (10^{-15} /día).
- Los satélites transmiten en 1575,42 MHz con distinto código (*Spread Spectrum*). Ancho de banda de 2,046 MHz.
- La emisión es con polarización circular derecha.
- Una antena receptora para GPS tiene una cobertura de 160° , con una ganancia típica de 2,5 dBi.

SERVICIOS.

- Con la visibilidad de 3 satélites se obtiene la posición horizontal y con 4 se obtiene la altura sobre el nivel del mar (snm).
- GPS brinda los servicios **SPS** (*Standard Positioning Service*) para uso civil y el **PPS** (*Precise PS*) para uso militar.
- El error en PPS es de 22 m en el plano horizontal y 27,7 m en el vertical (95% de probabilidad).
- El error en SPS es de 100 m y 156 m respectivamente.
- Los errores de GPS se deben a: error de efemérides (4,2 m); efectos relativistas (2,7 m); efectos atmosféricos (4,3 m); ruido del receptor (1,5 m); fading multipath (1,2 m); estabilidad del reloj (4,0 m); otros (1,9 m).

Se disponen de 2 códigos que transmiten ambos la misma secuencia de datos. El código corto C/A tiene aplicaciones civiles, en tanto que el código largo P se lo utiliza para aplicaciones militares. Se lo somete a criptografía periódica para evitar su reconocimiento por fuerzas no autorizadas. En la **Tabla 01** se determinan las características de los códigos que son utilizados en GPS.

SISTEMAS SATELITALES: GPS

Tabla 01. Componentes de la señal emitida por los satélites del sistema GPS.

CODIGOS PRN.	
Código P	El primer código es un código largo P (<i>Protected</i>) y es el mismo para todos los satélites. Se trata de una secuencia pseudorandom PRN (<i>PseuRandom Noise</i>) con características de ortogonalidad. Tiene una velocidad de 10,23 Mb/s (frecuencia del reloj) y un período de 7 días ($6,19 \times 10^{12}$ chips). La frecuencia exacta es 10,2299999543 Mb/s para compensar los efectos de la relatividad en órbita. Cada satélite tiene el mismo código P pero con distinto corrimiento para aprovechar la auto-correlación. Esto se requiere para evitar falsas sincronizaciones en caso de interferencias. Se trata de una multiplexación por división de código CDMA Spread Spectrum.
Código W	Se trata de un código para criptografiar al código P (protección <i>antispoofing</i>). El código W es desconocido y genera en conjunto con P el código Y. Glonass no está criptografiado. La criptografía sobre el código P reduce la precisión desde 10 mts a 100 mts. Mediante la detección diferencial con varios receptores se pueden lograr precisiones inferiores al metro.
Código Y	Es el resultado de componer los códigos P y W. Permite evitar el <i>jamming</i> intencional en aplicaciones militares. Corresponde a simular un efecto de error Doppler pseudorandom.
Código C/A	El segundo código corto C/A (<i>Clear/Access</i>) es un código Gold, distinto para cada satélite de 1,023 Mb/s. Fue Gold-1964 quien señaló el algoritmo para seleccionar pares de códigos preferidos. Se aprovecha la correlación cruzada (preferible para acceso CDMA Spread Spectrum). El período de chips es de 1 mseg ($2^{10}-1 = 1023$ chips). El polinomio generador es el $X^{10}+X^3+1$. Este código sirve para el sincronismo inicial (búsqueda y detección secuencial por corrimiento de 1 bit). Longitud del chip para código C/A es 293 mts y para P es 29,3 mts.
DATOS Y MODULACION.	
Datos	Ambos códigos son compuestos mediante una función exclusiva-Or con una señal de datos de 50 b/s. Los datos llevan paridad para corrección de errores, mensajes de navegación espacial, UTC, etc. El mensaje de navegación (total 37.500 bits) lleva la siguiente información: -Efemérides del satélite (parámetros de órbita kepleriana para corrección de perturbaciones de órbita causa por gravitación), datos de reloj y almanaque. El tiempo y calendario GPS se toma desde USNO (inicio 6/1/1980) y es actualizado por stuffing con UTC. -Los parámetros de órbita elíptica kepleriana son: semieje mayor y excentricidad de elipse, inclinación del plano de órbita, argumento de perigeo, tiempo de satélite desde el perigeo y ascensión en órbita.
MOD	La modulación usada es la QPSK con portadoras de $L1 = 1575$ MHz (154 veces la frecuencia del reloj). La fase en cuadratura (I para el código corto y Q para el código largo) llevan una atenuación de 3 dB. La misma secuencia larga se transmite en BPSK sobre $L2 = 1227$ MHz (120 veces la frecuencia del reloj). El ancho de banda es de 2,046 MHz sobre L1. La polarización de onda es circular derecha. El mínimo de potencia de recepción (ganancia de antena 3 dBi) es -130 dBm para el código C/A.

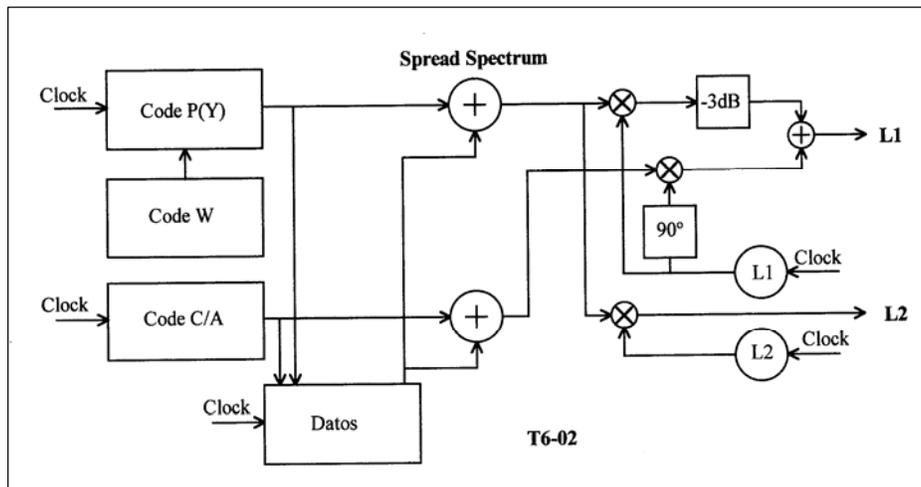


Fig 01. Diagrama a bloques de codificador GPS.

SISTEMAS SATELITALES: GPS

2.2- DIVERSIDAD DE SISTEMAS. (IIº Parte)

GLONASS (*Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema*). Se trata de un sistema similar a GPS. Fue iniciado en 1982 y posee 21 satélites en servicio y 3 de reserva desde 1995. Las principales características enunciadas a continuación tienen en cuenta la constelación de satélites, los códigos de transmisión y el plan de frecuencias.

Constelación satelital.

- Posee 3 órbitas a 120° y se ven 4 satélites simultáneamente en el 97% de la superficie.
- Los satélites están equiespaciados en órbita.
- La órbita es circular a 19100 km de altura con inclinación de $64,8$ grados.
- El período de rotación es de 11 hs y 15 min.

Procesamiento de señales.

- Utiliza relojes de Cesio con estabilidad: 5×10^{-11} a 1 seg; 1×10^{-11} a 100 seg; $2,5 \times 10^{-12}$ a 1 hora; 5×10^{-13} a 1 día.
- El código corto C/A es de 511 kb/s. La longitud de código es 2^9-1 (511 chips). El período de 1 mseg.
- El código largo P es de 5,11 Mb/s. La longitud es $2^{23}-1$ (33,554 Mchips).
- El período de repetición del código P es de 6,57 seg pero es truncado en períodos de 1 seg.
- Los códigos C/A y P no están criptografiados.
- Los datos emitidos por Glonass (denominados SGS-85) son similares en calidad a los de GPS (WGS-84).
- La velocidad de datos es 50 b/s como en GPS. El total de la trama transmitida es de 7500 bits.
- La secuencia de datos se compone (exclusive-or) con el código P y C/A.

Plan de frecuencias.

- Trabaja en FDMA en las bandas de frecuencias $L2=1246-1257$ MHz y $L1=1602-1616$ MHz.
- FDMA es más complejo desde el punto de vista de filtros pero no tiene problemas de correlación como en CDMA.
- La separación entre portadoras es de 562,5 kHz en la banda L1 y de 437,5 kHz en la banda L2.
- La frecuencia en MHz puede calcularse mediante $F_0 = Z \cdot (178 + K/16)$.
- Donde K es un valor entero entre -7 y $+12$ y Z vale 9 para L1 y vale 7 para L2.
- El reducido número de portadoras se debe a la repetición para satélites opuestos.
- La banda L1 es modulada con el código C/A y con el P a 90° de fase (QPSK). La banda L2 lleva solo el código P.

INMARSAT. Sus características de mayor interés son resumidas a continuación:

- El sistema Inmarsat posee un transponder de navegación en los satélites Inmarsat-3 desde 1996.
- El servicio ofrecido es el distribución de señales de GPS y Glonass, recibidas desde Tierra y como apoyo adicional.
- Inmarsat-3 consta de 4 satélites geoestacionarios ubicados en 64,5-E; 55,5-W; 15,5-W y 180-W.
- Las frecuencias de trabajo son: uplink desde la base de control a 6455,42 MHz y downlink de 3630,42 y 1575,42 MHz.
- Distribuye una señal WAAS (*Wide Area Augmentation System*) compatible con la nueva generación de receptores GPS.
- Se dispone de un total de 64 posibles tipos de mensajes a ser comunicados mediante la señal de datos.
- Los datos emitidos son a 250 b/s con codificación FEC-1/2 (longitud convolucional $K=7$). Velocidad final de 500 b/s.
- Los polinomios generadores del FEC son: 1101101 y 1101111.
- Los datos son codificados con un código corto C/A ($2^{10}-1$) a la velocidad de 1,023 Mb/s.
- El código C/A es de la misma familia de código Gold utilizado en GPS.

SISTEMAS SATELITALES: GPS

LAMINA. Tres tipos de receptores para sistemas GPS: receptor para temporización, para posición en el terreno y para guía de vehículos.

