

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE MADRID

ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR



PROYECTO FIN DE CARRERA
Ingeniería de Telecomunicación

**MODERNIZACIÓN DE LA RED DE TELEFONÍA MÓVIL DE UN
OPERADOR X: ACTIVIDADES DE SWAP (2G-3G) Y NUEVOS
DESPLIEGUES (3G-LTE)**

Víctor Manuel Sola Rodríguez

Abril 2016

**MODERNIZACIÓN DE LA RED DE TELEFONÍA MÓVIL DE UN
OPERADOR X: ACTIVIDADES DE SWAP (2G-3G) Y NUEVOS
DESPLIEGUES (3G-LTE)**

AUTOR: Víctor Manuel Sola Rodríguez

PONENTE: Bazil Taha Ahmed

TUTOR: Iván Pinar Domínguez

(Project Manager en LCC Spain & Portugal)

**Escuela Politécnica Superior
Universidad Autónoma de Madrid
Abril 2016**

RESUMEN

Actualmente está habiendo en España (y en el resto del mundo) muchos cambios en las redes de telefonía móvil, ya sea debido a la necesidad de actualizar sistemas (2G/3G) o de implantar nuevos que permitan el uso de las nuevas tecnologías como por ejemplo LTE.

Esto viene marcado por la cada vez más fuerte demanda por parte de la población de usar las comunicaciones móviles tanto en el entorno urbano como en el rural, y cada vez con mejor calidad y velocidades de transmisión.

El objetivo de este proyecto consiste en la descripción y explicación del proceso que suponen dichos cambios en la red, desde que se efectúa la obra en cuestión hasta que se comprueba que el usuario final tiene un servicio totalmente operativo y que cumple las expectativas que se le atribuyen.

En el proyecto se va a trabajar con las tecnologías de principal uso actualmente en las comunicaciones móviles: GSM, DCS, UMTS y LTE.

PALABRAS CLAVE

Comunicaciones móviles, 2G, 3G, LTE, SWAP, Implantación, Informes de obra, Medición y evaluación de señal.

ABSTRACT

Currently so many changes are happening in Spain (as around the world) in the mobile phone networks. Because of the necessity to update the existing systems (2G/3G) or to implement new ones which allow us to use new technologies like LTE.

This is happening because of the interest of the population to use better quality and faster mobile communications at urban and at rural environment.

The aim of this project is the description and the explanation of the process needed to do these changes at the net, from the beginning to the end of the work, when we check that the final user has a full operative service.

At this project we are going to work with the most used technologies in mobile communications: GSM, DCS, UMTS y LTE.

KEY WORDS

Mobile communications, 2G, 3G, LTE, SWAP, Implementation, Work Report, Signal Measurement and Evaluation.

ÍNDICE

RESUMEN	4
PALABRAS CLAVE	4
ABSTRACT	5
KEY WORDS.....	5
ACRÓNIMOS	11
AGRADECIMIENTOS.....	13
1. INTRODUCCIÓN	14
1.1 BREVE HISTORIA	14
GSM (2G).....	14
GPRS y EDGE (2.5G).....	14
UMTS (3G).....	15
HSPA, HSDPA y HSUPA (3.5G/3.75G).....	15
LTE (3.9/4G)	15
2. TECNOLOGÍAS	17
2.1 GSM.....	17
INTRODUCCIÓN	17
Características generales del sistema	17
Bandas de frecuencia	17
Control de potencia y clases de potencia de emisión	18
Handover	18
ARQUITECTURA DE RED GSM.....	20
MS: Estación Móvil.....	20
BSS: Subsistema de Estaciones Base	21
SS: Subsistema de Conmutación	21
OMC: Operation and Maintenance Center	22
ORGANIZACIÓN JERÁRQUICA DEL ACCESO TDMA	23
TIPO DE RÁFAGAS EN SISTEMAS GSM:	23
ESTRUCTURA JERÁRQUICA DE LAS TRAMAS EN EL SISTEMA GSM	25
CANALES LÓGICOS	26
CANALES DE TRÁFICO.....	26
CANALES DE CONTROL.....	26
ESTABLECIMIENTO DE LLAMADA	27
PROCEDIMIENTOS DE SINCRONIZACIÓN Y LLAMADA	27
PROCEDIMIENTO DE SINCRONIZACIÓN ENTRE EL MÓVIL Y LA BASE	28

PROCEDIMIENTO DE REGISTRO DE ACTUALIZACIÓN DE LOCALIZACIÓN DEL TERMINAL MÓVIL.....	28
PROCEDIMIENTOS DE ESTABLECIMIENTO DE LLAMADA DESDE LA BASE	29
PROCEDIMIENTOS DE ESTABLECIMIENTO DE LLAMADA DESDE EL MÓVIL	29
2.2 UMTS.....	30
INTRODUCCIÓN	30
CONSIDERACIONES TEÓRICAS.....	30
ESPECTRO ENSANCHADO	31
CARACTERÍSTICAS DE LAS REDES CELULARES CDMA	31
RECEPTOR RAKE	32
CONTROL DE POTENCIA	33
SOFT Y SOFTER HANDOVER.....	34
CAPACIDAD DE LAS REDES CELULARES	35
ARQUITECTURA	36
ESTRUCTURA Y ORGANIZACIÓN.....	36
NÚCLEO DE RED (CN)	36
RED DE ACCESO RADIO (UTRAN).....	37
TÉRMINALES MÓVILES (UE)	41
SERVICIOS	41
CLASIFICACIÓN DE APLICACIONES Y SERVICIOS.....	42
RANGO ESPERADO DE SERVICIOS	42
CANALES.....	42
CANALES LÓGICOS.....	42
CANALES DE TRANSPORTE	43
CANALES FÍSICOS.....	43
ACCESO.....	44
ENSANCHADO Y MODULACIÓN	44
PROCEDIMIENTOS DE LA CAPA FÍSICA	47
GESTIÓN DE RECURSOS RADIO	49
2.3 HSPA.....	49
HSDPA	50
FUNDAMENTOS.....	50
HS-DSCH	51
HARQ	51
KPIs BÁSICOS (key performance indicator)	52
HSUPA	54

INTRODUCCIÓN	54
HSDPA vs HSUPA	54
R99 vs HSUPA	55
FUNDAMENTOS.....	55
HARQ	56
E-DCH.....	57
2.4 LTE	58
EVOLUCIÓN	58
ARQUITECTURA	59
COMPARATIVA CON UMTS	59
PRINCIPIOS	59
SEÑAL DE REFERENCIA	64
MODULACIONES.....	64
EVOLVED PACKET SYSTEM (EPS)	65
QUALITY CLASS IDENTIFIER (QCI)	66
TIMING ADVANCE (TA).....	66
MIMO (Multiple-Input Multiple-Output).....	67
CSFB (Circuit Switched FallBack) y VoLTE.....	68
PETICIÓN DE SERVICIO INICIADA POR EL MÓVIL	68
PETICIÓN DE SERVICIO INICIADA POR LA RED (PAGING)	69
KPIs PRINCIPALES	70
3. OBRA	71
3.1 TIPOS DE OBRA	71
SWAP.....	71
IMPLANTACIÓN	71
AMPLIACIÓN	71
3.2 EPO	72
3.3 FASES DE LA OBRA.....	73
Replanteo.....	75
Diseño radio.....	76
Diseño de transmisión.....	76
Carga en OSS (Operation Support System) vendor	76
Drive-Test (DT) PRE.....	77
Obra.....	77
Drive-Test (DT) POST	77
Tunning & Optimización.....	77

Gestión documental & aceptación	77
3.4 CADENA DE MANDO	77
3.5 EQUIPOS DE TRABAJO	78
EQUIPO DE DISEÑO RADIO	78
EQUIPO DE DRIVE-TEST, GESTIÓN DOCUMENTAL Y ACEPTACIÓN	78
EQUIPO DE TUNNING & OPTIMIZACIÓN	79
4. MEDIDAS	79
4.1 EQUIPO NECESARIO	79
Hardware	79
Software	80
Otros	80
4.2 PLANIFICACIÓN DEL MALLADO	80
Outdoor	80
Indoor	80
Mallado PRE existente	80
4.3 CONFIGURACIÓN DE PROTOCOLOS	81
4.4 REALIZACIÓN DE LAS MEDIDAS	81
MEDIDA DINÁMICA	81
MEDIDA ESTÁTICA	81
PERMISOS DE ACCESO	82
5. PROCESADO	82
5.1 MEDIDA DINÁMICA	82
2G	82
3G	83
Autoswap	83
Implantación	83
Ampliación	84
4G (LTE)	84
5.2 MEDIDA ESTÁTICA	84
2G	84
3G	85
4G (LTE)	85
5.3 GENERACIÓN INFORMES	86
ANEXOS DE OBRA	86
TABLAS	86
PLOTS	90

ANEXOS 3H Y 48H	94
Ejemplo anexo 3H LTE - Tabla Resumen	94
Ejemplo anexo 48H LTE - Tabla Resumen	95
6. ANÁLISIS DE LAS MEDIDAS	96
6.1 ANÁLISIS ANEXOS	96
6.2 CASUÍSTICA	96
- Falta información básica del emplazamiento	96
- Falta información básica del nodo	96
- Faltan plots PRE/POST de alguna de las medidas en el anexo	97
- Aparece el plot pero sin datos dibujados (completa o parcialmente)	97
- Niveles anormalmente bajos de nivel de señal	99
- Plot BCCH/SC: en la huella no aparece el color de algún/ningún sector	100
- BCCH sectores cruzados	101
- Ángulos entre sectores mal dibujados/ Sectores mal orientados	102
- RXQUAL demasiado bajo o empeorado respecto al PRE	103
- En algún sector de un plot BCCH/SC aparece como mejor servidor otra portadora y no la que se debería de detectar	104
- Pruebas funcionales por debajo del objetivo (% est, TH, etc)	105
6.3 ACEPTACIÓN DE OBRA	105
7. CONCLUSIONES	106
8. BIBLIOGRAFÍA	107
WEBS	107
9. ANEXO A	108
9.1 PRESUPUESTO	108
10. ANEXO B	109
10.1 PLIEGO DE CONDICIONES	109
10.2 CONDICIONES GENERALES	109
10.3 CONDICIONES PARTICULARES	111

ACRÓNIMOS

3GPP	3rd Generation Partnership Project
ACK	Acknowledgement
AGCH	Access Grand Channel
AuC	Authentication Center
BCCH	Broadcast Control Channel
BCH	Broadcast Channel
BS	Base Station
BTS	Base Transceiver Station
CCCH	Common Control Channel
CCMM	Comunicaciones Móviles
CN	Core Network
CQI	Channel Quality Information
DCCH	Dedicated Control Channel
DCS	Digital Cellular Service
DT	Drive Test
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
EIR	Equipment Identity Register
EPO	Expedientes de Planificación de la Obra
FACCH	Fast Associated Control Channel
FCCH	Frequency Correction Channel
GMSC	Gateway MSC
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile communications
HLR	Home Location Register
HLR	Home Location Register
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
HS-SCH	High Speed-Downlink Shared CHannel
HSUPA	High Speed Uplink Packet Access
IMEI	International Mobile Equipment Idnetities
IMSI	International Mobile Subscriber Identities
ITU	International Telecommunication Union
KPI	Key Performance Indicator
LTE	Long Term Evolution
MS	Mobile Station
MSC	Mobile Switching Centre
NACK	Negative Acknowledgement
PCS	Personal Communications Service
PDP	Packed Data Protocol
PS	Packet Switching
RACH	Random Access Channel
RNC	Radio Network Controller
RRC	Radio Resource Control

SACCH	Slow Associated Control Channel
SCH	Synchronization Channel
SDCCH	Stan-Alone Dedicated Control Channel
SIM	Subscriber Identity Module
TCH	Traffic Channel
TTI	Transmission Time Interval
UE	User Equipment
UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UTRAN	Universal Terrestrial Radio Access Network
VLR	Visitor Location Register
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access

AGRADECIMIENTOS

La realización de este proyecto no hubiese sido posible sin el apoyo y motivación aportada por mi familia y amigos, tanto los de toda la vida como a los que he hecho desde mi llegada a Madrid.

Es de especial importancia remarcar la paciencia, el esfuerzo y el apoyo mostrado durante años por mis padres y mi hermano. Lo cual finalmente se ve recompensado por la finalización de la ingeniería, y por lo que les estoy inmensamente agradecido.

También estoy muy agradecido a mis compañeros de clase por todo lo que me han aportado durante estos años de carrera. El esfuerzo ha sido mucho más llevadero y agradable junto a ellos.

Por otro lado también he de agradecer la labor del profesorado de la Escuela Politécnica Superior, el cual siempre he considerado como de primer nivel, y considero que gracias a ello he conseguido una muy buena y sólida formación como ingeniero.

Agradezco también a mi tutor y a mi excompañeros de trabajo el haberme enseñado cómo funciona un proyecto real de ingeniería en una empresa a nivel nacional y el haberme orientado y formado durante la realización de este proyecto y durante mi estancia como becario en LCC Spain.

Muchas gracias a todos, este proyecto es tanto mío como vuestro.

Víctor Manuel Sola Rodríguez
Abril de 2016

1. INTRODUCCIÓN

1.1 BREVE HISTORIA

GSM (2G)

GSM (Global System for Mobile communications) es actualmente el estándar más usado en Europa. Denominado de segunda generación (2G) debido a que marca una diferencia clave de la primera generación de teléfonos móviles. GSM es completamente digital.

En 1982 fue estandarizado por primera vez. Siendo en 1990 cuando se convirtió en un estándar internacional. En este año además se definió por primera vez DCS (Digital Cellular Service).

Fue diseñado principalmente para el uso de voz, pero también se definieron algunos servicios complementarios. Permitiendo conexiones de datos a través de conmutación de circuitos.

A pesar de ser un estándar internacional hay alguna diferencia entre las bandas de frecuencias usadas. En Europa usa las bandas de 900MHz y 1800MHz. Mientras que en Estados Unidos usa la de 900MHz y la de 1900MHz (existen otros países de Sudamérica y de Asia que también usan esta banda de frecuencia).

La banda de 900MHz recibe directamente el nombre de GSM. Mientras que la de 1800MHz se la reconoce especificando GSM-1800 o por las siglas DCS y la norteamericana de 1900MHz como PCS.

El rendimiento máximo de dicho estándar es de 9.6 Kbps. Lo que permite comunicaciones mediante voz y datos muy limitados.

GPRS y EDGE (2.5G)

En los años siguientes se desarrolló la tecnología GPRS (General Packet Radio Service), un servicio adicional para permitir añadir a GSM la conmutación de paquetes sobre la ya existente arquitectura de GSM de circuito conmutado, y así conseguir velocidades de transmisión mayores. Surgió en 2001, a partir de entonces, el terminal móvil se convirtió en un terminal IP, permitiendo el uso de aplicaciones conectadas permanentemente a internet. Las velocidades de datos conseguidas oscilaban entre los 9.6 Kbps y los 150 Kbps.

GPRS proporcionó:

- Rapidez de acceso.
- Servicio flexible: coste basado en volumen de información (GSM se basaba en el tiempo de conexión al servicio).
- Transporte eficiente de paquetes sobre la red GSM.
- Optimización de recursos radio.

Mientras tanto se siguió investigando con la intención de mejorar la velocidad de datos intrínseca de GSM. De estas investigaciones surgió EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution), que ofrecía prácticamente el triple de velocidad de datos en el mismo ancho de banda.

UMTS (3G)

El 3GPP (3rd Generation Partnership Project) fue el encargado de asentar las especificaciones de un sistema global de comunicaciones de tercera generación para móviles basándose en las especificaciones del sistema evolucionado GSM dentro del marco del proyecto internacional de telecomunicaciones móviles 2000 de la Unión Internacional de Telecomunicaciones ITU.

Finalmente fue el encargado del desarrollo de UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) junto con otros colaboradores.

Con esta nueva tecnología, gracias al desarrollo de una nueva tecnología de acceso WCDMA, se aumentó la facilidad de uso, se redujeron costes, se mejoraron servicios, se introdujeron nuevos y se consiguió aumentar la velocidad de transmisión de datos.

Concretamente permitía alcanzar 2 Mbps en situaciones de baja movilidad.

HSPA, HSDPA y HSUPA (3.5G/3.75G)

Con el paso del tiempo y la necesidad de dar soporte al incremento del uso de datos el 3GPP lanzó una actualización de las redes WCDMA.

Lo hizo en dos pasos: primero desarrollaron HSDPA (High Speed Downlink Packet data Acces) (3.5G) con la que se podían alcanzar tasas de bajada de 14 Mbps, y a continuación HSUPA (High Speed Uplink Packet data Acces) (3.75G) para aumentar la velocidad de subida de datos, pudiendo llegar hasta los 7.2 Mbps de subida.

La combinación de HSDPA y HSUPA da lugar a la tecnología HSPA (High Speed Packet data Access).

Posteriormente se introdujo la tecnología HSPA+ (HSPA Evolved), que permitía la modulación de datos con 64QAM. Transportando así más información en el mismo ancho de banda. Pudiendo llegar teóricamente a los 84 Mbps de subida y 22 Mbps de bajada.

LTE (3.9/4G)

LTE (Long Term Evolution) es una evolución de UMTS. Fue lanzada en diciembre de 2008, y una de sus principales características es que su interfaz radioeléctrica está basada en OFDMA. Además de cumplir nuevos estándares diferentes a los utilizados hasta entonces por UMTS.

Las motivaciones que impulsaron el desarrollo de LTE fueron:

- Necesidad de asegurar la competitividad del sistema 3G en el futuro.
- Demanda por parte de los usuarios de una mayor velocidad de transmisión de datos.
- Mejora de la calidad del servicio.
- Creación de un sistema de conmutación de paquetes más optimizado.
- Reducción de costes.
- Disminuir la complejidad del sistema.
- Evitar la innecesaria fragmentación de tecnologías según la banda de operación.

El estándar LTE de la norma 3GPP, no es 4G porque no cumple los requisitos definidos por la IMT-Advanced en características de velocidades pico de transmisión y eficiencia espectral. Aun así la UIT declaró en 2010 que los candidatos a 4G, como era éste, podían publicitarse como 4G.

Los requerimientos para la nueva red de acceso fueron:

- Alta eficiencia espectral.
- Alta velocidad.
- Bajo tiempo de petición y respuesta.
- Flexibilidad en frecuencia y ancho de banda.

2. TECNOLOGÍAS

2.1 GSM

INTRODUCCIÓN

GSM se caracteriza por una organización jerárquica del acceso TDMA. Usa canales lógicos y procedimientos de sincronización y llamada.

Características generales del sistema

Parámetro	GSM
Frecuencia Transmisión (Mhz) Base-> Móvil Móvil -> Base	935-960 890-915
Tipo de Acceso Múltiple	TDMA
Método de Duplexado	FDD
Ancho de Banda por Radiocanal	200 KHz
Nº Canales tráfico por radiocanal Nº Total de canales de tráfico	8 1000
Canal Vocal: Tipo de Modulación Vel. Transmisión /Desviación de Frecuencia Tipo de VOCODER y velocidad	GMSK 270,8 Kb/s 13 Kb/s
Canal de Servicio Tipo de Modulación Vel. Transmisión	GMSK 270 Kb/s (NRZ)

Fig 2.1.1 Tabla con las características generales del sistema

Bandas de frecuencia

- Enlace ascendente (uplink): 890MHz a 915MHz
- Enlace descendente (downlink): 935MHz a 960MHz

Usa un sistema DÚPLEX con un espaciado de 45 MHz entre canales y cada radiocanal tiene un ancho de banda de 200KHz.

Con esto dispone de 125 radiocanales bidireccionales. Soportando cada uno de ellos 8 usuarios simultáneos.

Dichos canales se numeran de 0 a 124 mediante ARFCN. El canal 0 es utilizado como banda de guarda.

Cada estación base (BS) contiene de 1 a 16 radiocanales en función de la planificación de red y de la densidad de tráfico.

Posteriormente se introdujo el GSM modo extendido, añadiendo 10MHz adicionales al inicio de ambas bandas.

Con esta mejora se obtuvieron 50 canales adicionales numerados desde el 974 al 1023. En este caso el canal 0 se utiliza de un modo normal y el canal 974 pasa a ser el canal de guarda.

DCS

Posteriormente se introdujo DCS1800. Cuyo funcionamiento es idéntico al de GSM pero en la banda de 1800MHz.

A este estándar también se le añadió ancho de banda. Concretamente 75MHz. Teniendo así 374 canales adicionales numerados desde 512 al 885.

Control de potencia y clases de potencia de emisión

El control de potencia es fundamental para adaptar la potencia transmitida desde el terminal móvil y de la BTS a las condiciones de propagación. Con el objetivo de minimizar la potencia transmitida manteniendo una buena calidad en la comunicación.

Los objetivos principales de este control son tanto la reducción de la interferencia cocanal como el aumento de la duración de la batería de los móviles.

Esta adaptación de la potencia de emisión solo se hace cuando el usuario se encuentra en el área de regulación de la celda. En las zonas más cercanas y más alejadas a la BS se transmite directamente al mínimo y al máximo respectivamente.

- Los saltos de potencia los fija el operador (un valor típico es 2 dB).

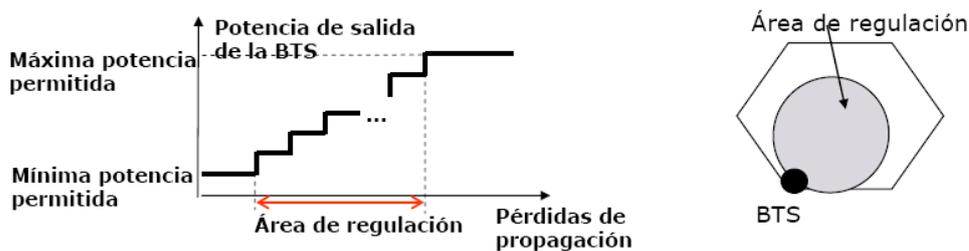


Fig 2.1.2 Saltos de potencia de emisión

Handover

El concepto de handover es muy importante en el sistema de comunicaciones móviles actual.

El sistema de telefonía móvil está formado por celdas con el propósito de cubrir el área máxima de cobertura. Cada celda contiene una estación base y un determinado número de canales. Cada uno asociado a una frecuencia diferente.

Cluster se denomina al conjunto de dichas celdas. El número de frecuencias de las que dispone cada celda es limitado. Por esto, se reutilizan frecuencias para que usuarios de diferentes clusters puedan usar la misma frecuencia. Teniendo en cuenta que la separación entre celdas con la misma frecuencia debe de ser suficiente como para que no se produzcan interferencias.

El handover consiste en transferir el servicio de una estación a otra cuando la calidad del servicio es insuficiente.

Hay dos motivos para que se produzca el handover:

- La potencia y la señal recibida se encuentra por debajo de un determinado umbral.
- La estación base se encuentra sobrecargada.

Existen dos tipos de handover:

- Desde el punto de vista del usuario
- Desde el punto de vista de la estación base

Desde el punto de vista del usuario

- **Hard-Handover:** el móvil cambia de canal y deja de usar el primero antes de usar el segundo. Durante unos milisegundos el móvil pierde la conexión con la red.
- **Soft-Handover:** el móvil cambia de canal pero no deja de usar el primero hasta que no tiene el segundo. En este caso, durante cierto tiempo el móvil está usando dos canales.

Desde el punto de vista de la red

- **Intra-Cell Handover:** es el proceso de cambio a otro canal de la misma estación base.
- **Inter-Cell Handover:** es el proceso de cambio a una celda de una nueva estación base.

Ambos puntos de vista se pueden combinar indistintamente.

ARQUITECTURA DE RED GSM

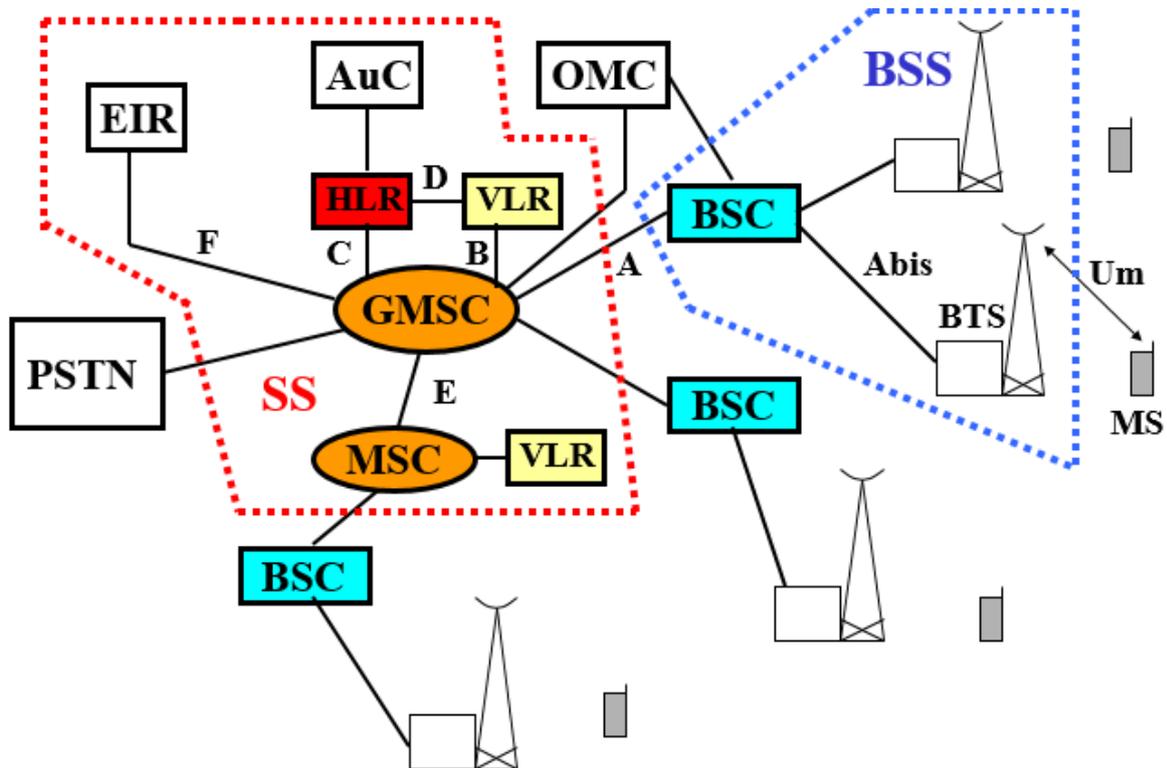


Fig 2.1.3 Arquitectura de red GSM

MS: Estación Móvil

Por estación móvil se entiende el equipo físico que utiliza el usuario para acceder a los servicios de la red.

- **Elementos que la componen:**
 - **SIM** (Subscriber Identity Module):
 - Identifica al usuario y personaliza el equipo.
 - Almacena la identidad de usuario (IMSI), nº de teléfono de acceso al móvil y la lista de servicios y facilidades a la que está suscrito.
 - PIN: para garantizar su seguridad.
 - **Terminal:**
 - Existen varios tipos en función de su potencia y aplicaciones.
- **Funciones básicas de la MS:**
 - Interfaz de comunicaciones entre los usuarios.
 - Tx/Rx de las informaciones de usuario y de señalización.
 - Inicialización de la conexión a la red.
 - Sintonización de frecuencias y seguimiento automático de la BTS correspondiente.
 - Funciones de procesamiento de voz y datos.

BSS: Subsistema de Estaciones Base

Es el conjunto de equipos utilizados para proporcionar cobertura radioeléctrica en el área celular.

Incluye las funciones de la capa física (OSI) para la interconexión con las MS a través de la interfaz radio.

- **Elementos que lo componen:**
 - **BSC** (Base Station Controller): hay una BSC en cada BSS. Es el centro de la BSS, y realiza funciones de control.
 - Controla un número determinado de estaciones base (20-200)
 - Se encarga del establecimiento y finalización de las llamadas.
 - Supervisa conexiones durante las llamadas.
 - Mide y regula la potencia y calidad de señal tanto en uplink como en downlink.
 - **BTS** (Base Transceiver Station): En un BSS puede haber desde una a varias BTS (según el fabricante).
 - Es el medio a través del que se comunica el móvil con la red.
 - Está formada por los equipos transceptores, los elementos de conexión al sistema radiante, las antenas y las instalaciones accesorias.
 - Realiza las medidas de calidad y nivel y las pasa a la BSC.
 - Activa los canales que la BSC le indica.
 - Manda al móvil la información de tráfico, la información de control de potencia, de alineamiento temporal, etc.

En conclusión: la BSC es la que gestiona el sistema radio y la BTS es el medio de transporte.

SS: Subsistema de Conmutación

Controla las funciones necesarias para manejar los protocolos de señalización necesarios para el establecimiento, mantenimiento y liberación de llamadas.

- **Funciones básicas:**
 - Localización y registro con autenticación de los abonados.
 - Encaminamiento de llamadas.
 - Tratamiento de los aspectos de las llamadas relacionados con la movilidad de los usuarios.
 - Intercambio de señalización entre entidades funcionales de la red GSM y con redes externas.
- **Elementos que lo componen:**
 - **MSC:** Central de conmutación móvil. Se encarga de:
 - Gestión de llamadas.
 - Gestión de la movilidad.

- Gestión de recursos radio.
 - Selecciona trayectos hacia las BSCs.
- **GMSC:** Pasarela de conmutación móvil. Su número depende del tamaño de cada red, y si es necesaria más capacidad de conmutación, se usan las MSCs.

Tiene las mismas funciones que una MSC además de:

 - Constituir el interfaz de la red celular con la red pública.
 - Es capaz de encaminar llamadas entre usuarios móviles y fijos.
 - Poseen el registro HLR (Home Location Register).
- **HLR:** Registro de clientes propios. Base de datos que guarda:
 - Servicios contratados.
 - Datos de autenticación.
 - Ubicación actual.
- **VLR:** Registro de clientes visitantes. Base de datos que contiene cierta información del HLR de los móviles que se encuentren en la zona donde ofrece servicio una MSC.

Cuando el móvil entra en una nueva área de localización comienza un procedimiento de registro, mediante el cual la MSC toma nota del evento y comunica a su VLR la identidad del área de localización en la que se encuentra el móvil.
- **AUC:** Centro de autenticación. Entidad que almacena datos de cada cliente para permitir que el IMSI sea autenticado y se cifren las comunicaciones, en la parte radio, entre el terminal móvil y la red. Envía datos necesarios para la autenticación y cifrado.
- **EIR:** Registro de identidad de equipos. Entidad lógica responsable del almacenamiento de la red de los IMEIs (International Mobile Equipment Identities). Se almacenan los números de equipos robados o defectuosos, de forma que, para cada llamada, se comprueba ese número y se deja seguir o no.

OMC: Operation and Maintenance Center

- Tiene acceso a los MSC y BSC.
- Control de alarmas.
- Supervisión de carga de tráfico de los elementos de la red.
- Configuración de MSC, BSC, BTS, etc.
- Supervisión local y remota.

ORGANIZACIÓN JERÁRQUICA DEL ACCESO TDMA

TIPO DE RÁFAGAS EN SISTEMAS GSM:

- Ráfaga **normal**
- Ráfagas específicas:
 - Enlace descendente:
 - Ráfaga de **corrección de frecuencia**
 - Ráfaga de **sincronización**
 - Enlace ascendente:
 - Ráfaga de **acceso**
- Ráfagas de **relleno** (Dummy Burst)

Ráfaga normal

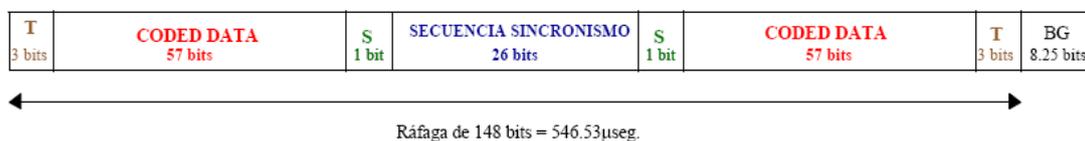


Fig 2.1.4 Estructura de una ráfaga normal de 148 bits

Los 3 bits de inicio y cola (Tail bits) sirven para inicializar al igualador.

El bit **S** (Stealing flag) indica si la ráfaga transporta información de control urgente en lugar de información de usuario.

Existen hasta 8 secuencias de sincronización diferentes.

El periodo de guarda es de 8.25 bits equivalente a 30.4 µs. Tiempo aproximadamente igual al transitorio de potencia. Durante este tiempo pueden coincidir el transitorio ascendente de una nueva ráfaga con el descendente de la anterior.

Durante este tiempo no se transmite información.

Ráfaga corrección de frecuencia



Fig 2.1.5 Estructura de una ráfaga de corrección de frecuencia de 148 bits

- Transmite un tono puro desplazado de la frecuencia portadora 67.5 KHz.
- Permite encontrar y demodular la ráfaga sincronización temporal del sistema.
- Permite la sincronización del móvil al reloj maestro del sistema (ajuste fino del receptor del móvil).

Ráfaga de sincronización



Fig 2.1.6 Estructura de una ráfaga de sincronización de 148 bits

- Primera ráfaga que detecta el sistema
- La secuencia de entrenamiento es única para el sistema y de mayor duración (facilita el sincronismo).
- Los bits codificados contienen:
 - o Identificador de la estación base.
 - o Identificadores de trama, multitrama y supertrama.

Ráfaga de acceso



Fig 2.1.7 Estructura de una ráfaga de acceso de 148 bits

Esta trama permite el acceso del móvil a la red.

Se compone de:

- Secuencia de sincronización más larga para facilitar la sincronización del móvil.
- Mayor número de bits de inicio y cola para facilitar el modo de operación del igualador.
- Elevado tiempo de guarda para evitar colisiones con otras ráfagas.

Ráfaga de relleno

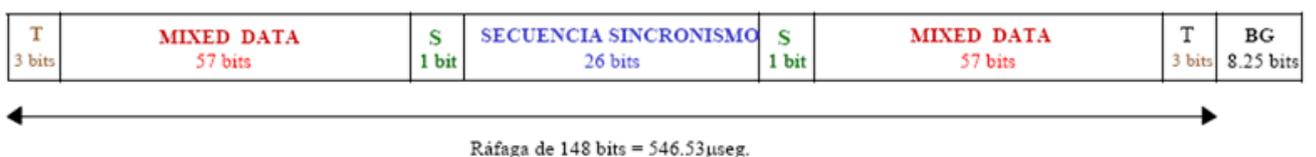


Fig 2.1.8 Estructura de una ráfaga de relleno de 148 bits

- Aumenta el nivel de la portadora que contiene las ráfagas de sincronización y corrección de frecuencia.
- Facilita la sincronización del sistema.
- Contiene secuencias de 1 y 0 predefinidas.

ESTRUCTURA JERÁRQUICA DE LAS TRAMAS EN EL SISTEMA GSM

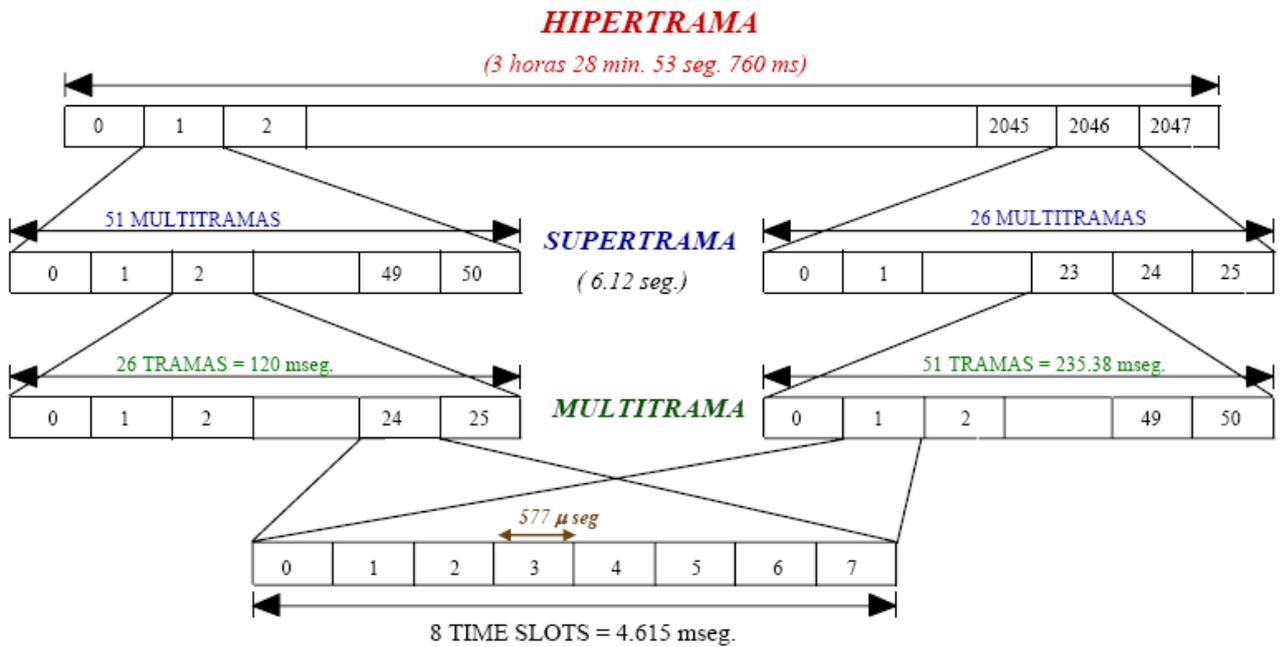


Fig 2.1.9 Estructura jerárquica de las tramas en el sistema GSM

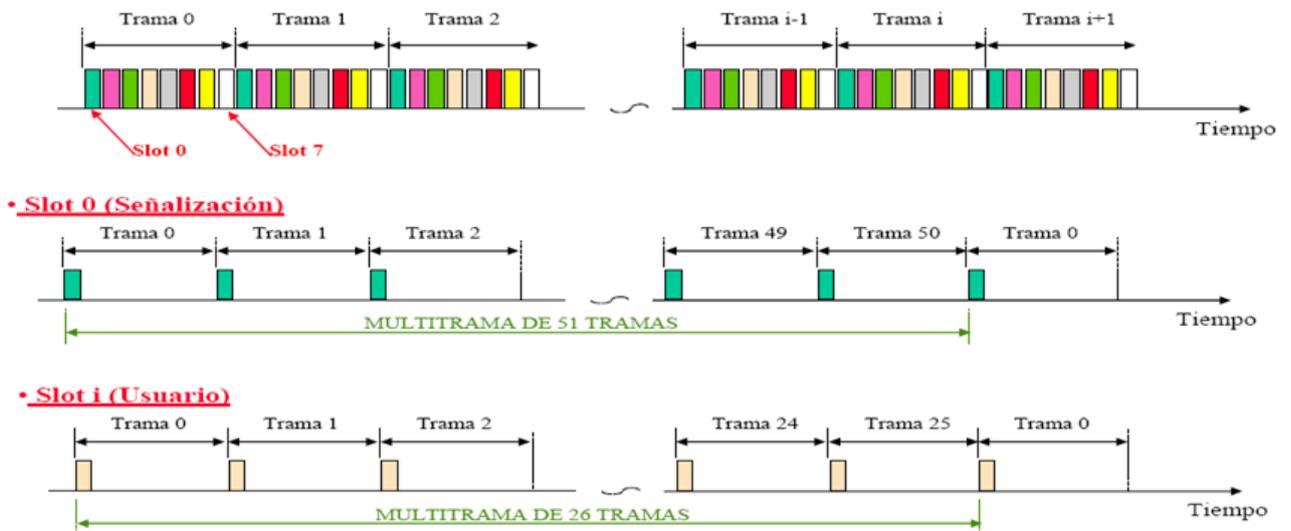


Fig 2.1.10 Generación multitramas en el sistema GSM

CANALES LÓGICOS

Los canales lógicos son una combinación ordenada de ráfagas dentro de una estructura de trama.

En GSM existen dos tipos de canales lógicos:

- Canales de **TRÁFICO**
- Canales de **CONTROL**
 - Canales de **radiodifusión (BCH)**
 - Canales de **control dedicados (DCCH)**
 - Canales **comunes de control (CCCH)**

CANALES DE TRÁFICO

Son los encargados de transmitir la información generada por el usuario, tanto voz digitalizada como datos.

Los canales de tráfico disponibles son:

- Traffic Channel/Half-rate Speech (TCH/HS)
- Traffic Channel/Full-rate Speech (TCH/FS)
- Traffic Channel/Full-rate Data (TCH/F9.6, TCH/F4.8, TCH/F2.4)
- Traffic Channel/Half-rate Data (TCH/H4.8, TCH/H2.4)

CANALES DE CONTROL

- **Canales de radiodifusión (BCH)**

Son los encargados de proporcionar al móvil información suficiente para su sincronización con la red.

Dentro de este tipo se encuentran los siguientes canales:

 - Frequency Correction Channel (FCCH)
 - Synchronization Channel (SCH)
 - Broadcast Control Channel (BCCH)
- **Canales de control dedicados (DCCH)**

Estos canales se utilizan para transmitir información de control entre la red y el móvil, o incluso entre los propios transceptores de radio.

Aquí se encuentran los siguientes canales:

 - Stand-Alone Dedicated Control Channel (SDCCH)
 - Slow Associated Control Channel (SACCH)
 - Fast Associated Control Channel (FACCH)
- **Canales comunes de control (CCCH)**

Permiten el establecimiento del enlace entre el móvil y la base.

Se dividen en dos tipos: los originados en la base y los originados en el móvil.

- Originados en la base:
 - Paging Channel (PCH)
 - Access Grant Channel (AGCH)
- Originados en el móvil:
 - Random Access Channel (RACH)

Todos los canales comunes de control se transmiten en una multitrama de 51 tramas.

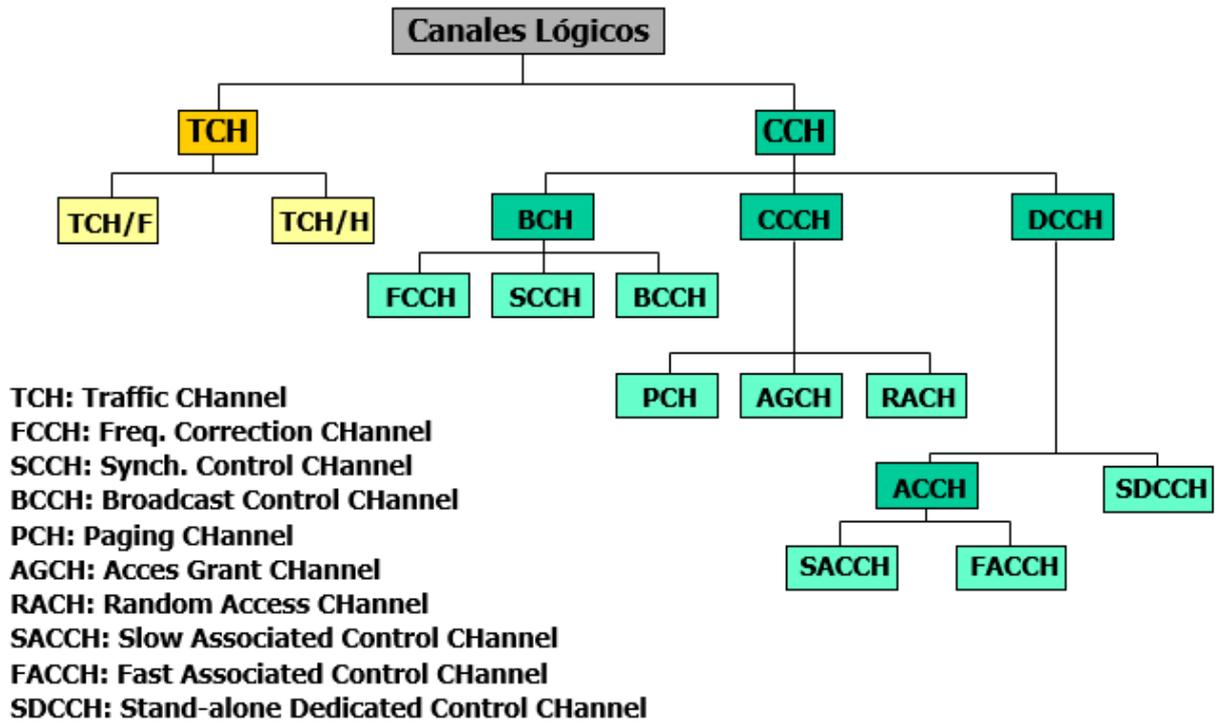


Fig 2.1.11 Estructura jerárquica de los canales lógicos en el sistema GSM

ESTABLECIMIENTO DE LLAMADA

PROCEDIMIENTOS DE SINCRONIZACIÓN Y LLAMADA

Estos procedimientos incluyen:

- Procedimiento de sincronización entre el móvil y la base.
- Procedimiento de registro de actualización de localización del terminal móvil.
- Procedimientos de establecimiento de llamada.

PROCEDIMIENTO DE SINCRONIZACIÓN ENTRE EL MÓVIL Y LA BASE

- **Sincronización inicial:**
 - Utiliza la ráfaga de Corrección de Frecuencia más la ráfaga de Sincronización.
 - Mediante un proceso de correlación con la secuencia de entrenamiento de la ráfaga de acceso se establece el sincronismo de bit y de ráfaga.
- **Sincronismo en régimen permanente:**
 - Se requiere un ajuste continuo del sincronismo.
La distancia del móvil a la base varía -> Ráfagas emitidas por móviles a distinta distancia de la base podría colisionar.
 - Solución: TIME ADVANCE.

PROCEDIMIENTO DE REGISTRO DE ACTUALIZACIÓN DE LOCALIZACIÓN DEL TERMINAL MÓVIL

CANAL LOGICO	BASE	MOVIL	COMENTARIOS
RACH			Petición de canal
AGCH			Asignación de canal
SDCCH			Petición de actualización del registro del móvil. <i>Se transmite en el canal asignado por AGCH</i>
SDCCH			Petición de autenticación desde la RED
SDCCH			Respuesta de autenticación desde el móvil
SDCCH			Petición de transmisión en modo cifrado
SDCCH			Respuesta a la petición de transmisión en modo cifrado
SDCCH			Confirmación por parte de la red de la localización del móvil. Asignación temporal de identidad (TMSI) y actualización del HLR
SDCCH			Reconocimiento de la asignación desde el móvil
SDCCH			La RED libera el canal de transmisión.

Fig 2.1.12 Procedimiento de registro de actualización de localización del TM

PROCEDIMIENTOS DE ESTABLECIMIENTO DE LLAMADA DESDE LA BASE

CANAL LOGICO	BASE	MOVIL	COMENTARIOS
PCH			Llamada al movil desde la RED
RACH			Petición de canal por parte del móvil
AGCH			Asignación de canal
SDCCH			Respuesta a la llamada de la RED
SDCCH			Petición de autenticación desde la RED
SDCCH			Respuesta de autenticación desde el móvil
SDCCH			Petición de transmisión en modo cifrado
SDCCH			Respuesta a la petición de transmisión en modo cifrado
SDCCH			Mensaje de inicio de la llamada entrante
SDCCH			Confirmación
SDCCH			Asignación de un canal de tráfico
FACCH			Reconocimiento del canal de tráfico
FACCH			Alerta (ahora el usuario que llama oye el timbre del teléfono)
FACCH			Mensaje de conexión cuando el móvil activa la llamada
FACCH			Aceptación del mensaje de conexión
TCH			Intercambio de datos (voz) entre los usuarios

Fig 2.1.13 Procedimiento del establecimiento de llamada desde la estación base

PROCEDIMIENTOS DE ESTABLECIMIENTO DE LLAMADA DESDE EL MÓVIL

CANAL LOGICO	BASE	MOVIL	COMENTARIOS
RACH			Petición de canal por parte del móvil
AGCH			Asignación de canal
SDCCH			Respuesta a la llamada de la RED
SDCCH			Petición de autenticación desde la RED
SDCCH			Respuesta de autenticación desde el móvil
SDCCH			Petición de transmisión en modo cifrado
SDCCH			Respuesta a la petición de transmisión en modo cifrado
SDCCH			Inicialización ó SET-UP
SDCCH			"Proceeding message" (la red ruta la llamada hacia su destino)
SDCCH			Asignación de un canal de tráfico
FACCH			Reconocimiento del canal de tráfico
FACCH			Alerta (ahora el usuario que llama oye el timbre del teléfono)
FACCH			Mensaje de conexión cuando el destinatario acepta la llamada
FACCH			Aceptación del mensaje de conexión
TCH			Intercambio de datos (voz) entre los usuarios

Fig 2.1.14 Procedimiento del establecimiento de llamada desde el terminal móvil

2.2 UMTS

UMTS es considerado un estándar de telefonía móvil de tercera generación (3G). A diferencia de GSM, UMTS usa la tecnología de acceso móvil WCDMA. Esta tecnología proporciona una mayor eficiencia espectral que las usadas anteriormente (TDMA y FDMA).

Las principales ventajas de UMTS son:

- Velocidad de acceso a internet elevada.
- Capacidades multimedia.
- Transmisión de voz con calidad equiparable a las redes fijas.
- Dispone de una variedad de servicios muy extensa.

INTRODUCCIÓN

CONSIDERACIONES TEÓRICAS

En WCDMA los usuarios no están separados ni por frecuencia ni por tiempo. Están separados por códigos. A diferencia de los sistemas GSM que estaban limitados por frecuencia, el sistema CDMA está limitado por interferencia.

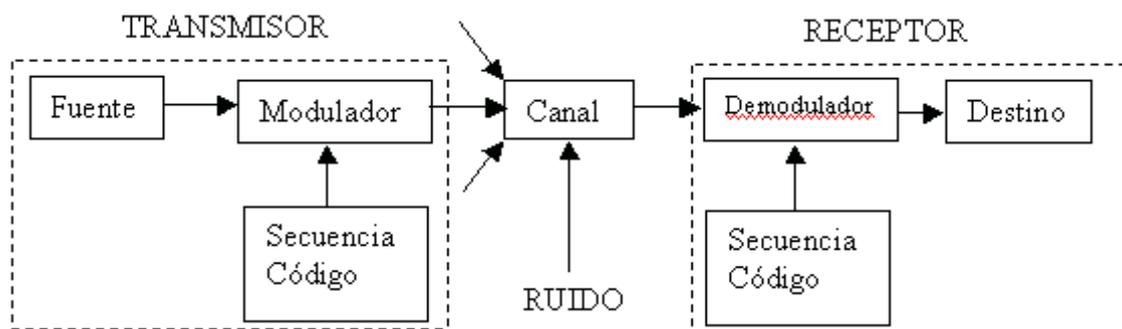


Fig 2.2.1 Componentes de la transmisión de señal

Las novedades que introduce esta tecnología son:

- Mejor relación calidad-cobertura.
- Receptor Rake.
- Mejor control de potencia.
- Soft y softer handover.

En este punto conviene recordar la fórmula de Shannon para ver de qué forma se puede aumentar la capacidad.

$$C = W \cdot \log_2 \left(1 + \frac{P}{N_0 W} \right)$$

Según la expresión anterior, podemos aumentar la capacidad de dos formas:

- Aumentando la relación señal/ruido: **P/N_0W** .
- Aumentando el ancho de banda: **W** .

ESPECTRO ENSANCHADO

WCDMA es un sistema de espectro ensanchado. Es decir, el ancho de banda de las señales transmitidas es mucho mayor que el mínimo necesario para transportar información.

Dentro de los sistemas de espectro ensanchado existen diferentes posibilidades a emplear:

- Técnicas de salto en frecuencia FH (Frequency Hopping).
- Técnicas de salto en tiempo TH (Time Hopping).
- Técnicas de secuencia directa DS (Direct Sequence).
- Técnicas multiportadora MC (Multicarrier).

WCDMA es una técnica DS-SS que proporciona señales ensanchadas de 5 MHz.

Debido a esta mayor ocupación espectral al transmitir la señal, se logran las siguientes ventajas:

- Reducción de la densidad espectral de potencia.
- Privacidad.
- Protección frente a interferencias.
- Resolución temporal y protección frente a multitrayecto.

CARACTERÍSTICAS DE LAS REDES CELULARES CDMA

Como se ha mencionado anteriormente, el sistema CDMA está limitado por interferencia, es más flexible y de mejor adaptación al entorno que los sistemas clásicos.

El control de potencia se puede hacer de tres formas:

- Control de potencia en bucle abierto.
- Control de potencia en bucle cerrado.
- Con un bucle externo.

Realiza el traspaso con continuidad, es decir, usa soft o softer handover.

Las características que incorpora son:

- Actividad discontinua de fuente: reduce interferencia y consumo de potencia.
- Protección frente a desvanecimiento multitrayecto.
- Multiplexación de servicios.
- Compartición automática de carga: cell breathing.
- Codificación de canal.

Relación cobertura-capacidad: cell breathing

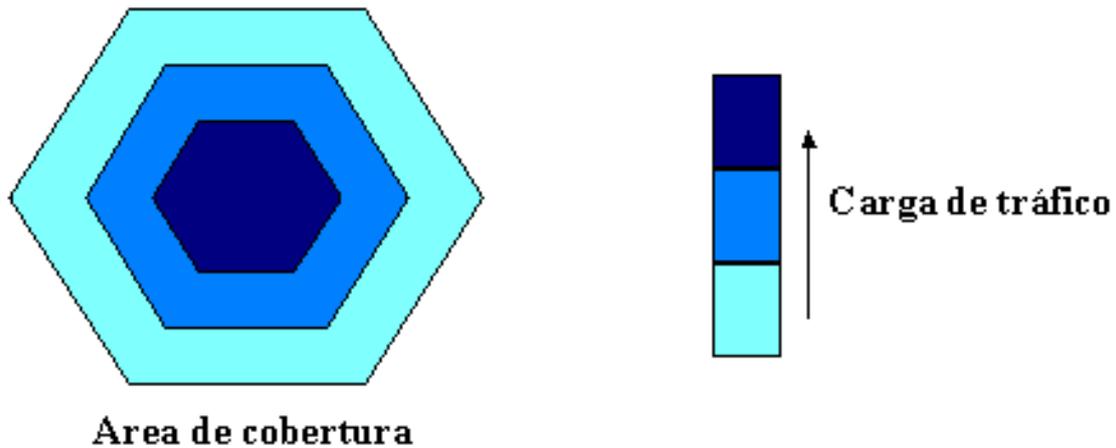


Fig 2.2.2 Relación cobertura capacidad

Codificación de canal

- Consiste en procesar la señal para conseguir mejorar la tasa de error.
- En CDMA permite mejorar P_B sin aumentar el ancho de banda.
- Su uso en comunicaciones móviles depende del tipo de servicio, habitualmente se combinan técnicas de corrección y detección.
- Habitualmente se utiliza decodificación convolucional, en concreto el algoritmo de Viterbi.
- Para reducir los efectos de desvanecimiento se utiliza entrelazado.

Es importante remarcar que la codificación de canal no aumenta el ancho de banda, únicamente reduce el factor de ensanchamiento.

RECEPTOR RAKE

Efecto multicamino

El efecto multicamino es una de las principales características de los canales radio móviles. Se caracteriza por:

- Múltiples reflexiones.
- Difracción.
- Atenuación de la energía de la señal.

El receptor recibe la misma señal con diferentes retardos t_0 , t_1 y t_2 .

Si el receptor está sintonizado a t_0 , las demás contribuciones de la señal al desanchar se ven como ruido de banda ancha.

Además, si t_0 sufre un desvanecimiento, perderíamos la señal.

Debido a esto, el proceso de desensanchado se hace individualmente para cada contribución, combinando después las señales desensanchadas teniendo en cuenta las variaciones de retardo de cada contribución.

Este tipo de receptor se puede entender como un filtro adaptado a la forma de onda, o como un sistema de diversidad de orden N.

Esto proporciona la ventaja de la diversidad multicamino. Con WCDMA se puede obtener diversidad multicamino incluso en células pequeñas.

Probabilidad de error

- Aumenta con el número de usuarios, con el factor de reutilización de celda y con el factor de actividad.
- Disminuye al aumentar el factor de ensanchamiento y al aumentar la ganancia por sectorización.
- Por otro lado, la probabilidad de error puede reducirse aumentando el número de ramas N del receptor. Sin embargo, al aumentar N, la mejora es cada vez más pequeña.

CONTROL DE POTENCIA

Control de potencia: efecto cerca-lejos.

- Cada usuario es visto por los demás como ruido.
- La señal de los móviles más alejados de la BS puede quedar ahogada.

La potencia de cada uno de los usuarios se controla de forma que:

- La potencia de cada UE (equipo de usuario/terminal móvil) recibida en la estación base sea mínima.
- La potencia total del sistema sea mínima.

Ventajas del control de potencia:

- Disminuye la E_b/N_0 requerida en el enlace.
- Disminuye la potencia de transmisión requerida.

- **Control de potencia en bucle abierto (o lento).**

Objetivo: compensar las fluctuaciones medias en uplink.

Ajusta la potencia transmitida en el PRACH y en el PCPCH.

Se determinan las pérdidas de camino en el downlink, a partir de la estimación de potencia y del P-CCPCH.

- Se utiliza cuando el móvil intenta acceder por primera vez al sistema.
- El móvil mide la potencia que le llega de la estación base y estima las pérdidas de propagación.
- Con esta información, ajusta la potencia con la que transmite la ráfaga de acceso.

- **Control de potencia en bucle cerrado (o rápido).**

Objetivo: Mantener la calidad del enlace independiente de las condiciones de propagación y de las interferencias.

Actúa a razón de 1500Hz \Rightarrow Buen comportamiento a velocidades bajas del móvil y malo para altas.

Se implementa en uplink y downlink sobre los canales dedicados en modo circuito y en canales comunes (CPCH) con reserva en modo paquete, mediante el envío de bits de control de potencia.

- Se requiere un canal dedicado.
- La velocidad de envío de comandos deberá ser mayor que la velocidad de variación del canal.

- **Control de potencia externo.**

Objetivo: establecer dinámicamente el valor de $(E_b/N_o)_{\min}$ para asegurar el valor previsto de QoS.

- Proceso controlado por la RNC (Radio Network Controller).
- Mide la calidad a partir de la detección de errores (CRC).
- Constante de tiempo superior al caso de control rápido de potencia (10-100Hz).

SOFT Y SOFTER HANDOVER

Razones que motivan la realización de un handover:

- Contrarrestar el deterioro progresivo de la calidad.
 - Reducir la potencia transmitida y el nivel de interferencia del sistema.
 - Delimitar el área de cobertura de la célula.
 - Redistribuir el tráfico entre células para evitar situaciones de congestión.
 - Acceso a servicios ofrecidos bajo diferentes modos de operación (FDD y TDD) o bajo diferentes redes de acceso.
-
- **Softer Handover (5%-15% de las conexiones)**
 - Se establecen dos comunicaciones base-móvil diferentes, una para cada sector.
 - En el enlace descendente, se reciben dos señales procedentes de la estación base, con dos códigos diferentes. Se utiliza el procesado Rake.
 - En el enlace ascendente se combinan las dos señales que se reciben del móvil. Solo está activo un bucle en lazo cerrado para el control de potencia-
 - En uplink y en downlink se utiliza MRC.
-
- **Soft Handover (20%-40% de las conexiones)**
 - Se establecen dos comunicaciones base-móvil diferentes.
 - Son necesarios dos códigos en el enlace descendente. En este caso también se utiliza el procesado Rake en el móvil.
 - En el enlace ascendente (uplink) cada estación manda las señales del móvil a la RNC. Hay más de un bucle en lazo cerrado para el control de potencia, uno de cada estación base.

- En el enlace descendente (downlink) se utiliza una técnica de máxima ganancia MRC aprovechando la estructura RAKE del terminal.

Ventajas de Soft y Softer Handover:

- Las células involucradas utilizan la misma frecuencia en FDD.
- Evita el efecto cerca-lejos al producirse un cambio de celda.
- Minimiza las interferencias.

- **Hard Handover**

- Traspaso sin continuidad. Conmutación después de haber liberado los recursos asignados al canal antiguo.
- Se utiliza dentro de una misma celda cuando ésta tiene asignadas varias portadoras.
- Las células involucradas utilizan frecuencias diferentes.
- Handover inter-sistemas:
 - Entre WCDMA FDD y WCDMA TDD.
 - Entre WCDMA FDD y GSM.
- **En TDD se emplea hard handover independientemente de las frecuencias involucradas.**

- **Posibles algoritmos de decisión:**

- **NCHO (Network Controlled Handover):** Procesos de decisión están localizados por completo en la red de acceso. La información de disponibilidad de recursos está centralizada, pudiéndose realizar una asignación optimizada para la conexión a traspasar.
- **MCHO (Mobile Controlled Handover):** La estación móvil es la responsable de llevar a cabo todo el control del procedimiento. Este proceso se caracteriza por su rapidez de ejecución.
- **MAHO (Mobile Assisted Handover):** Variante del NCHO en la que el terminal realiza medidas de calidad de su propio canal y de los pilotos de estaciones vecinas y los transmite a la red. Proceso controlado por la red, pero que consigue mayor descentralización y reduce el retardo.

Conclusión:

Conforme el proceso se va descentralizando, el tiempo necesario para la ejecución se reduce, pero disminuye también la información disponible.

CAPACIDAD DE LAS REDES CELULARES

El límite de la capacidad se alcanza cuando el número de usuarios es tal que la potencia disponible de la estación base es insuficiente para cumplimentar los requisitos siguientes.

- **Capacidad del enlace ascendente (uplink):**

- Limitado por la calidad del servicio.
- **Capacidad del enlace descendente (downlink):**
 - Comunicación desde un único transmisor a múltiples receptores.
 - Se radia una señal de referencia común (piloto).
 - Interferencias procedentes de un número limitado de fuentes concentradas.
 - Debido al multitrayecto la interferencia no es nula.
 - Los móviles pueden encontrarse en soft/softer handover.
 - El control de potencia se realiza mediante la distribución de la potencia total de la estación base entre el canal piloto, los canales de control y los canales de tráfico FPA (Forward Power Allocation). La estación base va asignando al canal de tráfico de cada usuario la potencia necesaria para contrarrestar la interferencia que éste experimenta y asegurar que la relación E_b/N_0 se mantiene en el nivel deseado.

ARQUITECTURA

ESTRUCTURA Y ORGANIZACIÓN

Las entidades funcionales que componen la estructura del sistema UMTS son:

- Red núcleo (**CN** (Core Network))
- Red de acceso radio (**UTRAN** (UMTS Terrestrial Radio Access Network))
- Terminales móviles o equipos de usuario (**UE** (User Equipment))

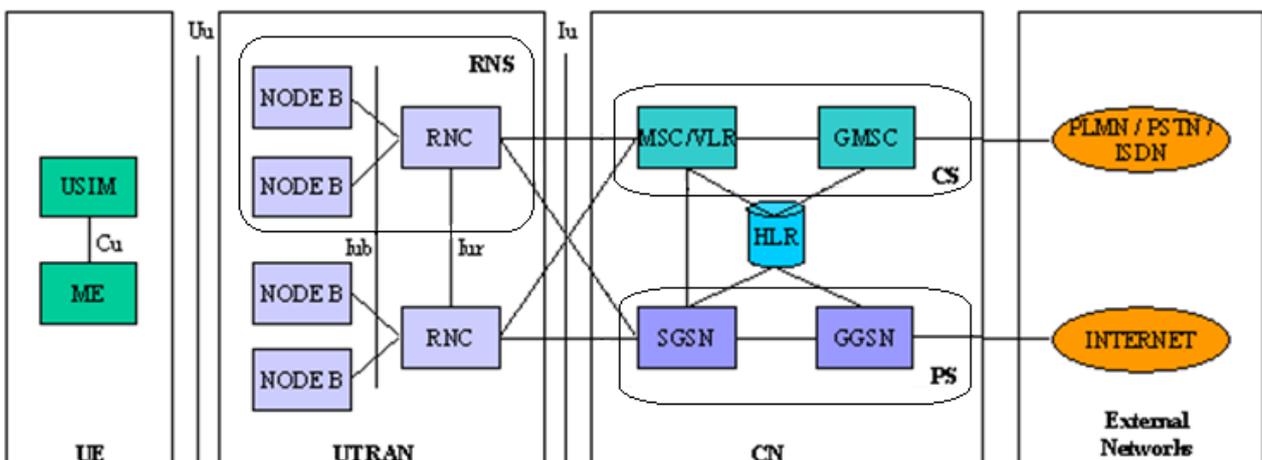


Fig 2.2.3 Arquitectura de la red UMTS

NÚCLEO DE RED (CN)

- Realiza funciones de gestión y transporte de información.
- En un principio estará compuesta por dos partes, una para transmisión en modo circuito y otra para transmisión en modo paquete.

Elementos funcionales comunes a ambos dominios:

- HLR (Home Location Register)
- VLR (Visitor Location Register)
- AuC (Authentication Center)
- EIR (Equipment Identity Register)
- SMS-GMSC (Short Messages Services Gateway MSC)
- SMS-IW MSC (Short Messages Services InterWorking MSC)

Elementos propios de dominio CS:

- U-MSC (UMTS Mobile Switching Center): Funciones de señalización y conmutación.
- U-GMSC (UMTS Gateway MSC): Además actúa como interfaz con otras redes.
- IWF (InterWorking Function): Permite interoperabilidad con otras redes fijas.

Elementos específicos del dominio PS:

- U-SGSN (UMTS Serving GPRS Support Node): Nodo servidor.
- U-GGSN (UMTS Gateway GPRS Support Node): Nodo frontera con otras redes.
- BG (Border Gateway)

Parece seguro que el futuro de la Red Núcleo pasa por la desaparición de las centrales de conmutación, y del dominio del modo circuito, quedando un único dominio de paquetes.

RED DE ACCESO RADIO (UTRAN)

- Proporciona conexión entre los equipos móviles y la red núcleo.
- Formado por subsistemas de red radio (RNS).
- Interfaces UTRAN:
 - Interfaz Red-Núcleo (I_U).
 - Interfaz RNC-RNC (I_{UR}).
 - Interfaz RNC-Nodo B (I_{UB}).
 - Interfaz radio (U_U).

INTERFACES

Interfaz radio (U_U)

- Se recurre a la técnica de acceso múltiple DS-CDMA.
 - Basado en la utilización de secuencias código distintas para cada conexión.
 - El factor de ensanchamiento SF es la relación entre la duración de un bit de la señal banda base y la duración de un chip de la señal ensanchada.
 - Existen dos tipos de secuencias: ortogonales y pseudoaleatorias.
- En el enlace descendente el ensanchamiento se realiza en dos pasos y utilizamos dos tipos de secuencias, de canalización y de aleatorización.
- La capacidad de un sistema DS-CDMA está limitada por interferencias, por lo que exige técnicas de control de potencia.
- Existen dos tipos de control de potencia: en lazo abierto y en lazo cerrado.
- Encontramos dos situaciones especiales en DS-CDMA: el multitrayecto y el handover.
 - **Multitrayecto:** Mediante el receptor Rake conseguimos una ganancia al sumar todas las contribuciones multitrayecto (microdiversidad).
 - **Handover:** Es posible transmitir desde dos células distintas hacia un mismo terminal móvil (macrodiversidad), dando lugar a soft y softer handover.

Interfaz Red-Núcleo (I_U)

- Se estructura en tres componentes separadas:
 - I_U – CS para el dominio de conmutación de circuitos.
 - I_U – PS para el dominio de conmutación de paquetes.
 - I_U – BC para la conexión con el dominio de difusión.

Interfaz RNC-RNC (I_{UR})

- Su implementación es opcional.
- Permite liberar el CN de las decisiones relativas al handover entre células pertenecientes a RNCs diferentes.
- Se trata de una interfaz lógica.
- Handover entre células de varios RNCs: serving RNC, drift RNC.

Interfaz RNC-Nodo B (I_{UB})

- Se basa en un modelo lógico del Nodo B, que consta de:
 - Un puerto común de control (enlace de señalización común).
 - Una serie de puertos comunes de datos (enlaces de canales comunes de datos: RACH, FACH, CPCH y PCH).
 - Un conjunto de puertos de terminación de tráfico.

CAPAS DEL PROTOCOLO RADIO.

- **CAPA FÍSICA:** Se encarga de los procesos necesarios para transferir la información sobre el medio radioeléctrico.
 - **Detección de errores.**
 - **Codificación para protección de errores.**
 - **Multiplexación y mapeo de canales de transporte sobre canales físicos.**
 - **Adaptación de la velocidad de transmisión.**
 - **Des/ensanchamiento del espectro de la señal.**
 - **Modulación.**
 - **Sincronización en frecuencia y en tiempo.**
 - **Realización de medidas de parámetros radio y control de potencia rápido o en bucle cerrado.**

- **CAPA DE ENLACE DE DATOS:** Se encarga de proporcionar a la capa superior un servicio libre de errores. Se divide en varias subcapas.
 - **Subcapa MAC:**
 - Cambio de formatos y canales de transporte en función del ratio de las fuentes y las limitaciones de recursos radio.
 - Mapeado de canales lógicos sobre canales de transporte.
 - Envío de medidas de volumen y calidad de tráfico hacia la capa de red.
 - Gestión de prioridad entre flujos de un terminales y entre terminales.
 - **Subcapa RLC:**
 - Envío de los paquetes de datos: modo transparente, con repetición y sin repetición de paquetes.
 - **Subcapa BMC:**
 - Transmite mensajes de difusión de la célula a través del interfaz radio.
 - **Subcapa PDCCP:**
 - Comprime las cabeceras de los paquetes de datos.

- **CAPA DE RED:** Se encarga de que los paquetes lleguen a su destino.
 - Señalización entre los terminales móviles y la UTRAN.
 - Difusión de información del sistema.
 - Control de los recursos radio (localización de códigos, control de admisión de handovers, control de QoS requerida, etc).
 - Algoritmos de planificación de transmisión, control de congestión
- **Se divide en tres subcapas:**

- **RCC** (Gestión de Recursos Radio): Gestiona recursos y configura las capas inferiores. Se encarga de la señalización entre la red UTRAN y UE.
 - Puede estar en dos estados: Connected e Idle.
 - Connected:** cuando existe una conexión establecida entre la red y el terminal.
 - Idle:** cuando el terminal móvil está dentro del área de la celda pero no posee una conexión de señalización realizada.
- **CC** (Control de Llamadas).
- **MM** (Gestión de Movilidad).

TIPOS DE CANALES

- **Canales lógicos:** se definen por el tipo de datos que transmiten. Se dividen en dos clases según el plano vertical a que correspondan: de control (C) o de usuario (U).
- **Canales de transporte:** se definen por cómo y con que características se transmite la información, atendiendo a una serie de atributos propios del procesamiento de la capa física.
- **Canales físicos:** se corresponden con el formato concreto con que se transmiten los canales de transporte en el medio radio, que depende del modo de acceso.

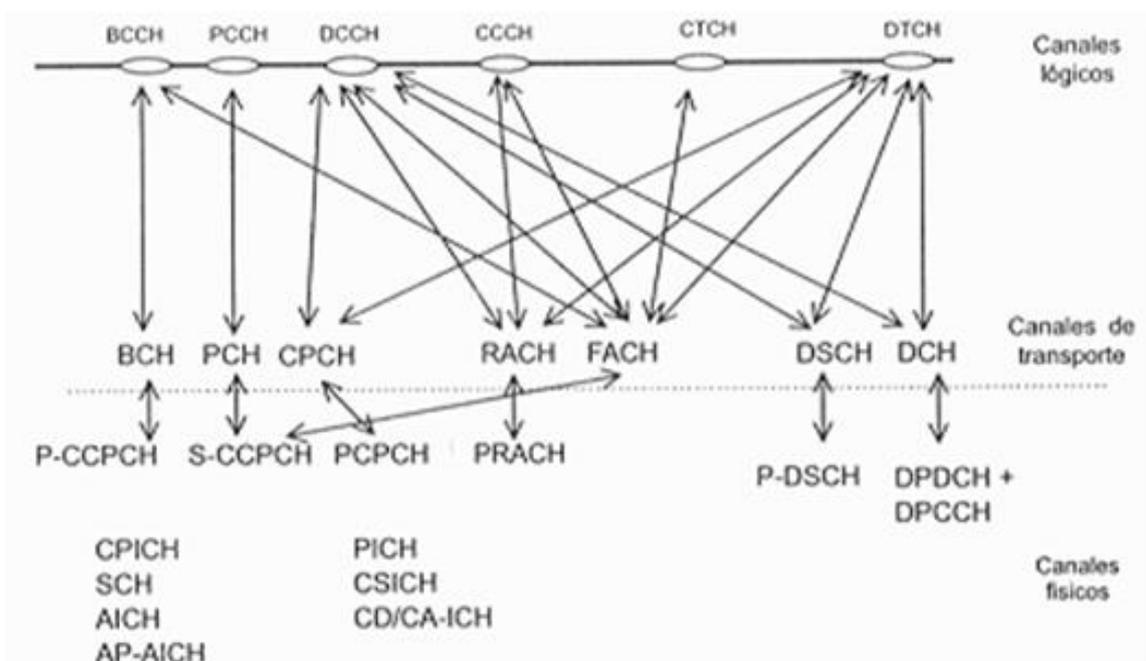


Fig 2.2.4 Comunicación entre canales

BANDAS DE FUNCIONAMIENTO

Se dispone de 5 MHz de ancho de banda en cada canal de RF, lo que se traduce en 12 portadoras FDD y 7 portadoras TDD.

DUPLICACIÓN FDD/TDD

Entornos de operación:

- **FDD:**
 - Macro y microceldas
 - Tráfico simétrico
- **TDD:**
 - Micro y picoceldas
 - Tráfico asimétrico

TÉRMINALES MÓVILES (UE)

- **Permiten a los usuarios conectarse a la red de acceso.**
- **Están formados por dos partes:**
 - **Equipo móvil (ME):** realiza la transmisión y recepción de la señal radio y porta las aplicaciones.
 - **Módulo de Identidad de Usuario UMTS (USIM):** tarjeta extraíble que contiene la información y procesos necesarios para identificar a un usuario frente a la red, validar su acceso y proveer de seguridad a los datos que maneja.
- **Interfaz Cu:**
 - Es el interfaz eléctrico entre USIM y el ME. Sigue el estándar para tarjetas SIM.

SERVICIOS

- A diferencia de GSM, UMTS especifica únicamente los mecanismos básicos con los que se construyen los servicios, su definición queda en mandos del mercado.
- Pueden surgir compañías que diseñen diferentes aplicaciones.
- Los APIs (Application Programming Interface) permiten a terceras entidades desarrollar servicios para UMTS, sin necesidad de conocer los detalles de su funcionamiento.
- UMTS ofrece múltiples servicios, todos ellos enmarcados en alguna de las categorías definidas por la UIT.

CLASIFICACIÓN DE APLICACIONES Y SERVICIOS

	TIPO DE TRÁFICO:			
	Conversacional	Servicios afluentes	Interactivo	Diferido (background)
Características fundamentales	Bajo retardo Baja variabilidad (jitter) de retardo Simetría	Baja variabilidad de retardo Asimetría	Bajo BER Bajo retardo Asimetría	Destino no espera los datos Bajo BER Asimetría
Ejemplos de aplicaciones	Telefonía voz y video, videoconferencia	Multimedia	Navegación Web, distribución noticias, juegos en red.	E-mails, SMS, descarga de bases de datos, recepción de medidas de datos

Fig 2.2.5 Clasificación de aplicaciones y servicios de UMTS

RANGO ESPERADO DE SERVICIOS

	Tiempo real-retardo constante		Tiempo no real- retardo variable	
	Tasa de pico	BER/Retardo máximo	Tasa de pico	BER/Retardo máximo
Outdoor Rural (velocidad de terminal hasta 250 km/h)	A1 menos 144 kbps Preferiblemente 384 kbps	Retardo 20-300 ms BER 10^{-3} - 10^{-7}	A1 menos 144 kbps Preferiblemente 384 kbps	BER 10^{-5} - 10^{-8} Retardo mayor de 150 ms.
Outdoor urbano / suburbano (hasta 150km/h)	A1 menos 384 kbps Preferiblemente 512 kbps	Retardo 20-300 ms BER 10^{-3} - 10^{-7}	A1 menos 384 kbps Preferiblemente 512 kbps	BER 10^{-5} - 10^{-8} Retardo mayor de 150 ms.
Indoor (hasta 10 km/h)	2 Mbps	Retardo 20-300 ms BER 10^{-3} - 10^{-7}	2 Mbps	BER 10^{-5} - 10^{-8} Retardo mayor de 150 ms.

Fig 2.2.6 Rango esperado de servicios de UMTS

CANALES

CANALES LÓGICOS

- **BCCH** (Broadcast Control Channel), Descendente, control. Consiste en información de difusión del Sistema.
- **PCCH** (Paging Control Channel), Descendente, control. Consiste en información para el aviso a un terminal móvil.
- **CCCH** (Common Control Channel), Bidireccional, control. Consiste en información de control asociada a un terminal móvil que no tiene una conexión RRC dedicada.

- **DCCH** (Dedicated Control Channel), Bidireccional, control. Consiste en información de control asociada a un móvil que tiene una conexión RRC asociada.
- **SHCCH** (Shared Control Channel), Bidireccional, control. Consiste en información de control en modo TDD, con carácter compartido.
- **CTCH** (Common Traffic Channel), Bidireccional, usuario. Consiste en información de tráfico asociada a un móvil que no tiene una conexión asociada.
- **DTCH** (Dedicated Traffic Channel), Bidireccional, usuario. Consiste en información de tráfico asociada a un móvil que tiene una conexión asociada.

CANALES DE TRANSPORTE

- **BCH** (Broadcast Channel), Descendente, Compartido. Canal de difusión de información del sistema.)
- **FACH** (Forward Access Channel), Descendente, compartido. Canal para el envío de información a terminales móviles cuya situación es conocida por la red.
- **PCH** (Paging Channel), Descendente, Compartido. Canal para el envío de información a terminales móviles cuya situación no se conoce.
- **DSCH** (Downlink Shared Channel), Descendente, compartido. Canal de asignación compartido por varios móviles.
- **RACH** (Random Access Channel), Ascendente, compartido. Canal de acceso aleatorio de los terminales móviles.
- **CPCH** (Common Packet Channel), Ascendente, compartido. Canal para la transmisión de paquetes sin asignación exclusiva.
- **DCH** (Dedicated Channel), Bidireccional, Dedicado. Canal para el envío de datos o señalización asociado a un terminal móvil.

CANALES FÍSICOS

- **P-CCPCH** (Primary Common Control Physical Channel). Soporta el BCH.
- **S-CCPCH** (Secondary Common Control Physical Channel). Soporta el FACH y el PCH.
- **PDSCH** (Physical Downlink Shared Channel). Soporta el DSCH.
- **PRACH** (Physical Random Access Channel). Soporta el RACH.
- **PCPCH** (Physical Common Packet Channel). Soporta el CPCH.
- **DPDCH** (Dedicated Physical Data Channel). Soporta la parte de datos del DCH.
- **DPCCH** (Dedicated Physical Control Channel). Soporta la parte de señalización del DCH.
- **CPICH** (Common Pilot Channel). Transmite un piloto continuo que sirve de referencia de potencia y fase a los terminales móviles.
- **SCH** (Synchronization Channel). Permite la sincronización de los terminales móviles con las transmisiones de la célula.
- **AICH** (Acquisition Indication Channel). Notifica la aceptación o rechazo de la solicitud de acceso aleatorio de los terminales móviles.
- **AP-AICH** (Access Preamble Acquisition Indication Channel). Similar al AICH pero con respecto a las solicitudes de acceso aleatorio para el uso del CPCH.

- **CSICH** (CPCH Status Indication Channel). Informa del estado de disponibilidad del CPCH a los terminales móviles.
- **CD/CA-ICH** (CPCH Collision Detection/Channel Assignment Indication Channel). Contiene información sobre la resolución positiva o negativa de la fase de detección de colisiones del CPCH, o también de la asignación de un CPCH libre durante dicha fase.
- **PICH** (Page Indicator Channel). Informa a los terminales móviles de si tienen que decodificar el PCH si existe un mensaje para ellos.

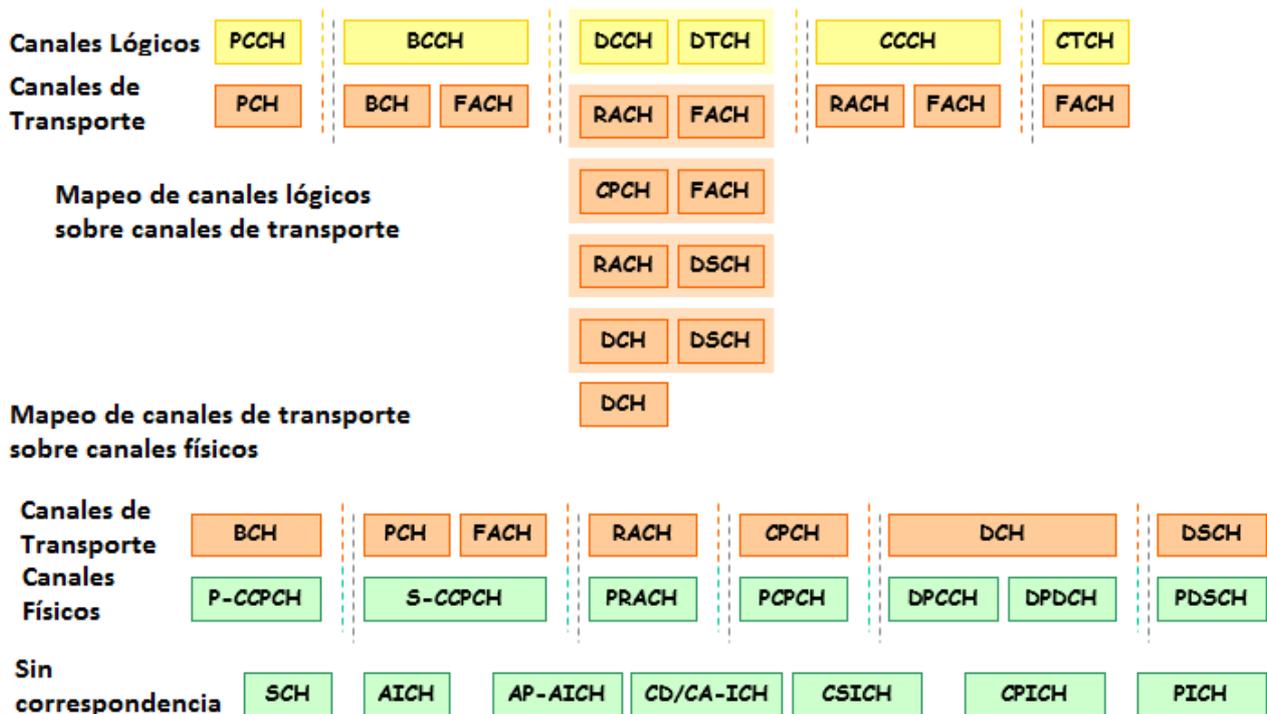


Fig 2.2.7 Conjunto de canales de UMTS

ACCESO

ENSANCHADO Y MODULACIÓN

Canalización: Se multiplica la señal por el código de canalización, incrementando el ancho de banda de la señal. Los códigos de canalización separan las transmisiones de los usuarios en la misma célula. Se basan en la técnica de OVSF, son reales y ortogonales entre sí.

Aleatorización (scrambling): Se multiplica el resultado por un código de scrambling, sin modificar el ancho de banda de la señal. Los códigos de scrambling no son ortogonales entre sí y permiten distinguir a varios usuarios usando el mismo código de canalización en la misma célula. Son complejos.

El ensanchado y la modulación son diferentes para el uplink y el downlink.

CÓDIGOS DE CANALIZACIÓN

- Son los mismos en FDD y en TDD, tanto para UL como para DL.
- Su longitud es igual al factor de ensanchamiento SF.
- Se basan en la técnica OVSF (Orthogonal Variable Spreading Factor), por lo que además de ser ortogonales entre sí, mantienen la ortogonalidad entre códigos de diferente SF.
- **Organización en DL:**

Se recomienda usar un solo árbol OVSF por célula.

- **Organización en UL:**
El terminal no sabe que códigos OVSF están ya en uso por otros terminales móviles. Se utilizan códigos de canalización definidos por ciertas reglas (número y longitud), iguales para todos los terminales móviles, y la diferenciación se consigue con los códigos de scrambling.

CÓDIGOS DE SCRAMBLING (*Scrambling Code = SC*)

- **Organización de códigos de scrambling en UL:** Existen $2^{24} - 1 = 16.777.216$ códigos de scrambling llamados códigos largos y otros tantos códigos cortos, todos ellos distintos de los generados en el enlace descendente. Los códigos de scrambling largos y cortos se denominan $C_{long,n}$ y $C_{short,n}$ respectivamente, de los que toman segmentos para crear códigos específicos para el DPCH, RACH y CPCH. Debido a su número, no es necesaria la planificación de estos códigos.
- **Organización de códigos de scrambling en DL:** A cada celda se le asigna un único código primario, que es el utilizado por el canal P-CCPCH. El resto de canales pueden emplear el código primario o bien los códigos secundarios de su grupo. Los códigos de scrambling se numeran de la siguiente forma:
 - **Primarios:** $n = 16 \cdot i$, con $i = 0, \dots, 511$.
 - **Secundarios:** $n = 16 \cdot i + k$, con $k = 1, \dots, 15$.

Los códigos de scrambling downlink son fragmentos de $N=38400$ chips (10ms) de códigos Gold, generados como suma chip a chip de x , y (dos ramas). Los 512 conjuntos se agrupan en 64 grupos (de 8 conjuntos cada uno) para que al terminal móvil le sea más fácil determinar el conjunto que usa la célula.

	Código de canalización	Código de scrambling
Uso	<i>Uplink:</i> Separación de los canales DPDCH y DPCCH en el mismo terminal. <i>Downlink:</i> Distingue entre terminales.	<i>Uplink:</i> Distingue entre terminales. <i>Downlink:</i> Distingue entre células.
Longitud	4-256 chips (1-66.7µs) En downlink incluso 512 chips.	<i>Uplink:</i> 10ms=38400 chips. <i>Downlink:</i> 10ms=38400 chips.
Número de códigos	El número de códigos sobre un código de <u>scrambling</u> equivale al SF.	<i>Uplink:</i> Varios millones. <i>Downlink:</i> 512 conjuntos de 16 códigos.
Familia de códigos	Orthogonal Variable Spreading Factor	Código largo(10ms): Gold code. Código corto: familia de código extendido S(2).
Ensanchado	Incremento del ancho de banda de transmisión.	No afecta al ancho de banda de transmisión.

Fig 2.2.8 Códigos de canalización y de scrambling

ENSANCHADO Y MODULACIÓN UPLINK

- Se diseña para minimizar la interferencia en equipos de audio al utilizar la transmisión discontinua (genera envolvente a 1500 Hz, que sería audible).
- Modulación QPSK de doble canal (I-Q/code multiplexing) para los canales DPCCH y DPDCH.
- Proceso similar para los canales PRACH y PCPCH.
- Consiste en dos modulaciones BPSK independientes.
- El ensanchamiento se produce con códigos de canalización diferentes. Después se aplica en código de scrambling.
- En el DPCCH se asigna un único código de canalización y en el DPDCH se asignan tantos como conexiones establecidas.
- En el DPDCH el SF puede variar trama a trama.

ENSANCHADO Y MODULACIÓN DOWNLINK

- Se emplea una modulación QPSK junto con una multiplexación en el tiempo de las tramas de control y de datos.

- Tras la conversión S/P las dos ramas se utilizan el mismo código de canalización y de scrambling.
- Aunque utilicemos transmisión discontinúa no se producen interferencias ya que el BCH se transmite continuamente.
- Ensanchado en downlink:
 - Utiliza los códigos de canalización, de forma similar al uplink.
 - Son códigos OVSF que mantienen la ortogonalidad entre canales de diferente ratio y SF.
 - El código de canalización para el BCH está predefinido y es el mismo para todas las células del sistema. Además el BCH difunde los códigos de canalización del resto de canales de control.
 - Los códigos de canalización usados para los canales físicos dedicados en DL (DPCCH y DPDCH) se deciden por la red y se informa al móvil.

PROCEDIMIENTOS DE LA CAPA FÍSICA

BÚSQUEDA DE CELDA

El proceso de búsqueda de celda le permite al móvil determinar la celda en la que se encuentra, sincronizarse con ella y recibir el BCH.

Este procedimiento consta de tres pasos:

- **Sincronismo de slot:** para conseguirlo el móvil utiliza el P-SCH (Primary Synchronization Channel), el cual transmite en todas las celdas el código de sincronización primario (secuencia de chips común). Esta información se repite cada slot.
- **Sincronismo de trama y detección del *code-group*** (grupo de código de scrambling): simultáneamente a la transmisión del P-SCH, en el S-SCH (Secondary Synchronization Channel) se transmite el grupo (de entre los 64 posibles) al cual pertenece el código de scrambling primario utilizado en la celda. El período de repetición de esta información es una trama.
- **Identificación del código de scrambling primario:** una vez identificado el *code-group*, el código de scrambling primario que utiliza la celda se determina a través de la correlación de la secuencia de símbolos que transporta el CPICH (Common Pilot Indicator Channel) con los ocho posibles códigos primarios de scrambling del grupo. Una vez identificado, el UE puede leer el BCH de la celda.

ACCESO ALEATORIO EN EL RACH

- El acceso aleatorio se realiza por medio del canal físico PRACH (Physical Random Access Channel), que soporta el canal de transporte uplink RACH.

- El acceso aleatorio está basado en un protocolo tipo Aloha ranurado: las estaciones móviles pueden iniciar sus transmisiones en unos instantes predefinidos, denominados slots de acceso.
- El nodo B responde a las peticiones de acceso en el canal físico AICH (Access Indicator Channel).

Las transmisiones aleatorias tienen la siguiente estructura:

- Uno o varios preámbulos de 4096 chips (256 repeticiones de una “firma” de 16 chips, de las cuales hay 16: existen 16 preámbulos diferentes). Se utilizan como mecanismo de contienda.
- Un mensaje de duración una o dos tramas radio, que se envía sólo si se recibe una respuesta afirmativa.

ACCESO ALEATORIO EN EL CPCH

- Transmisión de ráfagas de paquetes: acceso aleatorio en el PCPCH (Physical Common Packet Channel), que soporta el canal de transporte CPCH (Common Packet Channel).
- Pueden existir varios PCPCHs, con distintos SFs en una celda.
- Transmisión de paquetes en ráfagas de hasta 64 tramas, con SFs desde 4 a 256.
- Dos mecanismos posibles de contienda (el que se usa se difunde en el BCH):
 - **Por PCPCH** (UCSM: UE Channel Selection Mode): el UE contienda por un PCPCH concreto.
 - **Por bit rate** (VCAM: Versatile Channel Assignment Mode): el UE contienda por un bit rate concreto, siendo la red la que le asigna el PCPCH que cumple sus expectativas.

PAGING

- Los mensajes de radiobúsqueda se envían en el canal físico PICH, que transporta los PIs (Paging Indicators).
- La información de radiobúsqueda se envía en el canal de transporte PCH, que se mapea sobre el canal físico S-CCPCH.
- Pueden existir varios S-CCPCH, con distintos SFs en una celda. Puesto que sobre el canal físico S-CCPCH también se mapea el canal de transporte FACH, la celda difunde (BCH):
 - **Número de S-CCPCH, así como sus parámetros asociados (entre ellos, el PICH asociado, si el S-CCPCH transporta un PCH).**
 - **Tipo de información contenida en cada S-CCPCH (PCH, FACH ó ambos).**

Cuando el terminal detecta un mensaje de radiobúsqueda dirigido a él, lee la información contenida en el S-CCPCH. Existe un desfase temporal (3 slots) entre la trama PICH y la trama S-CCPCH.

GESTIÓN DE RECURSOS RADIO

Gestión del servicio

- **¿Cómo se accede?**
El protocolo de acceso al medio (MAC) determina cómo acceden un grupo de terminales a un conjunto de recursos compartidos.
- **¿Quién y cuándo se accede?**
El algoritmo de planificación determina las transmisiones que pueden realizarse, el orden a seguir y el formato para garantizar la QoS contratada.
- **¿Dónde se accede?**
El algoritmo DCA (Dynamic Channel Allocation) distribuye los recursos compartidos entre los terminales. En FDD puede ser a diferentes portadoras de 5MHz y en TDD a distintos intervalos de la trama.
- **¿Quién puede acceder?**
El control de admisión en función del grado de ocupación y de la calidad del servicio, determina si un terminal registrado puede o no ser aceptado por el sistema.

Algoritmos de planificación

- Se localiza en el RNC, donde hay medidas de los Nodos B.
- QoS definida a partir del retardo y de la tasa de errores en transmisión.
- En su funcionamiento se identifican:
 - Priorización de servicios y usuarios.
 - Asignación de capacidad a los usuarios.
 - Asignación de formatos de transmisión a los usuarios.

2.3 HSPA

HSPA (High Speed Packet Access) es un conjunto de protocolos que extienden y mejoran el rendimiento de UMTS para servicios de datos.

Está definido en las especificaciones de 3GPP Release 5. Es totalmente compatible con WCDMA.

La especificación anterior, el 'Release 99' de UMTS establecía un máximo de 384 kbps.

HSPA se implementa sobre la misma red que WCDMA, bien en la misma portadora o bien (para lograr mayor capacidad y mayores tasas de bit) utilizando otra portadora.

- HSPA y WCDMA pueden compartir todos los elementos de la red.
- Pasar de WCDMA a HSPA requiere únicamente modificaciones de software y algunos elementos de hardware en las estaciones base.
- **El coste de pasar de WCDMA a HSPA es muy bajo**, sobre todo comparado con otras tecnologías, como WiMAX, que precisan de una infraestructura completamente nueva.

HSDPA

Provee velocidades en el canal de bajada (downlink), de un máximo teórico de hasta **14.4 Mbps de pico**. Sin embargo, HSDPA no incluye ningún tipo de modificación en el enlace ascendente, por lo que en un principio estaba pensado para servicios de demanda asimétrica

- HSUPA (High-Speed Uplink Packet Access), en el Release 6 de 3GPP, viene a complementar a HSDPA.
- HSPA+ (Release 7) supone una mejora tanto del enlace DL como el UL.

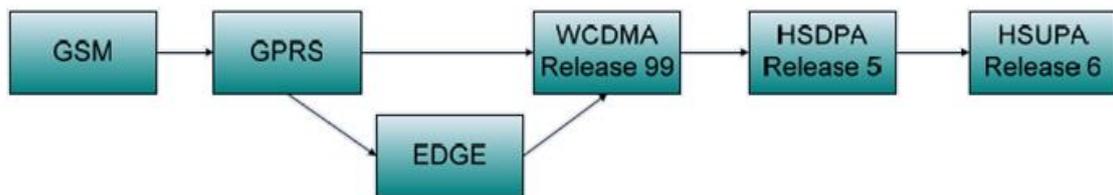


Fig 2.3.1 Evolución de las tecnologías móviles

FUNDAMENTOS

- HSDPA hace un uso compartido de un canal descendente, el HS-DSCH (High Speed-Downlink Shared CHannel), orientado inicialmente a servicios que requieran picos de transmisión, como puede ser la navegación por internet y el video bajo demanda.
 - Además mejora el RTT y la latencia, reduciéndola por debajo de 100ms. Así, ofrece muy buenos resultados para aplicaciones de baja tasa de bits que requieran latencia baja, como VoIP.
- Adaptación del enlace: el esquema de transmisión cambia en cada Intervalo de Transmisión (Transmission Time Interval, o TTI), para adaptarse a las condiciones puntuales del enlace. La adaptación del enlace elige el código, la tasa de código y la modulación a emplear en cada caso.
- Modulación de alto orden: QPSK y 16 QAM

- Planificación rápida. Planificador se desplaza de la RNC al nodoB.
- Fast HARQ. Uso de retransmisiones rápidas en la capa física, y combinación de las retransmisiones, mientras que en DCH las retransmisiones están basadas en el nivel RLC (Radio Link Control).
- TTI (Transmission Time Interval) de 2 ms, mientras en Release 99 se utilizaban valores de 10, 20, 40 u 80ms. No hay transmisión discontinua durante el TTI.

HS-DSCH

El canal descendente HS-DSCH es compartido entre varios usuarios y se utiliza un scheduling dependiente del canal para hacer el mejor uso posible de las condiciones radio existentes. Cada UE transmite un indicador de la calidad del enlace descendente cada 2 ms; utilizando esta información, un algoritmo inteligente en la estación base decide a qué usuarios se enviarán bloques de datos en el siguiente TTI, y qué cantidad de datos se enviará a cada uno, dando prioridad a los usuarios que reporten una mejor calidad en el enlace.

La información relativa a qué usuarios recibirán datos en el siguiente TTI se envía en un canal de señalización paralelo, el HS-SCCH (High-Speed Shared Control CHannel).

HARQ

- Para conseguir una transmisión de datos lo más robusta posible, HSDPA implementa HARQ (Hybrid Automatic Repeat Request)
- El UE tiene que soportar hasta 8 procesos HARQ en paralelo.

Automatic Retransmission Query (ARQ) es un mecanismo de detección de errores que se utiliza en la capa de enlace. Consiste en que el receptor informa al transmisor de que un bloque se ha recibido incorrectamente, y el transmisor lo reenvía.

Se implementa un procedimiento Stop-and-Wait, donde el transmisor espera al reconocimiento, positivo o negativo, de cada bloque antes de enviar uno nuevo (o retransmitir). Este esquema no es muy eficiente por el tiempo que pasa el transmisor inactivo, por lo que en HSDPA se implementa un SAW de 8 canales.

- **Hybrid ARQ** es una combinación de ARQ y Forward Error Correction (FEC).
- Los bloques erróneos son guardados por el receptor, y se utilizan para ejecutar una detección combinada con las retransmisiones.
- HARQ utiliza redundancia incremental, de manera que los bloques se retransmiten utilizando diferentes códigos; el UE guarda los paquetes

corruptos recibidos, para combinarlos con subsiguientes retransmisiones y recuperar el paquete de la forma más eficiente posible. Incluso si todos los paquetes retransmitidos se reciben corruptos, su combinación puede dar un paquete sin errores.

KPIs BÁSICOS (key performance indicator)

Los KPI son indicadores clave de rendimiento. Hay de diferentes tipos:

Throughput (TH)

- Se llama throughput al volumen de trabajo o de información que fluye a través de un sistema
- **Throughput de aplicación:** volumen total de datos en el tiempo que dura la sesión de datos
- **Throughput instantáneo:** muestreo que realiza el equipo, típicamente cada segundo, por lo que no es lo mismo que el **throughput instantáneo de HSDPA (medido en un TTI: 2 ms)**

Cuando Throughput = 0 **no significa que la prueba de datos haya fallado**. El throughput puede ser igual a cero cuando el test de datos da timeout.

A nivel de procesado, es necesario rellenar este campo como **volumen de datos descargado/ tiempo sesión**

Por qué forzar timeout:

- **Ahorrar tiempo de medidas.**
- **Más significancia estadística:** es mejor tener más pruebas, aunque no se hayan completado, que una única prueba donde se ha descargado el fichero completo.

CQI

El CQI (Channel Quality Information) es un número de 0 a 30, que **representa un índice en una tabla, y determina el tipo de modulación a emplear, el número de códigos a asignar, y el tamaño del bloque de transporte.**

- Esta tabla depende de la categoría del dispositivo.

Lo calcula el terminal de acuerdo al volumen teórico de datos que sería capaz de decodificar con una tasa de error del 10% (**NACK = 10 %**).

- **Indica la calidad del canal en el enlace descendente.** Lo calcula el propio terminal de acuerdo a un complejo algoritmo, y teniendo en cuenta multitud de factores, entre ellos:

> Relación Señal/Ruido

- > Factor de geometría
- > Potencia disponible en el nodo (parámetro gamma)
- El nodo B es quien decide la frecuencia con que el terminal tiene que reportar el CQI (de 2 ms a 160 ms).
- **El nodo B puede o no ajustarse a la información reportada por el terminal.**

Uso de la tecnología

- **Directamente relacionado con las limitaciones de throughput por tecnología:**
 - LTE: hasta 100 Mbit/s (DL) y 50 Mbit/s (UL)
 - HSPA+: hasta 42Mbit/s (DL) y 11 Mbit/s (UL)
 - HSUPA: 5.76 Mbit/s
 - HSDPA: 14.4 Mbit/s
 - UMTS (R99): 384 kbit/s
 - EDGE UL: 118.4 kbit/s
 - EDGE DL: 177.6 kbit/s
 - GPRS DL: 80 kbits/s
 - GPRS UL: 20 kbits/s
- **Uso De tecnología por test:**
 - % de tiempo en cada tecnología
- **Uso de tecnología por sesión:**
 - Σ % tiempo en cada tecnología / número de tests
 - Por ejemplo:
 - 1 FTP DL: 100% HSDPA
 - 1 FTP DL: 50% HSDPA y 50 % GPRS
 - Uso de tecnología en la sesión: 75% HSDPA y 25% GPRS
- **Impacto drástico en el throughput:**
 - 90% HSDPA (1 Mbps) + 10% GPRS = Throughput aplicación de 900 kbps

Modulación

- QPSK: mayor inmunidad frente al ruido
- 16QAM: mayor throughput
- En HSDPA, los usuarios que reportan mejor CQI tienen asignada una modulación más alta
 - HSPA+ incluye el uso de modulación 64QAM

Uso del canal compartido HS-DSCH

- Varios usuarios conectados al mismo nodo:
 - Comparten canal DL

- Pueden obtener valores de throughput instantáneo cercanos al máximo
 - Throughput de aplicación se verá modificado por el porcentaje de uso del canal compartido
- Planificador del nodo B evalúa cada TTI (2ms) a qué usuario va a servir
- Política HSDPA: máximo de recursos posibles a un usuario en pequeños intervalos de tiempo
- El uso del canal compartido se mide como el % de TTIs asignados a un usuario

Número de códigos

- El terminal trabaja en paralelo, como si tuviera varias líneas de comunicación a la vez
- La fuente de código compartido, sobre la cual el canal HS-DSCH está mapeado, puede contener hasta 15 códigos. El número actual empleado depende del número de códigos soportado por el terminal y el sistema, ajustes del operador, licencias activadas en el nodo y capacidad del sistema.

HSUPA

INTRODUCCIÓN

- En la actualidad los operadores de telefonía móvil luchan en una carrera para ver quién es el primero en desplegar e implementar las nuevas tecnologías de datos.
- Primero fue HSDPA y HSUPA, y en la actualidad toman el relevo HSPA+ (es una mejora de HSPA no una tecnología nueva) y LTE.

HSDPA vs HSUPA

- **HSDPA y HSUPA se parecen en algunos aspectos y difieren en otros:**
 - Ambos usan un planificador en el nodo B que distribuye los recursos para maximizar las prestaciones, y ambas tecnologías usan tramas de 2 ms (para HSUPA también 10ms)
 - Mientras que en HSDPA se usa un canal compartido para todos los usuarios, en HSUPA hay un canal asociado a cada uno. En HSDPA se usan varias modulaciones (QPSK y 16QAM) mientras que sólo una en HSUPA (BPSK), una modulación más robusta que permite disminuir el efecto de la interferencia.
- **El principal problema que existe en HSUPA es la interferencia entre usuarios, que en HSDPA es poco relevante.**

- Es éste el principal motivo de las diferencias de implementación de HSUPA y HSDPA.
- En HSDPA el origen de los datos es en el nodo B por lo tanto toda la información está sincronizada y la interferencia es irrelevante
- En HSUPA cada terminal es un origen de datos y al nodo llegan diferentes canales que no están sincronizados entre sí. Esto hace que la interferencia aumente drásticamente. Por esta razón no se pueden multiplexar usuarios con códigos ortogonales como en HSDPA
- La interferencia y la limitación en potencia de los terminales hace que sólo sea viable la modulación BPSK en HSUPA

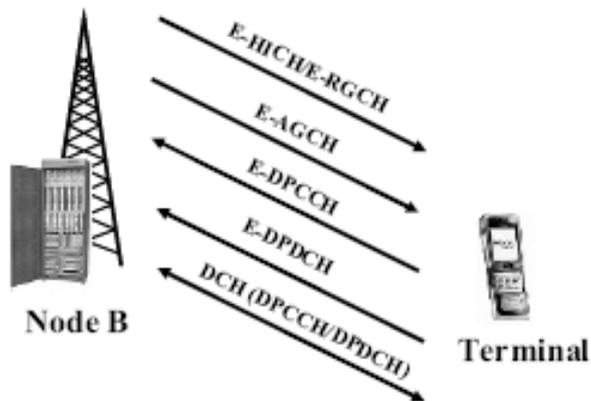
R99 vs HSUPA

- La mejora fundamental de HSUPA frente a R99 reside en la capacidad de adaptación a las condiciones radio existentes. El cuello de botella para el uplink de R99 es no poder adaptarse rápidamente a la interferencia de los demás usuarios.
- El aumento de throughput en HSUPA frente a R99 no se obtiene aumentando la capacidad de los canales (que es la misma) sino **aumentando la eficiencia del sistema para minimizar la interferencia entre usuarios.**
- **Esto se consigue de varias formas:**
 - Ahora es el nodo el que reparte los recursos y decide quien puede transmitir, si hay que retransmitir una trama, potencia de transmisión máxima... , en lugar de que lo haga la RNC
 - Reduciendo la duración de la trama hasta 10 e incluso 2 ms
 - Implementa HARQ, que es un método de control de retransmisiones que permiten adaptarse a posibles fallos de manera mucho más rápida que en R99.

FUNDAMENTOS

- En HSDPA el canal de tráfico es común a todos los usuarios enganchados a la misma celda, mientras que en HSUPA hay un canal dedicado para cada usuario.
 - En HSDPA la fuente de los datos es siempre el nodo, lo que le permite sincronizar a quién se envía la información y cómo, asignando intervalos de tiempo y un número de códigos de canalización
 - En HSUPA, como es cada usuario el que envía los datos, esta sincronización es inviable por lo que es necesario un canal dedicado para cada uno
- Las principales diferencias entre el uplink de R99 y HSUPA es la capacidad del segundo de adaptarse rápidamente a los cambios y poder aprovechar el throughput que se puede alcanzar.

- Para ello se implementan los siguientes canales:



- **E-DPDCH (UL):** canal dónde se encapsulan los datos de usuario.
- **E-DPCCH (UL):** canal de control asociado al E-DPDCH.
- **E-AGCH (DL):** canal por el cuál la red indica al terminal la potencia con la que puede enviar datos en E-DPDCH.

Fig 2.3.2 Uso de canales entre el terminal y el Node B

- **E-RGCH (DL):** canal para ajustar de forma relativa la potencia con la que puede transmitir el terminal. Complementa al E-AGCH.
- **E-HICH (DL):** canal con cuál el nodo informa al terminal si debe o no retransmitir un trama.
- Los canales resaltados en rojo son los que permiten al nodo controlar las transmisiones de los usuarios liberando de ello a la RNC.

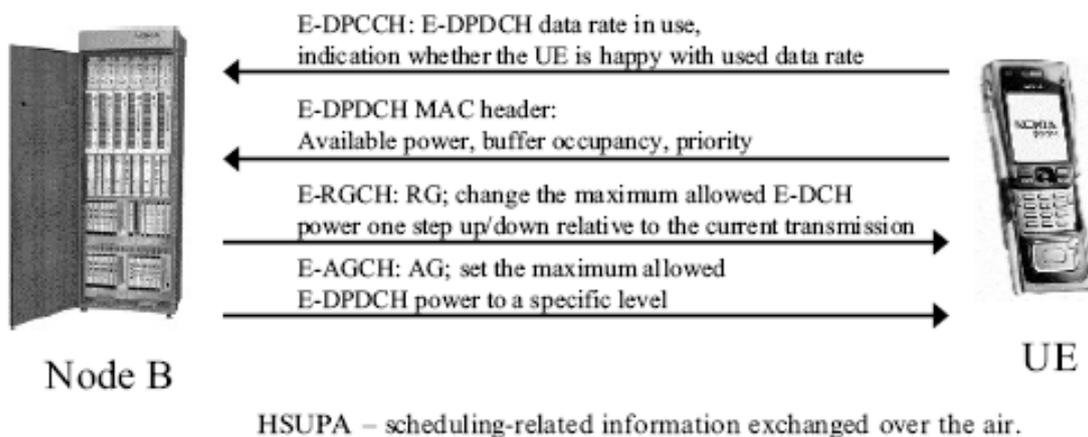


Fig 2.3.3 Planificación de intercambio de información entre el terminal y el Node B

HARQ

- Para conseguir una transmisión de datos lo más robusta posible, HSUPA implementa HARQ (Hybrid Automatic Repeat Request)
- El funcionamiento es muy similar al HARQ implementado en HSDPA, con leves diferencias:
 - Los procesos HARQ en HSUPA son de naturaleza síncrona, y dependen de la duración de la trama del canal E-DPDCH.

- Cuando el terminal envía una trama, automáticamente programa una retransmisión de ésta. Si la red es capaz de decodificarla correctamente envía un ACK y el terminal aborta la retransmisión y envía datos nuevos. Si no se recibe nada o se recibe un NACK se retransmite la trama.
- El retardo para la retransmisión viene determinado por el tiempo necesario para que el nodo procese la información y envíe el ACK.
- Para el caso de tramas de 10 ms, la retransmisión se programa para 4 tramas más tarde, por lo que antes de que termine el primer proceso de retransmisión que dura 4 tramas se generan otros 3 correspondientes a las 3 tramas que se envían antes de la primera retransmisión (el móvil debe manejar 4 procesos HARQ en paralelo).
- Para el caso de tramas de 2 ms, la retransmisión se programa para 8 tramas más tarde, por lo tanto el terminal debe manejar 8 procesos de retransmisión en paralelo.

E-DCH

- **El nuevo canal de datos HSUPA es el E-DPDCH (canal uplink) que comparte muchas semejanzas con el canal de DCH uplink de R99:**
 - Ambos permiten usar códigos OVSF para variar la velocidad de transmisión modificando el spreading factor.
 - En el nivel físico se pueden usar varios canales para encapsular la información de un mismo canal de transporte.
 - Ambos usan la modulación BPSK.
- Ambos canales pueden llegar al mismo máximo de velocidad de transmisión: 5.76 Mbps.
- Las principales diferencias son:
 - Spreading factor mínimo de 2 frente al mínimo de 4 de R99
 - Soporta HARQ
 - La longitud de trama en el nivel físico es 10 ms (15 slots de tiempo) ó 2 ms (3 slots)

2.4 LTE

EVOLUCIÓN

El objetivo de LTE consiste en desarrollar un marco para la evolución de los sistemas 3GPP hacia un sistema optimizado basado en conmutación de paquetes, con mayores tasas de bit, menores latencias, flexibilidad del espectro en frecuencia a emplear y capaz de co-existir con las tecnologías radio (presentes y futuras).

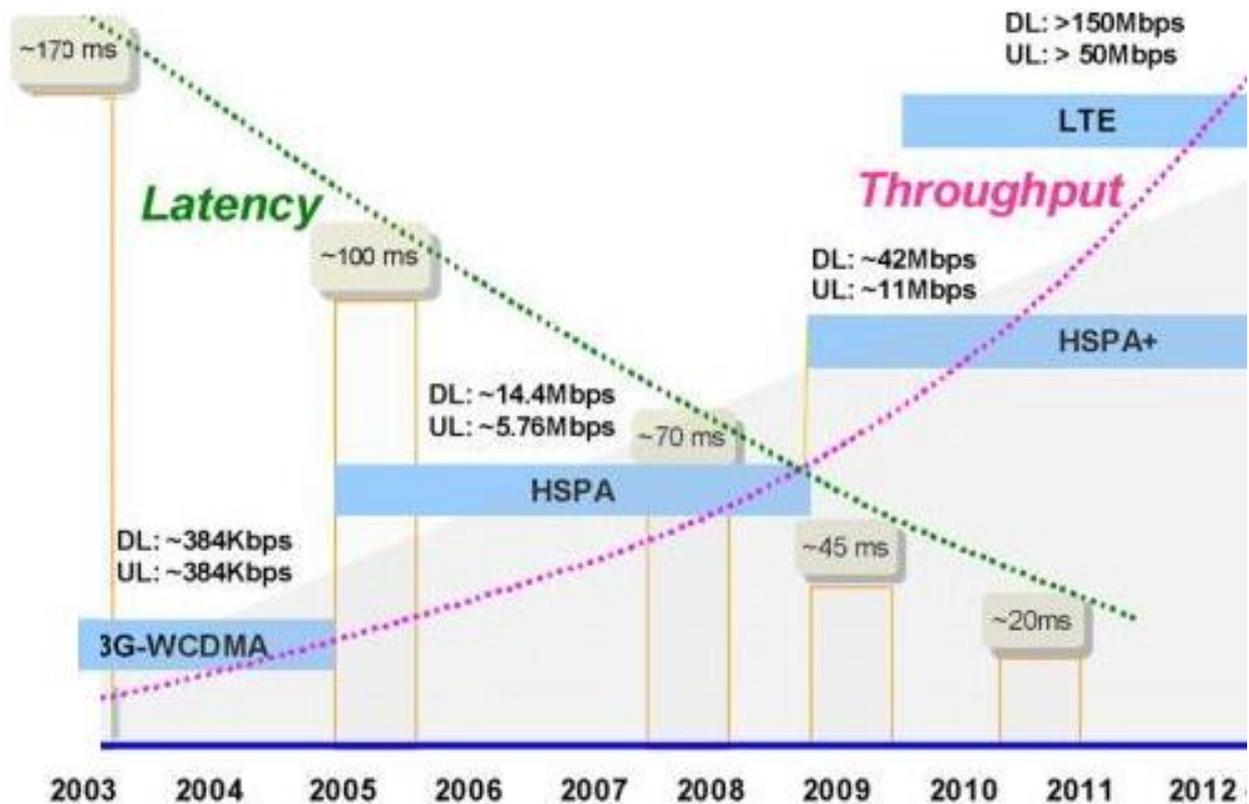
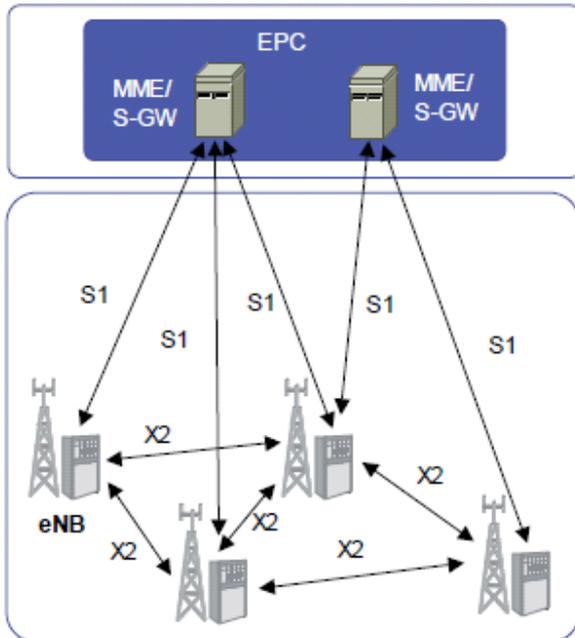


Fig 2.4.1 Evolución de la latencia y velocidad de transmisión de datos

ARQUITECTURA

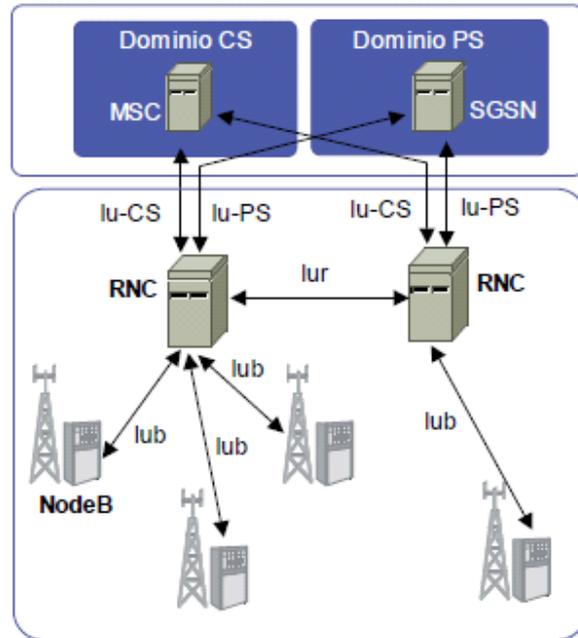
COMPARATIVA CON UMTS

Red troncal LTE



E-UTRAN

Red troncal UMTS



UTRAN

Fig 2.4.2 Comparativa de arquitecturas LTE vs UMTS

PRINCIPIOS

eNodeB

Entidad de red que constituye la estación base de E-UTRAN. Integra toda la funcionalidad de la red de acceso.

Los eNodeB pueden conectarse entre sí mediante la interfaz X2.

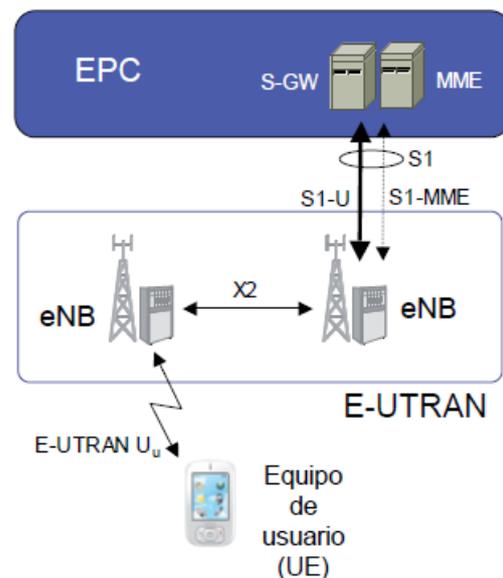


Fig 2.4.3 eNodeB

Funcionalidades:

- **Modulación y demodulación, codificación de canal.**
 - **AMC** (Adaptative Modulation and Coding):
Adapta el proceso HARQ a las condiciones de canal, usando 64-QAM en buenas condiciones y 16-QAM o QPSK en otras.
La finalidad de AMC es optimizar el throughput, cuyo objetivo suele ser un PER (Packet Error Rate) del 10%.
Para articular AMC, el UE envía al eNB el CQI (Channel Quality Indicator), que señala el tipo de modulación (MCS) y, al mismo tiempo, el tamaño del TB (eficiencia-code_rate).

- **Control de enlace radio: detección y corrección de errores.**
 - **HARQ** (Hybrid Automatic Repeat reQuest):
Es un procedimiento de capa-2 que, mediante ED (Error Detecting, vía CRC por ejemplo), solicita la retransmisión de los paquetes recibidos con errores.
Un proceso de parada y espera, stop and wait , que genera baja utilización de la capacidad (muchas subtramas, intermedias, “vacías”). Por ello, en LTE/FDD cada UE puede mantener hasta 8 procesos “en paralelo”.

- **Control de recursos radio: asignación, cambio, liberación.**
 - **Scheduler:**
Realiza la asignación dinámica y eficiente de los recursos compartidos entre los distintos usuarios a través de la interfaz radio LTE.
Usa Resource Allocation Type (0,1,2) (asignación localizada o distribuida), el más extendido es la versión 2.
La unidad mínima de asignación dinámica son los RB (Resource Block's).

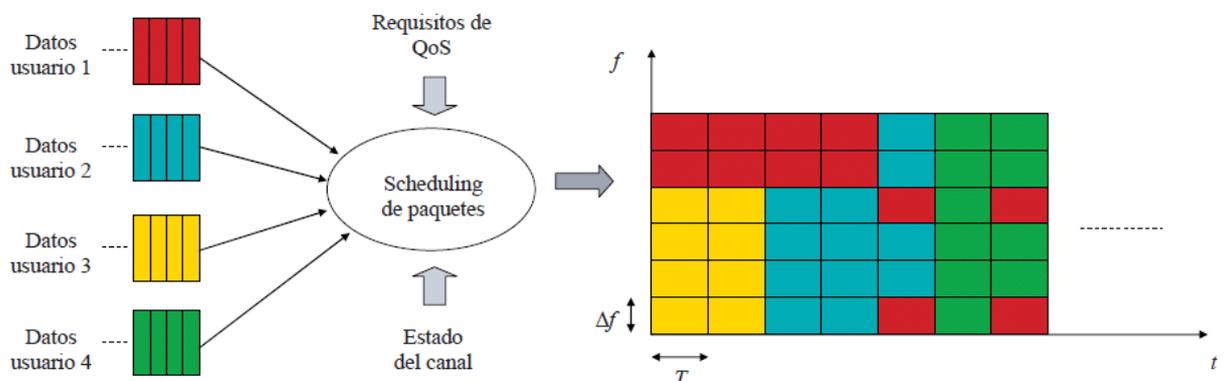


Fig 2.4.4 Funcionamiento del scheduler

- **Gestión de movilidad: procesado de medidas y traspasos.**
 - **ANR (Automatic Neighbour Relations):**
 Los eNB integran una función de definición automática de vecinas (4G-4G,4G-3G) mediante la información de los Measurement report's del terminal y estadísticas manejadas por la entidad O&M. El UE reporta al eNB toda celda "detectada". El eNB es el encargado de especificar el contenido y la frecuencia de los Measurement report.

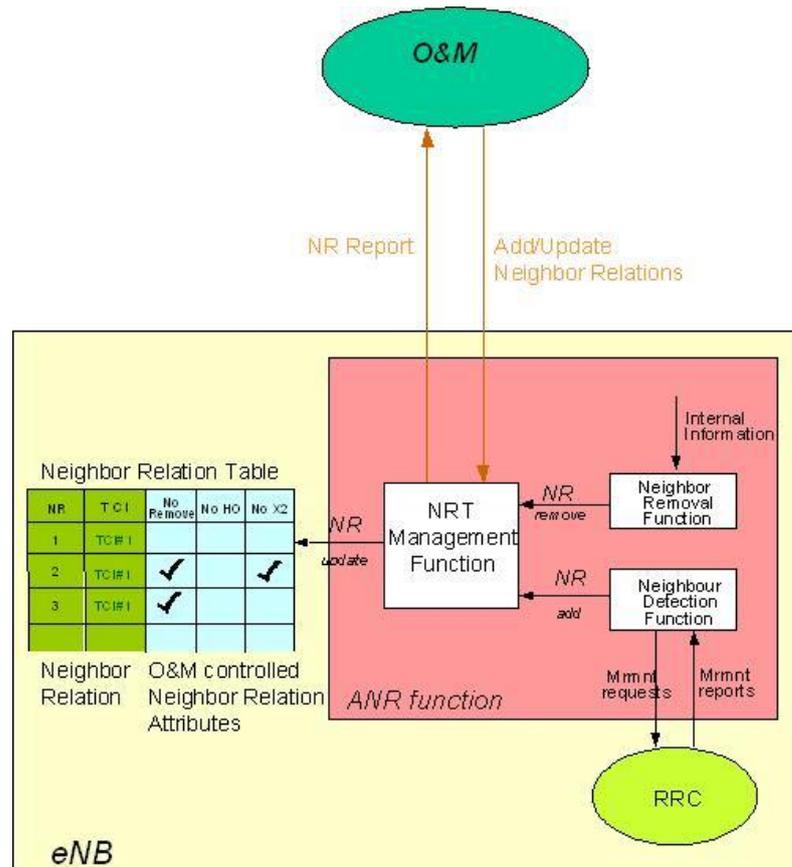


Fig 2.4.5 ANR

- **Coordinación de la interferencia intercelular.**
 - **Con interfaz X2:**
 Interacción de varios eNBs a través del interfaz X2 (100% reutilización de frecuencia).
 - Indicadores de interferencia:
 - Relative Narrowband Transmit Power (RNTP) (DL).
 - High Interference Indicator (HII) (UL).
 - Overload Indicator (OI) (UL).
 - **Sin interfaz X2:**
 Se implementan esquemas de reutilización de frecuencias entre celdas adyacentes.
 - Frequency Reuse Factor (FRF) (con interfaz X2 FRF = 1).

La técnica multiacceso de LTE consiste en un mecanismo de transmisión multi-portadora consistente en multiplexar un conjunto de símbolos sobre un conjunto de subportadoras (15KHz de BW).

Gracias a las propiedades de ortogonalidad de dichas subportadoras, es posible efectuar la transmisión simultánea de todos los símbolos manteniendo la capacidad de separación de los mismos en recepción.

El acceso múltiple se basa en OFDMA en el DL y SC-FDMA en el UL.

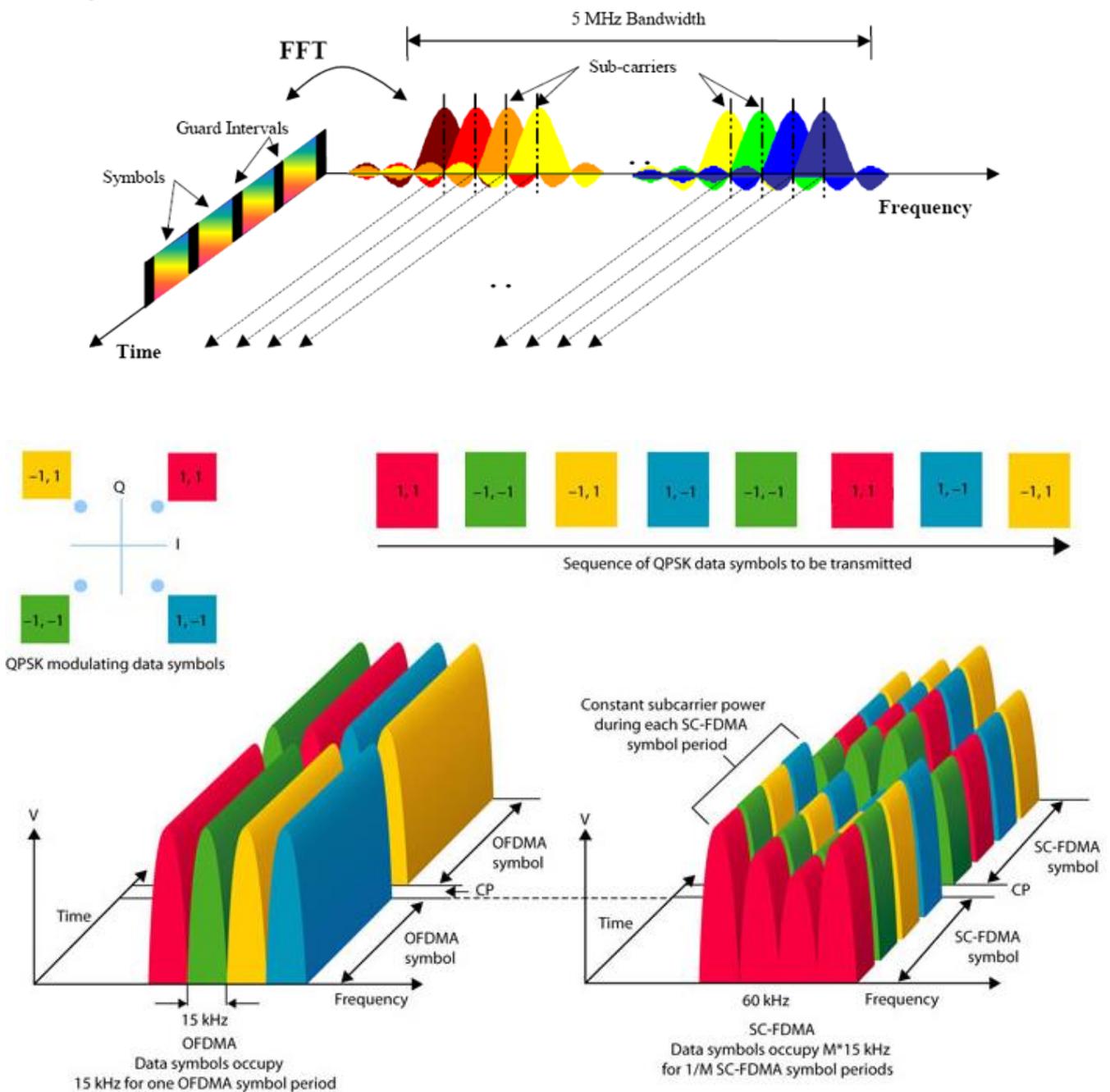


Fig 2.4.7 Técnica de multiacceso de LTE

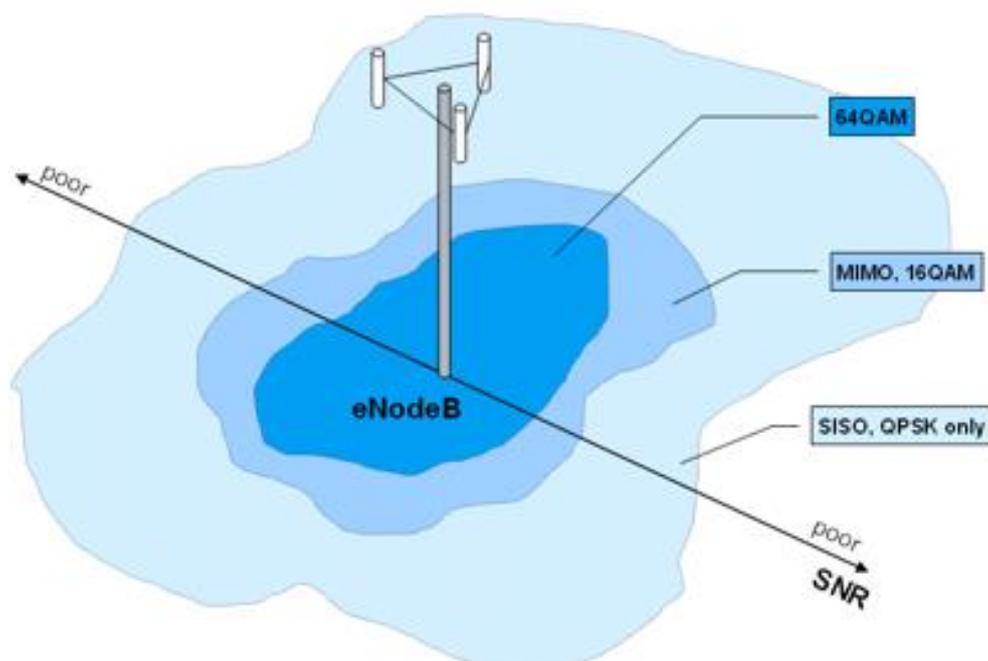
En la SC-FDMA (Single Carrier –Frequency División Multiplex Access) se realiza una DFT sobre la señal a transmitir por el terminal para quedar modulada en una sola portadora. Esto es debido a las limitaciones del terminal a la hora de realizar transmisiones con ratios de potencia tan elevados como requiere la OFDMA.

SEÑAL DE REFERENCIA

- Símbolos conocidos a priori por el receptor y que se transmiten en subportadoras e instantes de tiempo específicos.
- En el enlace descendente se utilizan para obtener medidas de potencia (RSRP) y calidad (RSRQ,RS CINR), para estimar la respuesta impulsional del canal para demodulación / detección coherente y para implementar mecanismos de búsqueda de celda y sincronización inicial.
- PCI: identidad física de la celda LTE define un total de 504 secuencias de señales de referencia.

MODULACIONES

- La red determina el tipo de modulación a usar mediante el MCS (Modulation and Coding Scheduling).
- En el enlace descendente (DL) de LTE pueden utilizarse modulación QPSK, 16QAM y 64QAM correspondientes a 2, 4 y 6 bits por símbolo.
- En el enlace ascendente (UL) también se utilizan el mismo tipo de modulaciones aunque únicamente los terminales de categoría 5 admiten la modulación 64QAM.
- Lo más común, tanto por configuración de red como por tipo de terminal, es el uso de QPSK y 16QAM.



Canalización	1,4MHz	3MHz	5MHz	10MHz	15MHz	20MHz
Número subportadoras disponibles	73	181	301	601	901	1201
Número de PRB	6	15	25	50	75	100
Velocidad de Pico Total (Mb/s) (64QAM sin MIMO)	6	15	25	50	75	100
Velocidad de pico bruta de usuario (Mb/s) (15% de los recursos destinados a control y señalización)	5.1	12.8	21	42.5	63.7	85

Fig 2.4.8 Modulaciones en LTE

EVOLVED PACKET SYSTEM (EPS)

Es el sistema encargado del tráfico de usuario de extremo a extremo. Cada portadora EPS tiene asociado un QCI (Quality Class Identifier) que define sus características de QoS (caudal, retardo, pérdidas).

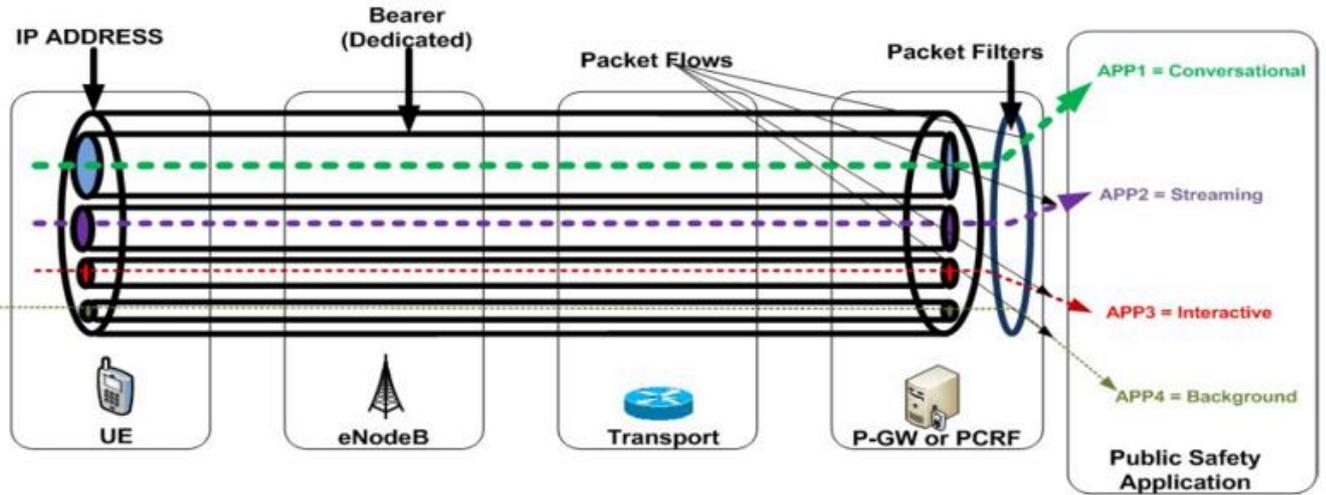


Fig 2.4.9 Evolved Packet System

QUALITY CLASS IDENTIFIER (QCI)

En la siguiente tabla se muestran las características y el uso que se le da a cada QCI.

QCI	Resource type	Priority	Packet delay budget	Packet error loss rate	Example services
1	GBR	2	100 ms	10^{-2}	Conversational voice
2		4	150 ms	10^{-3}	Conversational video (live streaming)
3		3	50 ms	10^{-3}	Real time gaming
4		5	300 ms	10^{-6}	Non-conversational video (buffered streaming)
5	Non-GBR	1	100 ms	10^{-3}	IMS signaling
6		6	300 ms	10^{-6}	Video (buffered streaming), TCP-based (e.g., www, e-mail, chat, ftp, p2p file sharing, progressive video, etc.)
7		7	100 ms	10^{-6}	Voice, Video (live streaming), Interactive gaming
8		8	300ms	10^{-3}	Video (buffered streaming), TCP-based (e.g., www, e-mail, chat, ftp, p2p file sharing, progressive video, etc.)
9		9		10^{-6}	

Fig 2.4.10 Características y usos de los QCI

TIMING ADVANCE (TA)

- Cuando el terminal intenta conectar a un eNB (eNodeB) envía una señal de preámbulo a través del P-RACH. A través de esta señal el nodo calcula el TA y lo reporta al UE (Timing Advance command) para que realice un ajuste temporal (sincronización) en las transmisiones del UL.
- Sincronización inicial: campo del TA de 11 bits con valores de (0..1282) proporcionando un ajuste temporal entre (0..667 μ s), con pasos de 0.52 μ s.
- Sincronización fina: campo de TA de 6 bits con valores de (0..63) proporcionando un ajuste temporal de la forma: $NTA_{old} + (TA - 31) \times 0.52 \mu s$.
- La unidad de TA equivale a: **1 TA = 16 * Ts = 0.52 μ s = 78 m**, donde Ts (\neq TimeSlot) es la unidad mínima temporal en LTE ($T_s = 1 / (2048 \times 15000) = 0.0325 \mu s$)

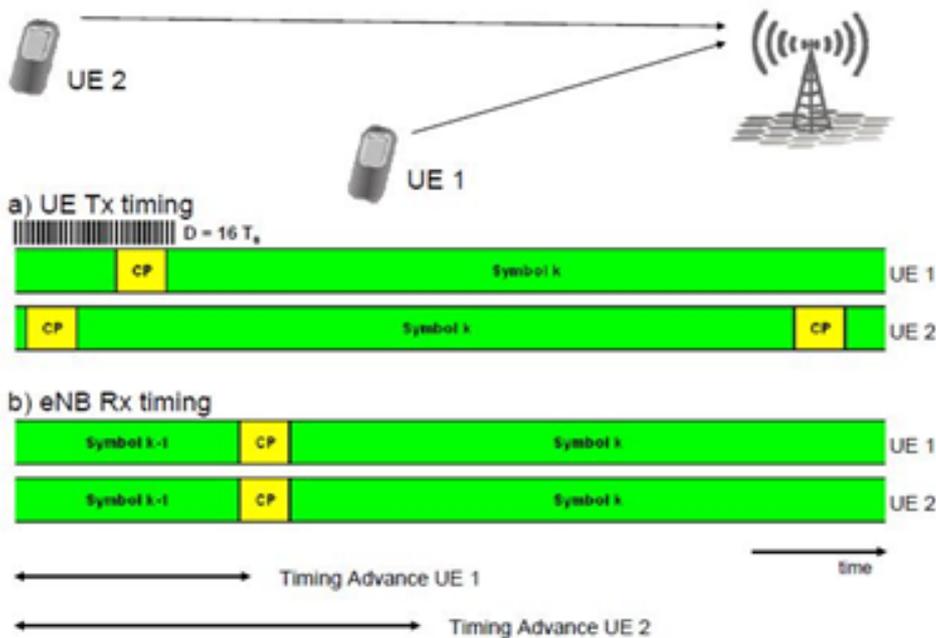


Fig 2.4.11 Timing Advance

MIMO (Multiple-Input Multiple-Output)

MIMO es un método que permite multiplicar la capacidad de un enlace radio usando múltiples antenas para conseguir la propagación multitrayecto. Gracias a esto se incrementa la tasa de transmisión y reduce la tasa de error.

- En LTE, MIMO implica una multiplexación espacial, con la transmisión y recepción de, al menos, dos flujos de datos diferentes, destinados para el mismo o para usuarios distintos.
- MIMO opera en la misma frecuencia, y simultáneamente (al mismo tiempo), aprovechándose de la limitada correlación de los distintos trayectos radioeléctricos establecidos.
- El número receptores ha de ser igual o superior al número de flujos de datos (diferentes) transmitidos, pues en caso contrario no sería posible la recuperación de las

señales, y los streams de datos han de ser menor o igual que el número de antenas transmisoras.

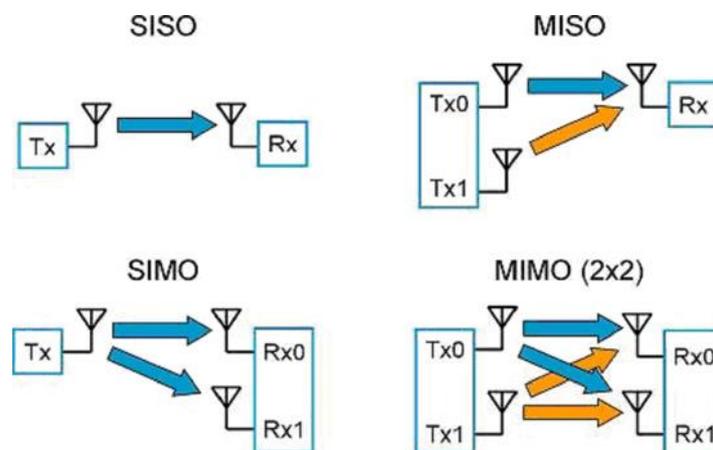


Fig 2.4.12 MIMO

CSFB (Circuit Switched FallBack) y VoLTE

CSFB es una tecnología que permite que servicios de voz y de SMS que provienen de GSM puedan utilizarse en LTE sin necesidad de actualizaciones de MSC. Esto es necesario porque, como se ha visto anteriormente, LTE es una red totalmente basada en paquetes, e inicialmente no puede admitir llamadas o mensajes basados en conmutación de circuitos.

Esta tecnología se usará mientras se desarrolla totalmente la nueva tecnología **VoLTE**, la cual si que permitirá el uso de voz directamente sobre LTE.

Algunas de las principales ventajas de VoLTE serán: voz en alta definición (HD), conversaciones enriquecidas (RCS, pueden incluir videollamadas, transferencia de datos, traducción simultánea, etc), conexiones más rápidas, menos consumo de batería e integración con Wifi.

PETICIÓN DE SERVICIO INICIADA POR EL MÓVIL

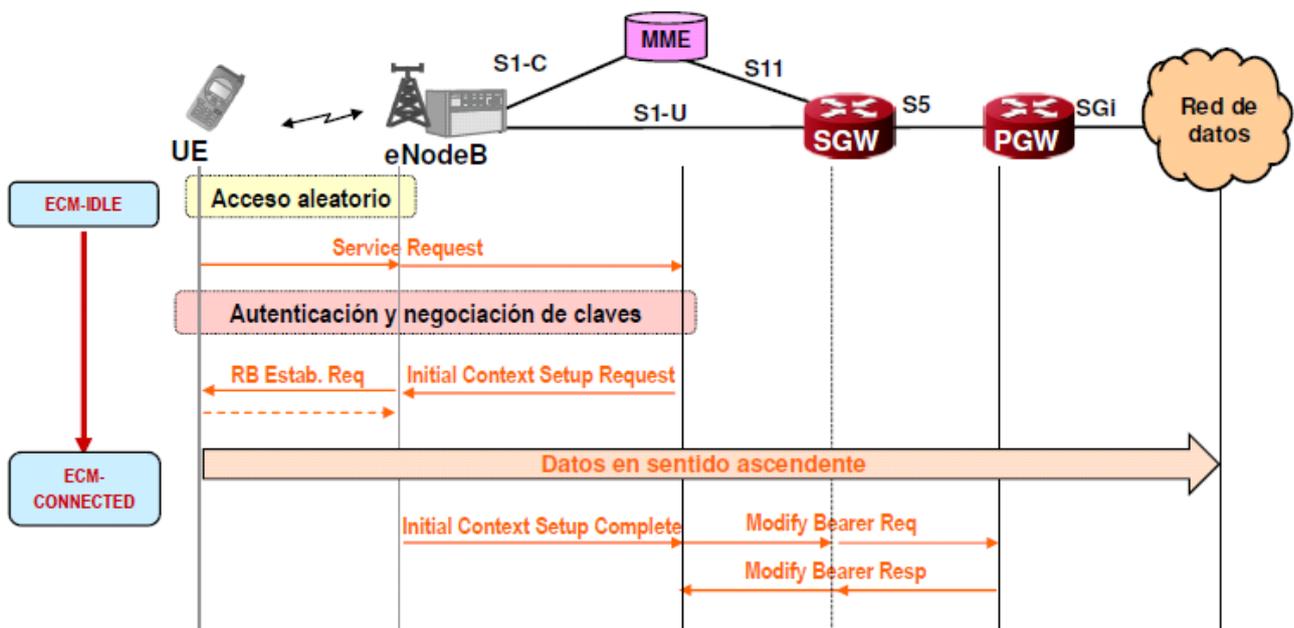


Fig 2.4.13 Petición de servicio iniciada por el móvil

PETICIÓN DE SERVICIO INICIADA POR LA RED (PAGING)

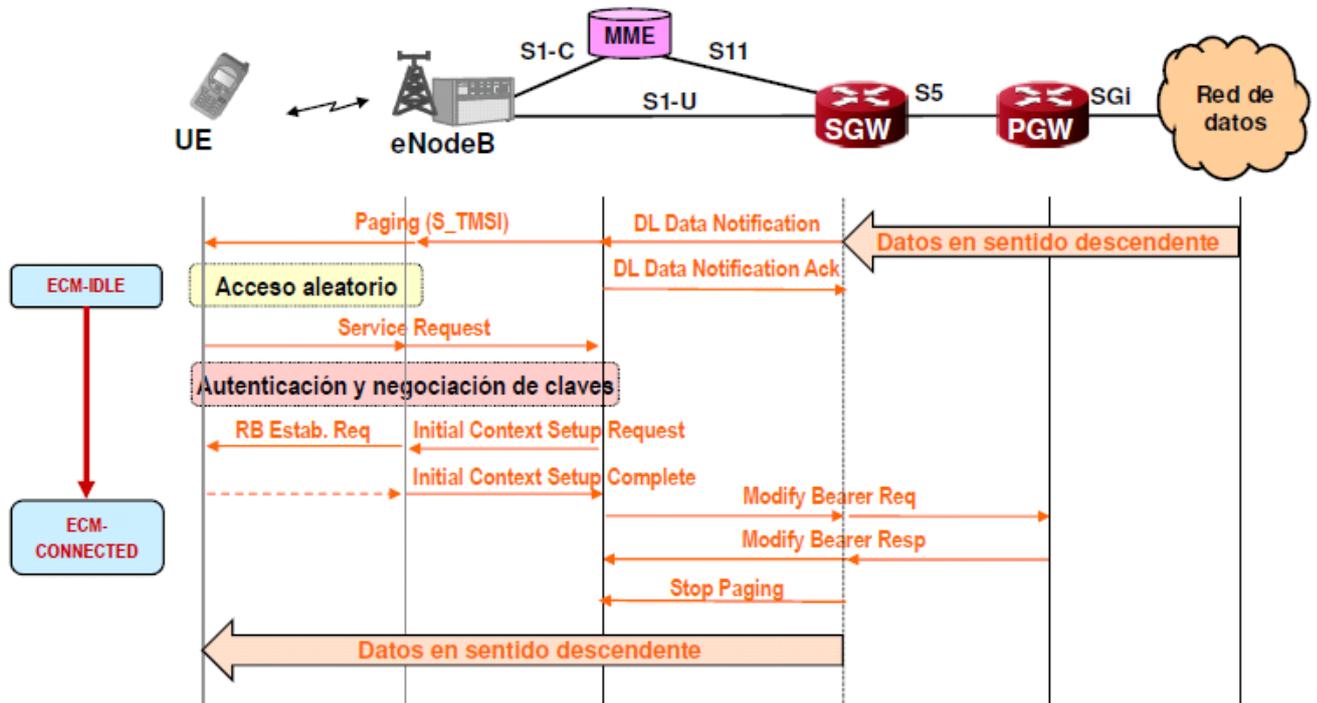


Fig 2.4.14 Petición de servicio iniciada por la red

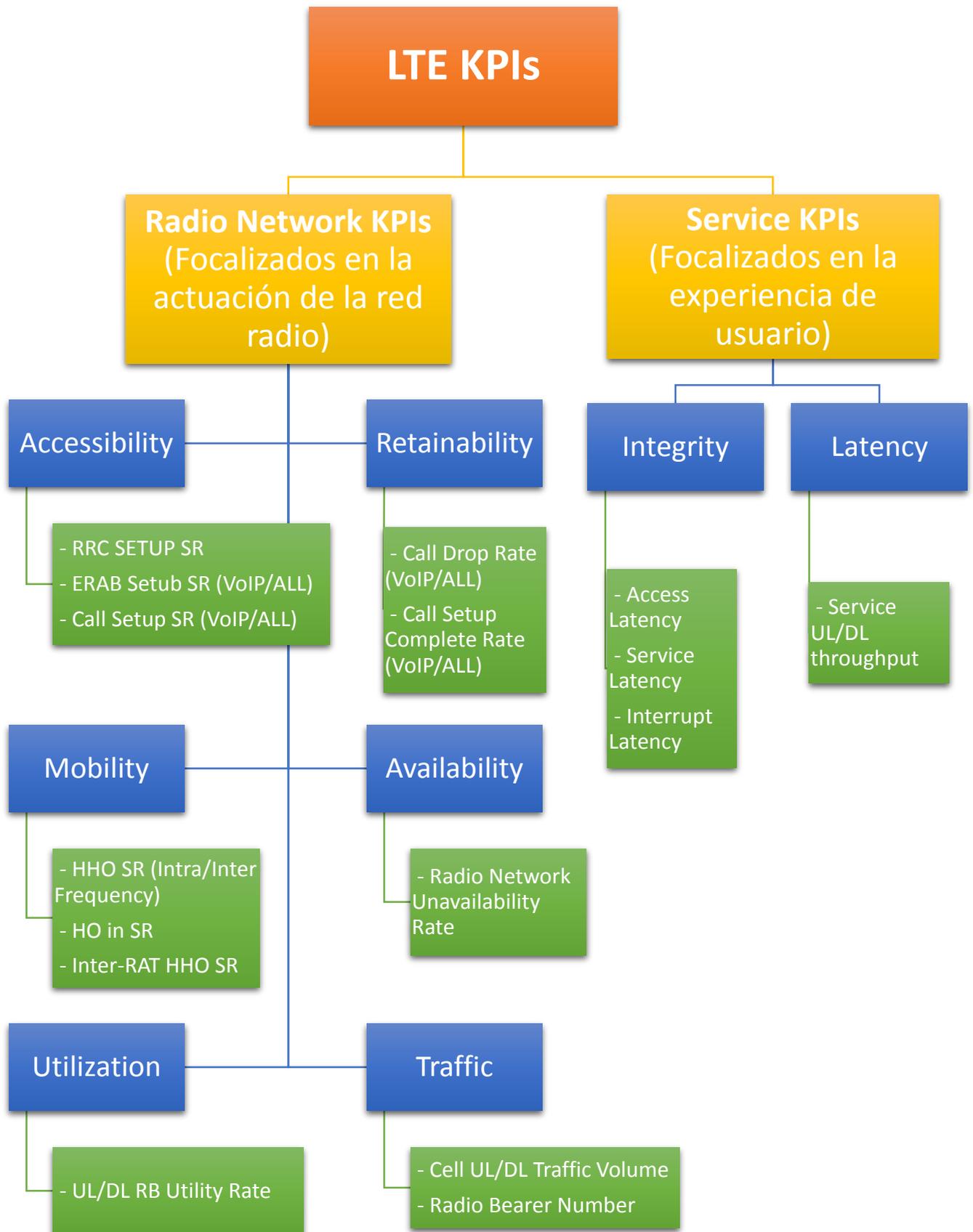


Fig 2.4.15 Principales KPI de LTE

3. OBRA

Una vez asentadas las bases de las tecnologías implicadas en las comunicaciones móviles que se usan actualmente, vamos a proceder a explicar qué fases tiene un proceso de modernización de la red de telefonía móvil y en qué consisten.

Nos centraremos especialmente en la fase de toma de medidas antes y después de haber realizado la obra, el procesado y el análisis de éstas. Ya que este campo fue en el que participé más activamente durante mi estancia como becario en LCC Spain. Además, es una fase fundamental para el correcto desarrollo de un proyecto de modernización de estas características, en la que más aspectos técnicos se manejan y en la que se comprueba que la teoría llevada a la práctica funciona como es debido.

En caso contrario, si se detecta cualquier inconveniente en el funcionamiento de las comunicaciones, desde esta fase se decide qué camino seguir para solucionarlo hasta dejar la obra perfectamente operativa y optimizada, proporcionando un servicio de calidad al cliente final.

3.1 TIPOS DE OBRA

Existen tres tipos de obra: SWAP, IMPLANTACIÓN y AMPLIACIÓN.

SWAP

El SWAP se hace cuando ya existe una tecnología implantada con anterioridad y se pretende modernizar el equipo y/o mejorar la calidad del servicio prestado.

Como en este tipo de obras lo que se cambia es el equipo hardware de la estación base por otro más moderno pero manteniendo la tecnología de comunicaciones, se le suele denominar **AUTOSWAP** (si el vendor¹ final es el mismo que el previo) o **SWAP** (si el vendor final es diferente que el previo). Y siempre será de 2G o de 3G.

IMPLANTACIÓN

La implantación se lleva a cabo cuando en dicho emplazamiento se va a instalar y poner en marcha una tecnología que hasta el momento no se usaba. Será implantación de 3G o LTE, ya que actualmente ya no se hacen implantaciones de 2G.

AMPLIACIÓN

La ampliación consiste en añadir a alguna de las tecnologías existentes, nuevas bandas de frecuencia en donde operar. Este tipo de obra se realiza normalmente sobre la tecnología 3G. Por ejemplo: está instalado un equipo de 3G trabajando en la banda de 2100 MHz y se añade una nueva portadora en esa misma banda.

(1. Véase definición de vendor en pág. 69)

3.2 EPO

Para empezar la obra, se parte de la información proporcionada por el operador móvil en los denominados “Expedientes de Planificación de la Obra” (EPO) sobre cada nodo sobre el que se ha de hacer dicha obra.

Estos expedientes incluyen la siguiente información:

1. Información general de la obra

- **Red en servicio:**

Incluye un plano como el mostrado a continuación en el que se puede observar la situación previa de la red en la zona. Se muestran los elementos relevantes entorno a la nueva instalación, así como la localización de la estación sobre la que se realizará la obra.

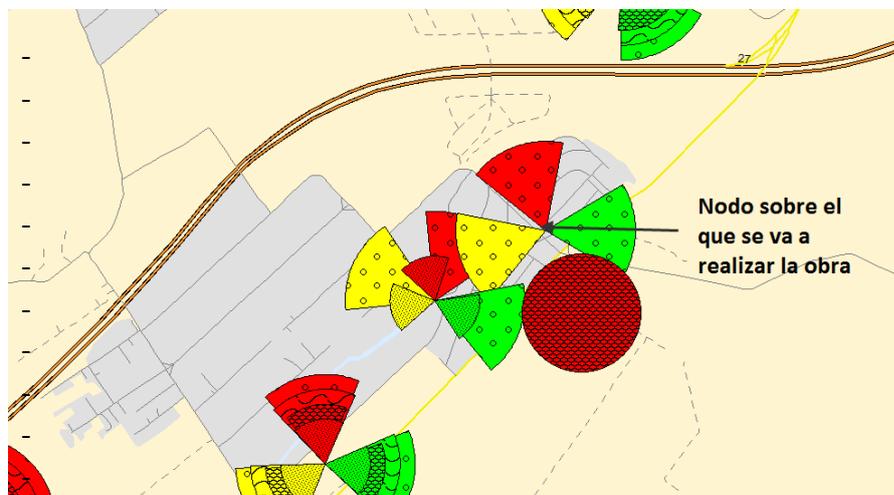


Fig 3.2.1 Situación de antenas y orientación de sectores

- **Otras obras en ejecución o previstas**

Se especifica si hay alguna obra en ejecución actualmente o prevista.

- **Reclamaciones, peticiones e incidencias**

Se especifica si existe alguna de las tres opciones.

- **Situación de la competencia:**

Presenta información de los niveles de señal de los operadores de la competencia que también operan en la zona.

2. Objetivos

- **De cobertura:**

Por ejemplo densificar la cobertura de cierta tecnología en la zona.

- **Objeto de la obra:**

Puede ser un despliegue de LTE, una ampliación de portadora en 3G, etc.

3. Diseño de la obra

- **Emplazamiento:**

Incluye una breve descripción del terreno (plano, abrupto, altura) así como la posición en coordenadas GPS.

- **Estudio de localizaciones:**
Se incluyen posibles localizaciones alternativas para realizar la obra.
- **Definición de la obra asociada**
Incluye información si procede, de una posible obra asociada a la obra específica.
- **Definición de la obra específica**
Incluye información completa de la antena, el soporte sobre el que se ubica y el cableado.

Ejemplo para una Implantación LTE1800:

Sector	S1		S2		S3	
Soportes	TUBO	↓	TUBO	↓	TUBO	↓
Tipo Antena	PA-DP	↓	PA-DP	↓	PA-DP	↓
Modelo Antena	K800 10510		K800 10510		K800 10510	
Nº Antenas	1		1		1	
Long. m/Peso Kg	1,38	17,00	1,38	17,00	1,38	17,00
Gant dBd	15,65		15,65		15,65	
Rel. Del. Detrás dB	28		28		28	
Haz H °	62,00		62,00		62,00	
Haz V °	6,90		6,90		6,90	
DW Eléctrico °	4,00		3,50		4,00	
DW Mecánico °	0,00		0,00		0,00	
Orientación °	340,00		90,00		250,00	
Altura m	5,35		5,35		5,35	
Amp Torre	NO	▼	NO	▼	NO	▼
Tipo Cable	COAXIAL	↓	COAXIAL	↓	COAXIAL	↓
Calibre Cable	1/2 "	↓	1/2 "	↓	1/2 "	↓
Longitud Coaxial m	10		10		10	
Diversidad	SI	↓	SI	↓	SI	↓
RET	NO	▼	NO	▼	NO	▼
Niv. Lób. Sec. Db	18		18		18	
Pra dBm/Pire W	56,20	683,91	56,20	683,91	56,20	683,91

Fig 3.2.2 Parámetros de una implantación LTE

4. Rentabilidad de la obra

- **Valoración económica**
- **Valoración de enlace**

Esta información no se nos proporciona.

Una vez está disponible esta información inicial, entramos en las siguientes fases de la obra.

3.3 FASES DE LA OBRA

El conjunto de la obra se divide en distintas fases, habiendo varios equipos de personas trabajando en cada una de ellas.

Todos los tipos de obra mencionados anteriormente siguen el siguiente diagrama de flujo, incluida la obra de implantación.

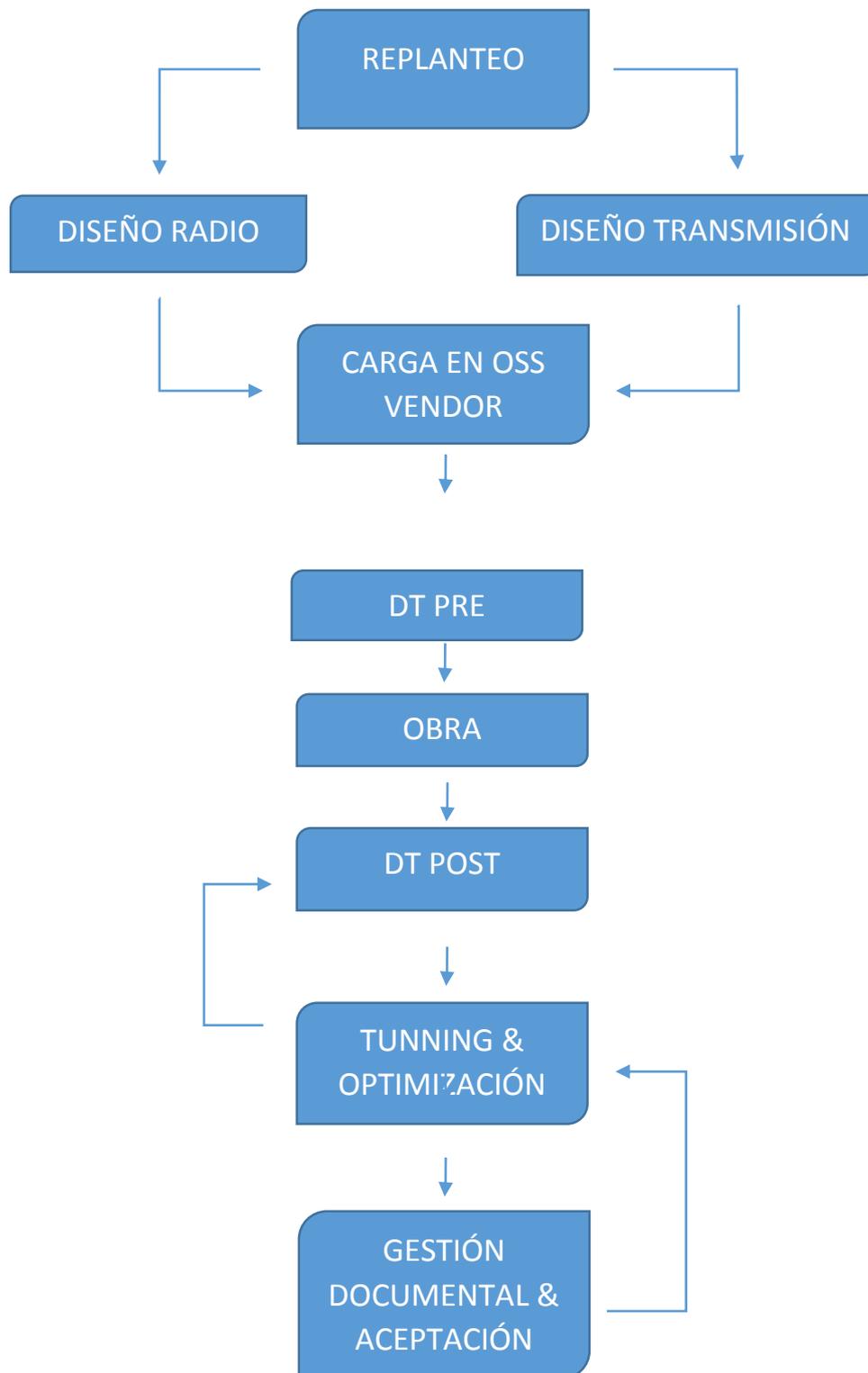


Fig 3.3.1 Flujo de la obra

En dicha obra (implantación), aunque lógicamente no haya datos que medir de la tecnología que se va a implantar antes de realizar la obra, también se exige que se realicen medidas previas con el objetivo de tener una comparativa del antes y después. Ya que en la mayoría de casos, el nodo en el que se va a realizar la implementación va a tener cerca señales procedentes de otros nodos.

Replanteo

En el replanteo se define básicamente el trabajo a realizar. Se realiza una plantilla con la información de lo que había antes de la obra y con la información de lo que habrá después.

Ejemplo de plantilla con la información del replanteo:

SISTEMA	Estado Inicial					
UMTS2100	Solución #2100	NODE B HW	PW #2100	Configuración	MHA	Pérdidas a P.R.
	compacta	2FRGF/1FSME/FTIB	40W	222	SI	3,6
UMTS900	Solución #900	NODE B HW	PW #900	Configuración	MHA	Pérdidas a P.R.
GSM900	Solución	HW	PW	Configuración	MHA	Pérdidas a P.R.
DCS1800	Solución	HW	PW	Configuración	MHA	Pérdidas a P.R.
LTE1800	Solución	HW	PW	Configuración	MHA	Pérdidas a P.R.
	--	--	--	--	--	--

Estado Final						
Solución #2100	NODE B HW	PW #2100	Configuración	MHA	Pérdidas a P.R.	
compacta	2FRGF/1FSME/FTIB	60W	222	SI	3,6	
Solución #900	NODE B HW	PW #900	Configuración	MHA	Pérdidas a P.R.	
compacta	1FXDB/1FSMF	60W	111	SI	2,4	
Solución	HW	PW	Configuración	MHA	Pérdidas a P.R.	
Solución	HW	PW	Configuración	MHA	Pérdidas a P.R.	
Solución	HW	PW	Configuración	MHA	Pérdidas a P.R.	

Fig 3.3.2 Plantilla con la información de un replanteo

En este caso concreto se puede observar que antes de la obra solamente se utilizaba UMTS 2100 y se ha decidido hacer una ampliación para operar también en la banda de 900 MHz.

Tal como se puede ver, en la primera pestaña se especifican las diferentes tecnologías.

A continuación, dentro de los campos de estado inicial y estado final se puede observar la siguiente información:

Solución:

Puede ser de dos tipos: compacta o distribuida.

En la compacta, el módulo de banda base está junto al módulo radio.

En la distribuida, estos módulos están separados y unidos por fibra óptica. Esta solución supone menores pérdidas ya que, al estar separados la conexión entre ambos es de fibra, mientras que si fuera compacta iría en coaxial desde el módulo radio a la antena.

Node B HW:

En esta celda se especifica el hardware del node B existente y el que se va a añadir a la instalación.

PW:

Aquí se especifica la potencia de transmisión que se desea en vatios.

Configuración:

En esta celda se informa de la configuración a utilizar.

MHA (es lo mismo que TMA = Amplificador Montado en Torre (o de Mástil)):

Aquí se especifica si se dispone o se va a añadir un amplificador multibanda de torre.

Pérdidas a P.R.: Pérdidas a Punto de Referencia. Se establece un punto de referencia para poder evaluar las pérdidas con las mismas condiciones.

Diseño radio

Se definen celdas y vecindades. Diseño establecido por el cliente.

Diseño de transmisión

En este proyecto no se diseñaron parámetros de transmisión. Esta información ya viene especificada por el cliente que encarga la obra (operador de telefonía móvil).

Carga en OSS (Operation Support System) vendor

Se transmite la información de replanteo y diseño al vendor.

El **vendor** es la empresa a la que el cliente principal (operador de telefonía móvil) le encarga directamente el proyecto de modernización de la red.

Drive-Test (DT) PRE

Se realiza un mallado alrededor de la posición del nodo cubriendo lo mejor posible todas las calles de la zona que le rodea.

En estas medidas se obtienen: velocidades de uplink y downlink, porcentaje de establecimiento de llamada con éxito, nivel de señal, área de cobertura y calidad de señal principalmente.

Obra

Una vez llegados a este punto, los técnicos de campo instalan el hardware necesario en la estación base para proporcionar el servicio requerido.

Drive-Test (DT) POST

El conductor y el técnico de medidas vuelven a la posición del nodo y realizan lo más exactamente posible el recorrido del DT PRE volviendo a realizar las mismas medidas.

Tunning & Optimización

Una vez obtenidas las medidas, procesadas y analizadas por el equipo de DT, El personal de Tunning y Optimización se encarga de optimizar los parámetros de la obra para cumplir los KPIs requeridos.

Ajustan potencia, realizan tilts, ajustan parametrización de Hand-Over, chequean comisionado correcto, etc.

Tilt se llama la inclinación de la antena respecto a su eje. Con este parámetro se puede dirigir la radiación más arriba o más abajo dependiendo de en qué dirección queramos concentrar la energía de la señal.

Comisionado se llama a la configuración que se carga en el HW del equipo que haya en el site in-situ.

Gestión documental & aceptación

Cuando se consiguen los KPIs requeridos se actualiza la documentación de la obra y se da la aceptación. Llegados a este punto, la documentación final de la obra es entregada al cliente principal y se da por finalizada.

3.4 CADENA DE MANDO

Existe un cliente principal, que es el operador de telefonía móvil que quiere realizar la obra de modernización de la red.

Este cliente principal (operador de telefonía móvil) contrata a un vendedor, al que le pide la realización integral del proyecto, es decir, hardware más servicios. Ya que éste es el propietario de los equipos. Aunque esto dependerá de cada proyecto, no tiene por qué ser siempre así.

Este vendedor a su vez, contrata los servicios de un partner, que es quien realiza realmente el proyecto de modernización.

En este caso, el partner es la empresa en donde trabajé como becario: LCC Spain & Portugal.

El nombre del resto de las empresas implicadas se ha de mantener en el anonimato debido a la política de privacidad del proyecto.

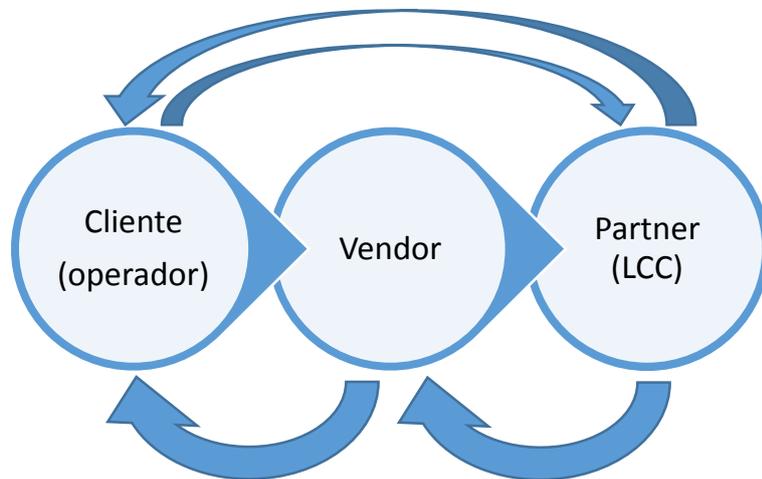


Fig 3.4.1 Flujo de comunicación de las entidades que participan en la obra

El grosor de las flechas indica la cantidad de comunicación que hay con el nivel superior de la cadena de mando.

Como se puede comprobar, el cliente principal se comunica principalmente con el vendor y el vendor con el partner y viceversa. Aunque el partner y el cliente principal también se comunican en menor medida.

3.5 EQUIPOS DE TRABAJO

EQUIPO DE DISEÑO RADIO

Encargado del diseño inicial de las características radio que va a tener la obra a realizar. Básicamente diseño de celdas y vecindades.

Diseñan plantillas con diferentes parámetros. Los principales son:

- 1 **Controlador BSC/RNC**
- 2 **Nombre de celda**
- 3 **LAC (Location Area Identity)**
- 4 **CI**
- 5 **BCCH/SC/PCI**

EQUIPO DE DRIVE-TEST, GESTIÓN DOCUMENTAL Y ACEPTACIÓN

Compuesto por conductores, técnicos e ingenieros. Encargado de la realización de las medidas antes y después de la obra, del procesado y de su análisis.

Los conductores conducen por el recorrido indicado por los ingenieros mientras que los técnicos que les acompañan toman las medidas necesarias para los ingenieros.

Adicionalmente, los ingenieros gestionan toda la documentación obtenida a partir de las medidas para comprobar que todo funciona como debería. En caso contrario, se pasa el caso al equipo de tuning.

EQUIPO DE TUNNING & OPTIMIZACIÓN

Encargado de optimizar la parametrización de las celdas para llegar a los KPIs especificados. Estos parámetros varían en función de cada vendor, pero principalmente ajustan parámetros de reelección, de niveles de acceso, y de HO entre celdas.

4. MEDIDAS

Las medidas se realizan de forma independiente para cada tecnología. Es decir, primero se hará el mallado de la zona con el equipo configurado para 2G, a continuación habrá que repetir el mallado pero midiendo para 3G y finalmente para 4G. Esto suponiendo que el nodo en cuestión trabaja con las 3 tecnologías simultáneamente.

El proceso es el siguiente:

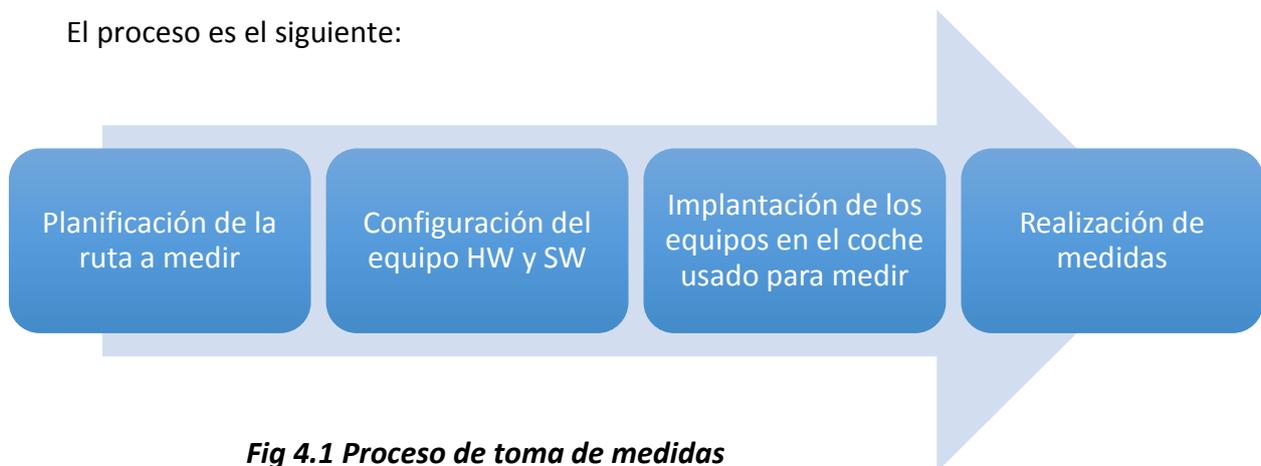


Fig 4.1 Proceso de toma de medidas

4.1 EQUIPO NECESARIO

Hardware

Escáner (tipo PCTEL SeeGull MX)

Conectado al portátil en donde se guardan las medidas obtenidas. Mide principalmente el nivel de señal (RXLEV/RSCP) y la calidad de la señal (RXQUAL/ECNO). También marca la forma del recorrido que ha realizado. El escáner marca la forma del recorrido le cual se superpone a posteriori sobre un mapa de la zona.

Además obtiene otra información extra como puede ser niveles de la 2ª portadora más fuerte, C/I, etc.

GPS

Conectado al portátil para conocer en cada momento la ubicación en donde se están realizando las medidas con el fin de conocer las zonas en las que se puedan dar los posibles fallos.

Teléfono móvil

Los requisitos del teléfono móvil son únicamente que pueda transmitir al throughput requerido y que permita forzarle a la banda deseada.

Ordenador portátil

El ordenador portátil debe de tener un mínimo de 2GB de memoria RAM para poder ejecutar el programa de medidas correctamente.

Software

TEMS Investigation

Es el software con el que se procesan las medidas tomadas con el escáner.

Programa de mapas para planificar ruta y hacer las capas, es decir, superponer las medidas al mapa de la zona.

Aplicación de realización automática de llamadas cada cierto tiempo y de cierta duración.

Aplicación de realización automática de subida y bajada de datos de tamaño predefinido. Para el uso del software la mejor opción es el alquiler mensual de las licencias de uso.

Otros

Coches

En este caso la forma más rentable de hacerlo es contratando la flota de coches a empresas de alquiler, debido a que éstos solo se utilizan en determinados proyectos y su número puede variar mucho de un proyecto a otro. Además, éstas te garantizan el buen funcionamiento del coche, y en caso de avería, proporcionan otro.

4.2 PLANIFICACIÓN DEL MALLADO

Outdoor

El mallado debe de rodear completamente (siempre que sea posible) el nodo en cuestión, para detectar todos los BCCHs de todas las celdas. No es necesario pasar por todas las calles dentro del área que lo rodea, pero si cubrir bien el perímetro y recorrer suficientemente la zona.

Los técnicos de Drive-Test deben conocer cómo hacer un buen mallado en un nodo.

Indoor

En el caso de medidas indoor, los técnicos tienen que cubrir a pie todo el perímetro de cada planta, así como recorrer las zonas de mayor interés y puntos que puedan tener mayores problemas de cobertura.

Mallado PRE existente

En caso de que el vendor nos proporcione un mallado de medidas previas, los técnicos se deben de ceñir al mismo recorrido para las medidas posteriores a la obra.

4.3 CONFIGURACIÓN DE PROTOCOLOS

Existen dos tipos de protocolos, uno definido para medidas de voz y otro para realizar medidas de datos. El protocolo a seguir puede variar según el operador telefónico. Él es quien marca la forma de proceder.

En este caso, se ha usado un protocolo consistente en realizar llamadas de voz de 120 más 30 segundos en estado de Idle. Para hacer esto se usa un software específico instalado en el terminal móvil que se encarga automáticamente de ir haciendo las llamadas siguiendo dicho protocolo.

Para realizar las medidas de velocidad de transmisión de datos se usa un software que realiza automáticamente la subida y bajada de datos de un determinado tamaño. Esto se ha de realizar habiendo configurado el teléfono móvil como módem.

Además, también se realiza la prueba *MRAB*, solamente en 3G. Esta prueba consiste en realizar una llamada de voz y mientras dura la llamada realizar una descarga de datos al mismo tiempo.

4.4 REALIZACIÓN DE LAS MEDIDAS

Una vez llegado a este punto ya está todo preparado para la realización de las diferentes medidas.

Los técnicos recorren el mallado diseñado con el coche (a pie en el caso de medidas indoor, en este caso se denominan *walktest*) y acumulan la información de todas las medidas realizadas alrededor de cada nodo y al final de su jornada las suben a un servidor interno de la empresa. El día siguiente los ingenieros de las oficinas gestionarán y procesarán toda esta información recibida.

Aparte de esto, hay que tener en cuenta que siempre que se realicen las medidas va a haber gente utilizando el servicio, lo que provoca que por ejemplo las medidas de velocidad (throughput) de descarga y subida se vean afectadas y sean menores que lo esperado idealmente.

Cuando las medidas se hacen de un emplazamiento individual se denominan **medidas de nodo**. Cuando se miden varios nodos de una misma población próximos entre si, se denomina **medidas en cluster**.

Diferenciaremos dos tipos de medidas:

MEDIDA DINÁMICA

Se va midiendo conforme a un protocolo alrededor del nodo en su zona de cobertura forzando los terminales a 2G y 3G en medidas de voz y además se lleva un scanner para capturar todas las bandas en cuanto a niveles de señal y calidad.

Como se ha visto anteriormente, el protocolo a seguir es realizar llamadas de voz de 120 segundos de duración y 30 segundos de Idle entre llamadas.

MEDIDA ESTÁTICA

Es la medida que se hace en estático en las mejores condiciones radio posibles respecto de las antenas y se realizan pruebas de descarga/subida por tecnología. Éstas deben superar unos umbrales objetivo establecidos por el operador de telefonía.

PERMISOS DE ACCESO

Durante las medidas del proyecto es seguro encontrarse con zonas de acceso restringido al que los técnicos no pueden acceder, ya se trate de medidas indoor u outdoor.

Todas las medidas indoor precisan de permiso de acceso y de medida del propietario correspondiente. En el caso de edificios públicos es necesario el permiso del ayuntamiento de la localidad.

En el caso outdoor es necesario pedir permisos en todo tipo de recintos privados. Lugares como urbanizaciones, aeropuertos, ciertas áreas industriales, de gobierno, etc.

Para áreas militares no se suelen conceder permisos.

La consecución de estos permisos la gestiona el operador de telefonía móvil. En estas ocasiones las medidas se tienen que adaptar a cuando se conceda el permiso. Es posible estar midiendo diferentes nodos en una determinada localidad y que por no tener disponibles los permisos de ciertas zonas, haya que dejarlas sin medir hasta que los permisos hayan sido concedidos. Y ya en este momento volver a propósito a realizar esas medidas puntuales. Esto puede producir pérdida de tiempo y dinero en desplazamientos.

Esto también puede resultar perjudicial en caso de tener que repetir medidas de forma urgente en alguna localización.

Por lo tanto, siempre que sea posible, la mejor opción es planificar la medida de las zonas que contengan áreas restringidas una vez obtenidos todos los permisos requeridos.

5. PROCESADO

Una vez obtenidos los datos en bruto de las medidas, éstas se suben a un servidor interno de la empresa y empieza su procesado, a partir del cual obtenemos los siguientes datos:

5.1 MEDIDA DINÁMICA

2G

% Establecimiento de llamada con éxito (CSSR = Call Setup Success Rate)

Porcentaje de intentos de llamada que consiguen establecerse.

$$CSSR (\%) = \frac{n^{\circ} \text{ llamadas establecidas}}{n^{\circ} \text{ intentos de llamada}}$$

% Tasa de llamadas caídas (CDR = Call Drop Rate)

Porcentaje de llamadas establecidas que no consiguen finalizarse correctamente debido a que se han caído por alguna razón.

$$CDR (\%) = \frac{n^{\circ} \text{ de llamadas caídas}}{n^{\circ} \text{ de llamadas establecidas}}$$

Objetivo: la suma de las dos medidas tiene que ser < 2%

Nivel de señal recibida RXLEV

Objetivo: $-65 \text{ dBm} < \text{RXLEV}$

Control de canal de emisión BCCH

En esta medida vemos la señal radio recibida alrededor del nodo separada por sectores.

Objetivo: La señal detectada debe de proceder del sector en el que se ha realizado la medida.

Calidad de la señal recibida RXQUAL

Objetivo: $< 3\%$ de muestras con un nivel por debajo del umbral sobre el total de muestras.

3G

Autoswap

% Establecimiento de llamada con éxito

% Desconexiones de voz

RSCP (Received Signal Code Power)

Se usa en UMTS. Es la medida de la potencia recibida en un canal físico de comunicación concreto. Es equivalente al RXLEV de 2G.

Objetivo: $-89 \text{ dBm} < \text{RSCP}$

SC (Signal Code)

Objetivo: La señal detectada debe de proceder del sector en el que se ha realizado la medida.

ECNO

Objetivo: $-11 \text{ dB} < \text{Ec/No}$

Implantación

% Establecimiento de llamada con éxito

% Desconexiones de voz

Mejor servidor

Objetivo: La señal detectada debe de proceder del sector en el que se ha realizado la medida

RSCP

Objetivo: $-89 \text{ dBm} < \text{RSCP}$

ECNO

Objetivo: $-11 \text{ dB} < \text{Ec/No}$

Transferencias

Aquí se refleja el número de veces que ocurre cada evento de los nombrados en la lista.

● NPO47_GPS	[Min, 0]	(0)	(0%)
■ Drive Test	(1603)	(100%)	
	[2, Max]	(0)	(0%)
<hr/>			
RRC Established		(26)	
Network Disconnect		(6)	
Measurement Report 1		(1692)	
PDP Context Activated		(6)	
PDP Context Deactivated		(6)	
PS Channel Type Switch Complete		(6)	
Radio Link Addition		(144)	
Radio Link Removal		(127)	
TCP Handshake Time		(18)	
<hr/>			
Network Connect		(6)	

Fig 5.1.1 Parámetros de una implantación

Vecinas 3G no definidas detectadas

Matriz de traspasos a 3G

Ampliación

% Establecimiento de llamada con éxito

% Desconexiones de voz

Objetivo: la suma de las dos medidas tiene que ser < 2%

Mejor servidor

Objetivo: La señal detectada debe de proceder del sector en el que se ha realizado la medida

4G (LTE)

Mejor servidor (Best server PCI)

Área de influencia (Best server RSRP)

SNR (Best server RS CINR)

Capturas de zonas de transferencias en estático

5.2 MEDIDA ESTÁTICA

Dependiendo de la tecnología que se vaya a medir, se medirán algunos parámetros diferentes.

2G

Para la tecnología 2G las medidas estáticas miden dos parámetros:

Descarga http UL

Descarga de un fichero de determinado tamaño según la tecnología a medir y de la obra realizada:

- **Tamaño de fichero:** 0.5 MB
- **Objetivo:** > 64 Kbps (EDGE)
> 0 (GPRS)

Descarga http DL

Descarga de un fichero de determinado tamaño según la tecnología a medir:

- **Tamaño de fichero:** 0.5 MB
- **Objetivo:** > 64 Kbps (EDGE)
> 0 (GPRS)

3G

- AUTOSWAP

Descarga http UL

- **Tamaño de fichero:** 4.5 MB
- **Objetivo:** > 1 Mbps

Descarga http DL

- **Tamaño de fichero:** 12 MB
- **Objetivo:** > 4 Mbps

- IMPLANTACIÓN

Transferencias HSUPA

- **Tamaño de fichero:** 2 MB
- **Objetivo:** > 600 Kbps

Transferencias HSDPA

- **Tamaño de fichero:** 5 MB
- **Objetivo:** > 1 Mbps

- AMPLIACIÓN

Transferencias de datos R99

- **Tamaño de fichero:** 10 MB
- **Objetivo:** > 280 Kbps

Transferencias HSUPA

- **Tamaño de fichero:** 10 MB
- **Objetivo:** 600 Kbps

Transferencias HSDPA

- **Tamaño de fichero:** 10 MB
- **Transmisión del site:**
 - 1XE1:** > 600 Kbps
 - 1XE2:** > 1200 Kbps
 - 1XE3:** > 1800 Kbps
 - 1XE4:** > 2400 Kbps

4G (LTE)

CSFB (2 MOC (Mobile Originating Call))

- **Objetivo:** < 8 seg.

CSFB (2 MTC (Mobile Terminating Call)):

- **Objetivo:** < 8 seg.

Descarga http UL

- **Tamaño de fichero:** 30 MB
- **Objetivo:** > 10 Mbps

Descarga http DL

- **Tamaño de fichero:** 120 MB
- **Objetivo:** > 30 Mbps

Latencia (7 medidas: 4 speedtests + carga de 3 páginas web)

- **Objetivo:** Percentil 10% < 60 ms (el 10% de los peores datos por debajo del 10%)

5.3 GENERACIÓN INFORMES

El procesado de los datos de las medidas empieza por la elaboración de los informes en donde se resume la información de las medidas y se presenta de forma visual con el fin de poder valorar rápida y efectivamente la calidad de la obra realizada. A estos informes se le conocen como "reportes" o "anexos". Existen dos tipos principales: de obra y de 3 y 48 horas.

Los anexos de obra, como ya se ha comentado anteriormente, se realizan a partir de las medidas obtenidas por los técnicos.

El caso de los anexos de 3H y 48H es diferente. En este caso lo que sucede es que la misma estación base, una vez que el sistema está encendido y radiando, y transcurrido un tiempo de 3 y de 48 horas respectivamente, genera una serie de medidas básicas del inicio del funcionamiento del nodo en ese tiempo.

Estas medidas muestran si desde el punto de vista de la estación base, todo funciona correctamente durante las primeras horas de funcionamiento, y permite detectar fallos básicos de forma temprana.

A continuación se muestran las diferentes medidas obtenidas para cada tipo de anexo y de qué forma se presentan éstas para su posterior revisión y validación.

ANEXOS DE OBRA

Estos anexos se estructuran de la siguiente forma:

TABLAS

1ª Tabla con datos básicos de la obra. Incluye:

- Denominación: nombre identificativo del lugar de la obra
- Código de emplazamiento (6 dígitos)
- Código de obra (12 dígitos)
- Provincia
- Configuración (O (omnidireccional), 3S (3 sectores), 6S (6 sectores), Interior)
- BSC/RNC/eNodeB name (depende de si es 2G, 3G o LTE)

Denominación	Código emplazamiento	Código obra	Provincia	Configuración (O, 3S, 6S, Interior, etc)	BSC/RNC/eNodeB name
ATW 38986 X	4600254	201406002002	VALENCIA	3S	V#ALA5N

Fig 5.3.1 Datos iniciales de emplazamiento del nodo

2ª Tabla con datos básicos de la célula. Incluye:

Sector

Numeración de los sectores de los que disponga.

Célula

Código identificativo de la célula.

BCCH/SC/PCI (depende de la tecnología)

Esta información es común para los anexos de las tres tecnologías. Además se añade:

Para 2G:

BCFid (Base station Control Functions Identity)

LAC-CID

Sector	Célula	BCCH	BCFid	LAC-CID
1	4161	55	8	716-4161
2	4162	56	8	716-4162
3	4163	45	8	716-4163

Fig 5.3.2 Información básica de 2G de cada sector del nodo

Para 3G y LTE:

Frecuencia

Potencia

Sector	Célula	SC (o PCI si LTE)	Frecuencia	Potencia
1	2991	75	10788	80W
2	2992	83	10788	80W
3	2993	91	10788	80W

Fig 5.3.3 Información básica de 3G /LTE de cada sector del nodo

3º Tabla resumen con la media obtenida de las medidas de velocidad de descarga y transferencia realizadas en estático.

2G

Nº	Item	Objetivo	Medida	Resultado
1	% Establecimientos + Desconexiones voz fallidos	2%	0.00%	OK
2	Descarga http UL (fichero 0,5 MB)	> 64Kbps (EDGE) >0 Kbps (GPRS)	97.2	OK
3	Descarga http DL (fichero 0,5 MB)	> 64Kbps (EDGE) >0 Kbps (GPRS)	215.5	OK

Fig 5.3.4 Medidas estáticas de un nodo 2G

Autoswap

Nº	Item	Objetivo	Medida	Resultado
1	% Establecimientos + Desconexiones voz fallidos	2%	0.00%	OK
2	Descarga http UL (fichero 4,5 MB)	> 1Mbps	1,3	OK
3	Descarga http DL (fichero 12 MB)	> 4Mbps	17,1	OK

Fig 5.3.5 Medidas estáticas de un nodo 3G

Implantación

Nº	Item	Objetivo	Medida	Resultado
1	% Establecimientos + Desconexiones voz fallidos	2%	46.67	NOK
2	Transferencias HSUPA (si procede; put fichero 2 MB)	> 600 Kbits/s (90%)	1249.99	OK
3	Transferencias HSDPA (Get fichero 5 MB)	> 1Mbps/s (90%)	4235.72	OK

Fig 5.3.6 Medidas estáticas de una Implantación

Ampliación

Nº	PRUEBA	OBJETIVO	MEDIDA	RESULTADO
1	% Establecimientos voz fallidos	5%	0%	OK
2	% Desconexiones voz erróneas	5%	0%	OK
3	Transferencias de datos R99*	> 280 Kbits/s	453.54	OK
4	Transferencias HSUPA (si procede; put fichero 10 Mb)	> 600 Kbits/s	2363,62	OK
5	Transferencias HSDPA (Get fichero 10 Mb)	1xE1: > 600 kbit/s	912,27	OK
		2xE1: > 1200 kbit/s	1733,49	OK
		3xE1: > 1800 kbit/s	2215,77	OK
		4xE1: > 2400 kbit/s	4869,44	OK

Fig 5.3.7 Medidas estáticas de una Ampliación

LTE

En el caso de LTE se obtiene una tabla como el siguiente para cada sector.

Nº	Item	Objetivo	Medida	Resultado
1	CSFB (2MOC) CSFB (2MTC)	<8seg.	4,02 seg 3,82 seg 3,04 seg 3,05 seg	OK
2	Descarga http UL (fichero 30 MB)	> 10Mbps	25.77	OK
3	Descarga http DL (fichero 4x30MB/120 MB)	> 30Mbps	72.46	OK
4	LATENCIA	Percentil 10%<60 ms	speedtest.servihosting.es <u>32B/1300B</u> 80ms/78ms 52ms/94ms 58ms/99ms <hr/> speedtest.vodafone.es <u>32B/1300B</u> 121ms/101ms 106ms/142ms 90ms/93ms <hr/> testmadmovistar.telefonica-data.com <u>32B/32B</u> 41ms/ms 57ms/ms 59ms/ms <hr/> speedtest.telefonica-data.com <u>32B/1300B</u> 50ms/45ms 58ms/59ms 58ms/58ms <hr/> google.es <u>32B/1300B</u> 70ms/95ms 99ms/72ms 106ms/77ms <hr/> facebook.com <u>32B/1300B</u> 75ms/64ms 58ms/68ms 54ms/51ms <hr/> youtube.com <u>32B/1300B</u> 67ms/60ms 59ms/57ms 59ms/59ms	OK (51.8 ms)

Fig 5.3.8 Medidas estáticas de un nodo LTE

Los anexos de implantación en 3G incluyen algunas tablas de información adicionales:

- Vecinas 3G no definidas

SC Nodo Integrado	SC detected	Nº de veces que aparece
12	52	17

Fig 5.3.9 Medidas de un nodo 3G

- Matriz de traspasos a 3G

SC	TOTAL
196	1
212	10
260	1
273	2
301	1
317	25
325	24
333	28
412	15
420	11
49	18
52	2
73	4
96	1
Grand Total	143

Fig 5.3.10 Medidas de un nodo 3G

Todos los datos de las diferentes tablas se rellenan a mano a partir de la información obtenida.

A continuación, se mostrarán los plots que se obtienen al procesar las medidas dinámicas mediante el programa TEMS Investigation, y que junto a las tablas anteriores, completan la información contenida en los anexos.

4º Representación en plots de las medidas de nivel de señal recogidas.

PLOTS

La necesidad de realizar estos plots y de plasmar los resultados de forma visual radica en que es la forma más rápida y fácil de hacer una evaluación suficiente del resultado de la obra.

Estos plots muchas veces no nos van a decir el problema concreto que hay, pero si que nos van a servir para hacer un primer diagnóstico rápido y eficaz y poder localizar así de forma mucho más rápida cualquier fallo en el sistema.

Es necesario tener en cuenta que siempre va a haber un plot PRE y un plot POST de cada medida, ya que es fundamental poder comparar el resultado post-obra con la situación previa de la zona en cuestión para comprobar que, efectivamente, la calidad de los servicios ofrecidos en la zona ha mejorado.

Plots de nivel de señal (RXLEV/RSCP)

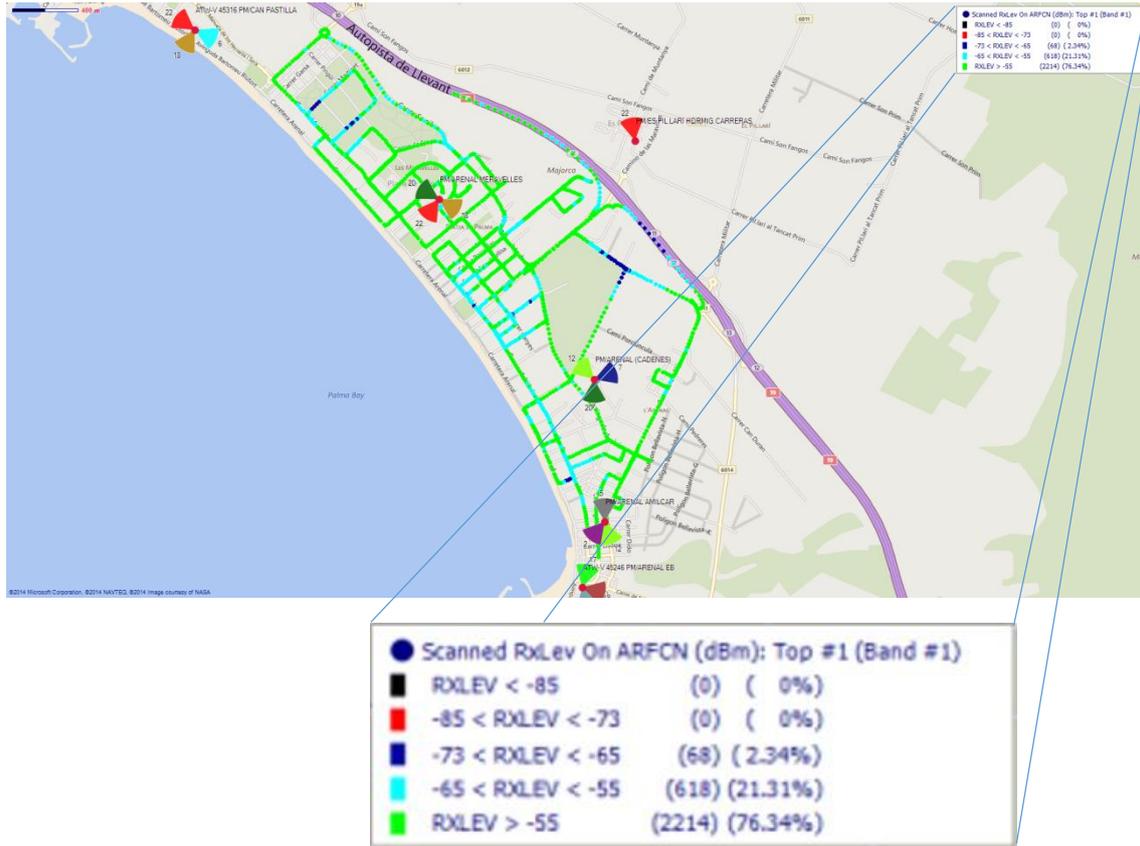


Fig 5.3.11 Plot medida

Se puede observar como en cada plot, viene adjunta una leyenda en la que vemos directamente los umbrales definidos por el cliente (operador de telefonía móvil).

Plots de diferenciación de huella de los sectores/mejor servidor (BCCH/SC)

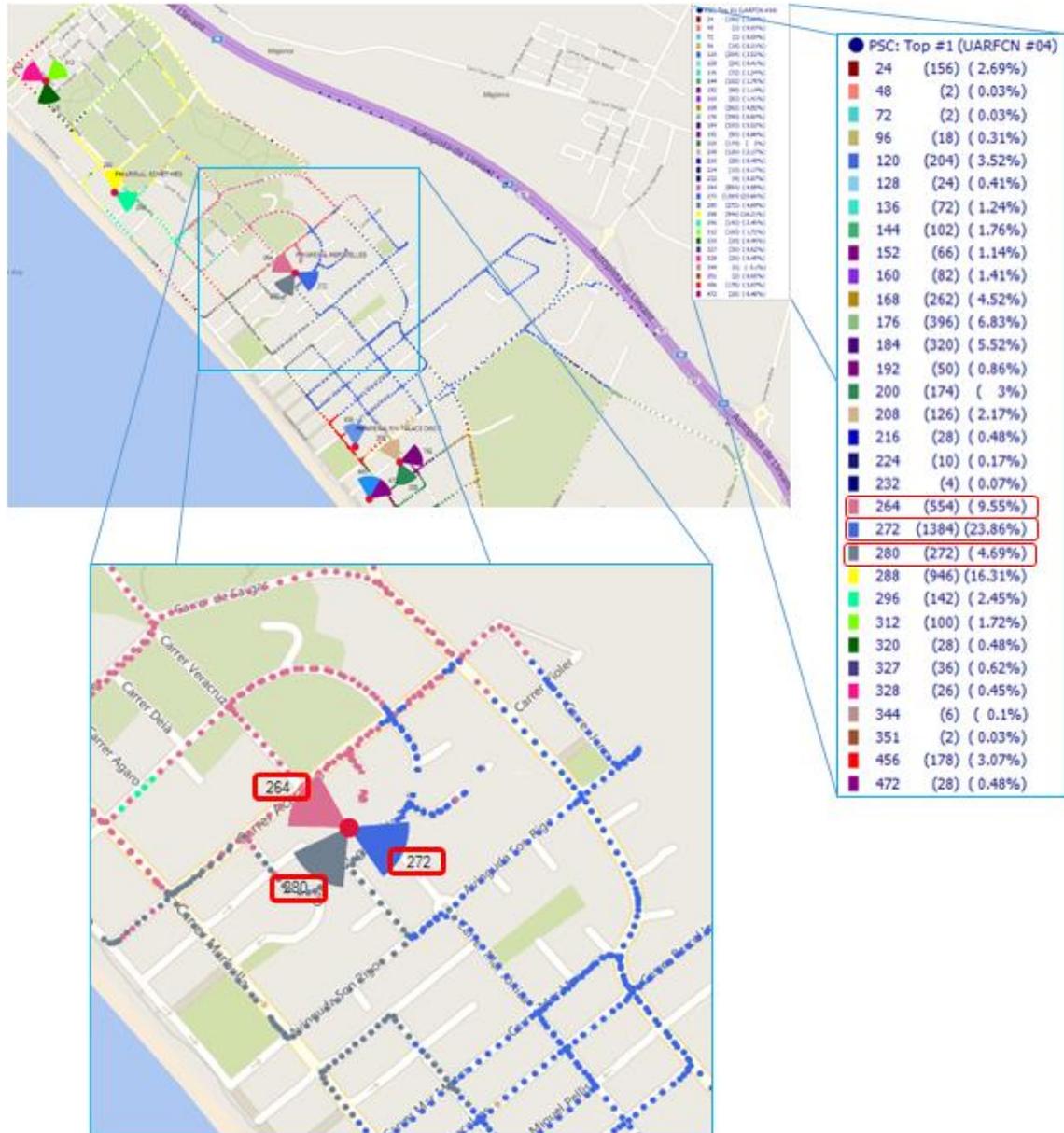
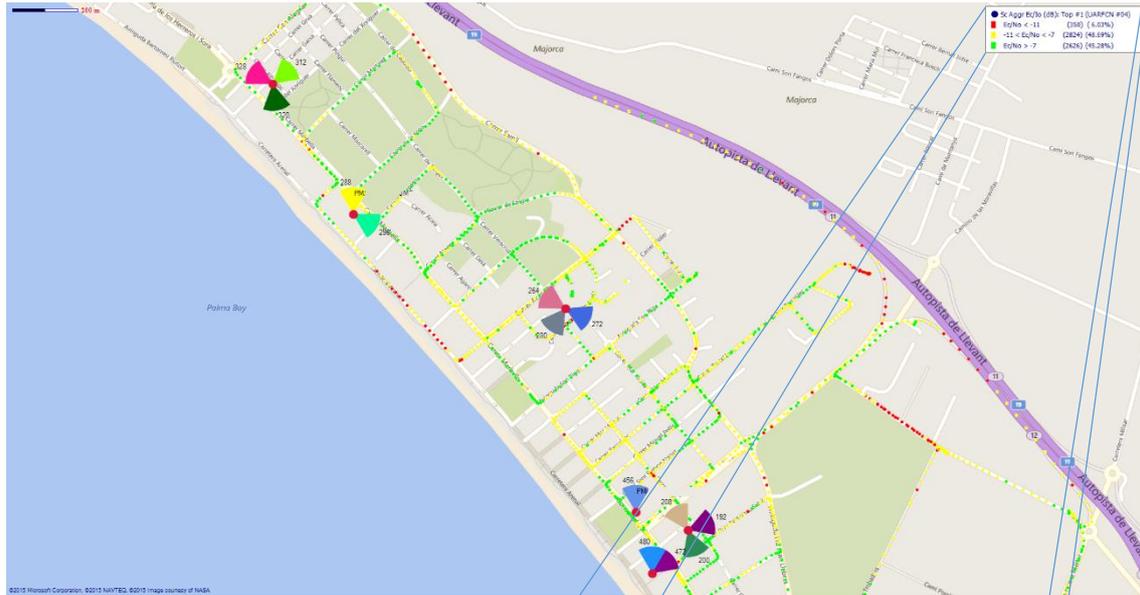


Fig 5.3.12 Plot medida

En este tipo de plots, como lo que se mide es la señal de mejor servidor en cada sector, se incluye una leyenda con todas las portadoras detectadas en la zona con el número de veces que es detectada durante las medidas alrededor del nodo. Así se puede comprobar si en el área de un determinado sector, efectivamente se le detecta a él como mejor servidor o no.

Plots de calidad de señal (RXQUAL/ECNO)



Con este plot se puede observar fácilmente como se distribuye la calidad de la señal en función de la relación señal/ruido.

● Sc Aggr Ec/Io (dB): Top #1 (JARFCN #04)	
■ Ec/No < -11	(350) (6.03%)
■ -11 < Ec/No < -7	(2824) (48.69%)
■ Ec/No > -7	(2626) (45.28%)

Fig 5.3.13 Plot medida

Plots de transferencias (implantación 3G)

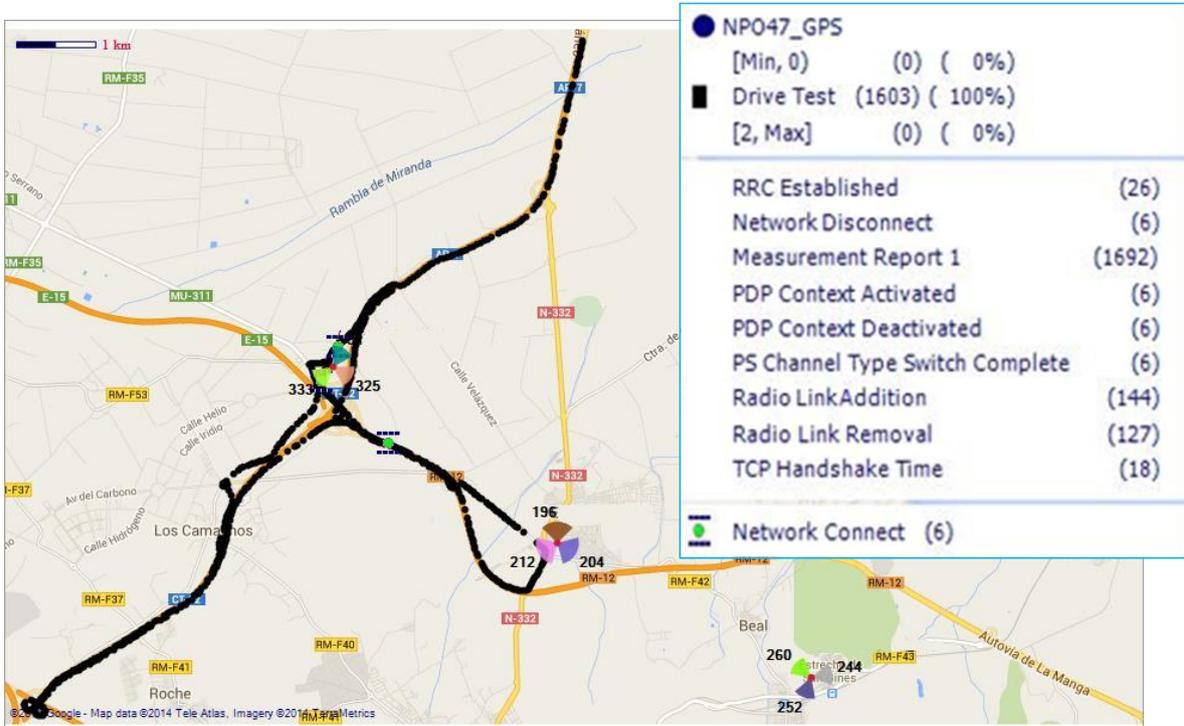


Fig 5.3.14 Plot medida

En este plot lo único que se mide es la cantidad de veces que ocurren los parámetros que aparecen en la lista a lo largo del recorrido:

- RRC: Radio Resource Control
- PDP: Packed Data Protocol
- PS: Packet Switching

Plots de área de influencia (implantación LTE)

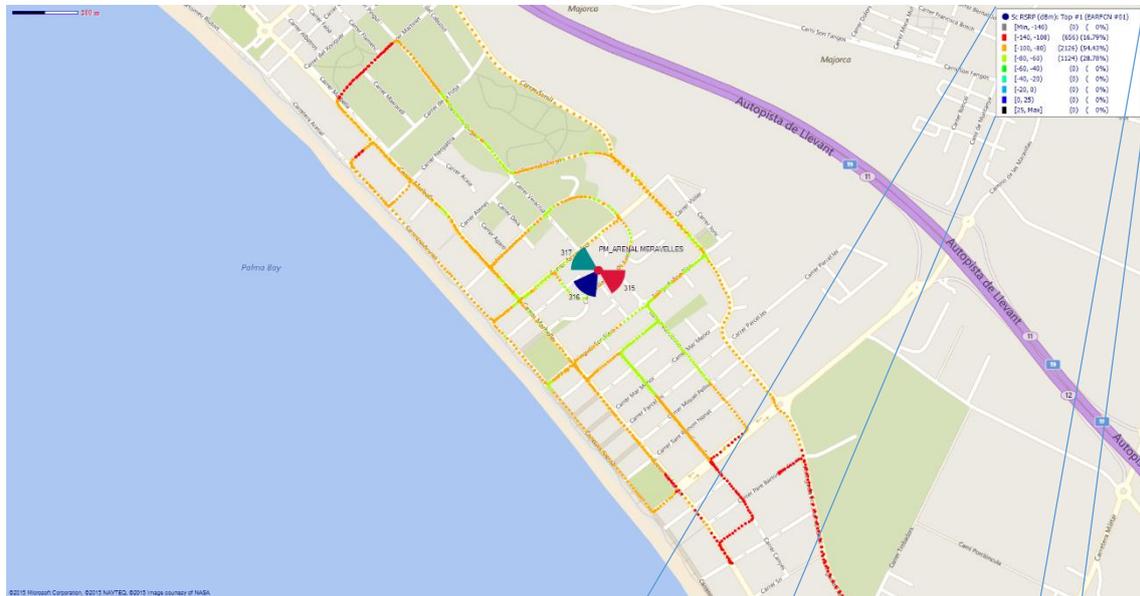


Fig 5.3.15 Plot medida

Con este plot se puede observar hasta donde llega la señal de un nodo en concreto. Es el equivalente al plot de nivel de señal pero para LTE.

Además de esto, los anexos de las implantaciones 3G y LTE incluyen la información de la cobertura 2G (y 3G en caso de LTE) existente antes y después de la obra (RXLEV/BCCH/ RXQUAL y RSCP/SC/ECNO).

ANEXOS 3H Y 48H

A continuación se muestra un ejemplo de las tablas resumen de cada tipo de anexo. Los anexos del resto de tecnologías son equivalentes.

Ejemplo anexo 3H LTE - Tabla Resumen

WBTS	ENB_H_BONARES_PUEBLO_EB_01
Celsig	2100081
HW	1FRMC/FSMF
Fecha revisión	2015-9-1

KPIs	Fallos establecimiento RRC	
	Fallos establecimiento ERAB	
	Caídas ERAB	
	Éxito HO intra-eNB	
	Éxito HO inter-eNB	
	Intentos CS Fallback	
	Throughput máximo UL	
	Throughput máximo UL	
configuración		N/P
Alarmas	Critical	0
	Major	0
	Minor	0
	Warning	0
Conforme Final		
Comentarios		

Fig 5.3.16 Tabla resumen anexo 3H LTE

Ejemplo anexo 48H LTE - Tabla Resumen

LNBTS name	ENB_IB_IB_SANT_ANTONI_PORT_01
Celsig	700600
COC	201406000305
Denominación Obra	IMPL. LTE 1800
Fecha revisión	07.01.2015

KPIs	Fallos establecimiento RRC	OK
	Fallos establecimiento ERAB	OK
	Caídas ERAB	OK
	Éxito HO intra-eNB	OK
	Éxito HO inter-eNB	OK
	Intentos CS Fallback	OK
	Throughput máximo UL	OK
	Throughput máximo DL	OK
Conforme Final		OK
Comentarios:		

Fig 5.3.17 Tabla resumen anexo 48H LTE

6. ANÁLISIS DE LAS MEDIDAS

6.1 ANÁLISIS ANEXOS

Una vez procesados todos los datos de las medidas y presentadas en los correspondientes anexos o reportes, se debe de analizar el resultado de cada obra individualmente y comprobar que todas las medidas cumplen los objetivos deseados por el cliente.

Durante este análisis de los resultados del procesado de las medidas aparece una amplia casuística debido a la cual un anexo no puede darse por válido, y que es necesario solucionar de la forma más rápida posible, ya que el cliente pone plazos de entrega de documentación aceptada y el incumplimiento de ésta puede producir sanciones.

Los fallos encontrados en los anexos pueden ser fundamentalmente de dos tipos: fallos producidos al procesar la gran cantidad de información en bruto obtenida de las medidas, o fallos debido a un mal funcionamiento del nodo, ya sea por error de diseño o de configuración de los parámetros.

En el primer caso, el fallo lo debe de solucionar las personas dentro del equipo de drive-test que se encargan de procesar la información. Mientras que en el segundo caso, los errores tendrán que solucionarlos el equipo de tuning.

6.2 CASUÍSTICA

- Falta información básica del emplazamiento

Denominación	Código emplazamiento	Código obra	Provincia	Configuración (O, 3S, 6S, Interior, etc)	BSC/RNC/eNodeB name
ATW 38986 X	4600254		VALENCIA		V#ALA5N

Fig 6.2.1 Ejemplo tabla incompleta

- **Solución:** Hay que acceder a una aplicación propia del cliente mediante la cual se accede toda la información básica de cada obra.

- Falta información básica del nodo

Sector	Célula	BCCH	BCFid	LAC-CID
1	4161		8	
2		56	8	716-4162
3	4163	45		716-4163

Fig 6.2.2 Ejemplo tabla incompleta

- **Solución:** Se accede a la misma aplicación mencionada anteriormente, ya que ésta contiene toda la información necesaria respecto a la obra.

- Faltan plots PRE/POST de alguna de las medidas en el anexo

En este caso suele ser debido a que, durante el procesado y la generación del informe, el plot se ha extraviado y hay que volver a procesar esa parte de las medidas y generar uno nuevo.

Existe un caso particular que consiste en que hay plots POST pero no existen los PRE. Esto es debido a que según en que nodos, las medidas previas ya están hechas con anterioridad por el mismo vendedor. Pero éste no dispone de ellas por alguna razón, o considera que no son totalmente necesarias para la completa realización de la obra.

Conforme avanzó el proyecto, el requisito de que hubiese disponibles tanto medidas previas como posteriores, se volvió algo obligatorio a petición del cliente principal.

- Aparece el plot pero sin datos dibujados (completa o parcialmente)

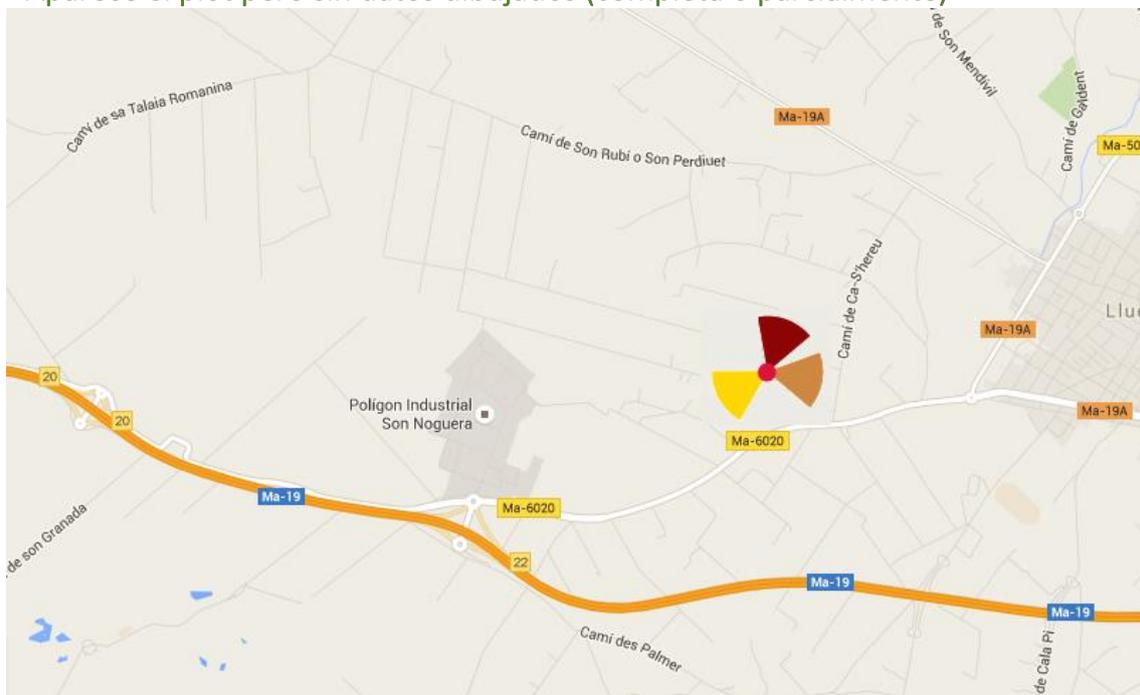


Fig 6.2.3 Plot medida

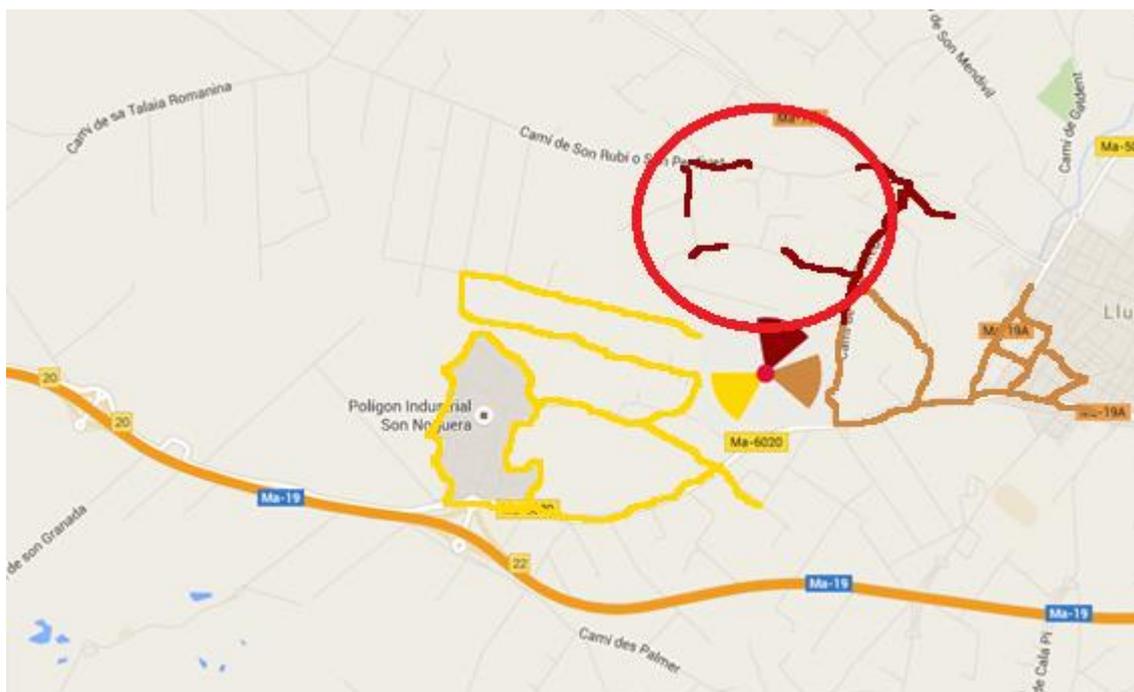


Fig 6.2.4 Plot medida

Hay ocasiones en las que una vez recibido el informe con los datos de las medidas plasmados, nos podemos encontrar con que las medidas no están representadas sobre la localización del nodo. Puede ser que no se haya grabado nada de la medida en cuestión (primera imagen), o que se haya grabado parte de ella pero haya partes de recorrido discontinuas en parte de ella (segunda imagen).

Esto puede ser debido a que ha habido un error con el equipo durante las medidas y éstas no se han tomado, a que ha habido un error a la hora de procesarlas, o directamente que la estación base no estaba encendida en el momento de realizar las medidas debido a un error en la planificación.

Concretamente en el caso de la segunda imagen la causa suele ser que el escáner se ha “colgado” durante unos segundos y esta parte de las medidas no se han obtenido.

- **Solución:** Primero hay que averiguar si las medidas se han tomado sin errores y los datos existen y el problema está en el procesado.

Para esto hay que buscar en nuestro servidor interno las medidas en bruto enviadas directamente por los técnicos, y comprobar que éstas existen y están todas completas.

Una vez comprobado que las medidas están completas, hay que volver a procesar los datos necesarios para generar el plot restante. Si esto funciona, el problema está resuelto.

Por otro lado, si las medidas están completas y aún así durante el procesado no se genera correctamente el plot resultante, lo que habrá sucedido es que los datos de las medidas estarán corruptos debido a algún fallo con el equipo y no se pueden procesar.

Otra posibilidad es que directamente el equipo haya sufrido algún error durante parte del recorrido y directamente no haya generado los datos necesarios.

En ambos casos, es necesario volver a mandar a los técnicos a medir de nuevo el nodo y volver a obtener los datos.

- Niveles anormalmente bajos de nivel de señal

Fig 6.2.2

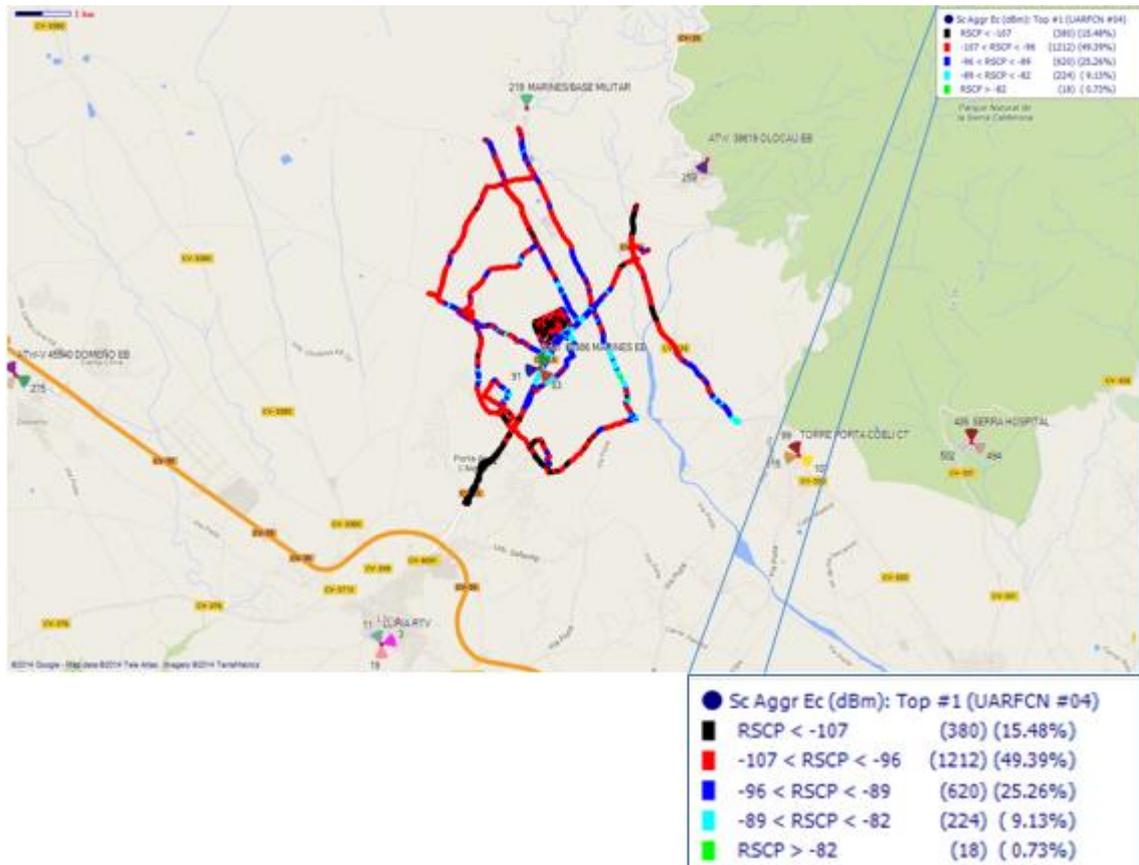


Fig 6.2.5 Plot medida

En esta captura se puede observar como el nivel de señal recibida alrededor del nodo es demasiado baja. A primera vista se ve que la mayoría del recorrido es de color rojo, llegando en algunos puntos a ser de color negro. Es decir, en la mayor parte del recorrido (65%) el nivel de señal está por debajo de -96 dBm.

En este proyecto, el cliente especificaba que en la mayor parte del recorrido, el nivel de señal no debía de ser menor de -89 dBm. Habiendo por encima de este nivel solamente un 10% del recorrido.

Las principales causas de este suceso suelen ser: potencia baja en el site o degradación de sistema radiante.

- **Solución:** en este caso hay que pasar el informe al equipo de tuning para que comprueben la configuración del sistema y ver si está todo correcto o no para poder corregirlo. En caso de que la parametrización sea correcta, habrá que enviar a los técnicos a revisar el equipo hardware por si éste estuviese defectuoso, y posteriormente, volver a medir.

- Plot BCCH/SC: en la huella no aparece el color de algún/ningún sector

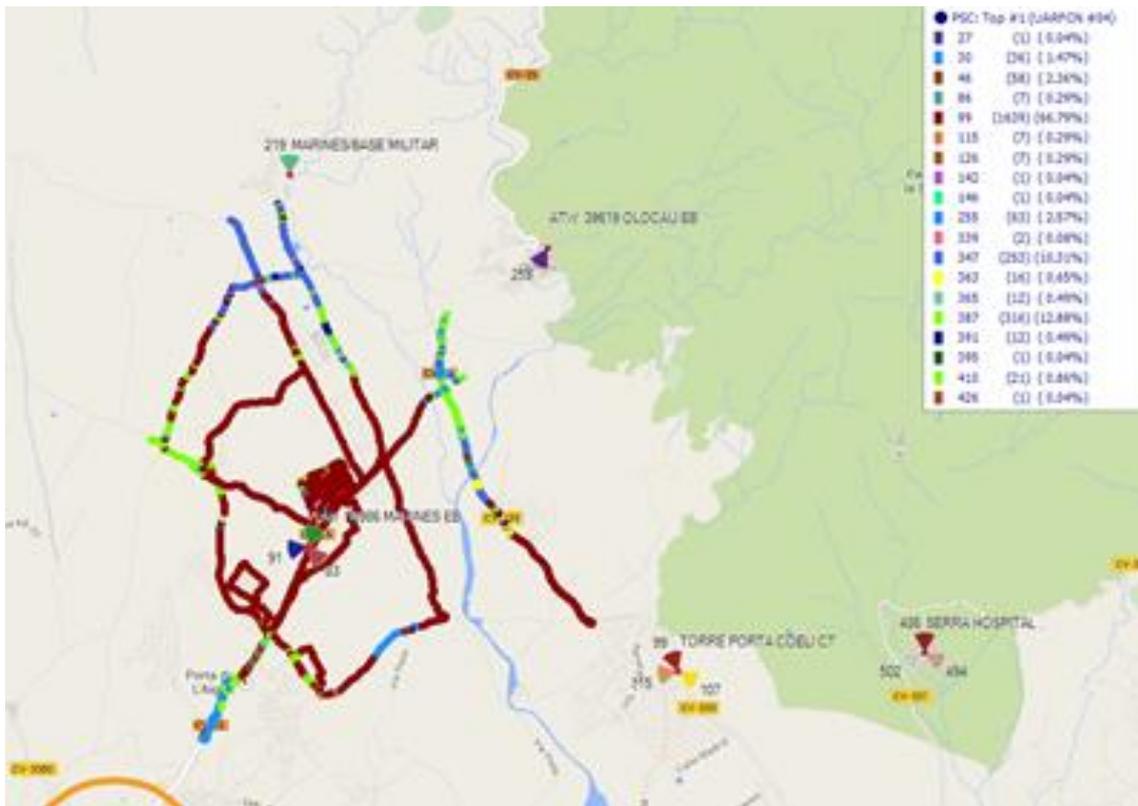


Fig 6.2.6 Plot medida



Fig 6.2.7 Plot medida

Este caso se pueden dar dos situaciones:

La primera es la mostrada en la primera captura. En donde las huellas aparecen completas pero observamos que los colores del recorrido no coinciden con los de los sectores.

La segunda es la mostrada en la segunda captura. En donde directamente hay una zona sin huellas dibujadas.

- BCCH sectores cruzados

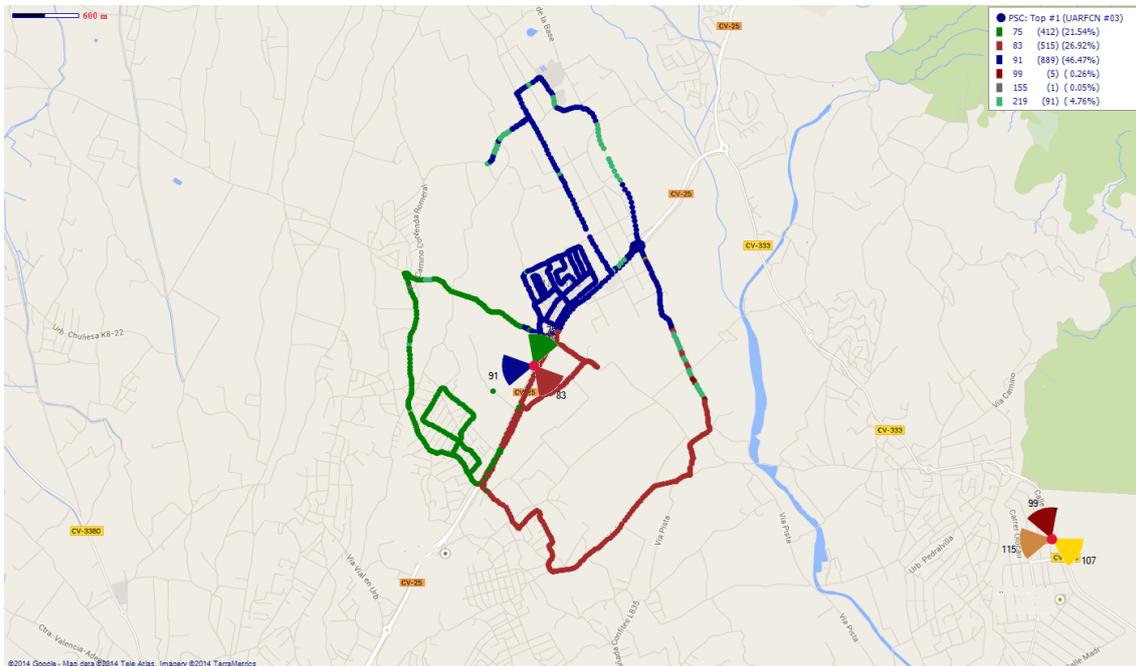


Fig 6.2.8 Plot medida

En este caso hay que diferenciar en tres casos distintos:

- **Caso 1:** existen sectores cruzados pero ya estaban cruzados en el plot PRE, es decir, antes de realizar la obra (plot PRE igual plot POST, ambos con sectores cruzados).

- **Solución:** en este caso, como el operador de telefonía móvil (cliente) tenía antes de la obra los sectores cruzados y han estado operando así sin problemas, no es un inconveniente que después de la obra sigan del mismo modo. Por lo tanto, se da por válido y no hay que corregir nada.

- **Caso 2:** antes de la obra los sectores estaban bien conectados y después de ella aparecen cruzados. Es decir, el error se ha producido durante la realización de la obra (plot PRE diferente al plot POST).

- **Solución:** en este caso, queda claro que al cambiar el equipo de la estación base ha habido un error al conectar los cables de cada sector y se han intercambiado las conexiones. Por lo que la solución es volver a enviar a los técnicos al nodo para que descruzen las conexiones. Posteriormente, es necesario volver a repetir las mediciones completas.

- **Caso 3:** antes de la obra existían sectores cruzados y después de ella, aparecen bien conectados.

- **Solución:** en este caso, puesto que después de la obra los sectores ya están cableados correctamente, no hay que solucionar nada. Se puede dar por válido.

- Ángulos entre sectores mal dibujados/ Sectores mal orientados



Fig 6.2.9 Plot medida

Esta situación solamente se da debido a un error en los datos del cliente en relación a la orientación de los sectores o debido a un error al dibujar el plot y representar los sectores.

- **Solución:** revisar la base de datos del operador de telefonía móvil para ver si ha habido un error al dibujar el plot y volverlo a dibujar correctamente. En caso de que los datos del operador se hayan tomado bien y se vea que los sectores salen mal orientados, es necesario comunicárselo para que corrijan los datos de orientación de los sectores.

- RXQUAL demasiado bajo o empeorado respecto al PRE

PRE

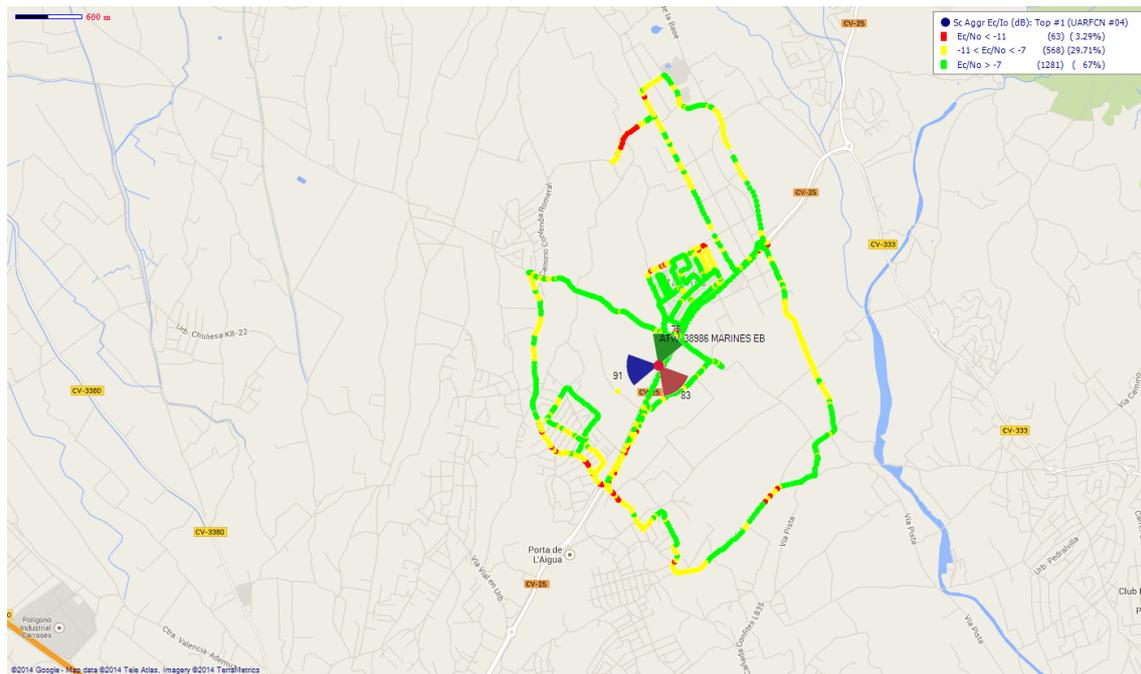


Fig 6.2.10 Plot medida

POST

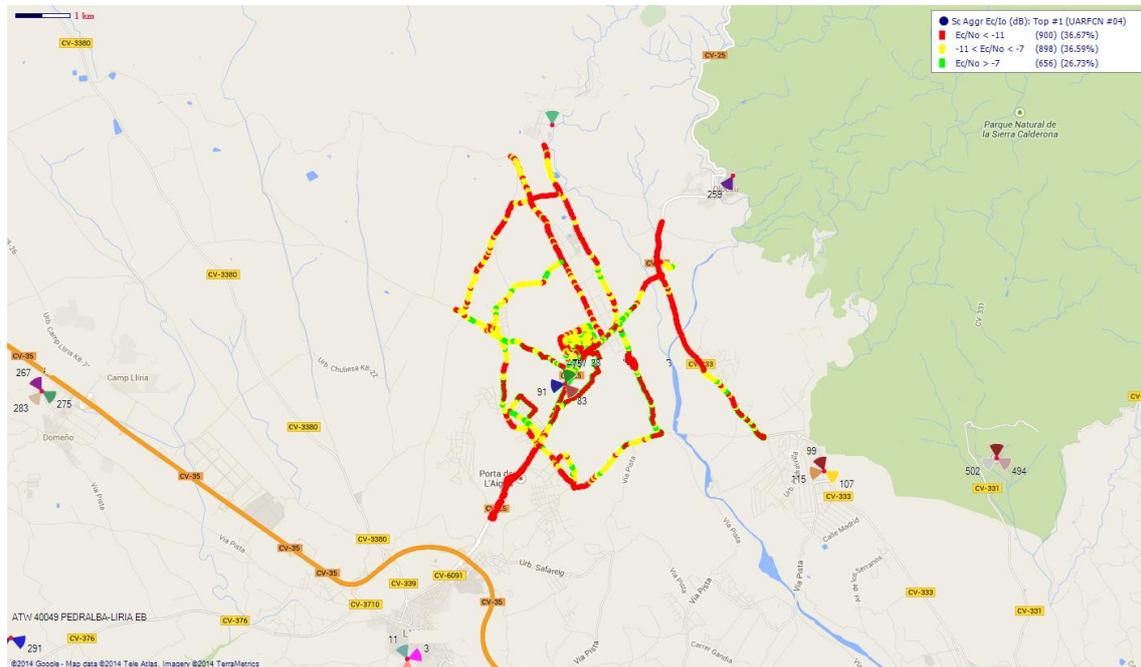


Fig 6.2.11 Plot medida

Este caso puede darse por cambio de ajuste de potencia, cambio de tilts, fallos de instalación, y un largo etc.

Si se da el caso, es necesario enviar el caso al equipo de tuning para que revise todos los parámetros de la instalación hasta dar con el responsable. Si no se encontrase, tendrían que ir los técnicos a revisarlo in situ.

- En algún sector de un plot BCCH/SC aparece como mejor servidor otra portadora y no la que se debería de detectar

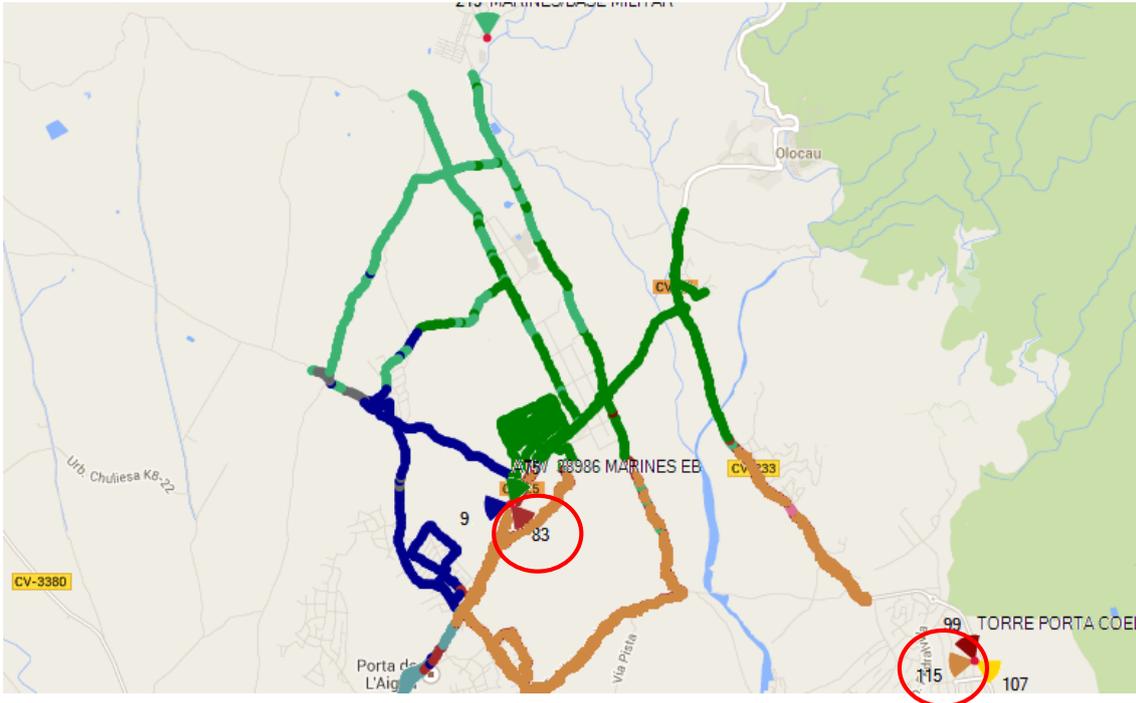


Fig 6.2.12 Plot medida

En este caso se puede observar como los sectores 75 (verde) y 9 (azul) tienen su huella de cobertura perfectamente definida. Mientras que la huella del 3º sector, el 83 (marrón oscuro), apenas aparece representada en el plot. En su lugar vemos como está representada la huella del sector 115 (marrón suave) perteneciente a un nodo situado en las cercanías del que nos interesa.

PSC: Top #1 (UARFCN #03)		
11	(80)	(3.25%)
75	(934)	(37.94%)
115	(614)	(24.94%)
9	(358)	(14.54%)
83	(37)	(1.5%)
155	(41)	(1.67%)
219	(393)	(15.96%)
414	(5)	(0.2%)

Para comprobar la valoración visual nos fijamos en la leyenda incluida en junto al plot, en donde se puede observar que efectivamente hay algún problema con el sector 83 ya que solamente se detecta un 1.5%, mientras que en su lugar, se detecta el sector 115 un 24.94%.

Esta situación se puede dar por dos casos:

1. Debido a que el sector 83 no esté radiando.
 - **Solución:** hay que comprobar si el sector efectivamente no está radiando en absoluto, o el fallo se produjo durante un periodo de tiempo determinado. Si se trata de un fallo puntual hay que revisar desde la aplicación del cliente los datos enviados automáticamente desde la estación base relacionados con la radiación desde antes y después del fallo y ver si todo está correcto. Si se comprueba que el sector no está radiando, es necesario enviar a los técnicos para que comprueben el estado del equipo hardware.
2. Debido a que el sector 115 radia con mucha mayor potencia que el 83 y “tapa” la señal del éste.

- **Solución:** Si se comprueba que el sector 83 si que está radiando, hay que comunicar al equipo de tuning la incidencia para que ajusten los parámetros (subir/bajar potencia, modificar tilt, etc) de ambos sectores, tanto el 83 como el 115.

- Pruebas funcionales por debajo del objetivo (% est, TH, etc)

Nº	Item	Objetivo	Medida	Resultado
1	% Establecimientos + Desconexiones voz fallidos	2%	5.12%	NOK
2	Descarga http UL (fichero 4,5 MB)	> 1Mbps	0.7	NOK
3	Descarga http DL (fichero 12 MB)	> 4Mbps	2.2	NOK

Fig 6.2.13 Ejemplo tabla con medidas defectuosas

(Este caso concretamente es un ejemplo de un autoswap 3G)

Para estas medidas hay que tener muy en cuenta que a la hora de realizar las pruebas, la población ya está haciendo uso del servicio, por lo que los valores pueden salir por debajo de lo exigido si en ese momento en concreto hay muchos usuarios subiendo o bajando datos.

Para comprobar esto, el operador de telefonía móvil nos puede facilitar los datos de las medidas de descargas en un periodo de tiempo más amplio (2 semanas por ejemplo) y ver si la media cumple con el mínimo exigido.

En caso de no cumplir, habrá que derivar el caso al equipo de tuning para que ajuste los parámetros.

6.3 ACEPTACIÓN DE OBRA

Si los datos obtenidos en los anexos de 3H y 48H y todas las medidas realizadas por los técnicos y representadas en los anexos de obra cumplen los objetivos de calidad establecidos por el cliente, la obra pasa a ser aceptada. En este caso, se suben los anexos a un servidor perteneciente al cliente en donde éste los almacenará por si hubiese que revisar algo en un futuro.

Al aceptarse todas las obras de un cluster, éste queda cerrado. No se cobra por la realización de ninguna obra perteneciente a un cluster hasta que éste no se cierre por completo.

7. CONCLUSIONES

A lo largo de este proyecto se ha plasmado el proceso completo de una obra de modernización de la red de telefonía móvil a nivel estatal.

Al tratarse de una modernización, y no de una implantación desde 0, se ha visto que el grueso del trabajo se encuentra en la fase posterior a la instalación hardware del equipo.

Previamente, simplemente se instala el equipo proporcionado por el operador móvil. Esto ya viene decidido en base a sus criterios y presupuesto.

Con la información aportada, se ve que tanto la tecnología LTE, como una mejora general de las tecnologías ya existentes, se demandan fuertemente por los usuarios, lo que ha provocado que los operadores móviles en España pongan todos sus esfuerzos por actualizar sus redes y estar a la cabeza en la oferta de tales mejoras. También siguiendo así el ejemplo de los países europeos más modernizados.

Si algún operador no hiciese tales esfuerzos, vería a corto plazo como los usuarios se cambiarían a otros operadores actualizados. Por lo que este es sobretodo un esfuerzo por no perder usuarios abonados a sus líneas y servicios. Y también por intentar “robar” algunos a los operadores que se demoren en sus actualizaciones.

Para un futuro a corto-medio plazo, se prevee que la tendencia sea el ir eliminando los servicios de 2G e implementar el denominado 4G+(4G real). Y para un futuro a medio-largo plazo incluso la tecnología 5G. Ésta última, aún se encuentra sin estandarizar. Las empresas de telecomunicación aún están desarrollando sus prototipos, pero se prevee que su uso esté establecido para 2020.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Documentación técnica propia de LCC Spain:
 - Fundamentos de las comunicaciones móviles.
 - Descripción detallada de las tecnologías 2G, 3G y LTE.
- Documentación de proyecto de LCC Spain.
- Apuntes de la asignatura Comunicaciones Móviles, EPS, UAM.
- LTE Nuevas tendencias en comunicaciones móviles: *Ramón Agustí, Francisco Bernardo Álvarez, Fernando Casadevall Palacio, Ramón Ferrús Ferre, Jordi Perez Romero, Oriol Sallent Roig*. Fundación Vodafone.
- Khan, F. (2009) LTE for 4G Mobile Broadband. Cambridge.
- Transformando el negocio de las telecomunicaciones: Thomas Wavelet, Jorge Trejo, Eduardo Griffa y Jorge Vallejo. (2010).
- Erik Dahlman, Stefan Parkvall , Johan Skold , “4G: LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband Hardcover”, 2011.
- Christopher Cox , “An Introduction to LTE: LTE, LTE-Advanced, SAE and 4G Mobile Communications”, 2012.

WEBS

- <http://www.etsi.org/technologies-clusters/technologies/mobile/gsm>
- <http://es.ccm.net/contents/681-estandar-gsm-sistema-global-de-comunicaciones-moviles>
- <http://www.etsi.org/technologies-clusters/technologies/mobile/gsm>
- <http://telecomunicacionesunisucre.blogspot.com.es/p/comunicaciones-moviles.html>
- <http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/99-hspa>
- <http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/98-lte>
- <https://sites.google.com/site/lteencyclopedia/home>
- <http://www.tierradelazaro.com/cripto/UMTS.pdf>
- http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/fajardo_p_d/capitulo3.pdf
- <http://mobiledevdesign.com/learning-resources/wireless-everywhere-not-quite-yet>
- <http://intotally.com/tot4blog/2013/07/11/lte-for-beginners-day-2-brief-description-about-lte-network-architecture/?lang=es>

9. ANEXO A

9.1 PRESUPUESTO

1) Ejecución Material

- Compra de ordenador personal (Software incluido)..... 1220 €
- Alquiler de coche (durante 6 meses)4.97 €/site
- Material de oficina 90 €
- Total de ejecución material..... 1314.97 €

2) Gastos generales

- 16 % sobre Ejecución Material..... 210.40 €

3) Beneficio Industrial

- 6 % sobre Ejecución Material..... 78.90 €

4) Honorarios Proyecto

- Ingeniero Telecomunicación Senior – 385€ / site
- Medidas Drive Test – 245€ / site

5) Material fungible

- Gastos de impresión 0 €
- Encuadernación 0 €

6) Subtotal del presupuesto

- Subtotal Presupuesto..... 1944.97 €

7) I.V.A. aplicable

- 21% Subtotal Presupuesto..... 408.45 €

8) Total presupuesto

- Total Presupuesto2353.42 €/site

Madrid, Abril de 2016
Fdo.: Víctor Manuel Sola Rodríguez
Ingeniero de Telecomunicación

10. ANEXO B

10.1 PLIEGO DE CONDICIONES

Este documento contiene las condiciones legales que guiarán la realización, en este proyecto, de una Obra de modernización de la red de telefonía móvil. En lo que sigue, se supondrá que el proyecto ha sido encargado por una empresa cliente a una empresa consultora con la finalidad de realizar dicho sistema. Dicha empresa ha debido desarrollar una línea de investigación con objeto de elaborar el proyecto. Esta línea de investigación, junto con el posterior desarrollo de los programas está amparada por las condiciones particulares del siguiente pliego.

Supuesto que la utilización industrial de los métodos recogidos en el presente proyecto ha sido decidida por parte de la empresa cliente o de otras, la obra a realizar se regulará por las siguientes:

10.2 CONDICIONES GENERALES

1. La modalidad de contratación será el concurso. La adjudicación se hará, por tanto, a la proposición más favorable sin atender exclusivamente al valor económico, dependiendo de las mayores garantías ofrecidas. La empresa que somete el proyecto a concurso se reserva el derecho a declararlo desierto.
2. El montaje y mecanización completa de los equipos que intervengan será realizado totalmente por la empresa licitadora.
3. En la oferta, se hará constar el precio total por el que se compromete a realizar la obra y el tanto por ciento de baja que supone este precio en relación con un importe límite si este se hubiera fijado.
4. La obra se realizará bajo la dirección técnica de un Ingeniero de Telecomunicación, auxiliado por el número de Ingenieros Técnicos y Programadores que se estime preciso para el desarrollo de la misma.
5. Aparte del Ingeniero Director, el contratista tendrá derecho a contratar al resto del personal, pudiendo ceder esta prerrogativa a favor del Ingeniero Director, quien no estará obligado a aceptarla.
6. El contratista tiene derecho a sacar copias a su costa de los planos, pliego de condiciones y presupuestos. El Ingeniero autor del proyecto autorizará con su firma las copias solicitadas por el contratista después de confrontarlas.
7. Se abonará al contratista la obra que realmente ejecute con sujeción al proyecto que sirvió de base para la contratación, a las modificaciones autorizadas por la superioridad o a las órdenes que con arreglo a sus facultades le hayan comunicado por escrito al Ingeniero Director de obras siempre que dicha obra se haya ajustado a los preceptos de los pliegos de condiciones, con arreglo a los cuales, se harán las modificaciones y la valoración de las diversas unidades sin que el importe total pueda exceder de los presupuestos aprobados. Por consiguiente, el número de unidades que se consignan en el proyecto o en el presupuesto, no podrá servirle de fundamento para entablar reclamaciones de ninguna clase, salvo en los casos de rescisión.

8. Tanto en las certificaciones de obras como en la liquidación final, se abonarán los trabajos realizados por el contratista a los precios de ejecución material que figuran en el presupuesto para cada unidad de la obra.
9. Si excepcionalmente se hubiera ejecutado algún trabajo que no se ajustase a las condiciones de la contrata pero que sin embargo es admisible a juicio del Ingeniero Director de obras, se dará conocimiento a la Dirección, proponiendo a la vez la rebaja de precios que el Ingeniero estime justa y si la Dirección resolviera aceptar la obra, quedará el contratista obligado a conformarse con la rebaja acordada.
10. Cuando se juzgue necesario emplear materiales o ejecutar obras que no figuren en el presupuesto de la contrata, se evaluará su importe a los precios asignados a otras obras o materiales análogos si los hubiere y cuando no, se discutirán entre el Ingeniero Director y el contratista, sometiéndolos a la aprobación de la Dirección. Los nuevos precios convenidos por uno u otro procedimiento, se sujetarán siempre al establecido en el punto anterior.
11. Cuando el contratista, con autorización del Ingeniero Director de obras, emplee materiales de calidad más elevada o de mayores dimensiones de lo estipulado en el proyecto, o sustituya una clase de fabricación por otra que tenga asignado mayor precio o ejecute con mayores dimensiones cualquier otra parte de las obras, o en general, introduzca en ellas cualquier modificación que sea beneficiosa a juicio del Ingeniero Director de obras, no tendrá derecho sin embargo, sino a lo que le correspondería si hubiera realizado la obra con estricta sujeción a lo proyectado y contratado.
12. Las cantidades calculadas para obras accesorias, aunque figuren por partida alzada en el presupuesto final (general), no serán abonadas sino a los precios de la contrata, según las condiciones de la misma y los proyectos particulares que para ellas se formen, o en su defecto, por lo que resulte de su medición final.
13. El contratista queda obligado a abonar al Ingeniero autor del proyecto y director de obras así como a los Ingenieros Técnicos, el importe de sus respectivos honorarios facultativos por formación del proyecto, dirección técnica y administración en su caso, con arreglo a las tarifas y honorarios vigentes.
14. Concluida la ejecución de la obra, será reconocida por el Ingeniero Director que a tal efecto designe la empresa.
15. La garantía definitiva será del 4% del presupuesto y la provisional del 2%.
16. La forma de pago será por certificaciones mensuales de la obra ejecutada, de acuerdo con los precios del presupuesto, deducida la baja si la hubiera.
17. La fecha de comienzo de las obras será a partir de los 15 días naturales del replanteo oficial de las mismas y la definitiva, al año de haber ejecutado la provisional, procediéndose si no existe reclamación alguna, a la reclamación de la fianza.
18. Si el contratista al efectuar el replanteo, observase algún error en el proyecto, deberá comunicarlo en el plazo de quince días al Ingeniero Director de obras, pues transcurrido ese plazo será responsable de la exactitud del proyecto.

19. El contratista está obligado a designar una persona responsable que se entenderá con el Ingeniero Director de obras, o con el delegado que éste designe, para todo relacionado con ella. Al ser el Ingeniero Director de obras el que interpreta el proyecto, el contratista deberá consultarle cualquier duda que surja en su realización.

20. Durante la realización de la obra, se girarán visitas de inspección por personal facultativo de la empresa cliente, para hacer las comprobaciones que se crean oportunas. Es obligación del contratista, la conservación de la obra ya ejecutada hasta la recepción de la misma, por lo que el deterioro parcial o total de ella, aunque sea por agentes atmosféricos u otras causas, deberá ser reparado o reconstruido por su cuenta.

21. El contratista, deberá realizar la obra en el plazo mencionado a partir de la fecha del contrato, incurriendo en multa, por retraso de la ejecución siempre que éste no sea debido a causas de fuerza mayor. A la terminación de la obra, se hará una recepción provisional previo reconocimiento y examen por la dirección técnica, el depositario de efectos, el interventor y el jefe de servicio o un representante, estampando su conformidad el contratista.

22. Hecha la recepción provisional, se certificará al contratista el resto de la obra, reservándose la administración el importe de los gastos de conservación de la misma hasta su recepción definitiva y la fianza durante el tiempo señalado como plazo de garantía. La recepción definitiva se hará en las mismas condiciones que la provisional, extendiéndose el acta correspondiente. El Director Técnico propondrá a la Junta Económica la devolución de la fianza al contratista de acuerdo con las condiciones económicas legales establecidas.

23. Las tarifas para la determinación de honorarios, reguladas por orden de la Presidencia del Gobierno el 19 de Octubre de 1961, se aplicarán sobre el denominado en la actualidad "Presupuesto de Ejecución de Contrata" y anteriormente llamado "Presupuesto de Ejecución Material" que hoy designa otro concepto.

10.3 CONDICIONES PARTICULARES

La empresa consultora, que ha desarrollado el presente proyecto, lo entregará a la empresa cliente bajo las condiciones generales ya formuladas, debiendo añadirse las siguientes condiciones particulares:

1. La propiedad intelectual de los procesos descritos y analizados en el presente trabajo, pertenece por entero a la empresa consultora representada por el Ingeniero Director del Proyecto.
2. La empresa consultora se reserva el derecho a la utilización total o parcial de los resultados de la investigación realizada para desarrollar el siguiente proyecto, bien para su publicación o bien para su uso en trabajos o proyectos posteriores, para la misma empresa cliente o para otra.
3. Cualquier tipo de reproducción aparte de las reseñadas en las condiciones generales, bien sea para uso particular de la empresa cliente, o para cualquier otra aplicación, contará con autorización expresa y por escrito del Ingeniero Director del Proyecto, que actuará en representación de la empresa consultora.
4. En la autorización se ha de hacer constar la aplicación a que se destinan sus reproducciones así como su cantidad.

5. En todas las reproducciones se indicará su procedencia, explicitando el nombre del proyecto, nombre del Ingeniero Director y de la empresa consultora.
6. Si el proyecto pasa la etapa de desarrollo, cualquier modificación que se realice sobre él, deberá ser notificada al Ingeniero Director del Proyecto y a criterio de éste, la empresa consultora decidirá aceptar o no la modificación propuesta.
7. Si la modificación se acepta, la empresa consultora se hará responsable al mismo nivel que el proyecto inicial del que resulta el añadirla.
8. Si la modificación no es aceptada, por el contrario, la empresa consultora declinará toda responsabilidad que se derive de la aplicación o influencia de la misma.
9. Si la empresa cliente decide desarrollar industrialmente uno o varios productos en los que resulte parcial o totalmente aplicable el estudio de este proyecto, deberá comunicarlo a la empresa consultora.
10. La empresa consultora no se responsabiliza de los efectos laterales que se puedan producir en el momento en que se utilice la herramienta objeto del presente proyecto para la realización de otras aplicaciones.
11. La empresa consultora tendrá prioridad respecto a otras en la elaboración de los proyectos auxiliares que fuese necesario desarrollar para dicha aplicación industrial, siempre que no haga explícita renuncia a este hecho. En este caso, deberá autorizar expresamente los proyectos presentados por otros.
12. El Ingeniero Director del presente proyecto, será el responsable de la dirección de la aplicación industrial siempre que la empresa consultora lo estime oportuno. En caso contrario, la persona designada deberá contar con la autorización del mismo, quien delegará en él las responsabilidades que ostente.