

Capítulo 6: Sistema GSM

Sistema GSM

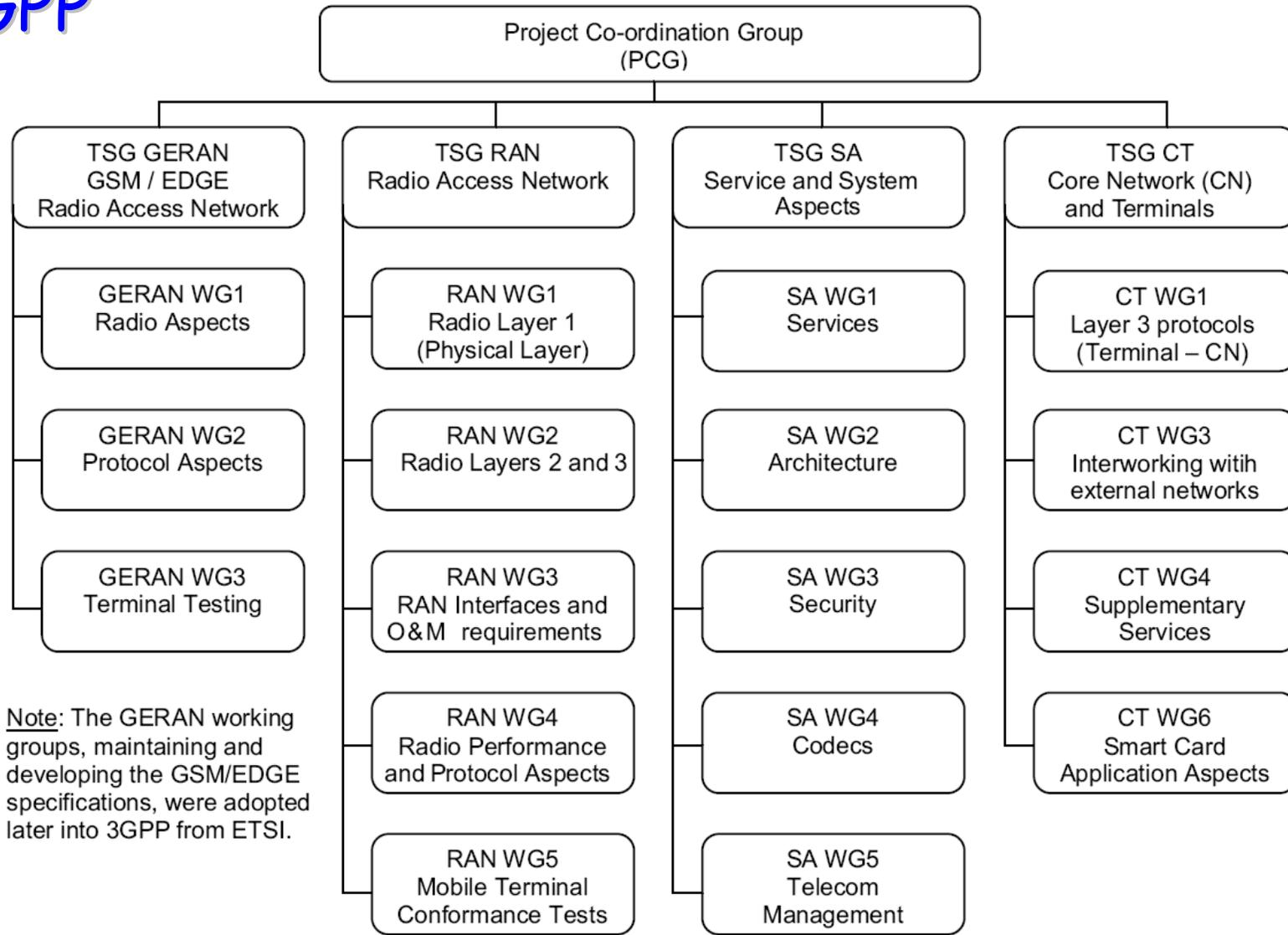
1. Organismos de estandarización. Evolución de los sistemas de comunicaciones móviles: generaciones. Origen del GSM.
2. Arquitectura de red. Entidades funcionales. Zonas e identidades.
3. Interfaz radio: características generales. Canales físicos y lógicos. Estructura TDMA. Estructura de las ráfagas.
4. Modulación, codificación, entrelazado.
5. Procesos asociados a la transmisión: avance temporal, control de potencia, transmisión discontinua, salto de frecuencia.
6. Protocolos. Gestión de recursos radio. Funcionamiento de los canales radio. Gestión de movilidad. Gestión de la comunicación. Servicios.
7. Planificación. Balance de enlace.
8. Evolución de GSM: HSCSD, EDGE.

1. Organismos de estandarización.
Evolución de los sistemas de
comunicaciones móviles: generaciones.
Origen del GSM

Organismos de estandarización

- ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*)
 - Estandarización inicial de GSM, GPRS y UMTS.
 - www.etsi.org
- 3GPP (*Third Generation Partnership Project*)
 - Creado en 1998.
 - Acuerdo de colaboración entre ETSI y otros organismos de estandarización oficiales (Japón, China, Corea, USA)
 - Actualmente se ocupa de la estandarización de GSM, UMTS y LTE (incluyendo sus evoluciones)
 - Formado por fabricantes, operadores y otros (afiliados a un organismo de estandarización: ETSI u otros)
 - www.3gpp.org
- 3GPP2 (*Third Generation Partnership Project 2*)
 - Creado en 2000.
 - Similar a 3GPP pero para sistemas americanos (cdma2000).
 - www.3gpp2.org

3GPP



Note: The GERAN working groups, maintaining and developing the GSM/EDGE specifications, were adopted later into 3GPP from ETSI.

GSM, radio

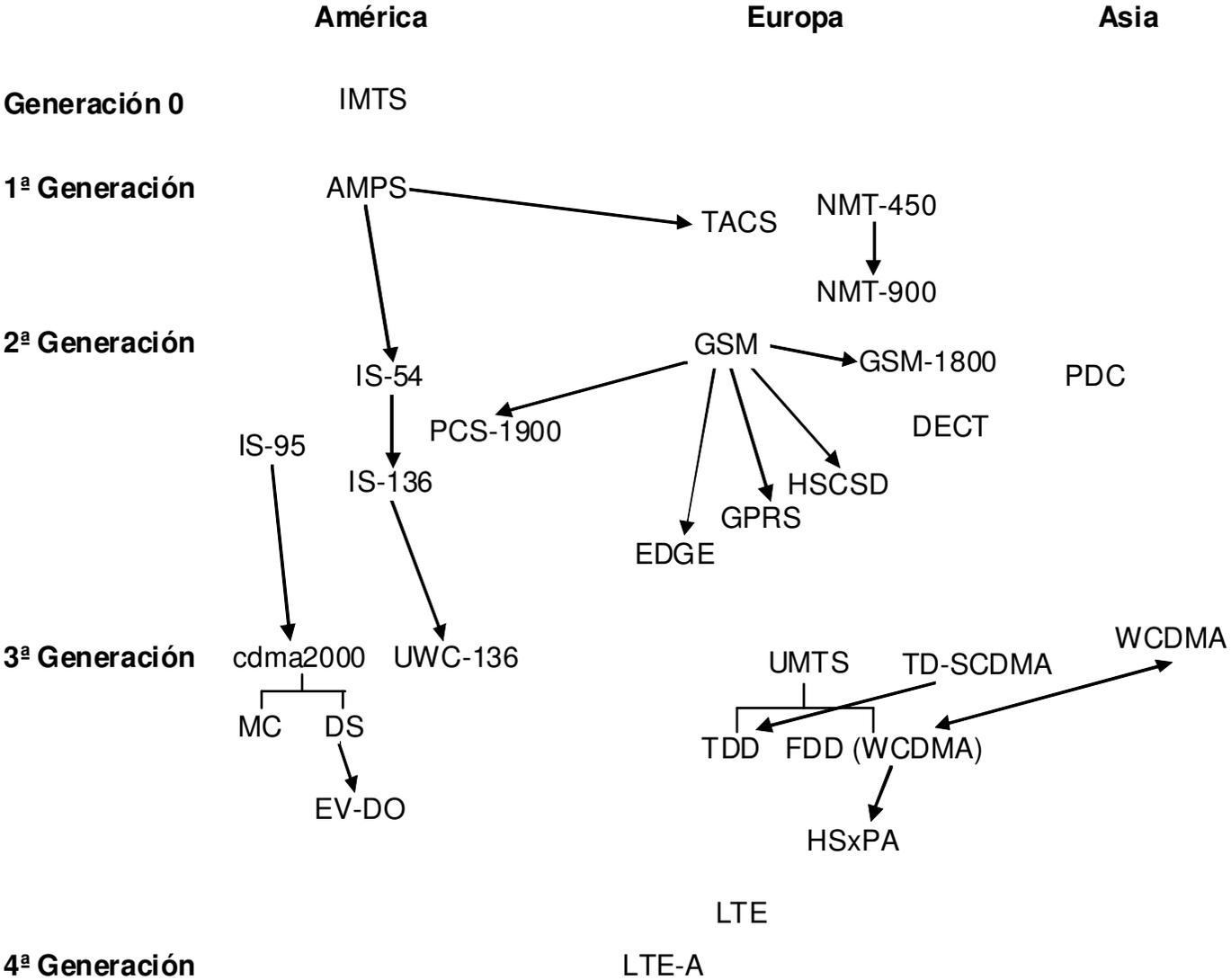
UMTS, radio

Arquitectura
y servicios

Terminales
y red fija



Comunicaciones Móviles: Generaciones



Origen y evolución de GSM

“*Global System for Mobile communications*”

- 1982 Creación del *Groupe Spéciale Mobile* (GSM) en la CEPT. Reserva de frecuencias en Europa para el futuro sistema.
- 1987 Selección de características generales: tecnología digital, acceso múltiple TDMA.
- 1989 La estandarización del GSM pasa a depender del ETSI.
- 1990 Termina la especificación de la fase 1: voz, SMS, datos en modo circuito, *roaming* internacional, servicios suplementarios (desvío, restricción de llamadas).
- 1992 Comienzo de operación en algunos países.
- 1996 Fase 2. Mejoras; DCS-1800 (luego GSM-1800).
- 1998 Fase 2+ (varias *releases*). Mejoras: mayor velocidad de datos; HSCSD; GPRS.
- 1998 La estandarización pasa realizarse en el 3GPP, en el cual se integra el ETSI.
- 2004 1000 millones de usuarios de GSM.
- 2006 2000 millones de usuarios de GSM.

2. Arquitectura de red. Entidades funcionales. Zonas e identidades

Arquitectura de red GSM: entidades funcionales e interfaces

BSS: Base Station Subsystem

BSC: Base Station Controller

BTS: Base Transceiver Station

NSS: Network and Switching Subsystem

AuC: Authentication Center

EIR: Equipment Identity Register

GMSC: Gateway MSC

HLR: Home Location Register

MS: Mobile Station

MSC: Mobile Switching Center

SIM: Subscriber Identity Module

VLR: Visitors Location Register

OSS: Operation and Supervision Subsystem

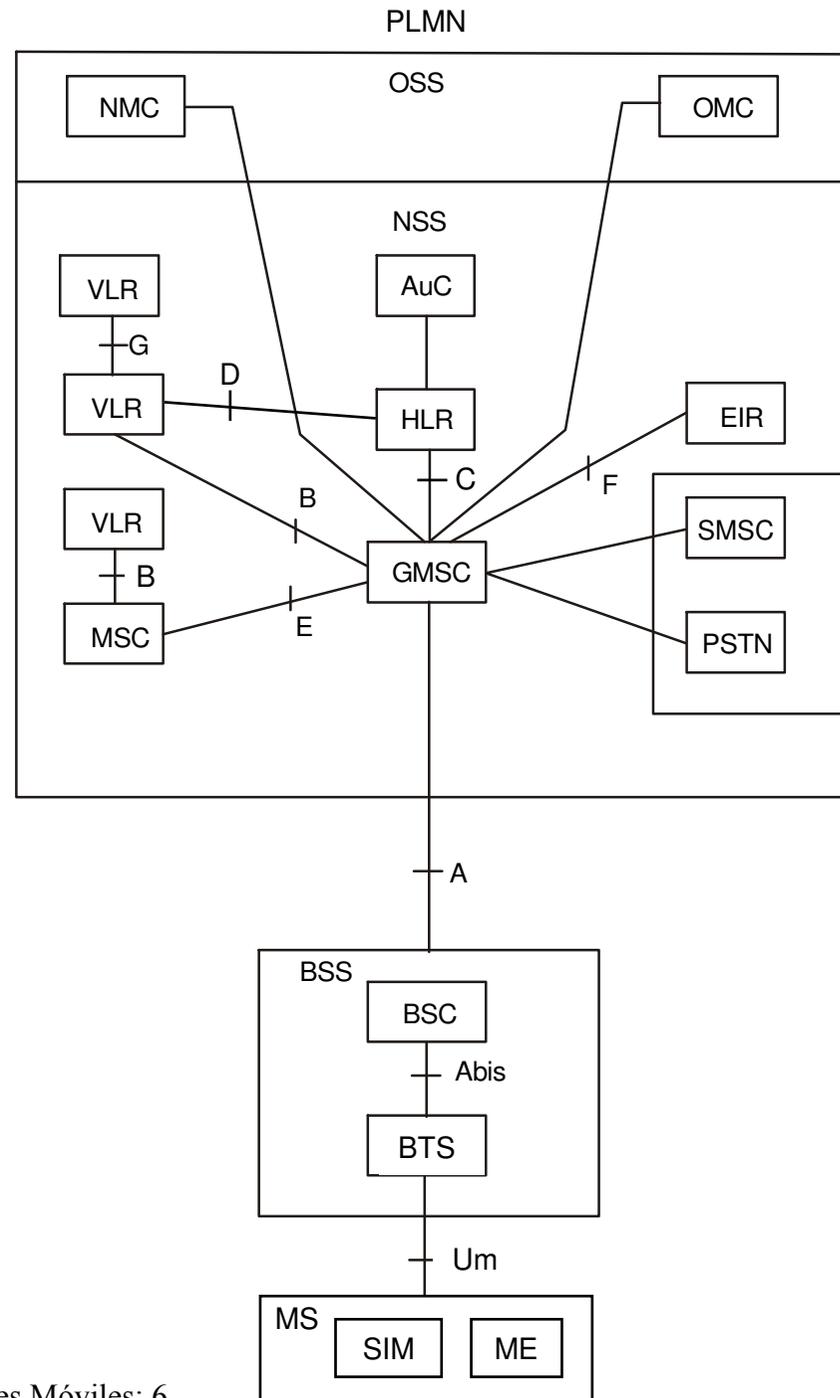
NMC: Network Management Center

OMC: Operation and Maintenance Center

PLMN: Public Land Mobile Network (GSM)

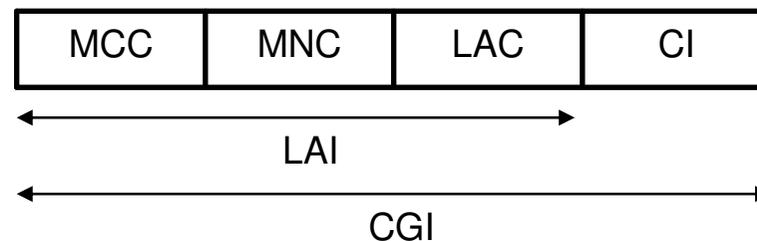
SM-SC Short Message Service Center

PSTN: Public Switched Telephone Network



Jerarquía de zonas en la red GSM

- **Área de PLMN GSM:** se identifica mediante:
 - MCC (*Mobile Country Code*) (3 cifras): país (España: 214)
 - MNC (*Mobile Network Code*) (2 cifras): cada operador de ese país (Vodafone: 01, Orange: 03, Movistar: 07)
- **Área de conmutación:** asociada a una MSC de la PLMN
- **Área de localización, LA (*Location Area*):** subconjunto de células pertenecientes a una misma MSC. Se identifica
 - Dentro de la red: LAC (*LA code*) (16 bits)
 - Globalmente: LAI (*LA Identification*) = (MCC, MNC, LAC)
- **Área de estación base (célula o sector).** Se identifica
 - Dentro de la LA: CI (*Cell Identity*) (16 bits)
 - Globalmente: CGI (*Cell Global Identification*) = (MCC, MNC, LAC, CI)



Identidades de usuario y de móvil en GSM

- **MSISDN** (*Mobile Station ISDN Number*): número de teléfono del usuario, dentro del plan de numeración de la red telefónica pública.
- **IMSI** (*International Mobile Subscriber Identity*) (≤ 15 cifras decimales): identidad del usuario, única en el mundo. IMSI = (MCC, MNC, MSIN). MSIN: *Mobile Subscriber Identification Number*.
- **TMSI** (*Temporary Mobile Subscriber Identity*) (32 bits): identidad temporal del usuario, válida dentro de una LA.
- **IMEI** (*International Mobile Equipment Identity*) (15 cifras decimales): identidad del móvil, única en el mundo.

MS, ME y SIM

- MS: es el terminal móvil GSM. Se divide en ME (*Mobile Equipment*) y SIM.
- ME: servicio de voz; otros: SMS, WAP, ...
- SIM: tarjeta que identifica al usuario. Contiene, entre otros:
 - IMSI
 - TMSI
 - PIN y PUK (códigos de acceso y de desbloqueo)
 - Información de abonado (agenda, SMS recibidos)
 - Identidad del último área de localización (LAI)
 - PLMN no autorizadas
 - Algoritmos de cifrado y autenticación
 - Clave de cifrado, K_c
 - Clave secreta de autenticación, K_i

BTS

- Equipos radio de la estación base:
 - Transceptores (uno por portadora). Se suelen denominar “TRX”.
 - Antena
 - Elementos de conexión con la antena: cable, combinadores, multiacopladores
 - Conexión con BSC; típicamente mediante radioenlace.
- La BTS debe ser lo más simple posible, y fiable (suele estar en lugares de difícil acceso).

BSC

- Equipo de control de la estación base.
- Puede controlar varias BTS.
- Se encarga de:
 - Configuración de la base
 - Gestión de canales radio: asignación, liberación, control de potencia, traspasos intra-BSC.
 - Se conecta con el OMC para operación y mantenimiento. Recoge estadísticas y alarmas.

MSC

- Central telefónica, con funciones adicionales derivadas de la movilidad de los usuarios.
- Se encarga de:
 - Encaminamiento de llamadas.
 - Traspasos inter-BSC e inter-MSC.
 - Se conecta con el OMC para operación y mantenimiento.
Recoge estadísticas y alarmas.
- Las G-MSC (*Gateway* MSC) dan acceso a redes externas a la PLMN GSM.

HLR

- Base de datos (registro) general de usuarios.
- Es única (funcionalmente) en cada red (físicamente puede estar distribuida, o duplicada por motivos de redundancia).
- Para cada usuario contiene información:
 - Estática: IMSI, MSISDN, servicios contratados
 - Dinámica: zona de VLR (MSC) actual.

VLR

- Base de datos (registro) de usuarios itinerantes.
- Existe uno por cada MSC (de hecho, MSC y VLR suelen estar integrados en un mismo equipo físico)
- Contiene información para cada usuario que esté en la zona que gestiona:
 - Dinámica: TMSI y LAI actuales.
 - Copia de información del HLR para el usuario.

AuC

- Base de datos de autenticación.
- Asociado al HLR.
- Contiene para cada usuario:
 - IMSI
 - Clave secreta de autenticación, K_i (contenida también en la SIM)

EIR

- Base de datos de equipos (terminales móviles).
- Contiene para cada terminal móvil:
 - IMEI de cada terminal (también contenido en el terminal)
 - Lista blanca: terminales permitidos
 - Lista negra: no permitidos (por ejemplo, por robo)
 - Lista gris: en observación (por ejemplo, defectuosos).

SMSC

- Centro de servicio para SMS (mensajes cortos).
- Recibe y envía SMS de o hacia los móviles.

OSS

- Configuración remota de la red.
- Obtención de información (estadísticas) sobre el funcionamiento de la red.
- Mantenimiento (alarmas).
- Los OMC gestionan partes de la red, y el NMC controla el funcionamiento de todo el OSS.

3. Interfaz radio: características generales. Canales físicos y lógicos. Estructura TDMA. Estructura de las ráfagas

Interfaz radio GSM: características generales

- Sistema FDMA/TDMA con FDD
- Separación de radiocanales 200 kHz
- Bandas de frecuencias: 900 / 1800 / 1900 MHz
- Separación dúplex: 45 / 95 / 80 MHz
- Modulación: GMSK a 270,833 kb/s
- Potencia máxima de terminal móvil:
 - 900 MHz: 8 W–0,8 W (típico 2 W)
 - 1800 MHz: 1 W–0,25W (típico 0,25 W).
- Potencia máxima de base:
 - 900 MHz: 320 W–2,5 W
 - 1800 MHz: 20 W–2,5 W
- Relación de protección: cocanal 9 dB, canal adyacente -9 dB
- Posibilidad de salto en frecuencias (*Frequency Hopping*, FH)
- Codificación de canal: código corrector, código detector, entrelazado
- Distancia de cobertura máxima: 35 km; puede ampliarse
- Dispersión Doppler máxima: hasta 200 km/h
- Dispersión temporal máxima: hasta 16 μ s.

Bandas de frecuencias

- GSM 900 (124 radiocanales) (Europa)
 - UL: 890-915 MHz
 - DL: 935-960 MHz
- E-GSM 900 (49 radiocanales) (Europa)
 - UL: 880-890 MHz
 - DL: 925-935 MHz
- GSM 1800 (374 radiocanales) (Europa)
 - UL: 1710-1785 MHz
 - DL: 1805-1880 MHz
- GSM 1900 (300 radiocanales)
 - UL: 1850-1910 MHz
 - DL: 1930-1990 MHz

Canales

- **Radiocanal**: frecuencia (portadora); o bien pareja de frecuencias (UL y DL) ← **FDMA**
- **Canal físico**: intervalo temporal de un radiocanal ← **TDMA**
- **Canal lógico**: cada tipo de información enviada por el canal físico ← **Multiplexación temporal**

Numeración de radiocanales

ARFCN (*Absolute Radio Frequency Channel Number*):

– GSM 900: 1–124

$$f_{UL} = 890 + 0,2n \text{ (MHz)}; f_{DL} = f_{UL} + 45 \text{ (MHz)}$$

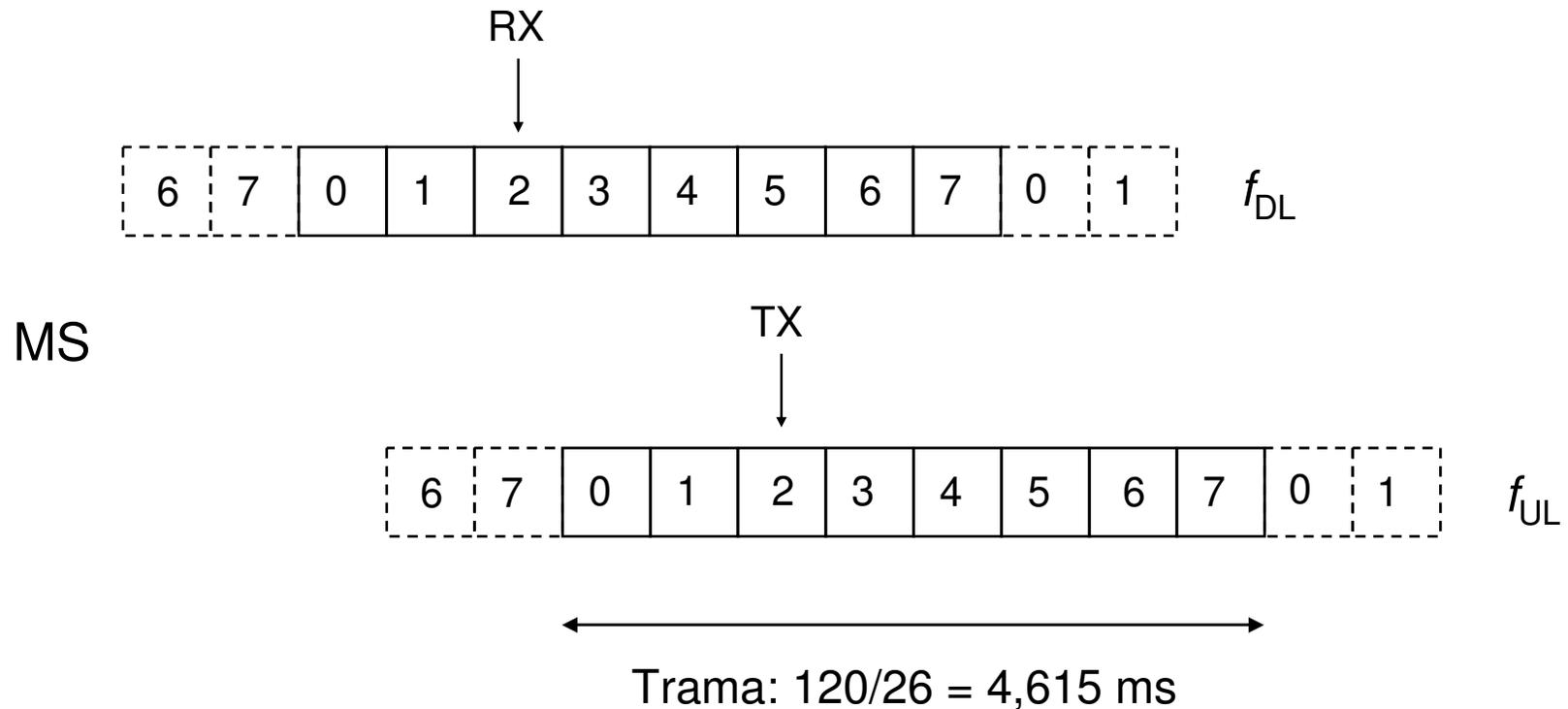
– E-GSM 900: 975–1023

$$f_{UL} = 890 + 0,2(n-1024) \text{ (MHz)}; f_{DL} = f_{UL} + 45 \text{ (MHz)}$$

– GSM 1800: 512–885

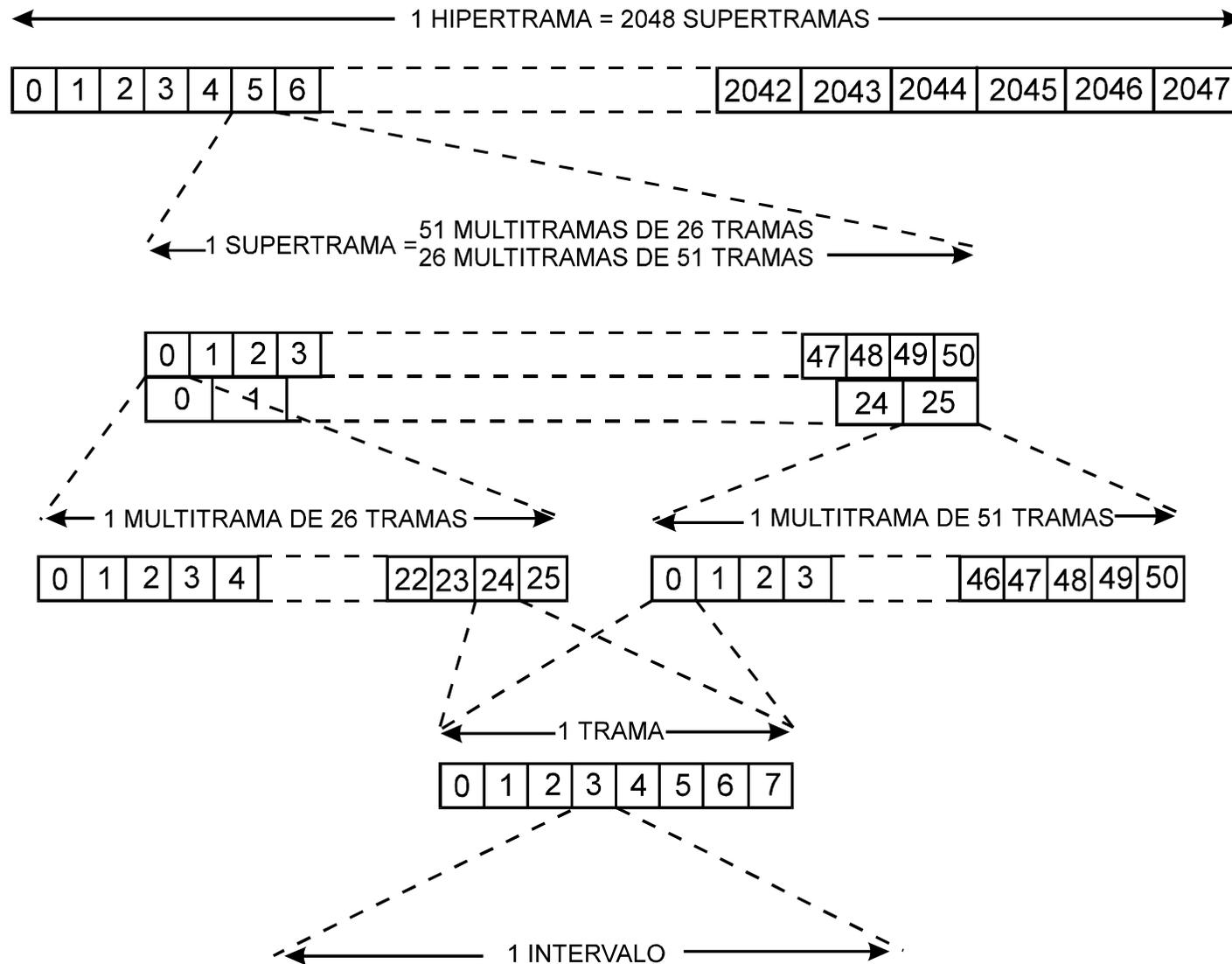
$$f_{UL} = 1710,20 + 0,2(n-512) \text{ (MHz)}; f_{DL} = f_{UL} + 95 \text{ (MHz)}$$

Estructura TDMA



- Intervalos de UL y DL separados (se evita duplexor en el móvil).
- Resto del tiempo: medidas y cambio de frecuencia RX-TX.
- Para cada intervalo, la frecuencia puede ir variando trama a trama (*Frequency Hopping*, FH).

Jerarquía TDMA



Canales lógicos

- De señalización comunes:
 - BCCH (DL): información general de configuración
 - FCCH (DL): referencia de frecuencia; sincronización de trama
 - SCH (DL): sincronización de nivel superior e información (BSIC)
 - PCH (DL): aviso (*paging*) a móviles
 - RACH (UL): acceso de los móviles (petición de canal)
 - AGCH (DL): respuesta a móviles (asignación de canal)
- De señalización dedicados:
 - SDCCH (UL y DL): independiente, para señalización y SMS
 - SACCH (UL y DL): asociado al TCH para señalización “lenta”
 - FACCH (UL y DL): asociado al TCH para señalización “rápida”
- De tráfico (dedicados):
 - TCH (UL y DL): información de usuario. Varios tipos:
 - o TCH/F (*Full rate speech*): voz a 13 kb/s
 - o TCH/H (*Half rate speech*): voz a 6,5 kb/s
 - o Otros, para datos en modo circuito.

Difusión

“Comunes”
(CCCH)

Dedicados

Denominación de los canales lógicos

BCCH: *Broadcast Control Channel*

FCCH: *Frequency Correction Channel*

SCH: *Synchronization Channel*

PCH: *Paging Channel*

RACH: *Random Access Channel*

AGCH: *Access Grant Channel*

SDCCH: *Stand-Alone Dedicated Channel*

SACCH: *Slow Associated Control Channel*

FACCH: *Fast Associated Control Channel*

TCH: *Traffic Channel.*

Correspondencia entre canales lógicos y físicos

En cada canal físico, los canales lógicos se multiplexan en el tiempo mediante **multitramas** (*multitrames*, MF):

- MF26, para tráfico y canales de señalización asociados
- MF51, para el resto de señalización

Se definen cinco tipos de correspondencia (multitramas):

1. 1 TCH/F con sus SACCH y FACCH: MF26
(Tráfico a velocidad completa)
2. 2 TCH/H con sus SACCH y FACCH: MF26
(Tráfico a velocidad mitad)
3. Difusión y CCCH: MF51
(Señalización descombinada: canales comunes)
4. 8 SDCCH: MF51
(Señalización descombinada: canales dedicados)
5. 4 SDCCH; difusión y CCCH: MF51
(Señalización combinada)

MF51

F: FCCH; S: SCH; B: BCCH; C: PCH/AGCH; R: RACH

Di: *i*-ésimo SDCCH, parte de datos

Ai: *i*-ésimo SDCCH, parte de señalización asociada (similar a SACCH)

- Se usará señalización combinada o descombinada en función de la capacidad necesaria en los CCCH y SDCCH.
- Si se requiere más capacidad para CCCH que la dada por (3), pueden utilizarse más canales físicos (números 2, 4 y 6), que usarán (3) pero sin FCCH ni SCH.
- La posición de FCCH, SCH y BCCH es igual en (3) y en (5).
- El reparto de capacidad entre PCH y AGCH es configurable.
- Un móvil debe escuchar el PCH sólo en ciertas tramas (recepción discontinua, DRX), según la configuración de la célula.

DL

n° trama 0

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	FCCH	D0	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
1	SCH	D0	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
2	BCCH	D0	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
3	BCCH	D0	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
4	BCCH	D1	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
5	BCCH	D1	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
6	CCCH	D1	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
7	CCCH	D1	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
8	CCCH	D2	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
9	CCCH	D2	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
10	FCCH	D2	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
11	SCH	D2	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
12	CCCH	D3	SACCH	IDLE	SACCH	IDLE	SACCH	IDLE
13	CCCH	D3	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
14	CCCH	D3	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
15	CCCH	D3	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
16	CCCH	D4	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
17	CCCH	D4	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
18	CCCH	D4	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
19	CCCH	D4	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
20	FCCH	D5	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
21	SCH	D5	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
22	CCCH	D5	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
23	CCCH	D5	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
24	CCCH	D6	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
25	CCCH	D6	IDLE	SACCH	IDLE	SACCH	IDLE	SACCH
26	CCCH	D6	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
27	CCCH	D6	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
28	CCCH	D7	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
29	CCCH	D7	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
30	FCCH	D7	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
31	SCH	D7	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
32	CCCH	A0	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
33	CCCH	A0	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
34	CCCH	A0	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
35	CCCH	A0	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
36	CCCH	A1	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
37	CCCH	A1	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
38	CCCH	A1	SACCH	IDLE	SACCH	IDLE	SACCH	IDLE
39	CCCH	A1	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
40	FCCH	A2	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
41	SCH	A2	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
42	CCCH	A2	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
43	CCCH	A2	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
44	CCCH	A3	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
45	CCCH	A3	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
46	CCCH	A3	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
47	CCCH	A3	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
48	CCCH	IDLE	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
49	CCCH	IDLE	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
50	IDLE	IDLE	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH

UL

n° trama 0

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	RACH	A5	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
1	RACH	A5	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
2	RACH	A5	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
3	RACH	A5	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
4	RACH	A6	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
5	RACH	A6	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
6	RACH	A6	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
7	RACH	A6	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
8	RACH	A7	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
9	RACH	A7	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
10	RACH	A7	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
11	RACH	A7	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
12	RACH	IDLE	SACCH	IDLE	SACCH	IDLE	SACCH	IDLE
13	RACH	IDLE	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
14	RACH	IDLE	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
15	RACH	D0	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
16	RACH	D0	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
17	RACH	D0	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
18	RACH	D0	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
19	RACH	D1	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
20	RACH	D1	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
21	RACH	D1	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
22	RACH	D1	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
23	RACH	D2	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
24	RACH	D2	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
25	RACH	D2	IDLE	SACCH	IDLE	SACCH	IDLE	SACCH
26	RACH	D2	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
27	RACH	D3	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
28	RACH	D3	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
29	RACH	D3	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
30	RACH	D3	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
31	RACH	D4	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
32	RACH	D4	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
33	RACH	D4	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
34	RACH	D4	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
35	RACH	D5	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
36	RACH	D5	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
37	RACH	D5	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
38	RACH	D5	SACCH	IDLE	SACCH	IDLE	SACCH	IDLE
39	RACH	D6	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
40	RACH	D6	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
41	RACH	D6	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
42	RACH	D6	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
43	RACH	D7	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
44	RACH	D7	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
45	RACH	D7	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
46	RACH	D7	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
47	RACH	A0	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
48	RACH	A0	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
49	RACH	A0	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
50	RACH	A0	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH

Ráfagas

Ráfaga normal (N)

TB 3	Información 57	SF 1	Secuencia de entrenamiento 26	SF 1	Información 57	TB 3	GP 8,25
---------	-------------------	---------	----------------------------------	---------	-------------------	---------	------------

Ráfaga de corrección de frecuencia (F)

TB 3	Bits fijos, iguales a 0 142					TB 3	GP 8,25
---------	--------------------------------	--	--	--	--	---------	------------

Ráfaga de sincronización (S)

TB 3	Información 39	Secuencia de entrenamiento 64		Información 39	TB 3	GP 8,25
---------	-------------------	----------------------------------	--	-------------------	---------	------------

Ráfaga de acceso (A)

TB 8	Secuencia de entrenamiento 41	Información 36	TB 3	GP 68,25		
---------	----------------------------------	-------------------	---------	-------------	--	--

Ráfaga muda (*dummy*) (D)

TB 3	Bits fijos 142					TB 3	GP 8,25
---------	----------------	--	--	--	--	---------	------------

TB: *Tail Bits*, iguales a 0; SF: *Stealing Flag*: 1 si FACCH; GP: *Guard period*

- Uso: F: FCCH; S: SCH; A: RACH; N: resto; D: como NB pero de relleno.
- Para la ráfaga "N" hay 8 posibles secuencias de entrenamiento. Las secuencias de las ráfagas "S" y "A" son únicas, y más largas (recepción inicial).

Portadora baliza

- Cada estación base (célula o sector) tiene asignadas 1 ó más portadoras (radiocanales)
- Una de las portadoras es la **portadora baliza**, o “**portadora BCCH**”:
 - Contiene la señalización común, en el intervalo 0 (con o sin combinar con SDCCH). Si es necesario, pueden utilizarse intervalos adicionales para señalización común (poco habitual). En ese caso, el intervalo 0 es el único que contiene el canal FCCH.
 - Los restantes intervalos (utilizados normalmente para SDCCH o TCH) se rellenan con ráfagas “mudas” (*dummy*) si no tienen información que transmitir.
 - Se transmite con potencia constante.
 - Los móviles la utilizan para hacer medidas de nivel recibido.

4. Modulación, codificación, entrelazado

Modulación

- GMSK (*Gaussian Minimum Shift Keying*) binaria diferencial.
- Velocidad de la modulación: $R = 270,833$ b/s.
- $\Delta f = R/4$: MSK (diferencial); desplazamiento positivo para bits consecutivos iguales, negativo para bits diferentes.
- Fase de la señal modulada, $\varphi(t)$:

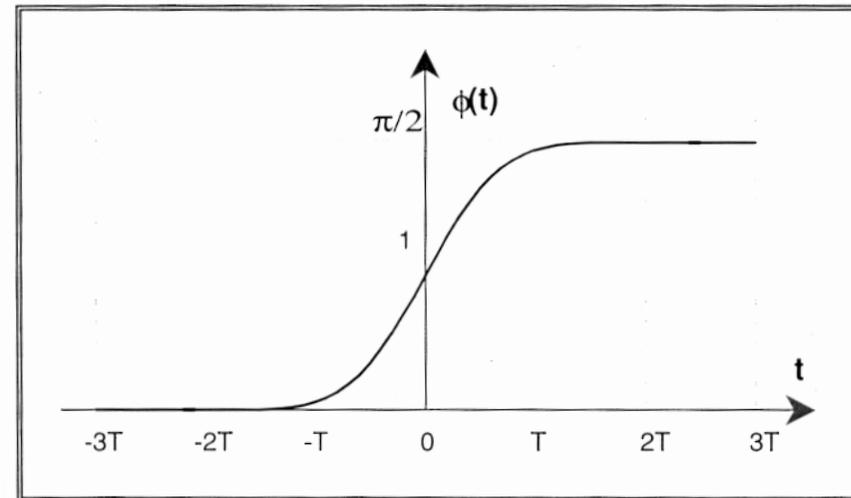
$$\varphi(t) = \varphi_0 + \sum_i d_i \Phi(t - iT_B)$$

$$d_i = \begin{cases} 1 & \text{si } b_i = b_{i-1} \\ -1 & \text{si } b_i \neq b_{i-1} \end{cases}$$

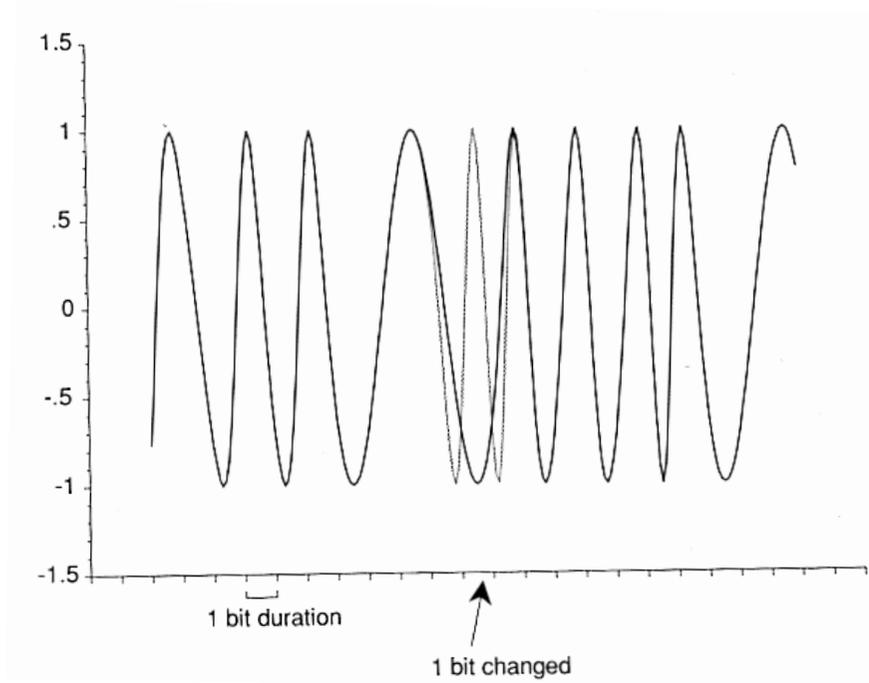
b_i : bit i -ésimo

T_B : periodo de bit

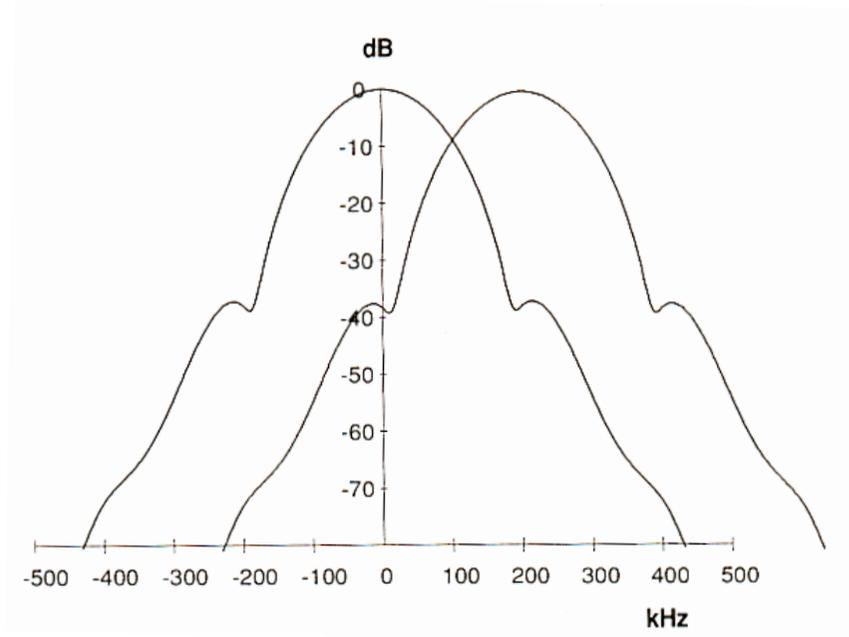
$\Phi(t)$: rampa MSK ($0-\pi/2$) filtrada



Efectos de la conformación espectral



Interferencia entre símbolos
producida por la conformación
(se muestra el efecto de un bit)



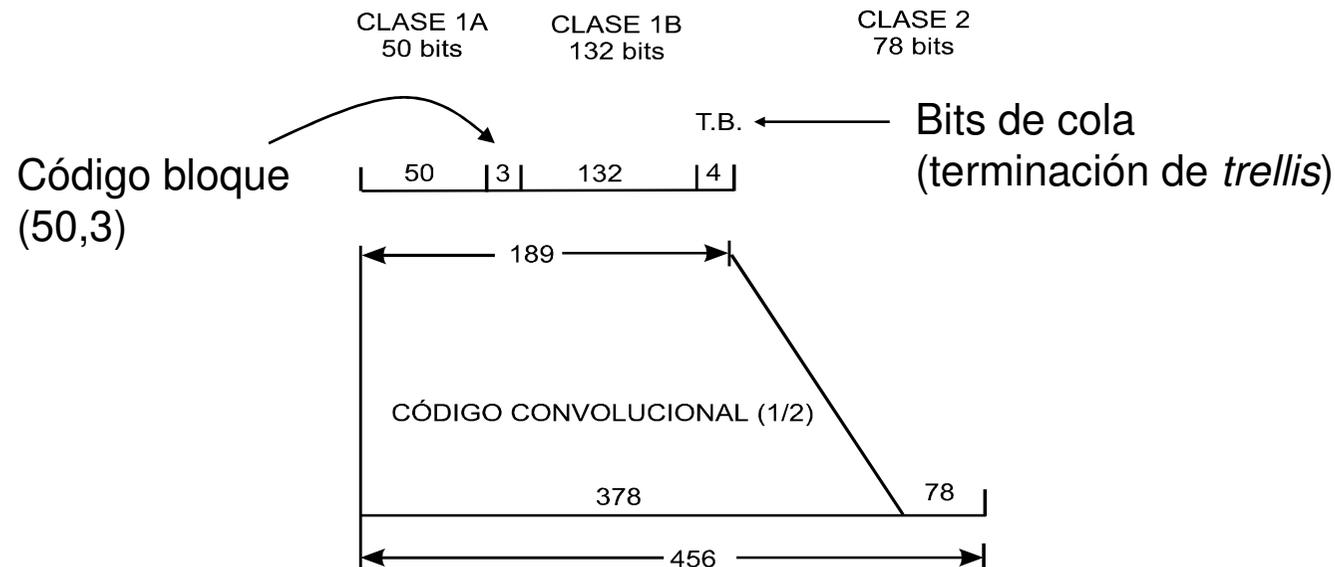
Ocupación espectral
(se muestran dos
radiocanales contiguos)

Codificación de canal

- Distintas variantes, en función del canal lógico.
- Se utilizan:
 - Códigos correctores:
 - Convolucionales, de longitud (*constraint length*) 5 y tasa 1/2 (voz y señalización) o menor (tráfico de datos).
 - Códigos detectores:
 - Código *Fire*: código bloque lineal, con buenas propiedades de detección de errores a ráfagas.
 - Otros códigos bloque lineales.
 - Entrelazado: profundidad entre 1 y 8 ráfagas.

Codificación de canal para TCH/F

- El codificador de fuente para voz FR (*full rate*) entrega bits a 13 kb/s, en bloques (“tramas”) de 260 bits cada 20 ms.
- Los bits de cada bloque se dividen en tres clases: 1A, 1B y 2.



- Velocidad resultante tras la codificación: $456/20 = 22,8$ kb/s.

Codificación de canal para canales de señalización

- Los bits van más protegidos que en el TCH/F.
- Todos los bits se protegen por igual.
- RACH y SCH tienen una codificación diferente al resto de canales de señalización.

Entrelazado para TCH/F

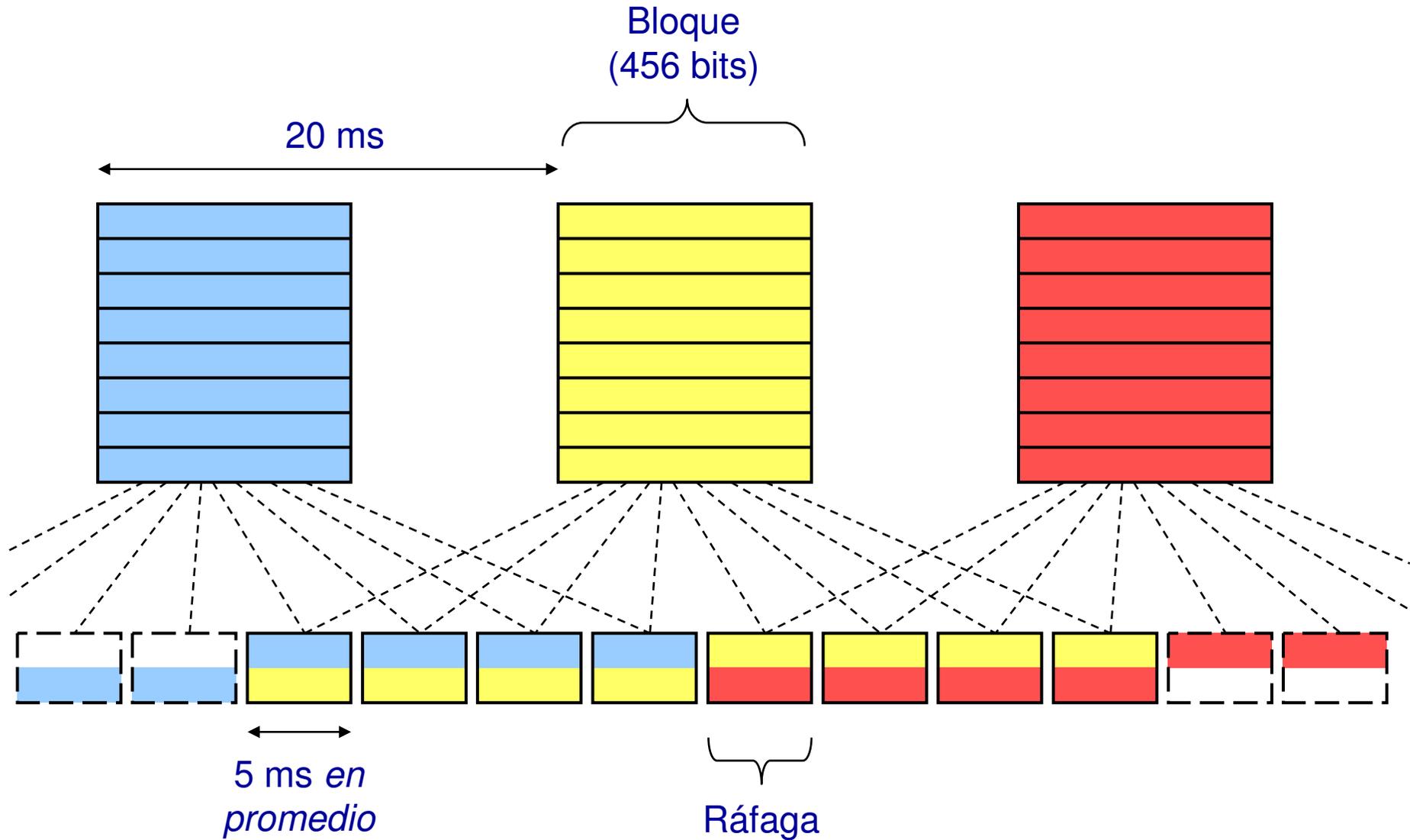
Cada bloque de 456 bits:

0	8	·	·	·	·	·	448	Bits pares de la ráfaga n
1	9	·	·	·	·	·	449	Bits pares de la ráfaga $n+1$
2	10	·	·	·	·	·	450	Bits pares de la ráfaga $n+2$
3	11	·	·	·	·	·	451	Bits pares de la ráfaga $n+3$
4	12	·	·	·	·	·	452	Bits impares de la ráfaga $n+4$
5	13	·	·	·	·	·	453	Bits impares de la ráfaga $n+5$
6	14	·	·	·	·	·	454	Bits impares de la ráfaga $n+6$
7	15	·	·	·	·	·	455	Bits impares de la ráfaga $n+7$


57 bits

Cada bloque de 20 ms se distribuye en 8 “medias ráfagas”. En promedio hay una ráfaga cada $120/24 = 5$ ms: 4 ráfagas por cada bloque de 20 ms.

Entrelazado para TCH/F



5. Procesos asociados a la transmisión:
avance temporal,
control de potencia,
transmisión discontinua,
salto de frecuencia

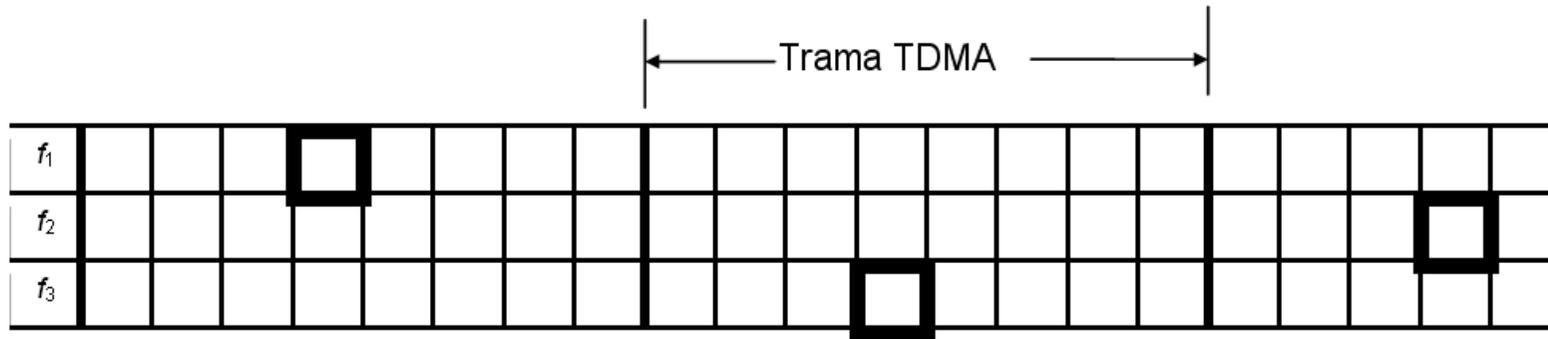
Avance temporal (TA)

- Necesario en UL para compensar diferencias de retardo de propagación entre móviles.
- Realimentación negativa: medida en UL y corrección en DL:
 - Medida en UL: se utiliza la secuencia de entrenamiento, aprovechando sus buenas propiedades de autocorrelación.
 - Corrección en DL: se envían órdenes por el SACCH, o por la parte “A” del SDCCH. Avance múltiplo de T_B , entre 0 y 63.
- Tolerancia: tiempo de guarda: $8,25 T_B$ en la ráfaga normal.
- En el acceso inicial (RACH) aún no hay TA. Por ello:
 - Tiempo de guarda de $68,25 T_B$.
 - Secuencia de entrenamiento más larga.
- Límite: $2d_{\text{máx}} / c = t_{\text{máx}}$: aproximadamente 35 km, para $t_{\text{máx}} = 63 T_B$.
- Células de “alcance extendido”: se utilizan sólo los intervalos 0, 2, 4 y 6, dejándose libres el resto.

Ecuación

- Las especificaciones de GSM no imponen un algoritmo de ecualización, sino unas prestaciones mínimas.
- Se suele utilizar el **algoritmo de Viterbi**, que es óptimo. La ecualización puede integrarse con la decodificación del código convolucional.
- La ecualización requiere **estimar el canal**. Para ello se utiliza la secuencia de entrenamiento, situada en el centro de la ráfaga.
- La estimación debe ser válida en todo el intervalo.
- Límites:
 - Tiempo de coherencia del canal $\gg T_{\text{intervalo}}$ (0,577 ms).
 - Dispersión de retardo del canal $< 16 \mu\text{s}$ (las especificaciones GSM imponen que el receptor debe ser capaz de ecualizar retardos de hasta $16 \mu\text{s}$).

Salto en frecuencia (FH)



- Característica opcional para TCH y SDCCH.
- **Diversificación** en frecuencia (dual del entrelazado temporal).
- Ventajas:
 - Promediado de señal deseada frente a desvanecimiento multitrayecto e interferencias.
 - Promediado de interferencia producida en cada radiocanal.
- El patrón de salto se define por medio de:
 - Lista de frecuencias entre las que se salta
 - HSN (*Hopping Sequence Number*): secuencia de salto
 - MAIO (*Mobile Allocation Index Offset*): origen temporal.

Control de potencia

- Característica opcional en UL y en DL.
- Ventajas
 - Reduce la interferencia
 - Alarga la duración de la batería en el móvil.
- Velocidad: lento: 2 órdenes / s, aproximadamente.
- Margen:
 - UL: 13 dBm – potencia máxima; pasos de 2 dB
 - DL: máximo 30 dB; pasos de 2 dB.
- La potencia de transmisión se selecciona:
 - En UL: a partir de órdenes de la base (SACCH)
 - En DL: a partir medidas enviadas por el móvil (SACCH).
- La potencia inicial en UL se indica en el BCCH.
- No se aplica control de potencia en la portadora baliza. Si se emplea FH, en esa frecuencia la potencia será fija.

Transmisión discontinua en TCH (DTX)

- Característica opcional en UL y en DL.
- El codificador de voz detecta la presencia o no de voz.
- Cuando no hay voz, se transmite la señal de ruido con velocidad binaria menor (*comfort noise*).
 - Se transmite un bloque SID (*silence descriptor frame*) al menos 2 veces por segundo.
 - Los bloques SID contienen combinaciones de valores de los bits no permitidas en las tramas normales.
- Ventajas
 - Reduce la interferencia
 - Alarga la duración de la batería en el móvil.

Recepción discontinua en PCH (DRX)

- El móvil sólo escucha el PCH durante una fracción del tiempo total (subcanal de *paging*).
- Para ello los usuarios se dividen en grupos, en función de las tres últimas cifras del IMSI.
- Ventaja: se reduce el consumo de batería en modo desocupado.
- Inconveniente: pequeño retardo adicional en el establecimiento de las llamadas.

6. Protocolos.

Gestión de recursos radio.

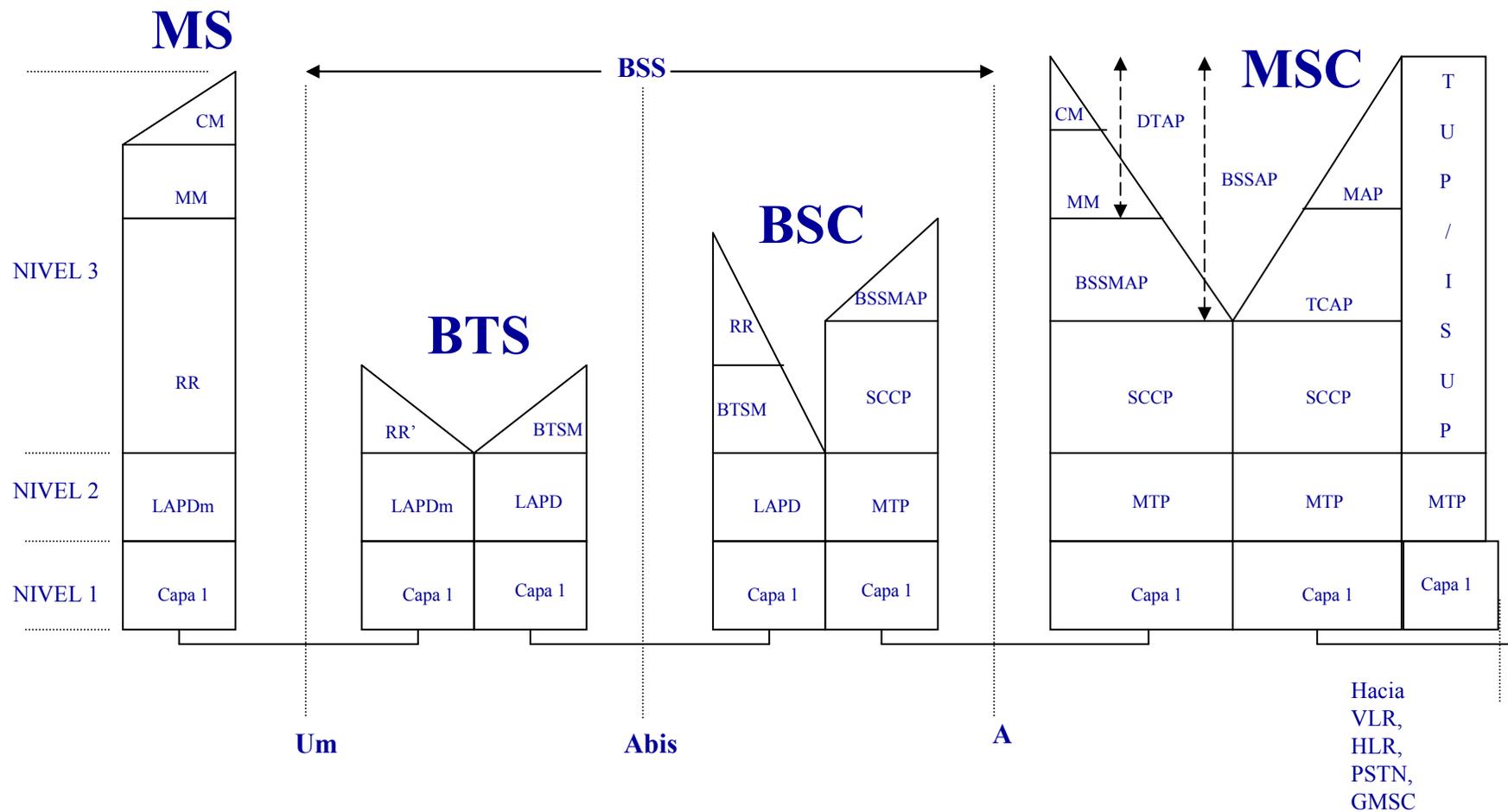
Funcionamiento de los canales radio.

Gestión de movilidad.

Gestión de la comunicación.

Servicios

Protocolos de Señalización



Protocolos de Señalización en la Interfaz Radio

Capa 1	Transmisión física (modulación, codificación, etc)
Capa 2: LAPDm	Protocolo de enlace (retransmisiones, control de flujo)
Capa 3, subcapa RR	Gestión de conexiones en la interfaz radio
Capa 3, subcapa MM	Seguimiento de usuarios en modo desocupado y funciones de seguridad
Capa 3, subcapa CM	Servicios de llamada, SMS y suplementarios

Enlace: LAPDm (*LAPD mobile*)

Funciones principales:

- Estructuración de la información en bloques, cuyo inicio y final se indican mediante patrones de bits predefinidos
- Segmentación y reensamblado de unidades de capas superiores
- Detección de errores
 - Modo no confirmado (*non-acknowledged*): se descartan los bloques erróneos
 - Modo confirmado (*acknowledged*): se retransmiten los bloques erróneos

Gestión radio: RR (*Radio Resource*)

Funciones:

- Asignación del canal
- Liberación del canal
- Traspaso
- Control de potencia
- Avance temporal

Estados del móvil y medidas

- Estado **desocupado** (*idle mode*):
 - El móvil escucha los canales de señalización común.
 - Realiza medidas de potencia en la portadora baliza de su célula y de las células vecinas (para posible reelección de célula).
 - Lista de portadoras baliza de células vecinas (enviada por la red en el BCCH).
 - Puede enviar solicitud de acceso por el RACH.
- Estado **ocupado** (*dedicated mode*)
 - El móvil tiene un canal asignado (SDCCH o TCH), por el que transmite y recibe.
 - Realiza medidas de potencia y calidad en su canal, y de potencia en portadoras baliza vecinas (para posible traspaso).
 - Lista de portadoras baliza de células vecinas (enviada por la red en el canal asignado).
 - Envía medidas a la base, cada 0.5 s aproximadamente.

Información enviada en el BCCH

El BCCH envía información de configuración de la red, denominada “información de sistema”:

- MCC, MNC, LAI, CI
- Lista de frecuencias para medidas en modo desocupado (portadoras baliza de células vecinas)
- Configuración de canales de señalización: combinada o descombinada
- Configuración de PACH y AGCH (qué bloques CCCH se usan para cada canal)
- Parámetros de uso del RACH: tiempo medio entre retransmisiones, número máximo de retransmisiones
- Portadoras asignadas a la célula
- Célula prohibida (sólo traspasos)
- Clases de acceso permitidas (uso del RACH)
- Etc.

FCCH y SCH

El FCCH se utiliza como

- Referencia de frecuencia (ráfaga “F”), y sincronismo grueso de intervalo.
- Sincronismo de trama (define el intervalo 0)

El SCH contiene:

- Secuencia de entrenamiento larga (ráfaga “S”)
- Parámetros que indican la posición de la trama dentro de la jerarquía TDMA: sincronismo de nivel superior.
- BSIC (*Base Station Identity Code*) (6 bits): permite diferenciar balizas de la misma frecuencia.

Información enviada en el RACH

Se utiliza para el acceso inicial del móvil (solicitud de canal).

Consiste en una ráfaga de acceso, que contiene:

- Breve descripción de la causa de acceso
- Número aleatorio generado por el móvil

El móvil sólo puede enviar la ráfaga si pertenece a una clase de acceso permitida (se utiliza para controlar posibles congestiones).

Información enviada en el PCH y AGCH

PCH

Mensajes de búsqueda o aviso a los móviles de la LA.

Contienen:

- Identidad del usuario al que se busca (TMSI o IMSI).

AGCH

Mensajes de asignación de canal, tras petición del móvil.

Contienen:

- Descripción del canal:
 - Intervalo
 - Portadora, o parámetros de salto si se utiliza FH
 - Subcanal, en el caso de SDCCH
- Causa de acceso y referencia aleatoria utilizadas por el móvil en el acceso (RACH).

Información enviada en el TCH

- Información de tráfico (voz, datos).
- TCH/F: 22,8 kb/s brutos (13 kb/s antes de codificación de canal):

24 ráfagas cada 26 tramas, con 114 bits:

$$114 / (120/26) \cdot 24/26 = 22,8 \text{ kb/s.}$$

Información de señalización asociada

- En el TCH:
 - Señalización asociada “lenta” (SACCH):
 - DL: control de potencia, avance temporal, información del sistema (lista de vecinas), SMS.
 - UL: informes de medidas.
 - Señalización asociada “rápida” (FACCH):
 - Contiene el resto de mensajes de señalización (establecimiento de llamada, órdenes de traspaso,...)
 - Sustituye al TCH en cualquier momento (posible pérdida de información de tráfico).
 - En la ráfaga normal, SF=1 indica que el campo de datos correspondiente (bits pares o impares) contiene señalización.
- En el SDCCH:
 - Señalización asociada “lenta” (parte “A” en la MF51)
 - (No existe en este caso un subcanal para señalización “rápida”, ya que el propio SDCCH es para señalización).

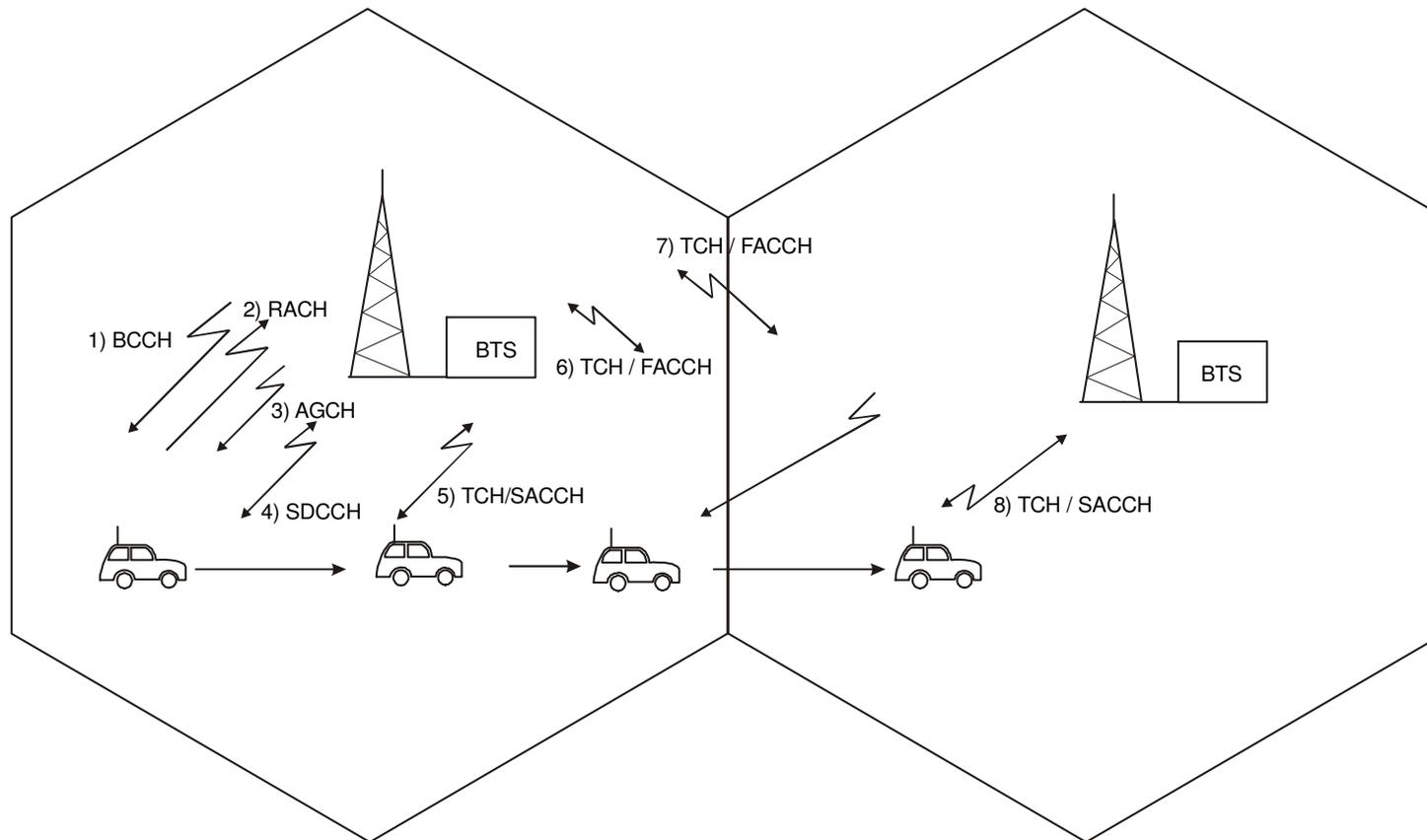
Informes de medidas (modo ocupado)

- Contenido:
 - Nivel recibido en canal asignado: “RxLev”
RxLev: $P \text{ (dBm)} + 110$: 0–63.
 - Calidad en el canal asignado: “RxQual”
RxQual: BER (estimada) antes del decodificador de canal: 0–7.
 - Nivel recibido (RxLev) y BSIC en las 6 portadoras baliza con mayor nivel.
 - Si se ha utilizado o no DTX en transmisión.
- Se envían por:
 - SACCH asociado al TCH: 1 vez cada 480 ms (4 MF26)
 - Parte de señalización asociada (“A”) del SDCCH: 1 vez cada 471 ms (2 MF51)
- Tipos de medidas:
 - “Full”: en todas las tramas
 - “Sub”: en las que se transmiten incluso si hay DTX (SACCH, SID).

Traspaso

- Lo decide la red a partir de:
 - Informes de medidas del móvil
 - Medidas de las bases (potencia, calidad, TA)
- La red prepara la nueva conexión y envía una orden de traspaso al móvil
- El móvil inicia la transmisión en la nueva célula.
Normalmente comienza transmitiendo ráfagas de acceso, hasta que se establece el nuevo avance temporal.

Canales usados en una llamada



Gestión de movilidad: MM (*Mobility Management*)

Funciones:

- Selección de red y de célula
- Actualización de posición
- Registro (IMSI *attach*) y des-registro (IMSI *detach*)
- Reasignación de TMSI
- Autenticación del usuario
- Validación del terminal móvil
- Cifrado en la interfaz radio

Selección de red y de célula

Selección de red:

1. Red del operador
2. Si no es accesible, se prueban otras, excepto redes prohibidas.

Selección de célula (modo desocupado):

- Criterio:
 - Por nivel recibido, pero dando más peso a unas células que a otras (de acuerdo con parámetros enviados por el BCCH)
 - Histéresis para células de distinta LA.
- Medidas del móvil respecto a células vecinas:
 - Nivel recibido (portadora baliza)
 - Decodificación de parámetros (BCCH): operador, LAI, célula prohibida.

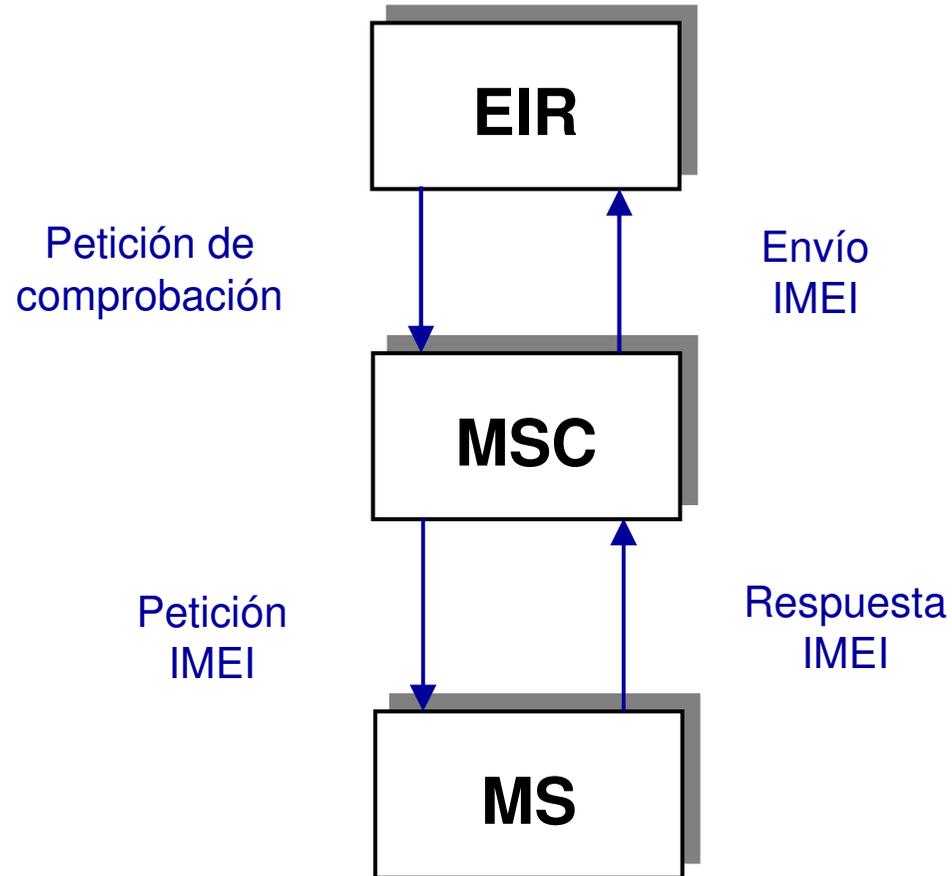
Actualización de posición, registro, des-registro

- Se utiliza el SDCCH.
- El registro (*IMSI Attach*) y des-registro (*IMSI Detach*) son opcionales (en el BCCH de cada célula se indica si se deben emplear o no). Suelen emplearse.
- Actualización de posición (*LA Update*) y registro: son siempre iniciados por el móvil. Hay tres tipos:
 - Normal (cambio de LA)
 - Periódica (tiempo definido por la red)
 - Registro (*IMSI attach*).
- Des-registro:
 - Iniciado por el móvil
 - Implícito: puede llevarlo a cabo la red si no recibe la actualización de posición periódica.

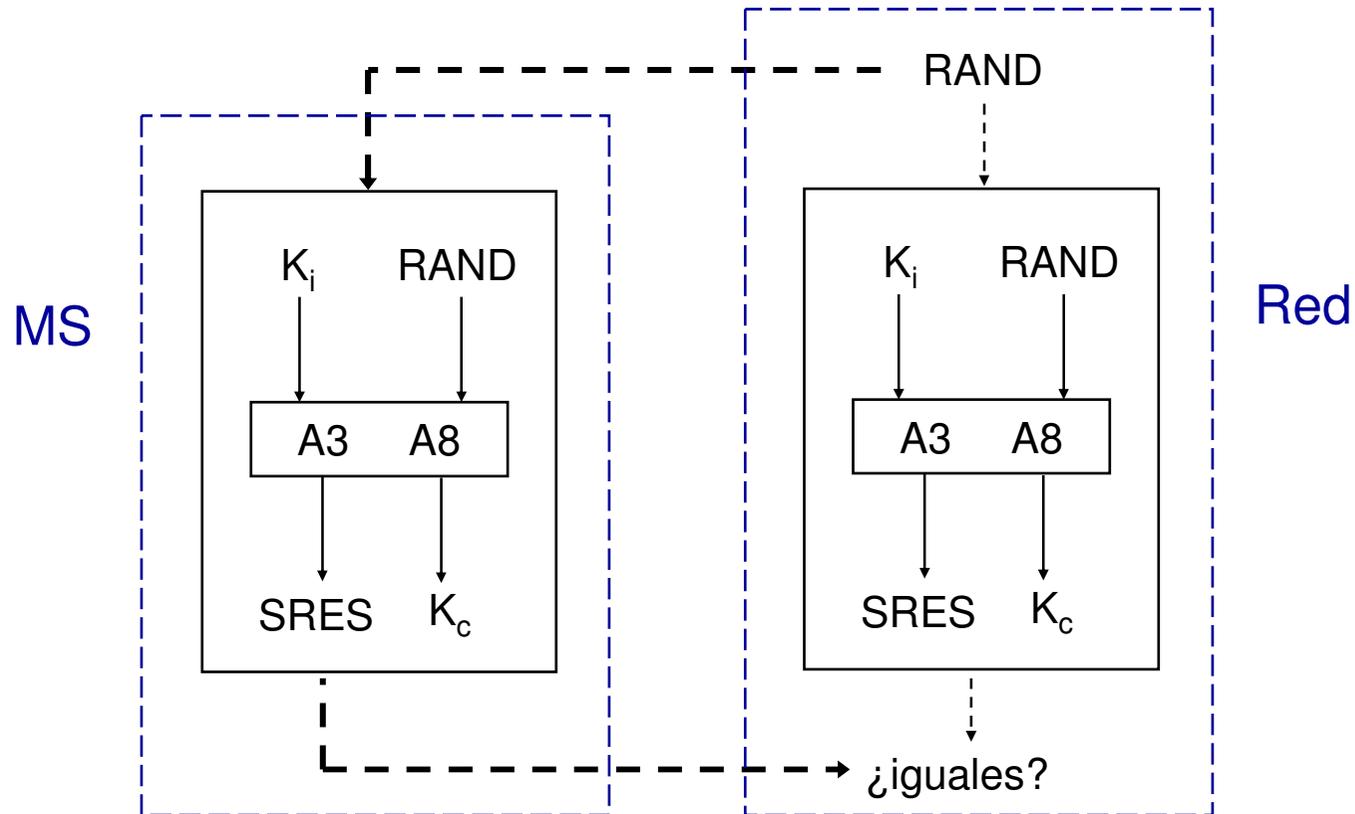
Reasignación de TMSI

- Se lleva a cabo por decisión de la red.
- La red envía el nuevo TMSI al móvil, y éste confirma su recepción.
- El TMSI queda almacenado en la tarjeta SIM, hasta que vuelva a ser modificado.

Validación del terminal móvil

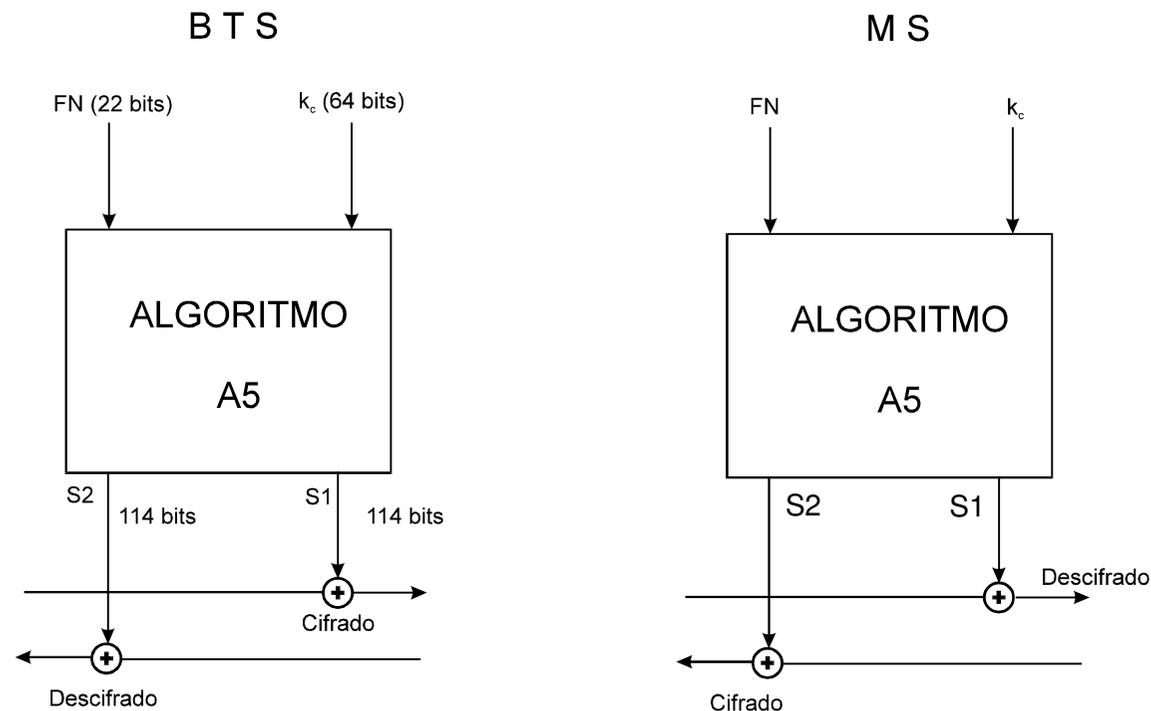


Autenticación del usuario



- Algoritmo (secreto): A3 (hay varias versiones): utiliza:
 - Clave (secreta) de identificación, K_i : se almacena en SIM y AuC. La SIM protege la K_i contra intentos de lectura.
 - Número aleatorio generado por la red, RAND.

Cifrado en la interfaz radio



- Se pasa al modo cifrado cuando lo ordena la red.
- Algoritmo (secreto): A5 (varias versiones) en SIM y BTS: utiliza:
 - Número de trama dentro de la hipertrama (FN)
 - Clave de cifrado, K_c . En cada autenticación se renueva (algoritmo A8) en la SIM y en el AuC, y se guarda para la próxima vez que se pase al modo cifrado.

Gestión de comunicación: *CM (Communication Management)*

Funciones:

- Establecimiento y liberación de llamadas
- Servicios suplementarios (desvío de llamadas, buzón de voz, ...)
- Envío y recepción de mensajes cortos.

Servicios

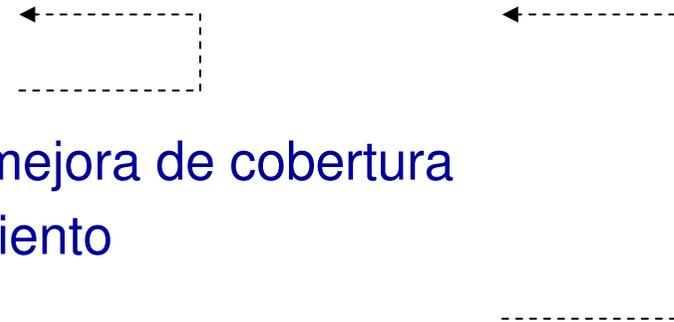
- Voz:
 - FR (*full rate*): 13 kb/s. Método habitual.
 - HR (*half rate*): 6,5 kb/s. Muy poco utilizado.
 - EFR (*enhanced full rate*): 12,2 kb/s. Más reciente, utilizado también en UMTS.
- SMS
- Datos
 - Velocidades hasta 9,6 kb/s
 - Modos transparente (sin retransmisiones) y no transparente (con retransmisiones)
- Servicios suplementarios

7. Planificación. Balances de enlace

Planificación radio en GSM

Etapas de la planificación:

1. Balances de enlace
2. Selección de emplazamientos
3. Cálculos de cobertura iniciales
4. Ajuste de parámetros de bases y mejora de cobertura
5. Cálculos de tráfico y dimensionamiento
6. Asignación de frecuencias



Fases de despliegue de la red:

- I. Cobertura: planificación sin tener en cuenta la etapa 5
- II. Capacidad: ampliación de la planificación incluyendo la etapa 5

Balance de enlace (ejemplo)

		DL	UL	Comentarios
A	Potencia transmitida (dBm)	43	33	
B	Pérdidas en transmisor (dB)	4	0	DL: combinador, duplexor, cable.
C	Ganancia de antena transmisora (dBi)	17	-3	UL: incluye atenuación por el cuerpo del usuario
D	PIRE (dBm)	56	30	$D = A - B + C$
E	Sensibilidad (dBm)	-99	-101	Referida a la salida de antena
F	Ganancia por diversidad (dB)	0	3	Reducción de sensibilidad por diversidad de recepción
G	Margen log-normal (dB)	10	10	Depende del porcentaje perimetral y de la desviación típica
H	Margen de interferencia (dB)	3	3	Incremento de sensibilidad en presencia de interferencia
I	Potencia mediana necesaria en recepción (dBm)	-86	-91	$I = E - F + G + H$
J	Ganancia de antena receptora (dBi)	-3	17	DL: incluye atenuación por el cuerpo del usuario
K	Atenuación compensable (dB)	139	138	$K = D - I + J$
L	Pérdida por penetración en interiores (dB)	15	15	
M	Atenuación en exteriores (dB)	124	123	

- El resultado principal es la **atenuación compensable**: máxima pérdida básica determinista (modelo de propagación) que puede admitirse.
- La sensibilidad incluye:
 - Pérdidas del equipo receptor, al estar referida a la salida de antena
 - Ruido total del equipo receptor (F_{sis})
 - Efecto del multitrayecto (sensibilidad dinámica).

Dimensionamiento (I)

- TCH: tráfico principalmente de voz:

$$a_{\text{TCH}} = t_{\text{llam}}(\text{s}) \cdot N_{\text{llam}}(\text{llam/h}) / 3600$$

$$A_{\text{TCH}} = M \cdot a_{\text{TCH}}$$

Estrategia de asignación de TCH (temprana/tardía): incremento de t_{llam}
Probabilidad de bloqueo objetivo.

- SDCCH: varios tipos de tráfico:

- Actualizaciones de posición (incluyendo registros)
- Establecimiento de llamadas originadas en el móvil
- Establecimiento de llamadas terminadas en el móvil
- Mensajes cortos (SMS)

$$a_{\text{SDCCH}} = (t_{\text{LU}} \cdot N_{\text{LU}} + t_{\text{MO}} \cdot N_{\text{MO}} + t_{\text{MT}} \cdot N_{\text{MT}} + t_{\text{SMS}} \cdot N_{\text{SMS}}) / 3600$$

$$A_{\text{SDCCH}} = M \cdot a_{\text{SDCCH}}$$

Probabilidad de bloqueo objetivo.

Dimensionamiento (II)

- PCH y AGCH: dos usos:
 - Tasa de avisos en la LA
 - Tasa de asignaciones de canal en la célula

Reparto de capacidad entre PCH y AGCH

Número de repeticiones de los mensajes

Retardo máximo objetivo en avisos y en asignaciones
- RACH: varias causas de utilización: como el SDCCH
 - Número medio de accesos / s
 - Valor máximo objetivo

8. Evolución de GSM: HSCSD, EDGE

HSCSD

- *High Speed Circuit Switched Data*
- Sistema de transmisión de datos a alta velocidad, vía GSM, con conmutación de circuitos
- Puede integrar múltiples canales (intervalos) en la interfaz radio
- Adecuado para flujo de datos constante
- Introduce un nuevo método de codificación de canal, con menor protección. Esto permite aumentar la velocidad por intervalo, de 9,6 kb/s (GSM) a 14,4 kb/s
- Requiere modificaciones menores en la red GSM:
 - Terminal móvil: compatible con HSCSD (la mayoría actualmente lo son). Distintas capacidades “multi-intervalo”.
 - Red fija: cambios *software*
- Proporciona conexiones transparentes/no, simétricas/no
 - Transparentes/no (sin/con ARQ)
 - Simétricas/no (velocidades en UL/DL iguales/no)

EDGE

- *Enhanced Data Rate for GSM Evolution.*
- Cambia el sistema de modulación: GMSK u 8-PSK.
- Varios métodos de codificación (como GPRS): tasa 0,37–1.
- Modulación y codificación adaptables, en función de las condiciones del canal de propagación.
- Puede integrar múltiples canales (intervalos) en la interfaz radio.
- Conmutación de circuitos o de paquetes.
- Velocidad máxima por intervalo en torno a 50 kb/s.
- Requiere cambios en la red:
 - Terminal móvil compatible.
 - Red fija: cambios *hardware* en estaciones base: desventaja.