

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE
INGENIERÍA Y SISTEMAS DE TELECOMUNICACIÓN



PROYECTO FIN DE CARRERA

EVALUACIÓN COMPARATIVA
DE REDES MÓVILES

JESÚS JIMÉNEZ MOTILLA

JAIME OCHOVO PAVÓN

SEPTIEMBRE 2017

A mi novia, a mis padres y a mi hermano. Por vuestro apoyo, ánimo y comprensión. Sin vosotros esto no hubiera sido posible.

Jaime

Este proyecto está dedicado a mis padres, por su infinita paciencia y apoyo en los momentos difíciles. También al resto de mi familia, especialmente a las personas que ya no están con nosotros. Por último, gracias Sonia por tu ánimo cada día para, por fin, terminar la carrera.

Jesús

Ambos, queremos agradecer a nuestro tutor, José Enrique, la predisposición mostrada en todo momento para la realización de este proyecto.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	9
1 EVOLUCIÓN DE LAS REDES MÓVILES	11
1.1 Primera generación.....	11
1.2 Segunda generación.....	12
1.3 Tercera generación	14
1.4 Cuarta generación.....	14
2 RED 2G.....	17
2.1 Sistema GSM	17
2.1.1 Arquitectura de red	18
2.1.2 Canales GSM	21
2.1.2.1 Canales físicos	21
2.1.2.2 Canales lógicos.....	22
2.1.3 Procesos de conexión	25
2.1.3.1 Estados del móvil	25
2.1.3.2 Gestión de movilidad	25
2.1.3.3 Actualización de la ubicación.....	26
2.1.3.4 Realización de llamadas	27
2.2 Sistemas GPRS (2.5G).....	31
2.2.1 Arquitectura de red	31
2.2.2 Proceso de conexión.....	33
2.2.2.1 Estados del móvil	33
2.2.2.2 Conexión de datos	34
3 RED 3G.....	39
3.1 Sistema UMTS	39
3.1.1 Arquitectura de red	39
3.1.2 Canales UMTS	41
3.1.2.1 Canales lógicos.....	42
3.1.2.2 Canales de transporte.....	42
3.1.2.3 Canales físicos	43
3.1.3 Proceso de conexión.....	44
3.1.3.1 Estados del móvil	44
3.1.3.2 Realización de una conexión.....	45

3.2	Sistemas UMTS avanzados.....	50
3.2.1	HSDPA (3.5G)	50
3.2.2	HSUPA (3.75G)	51
3.2.3	HSPA+ (3.8G, 3.85G)	51
4	RED 4G.....	53
4.1	Sistemas LTE.....	53
4.1.1	Arquitectura de red	54
4.1.2	Tecnologías contempladas en LTE.....	56
4.1.3	Servicios de voz en LTE	57
4.1.3.1	VoLTE/VoLGA	57
4.1.3.2	CSFB (Circuit Switched Fall Back).....	58
4.1.3.3	SRVCC (Signal Radio Voice Call Continuity).....	58
4.1.4	Canales LTE	59
4.1.4.1	Canales físicos	59
4.1.4.2	Canales de transporte.....	60
4.1.4.3	Canales lógicos	61
4.1.5	Procesos de conexión	62
4.1.5.1	Estados del móvil	62
4.1.5.2	Procedimientos de gestión de sesiones.....	62
4.2	LTE Advanced	67
4.2.1	Carrier Agregation	68
5	EVALUACIÓN COMPARATIVA.....	69
5.1	Introducción a la evaluación comparativa.....	69
5.2	Evaluación comparativa de redes móviles	72
6	MEDIOS HUMANOS Y TÉCNICOS.....	75
6.1	Equipo humano.....	75
6.2	Equipo técnico	77
6.2.1	Equipo para medidas en exterior	78
6.2.1.1	Diversity Benchmarker II.....	78
6.2.1.2	Escáner de frecuencia	83
6.2.1.3	Instalación de las antenas.....	84
6.2.1.4	Elementos adicionales	86
6.2.1.5	NetQual NQView	87

6.2.2	Equipo para medidas en interior	92
6.2.2.1	Qualipoc Freerider II	92
6.2.2.2	Software QualiPoc.....	93
6.2.3	Software post-procesado NQDI.....	97
6.2.3.1	Data Management	98
6.2.3.2	Data Selection	99
6.2.3.3	Analysis	101
6.2.3.4	Graphs, Map y Report.....	104
7	METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN COMPARATIVA	107
7.1	Escenarios de medidas.....	107
7.1.1	Ciudades	108
7.1.2	Transporte	111
7.1.3	Lugares de concentración.....	112
7.2	Ámbito de las medidas.....	113
7.2.1	Redes bajo prueba	114
7.2.2	Servicios y tecnologías.....	114
7.2.2.1	Servicios de voz.....	114
7.2.2.2	Servicios de datos	115
7.2.3	Configuración del hardware/software	117
7.3	Configuración de las pruebas.....	120
7.3.1	Prueba de voz	121
7.3.2	Prueba de datos.....	125
7.3.3	Ajustes especiales.....	131
8	CALIDAD DE SERVICIO. PARÁMETROS REPORTADOS	133
8.1	Teoría de calidad de servicio en redes móviles.....	133
8.2	Definición de parámetros de calidad de servicio	136
8.2.1	Parámetros de calidad para servicios de voz	137
8.2.2	Parámetros de calidad para servicios de datos.....	142
8.2.2.1	Parámetros independientes del servicio	144
8.2.2.2	Parámetros dependientes del servicio	145
9	ANÁLISIS DE REDES MÓVILES EN ESPAÑA 2016	151
9.1	Metodología de las pruebas	151
9.2	Parámetros reportados y resultados	152

9.3 Ponderación de los resultados.....	157
CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS	159
ÍNDICE DE FIGURAS.....	161
ÍNDICE DE TABLAS.....	166
ACRÓNIMOS.....	167
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	175

INTRODUCCIÓN

El objetivo principal de este proyecto es conocer qué es una evaluación comparativa y cómo se aplica al sector de las telecomunicaciones, en concreto al análisis de las redes móviles de los operadores. Para entender mejor las distintas pruebas que se llevan a cabo durante un proceso de evaluación de redes, se ha decidido dividir el proyecto en dos partes.

La primera parte del proyecto comprende los cuatro primeros capítulos y está dedicada a la descripción de las redes móviles existentes en la actualidad, haciendo un repaso de las tecnologías móviles implantadas en España (2G, 3G y 4G).

En el primer capítulo se hará una descripción global de todas las generaciones móviles, viendo cómo ha evolucionado la tecnología móvil desde la primera hasta la actual cuarta generación. En cada generación se describen sus características principales, hitos históricos y sistemas representativos más representativos.

A partir del segundo capítulo, nos adentraremos más en profundidad en cada una de estas generaciones. El capítulo 2, dedicado a la red 2G, tiene como sistemas más representativos y extendidos el GSM y el GPRS. Se describen las características principales de GSM, su arquitectura, canales y cómo se llevan a cabo los procesos de conexión en esta tecnología. Para GPRS, se comentan las novedades que introduce respecto a GSM en su arquitectura, sus características principales, y se detalla lo más destacado que introduce esta tecnología respecto a GSM, su conexión de datos. El servicio de conmutación de paquetes de GPRS supuso una revolución en el mundo de las telecomunicaciones a la hora de realizar transferencias de datos.

El tercer capítulo, dedicado a la red 3G, tiene como principal sistema el UMTS, que supone una evolución del GPRS. En este capítulo vemos sus características principales, su arquitectura, canales y cómo se realiza una conexión a la red con un dispositivo móvil UMTS. También se citan las evoluciones del sistema UMTS, como son HSPDA, HSPUA y HSPA, que introdujeron velocidades de transmisión/recepción de datos más elevadas y fueron las precursoras de la próxima tecnología a investigar en este proyecto, el 4G.

El cuarto capítulo está dedicado al 4G, principalmente a LTE, que es el primer estándar considerado como 4G. En este tema resulta interesante analizar su arquitectura, ya que es bastante novedosa respecto a las arquitecturas de 2G y 3G, las cuales tenían más similitudes entre ellas. Se describen sus canales y sus características principales, en la que destaca su velocidad de datos. Se citan los diferentes servicios para transferencia de voz y analizaremos sus procesos de conexión a la red. Por último, se presenta la actual evolución del sistema LTE, llamada LTE-Advance.

La segunda parte del proyecto comprende los últimos cinco capítulos y está centrada en el proceso de evaluación comparativa de redes móviles.

En el quinto capítulo se define el concepto de evaluación comparativa o *benchmarking*, y se resalta su actual importancia en el mundo empresarial. Posteriormente se explica cómo se aplica este concepto dentro del sector de los operadores móviles.

Una vez definido el concepto de evaluación comparativa, los tres capítulos posteriores describen los elementos principales para la realización de un proyecto de evaluación comparativa de redes móviles. El capítulo 6 se centra en los recursos humanos y técnicos necesarios para llevar a cabo dicho proyecto. Se describe el organigrama típico de un equipo de trabajo dentro de una empresa, y las herramientas *hardware* y *software* del fabricante Swissqual, a modo de ejemplo, para explicar sus funciones y aplicaciones más importantes.

El séptimo capítulo expone un ejemplo de la metodología que sigue un operador móvil, Vodafone, para la realización de las medidas necesarias en un proyecto de evaluación comparativa. Esta metodología incluye aspectos como los escenarios objeto de las medidas, las tecnologías y servicios a analizar, la configuración de los equipos, o las distintas pruebas que se realizan para los servicios de voz y de datos ofrecidos por los operadores.

El capítulo octavo describe el concepto de calidad de servicio, de vital importancia para los operadores, repasando los diferentes modelos que lo representan. Se analizan algunos de los parámetros de calidad o indicadores de rendimiento definidos por los organismos internacionales de telecomunicaciones, que son extraídos de las pruebas realizadas y tratan de describir desde un punto de vista objetivo la experiencia del usuario dentro de la red de un operador.

Por último, el capítulo 9 expone un ejemplo de evaluación comparativa de redes realizado el pasado año en España, que pone de manifiesto el desempeño de los cuatro operadores con red propia en nuestro país.

1 EVOLUCIÓN DE LAS REDES MÓVILES

En este capítulo se realiza una introducción sobre la evolución de las redes de comunicaciones móviles, desde la primera hasta la cuarta generación. En ella se citarán los hitos más importantes y las tecnologías que han caracterizado a estas generaciones.

1.1 Primera generación

La primera generación apareció en 1979 y fue creciendo durante los años 80. Se introdujeron los teléfonos celulares basados en redes celulares con múltiples estaciones de base relativamente cercanas unas de otras, lo que permitía la transferencia de célula o *handover*, con tiempos de conmutación menores de 500 milisegundos. Eran interrupciones tan pequeñas en la transmisión de voz que no afectaban a la conversación. Todos los sistemas eran totalmente analógicos y su uso era estrictamente para transmitir voz. Los enlaces de voz eran de muy baja calidad, ya que cualquier alteración de la señal en el aire se percibía como “ruido”, el cual el aparato receptor no podía eliminar. Otra desventaja es que no existía seguridad. Cualquier persona podía escuchar las conversaciones ajenas con un simple sintonizador, o incluso hacer uso de las frecuencias cargando el importe de las llamadas a otras personas.

Utilizaba la técnica FDMA (Acceso Múltiple por División de Frecuencia) para el acceso a las celdas, lo que limitaba la cantidad de usuarios que el servicio podía ofrecer de forma simultánea.

La tecnología predominante de esta generación fue la denominada AMPS (*Advanced Mobile Phone System*) en Estados Unidos, convirtiéndose en el primer estándar de telefonía móvil. En Japón se implementaron múltiples sistemas; tres estándares, TZ-801, TZ-802, TZ-803, desarrollados por NTT, con un sistema de competencia operado por DDI usando el estándar JTACS.

En Europa también teníamos diferentes versiones de telefonía 1G:

- NMT (*Nordic Mobile Telephone*): Dinamarca, Noruega, Holanda.
- TACS (*Total Access Communications System*): Reino Unido y España.
- C450: Alemania Oriental, Portugal.
- Radiocom 2000: Francia.
- RTMI: Italia

Motorola fue la primera compañía en introducir un teléfono totalmente portátil, el DynaTAC 8000x, desarrollado en 1983. Costaba 4000 dólares y su batería solamente duraba una hora de conversación [1].



Figura 1.1 DynaTAC 8000x. Primer teléfono portátil.

1.2 Segunda generación

Las limitaciones del sistema de telefonía móvil de primera generación llevaron al desarrollo de un nuevo sistema (segunda generación) que se presentó a principios de la década de los 90. Este sistema se basó en introducir protocolos de telefonía digital que además de permitir más enlaces simultáneos en un mismo ancho de banda, permitían integrar otros servicios (que anteriormente eran independientes) en la misma señal, como es el caso del envío de mensajes de texto SMS (*Short Message Service*) y una mayor capacidad de envío de datos desde dispositivos de fax y módem.

Al igual que con la primera generación, inicialmente se desarrollaron varios estándares:

- GSM (*Global System for Mobile Communications*)
- TDMA (*Time Division Multiple Access*), conocido también como TIA/EIA136 o ANSI-136)
- D-AMPS (*Digital Advanced Mobile Phone System*)

Sin embargo, ha sido el primero de ellos, GSM, el que pronto se estandarizó a nivel mundial. Se trata de un sistema de telefonía totalmente digital que soporta voz, mensajes de texto, datos (9.6Kbps) y *roaming*.

GSM es el estándar en telecomunicaciones móviles más extendido en el mundo, con un 82% de los terminales mundiales en uso. GSM cuenta con más de 3000 millones de usuarios en 159 países distintos, siendo el estándar predominante

en Europa, América del Sur, Asia y Oceanía y con gran extensión en América del Norte.

En 1992 las primeras redes europeas de GSM-900 iniciaron su actividad, y el mismo año fueron introducidos al mercado los primeros teléfonos móviles GSM, siendo el primero el Nokia 1011 en noviembre de ese año.

En España, Movistar (Telefónica) creó en 1995 la primera red digital móvil. Ese mismo año se concedió licencia para una segunda operadora móvil, conocida como Airtel (actual Vodafone) y ya en 1999 se otorgó la tercera licencia de GSM a Amena (actual Orange). Yoigo, como cuarto operador, inició su actividad en 2005 [1].



Figura 1.2 Nokia 1011. Primer teléfono GSM producido en masa

Pero la tecnología digital pronto necesitó mejorar ante la necesidad, cada vez mayor, de enviar datos a través de nuestros dispositivos móviles. Por esa razón se desarrollaron mejoras y evoluciones del sistema GSM para lograr una tasa de datos incluso mayor a conexiones de banda ancha fija.

Estas mejoras se manifiestan en los siguientes sistemas:

- 2.5G GPRS (*General Packet Radio Service*) de hasta 114 Kbps.
- 2.75G E-GPRS (*Enhanced GPRS*) de hasta 384 Kbps, también conocida como EDGE (*Enhanced Data Rates for GSM Evolution*).

A día de hoy las redes de telefonía móvil ofrecen tanto el servicio GPRS como el E-GPRS donde la tecnología 4G o 3G no está disponible. Dependiendo de la cobertura móvil del usuario, éste podrá observar en su dispositivo las siglas que identifican a este par de tecnologías pre-3G.

1.3 Tercera generación

Las tecnologías 3G, surgidas en la década del 2000, son la respuesta a la especificación IMT-2000 de la Unión Internacional de Telecomunicaciones. Existen principalmente tres tecnologías 3G. Para Europa existe UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*) usando CDMA de banda ancha (W-CDMA). Este sistema provee transferencia de información de hasta 2Mbps. Para Estados Unidos encontramos las evoluciones de CDMA2000 y en China se desarrolló el 3G empleando TDS-CDMA (*Time Division Synchronous CDMA*). Usa un canal de 1.6 MHz y fue pensado para que abarcara el mercado chino y de los países vecinos. Tanto UMTS como CDMA2000 emplean FDD (*Frequency Division Duplex*) para la multiplexación del medio, donde los enlaces de subida y bajada emplean distintas frecuencias. Dentro de UMTS existe una especificación conocida como TDD (*Time Division Duplex*), donde los links poseen la misma frecuencia, pero usan distintos segmentos de tiempo.

Mejoras posteriores han permitido superar ampliamente la velocidad de datos en evoluciones del sistema 3G, conocidas como HSPA (*High-Speed Packet Access*). Son las siguientes [2]:

- HSDPA (3.5G) (*High Speed Downlink Packet Access*): aumenta la velocidad de descarga (entre 7.2 Mbps y hasta 14,4 Mbps) respecto al UMTS.
- HSUPA (3.75G) (*High-Speed Uplink Packet Access*): tiene altas tasas de transferencia de subida (hasta 7,2 Mbit/s).
- HSPA+ (3.8G, 3.85G): también conocido como *Evolved HSPA* (HSPA Evolucionado) alcanza velocidades de hasta 42 Mbps de bajada y 11,5 Mbps de subida.

1.4 Cuarta generación

En la cuarta generación de tecnologías móviles nos basamos totalmente en IP. Surge a partir del año 2010. No se trata de una tecnología o estándar definido, sino una colección de tecnologías y protocolos que permitan el máximo rendimiento y por lo tanto se considera un sistema de sistemas y una red de redes. Esta convergencia de tecnologías surge de la necesidad de agrupar los diferentes estándares en uso con el fin de delimitar el ámbito de funcionamiento de cada uno de ellos y para integrar todas las posibilidades de comunicación en un único dispositivo de forma transparente al usuario.

NTT DoCoMo en Japón fue el primero en experimentar con este tipo de tecnologías. Alcanzó 100 Mbps a 200 km/h y fue pionero en lanzar comercialmente los primeros servicios 4G. Se espera una implantación total sobre el año 2020 o antes.

Evolución de las redes móviles

Dentro de los estándares encontramos dos: LTE y IEEE 802.16, que recoge el estándar de facto WiMAX.

El estándar LTE (Long Term Evolution) de la norma 3GPP, no es puramente 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 sin ningún problema.

El reciente aumento del uso de datos móviles y la aparición de nuevas aplicaciones y servicios han sido las motivaciones por las que 3GPP desarrolla el proyecto LTE. De esta manera, se diseña un sistema capaz de mejorar significativamente la experiencia del usuario con total movilidad, que utiliza el protocolo de Internet (IP) para realizar cualquier tipo de tráfico de datos de extremo a extremo con una buena calidad de servicio (QoS) y, de igual forma el tráfico de voz, apoyado en Voz sobre IP (VoIP) que permite una mejor integración con otros servicios multimedia. [2]

El planteamiento en LTE es empezar a hacer un diseño desde cero. Esto significa una arquitectura con nueva red de acceso y nuevo núcleo.

En la figura 1.3 vemos un cuadro evolutivo de las redes móviles en función de su año de aparición y velocidades de transmisión alcanzadas.

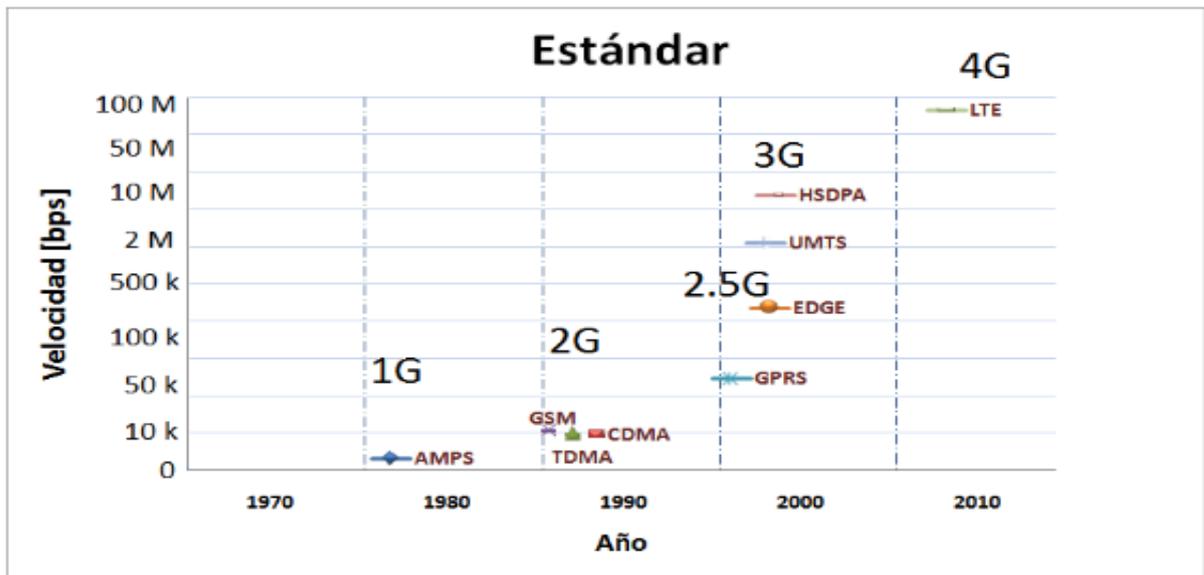


Figura 1.3 Cuadro de evolución de las redes móviles

2 RED 2G

En este capítulo se van a exponer los sistemas GSM y GPRS como los más representativos de la red 2G. Se verán las principales características de estos sistemas, arquitectura de red y procesos de conexión.

2.1 Sistema GSM

Como ya hemos visto en el capítulo 1, GSM es un sistema que revolucionó la tecnología de las telecomunicaciones ya que permite conexiones tanto de voz como de datos. Fue un sistema europeo en sus inicios, pero rápidamente se convirtió en un estándar mundial. Gracias a que es un sistema digital, se redujeron costes en las estaciones de base y las centrales de conmutación que anteriormente eran puramente analógicas. GSM utiliza un codificador que transmite voz a 13 kbit/s a la estación base sobre un enlace digital. En la conexión de datos, el móvil se utiliza como módem de 9,6 kbit/s. Otra principal ventaja de este sistema es que permite realizar llamadas en cualquier país que haya adoptado el estándar, facilidad que se conoce como *roaming*.

El sistema GSM, a diferencia de los sistemas analógicos que utilizaban un acceso FDM, usa un sistema de acceso por multiplexado en el tiempo (TDM) de banda estrecha, dentro de la banda 900/1800 (1900 en EEUU y América del Sur).

En la tabla 2.1 podemos ver más características técnicas principales.

	GSM 900	GSM 1800	GSM 1900
Ascendente (Uplink)	890-915 MHz	1.710-1.785 MHz	1.850-1.910 MHz
Descendente (Downlink)	935-960 MHz	1.805-1.880 MHz	1.930-1990 Mhz
Ancho de banda	25 MHz	75 MHz	60 MHz
Separación portadoras	200 kHz	200 kHz	200 kHz
Distancia dúplex	45 MHz	95 MHz	80 MHz
Número de portadoras	124	374	299
Radio típico de célula	300 m- 35 km	100 m-15 km	100 m-15km
Potencia del terminal	0,8- 2 W	0,25-1 W	0,25-1 W

Tabla 2.1 Características técnicas de GSM

2.1.1 Arquitectura de red

En la red GSM podemos distinguir cuatro partes bien diferenciadas [3]:

- MS (Estación móvil)
- BSS (Subsistema de estaciones base)
- NSS (Subsistema de red)
- NMS (Subsistema de gestión de red)

Estación móvil (MS)

La estación móvil se corresponde con el dispositivo móvil en sí, que contiene la tarjeta SIM. La tarjeta SIM almacena información específica de la red usada para autenticar e identificar al cliente, como los siguientes parámetros:

- Número IMSI (*International Mobile Subscriber Identity*), que sirve para identificar al abonado en todo el mundo. Este número es el que permite el *roaming*. El número IMSI, de acuerdo al estándar ITU E.212, está formado por:
 - MCC: Código del país (3 dígitos).
 - MNC: Código de la red móvil (2 o 3 dígitos).
 - MSIN: Número de 9 ó 10 dígitos como máximo que contiene la identificación de la estación móvil.
- El número ICCID (*Integrated Circuit Card ID*), que es el número de serie de la tarjeta. Haciendo una analogía con redes TCP/IP, este número sería equivalente a la dirección MAC de una tarjeta de red de un dispositivo.
- Clave de autenticación única, *ki*, que se asigna por el operador en el momento de personalización de la tarjeta.
- Identificador de área local, LAI (*Location Area Identity*). Este identificador está relacionado con las celdas y la ubicación geográfica en la que se encuentra el dispositivo móvil y su tarjeta en ese momento. Cuando el terminal móvil cambia de ubicación de un área local a otra, almacena su nuevo LAI en la tarjeta SIM y la envía al operador para informar a la red de esta nueva localización.
- Por último, asociado a la compañía telefónica nos encontramos con la numeración MSISDN (*Mobile Station Integrated Services Digital Network*) que es nuestro número de teléfono móvil que fácilmente recordamos. Está compuesto por 15 dígitos como máximo (recomendación de la ITU-T, norma E.164), divididos en CC (*Country Code*), NDC (*National Destination Code*) y SN (*Subscriber Number*). En el caso de España, tenemos CC = 34, NDC vendría determinado por el operador y dentro de éstos habría varios. Por ejemplo, 607 sería uno de los NDC de Vodafone. Después del NDC tendríamos 6

dígitos. Cuando un abonado de telefonía móvil cambia de operador mediante portabilidad, cambiará de número IMSI, pero conservará su número MSISDN. Este número MSISDN se comportará como un nombre de dominio (en una analogía con redes TCP/IP).

Subsistema de estaciones base (BSS)

Conjunto de equipos que proporcionan y controlan el acceso de los terminales al espectro disponible, así como el envío y recepción de los datos. Se compone de:

- BSC (Controlador de estación base): coordina la transferencia de llamadas entre distintas BTS (gestión del *handover*), con objeto de mantener la continuidad y la potencia con que éstas emiten, para evitar interferencias. La interfaz entre la MSC y la BSC se denomina interfaz A. En cada BSS hay una BSC.
- BTS (Estación transceptora base): contiene los transmisores y receptores, incluyendo las antenas y todo el procedimiento de las señales en la interfaz radio para cubrir una determinada área geográfica (una o más celdas). La interfaz entre la BTS y la BSC se denomina interfaz Abis, y suele ser un enlace MIC. En un BSS puede haber de una a varias BTS.
- TC (Unidad de adaptación de velocidad y transcodificación): responsable de la transcodificación de la voz (conversión de la voz de un formato de codificación digital a otro y viceversa) y adaptación de velocidad 64/16 kbit/s. No siempre se contempla como elemento independiente, sino integrado en el conjunto BSC/BTS, por lo que no siempre aparece como tal. Tanto si el TC está en el BSC (interfaz Abis) o próximo al MSC (interfaz A), cada canal de 2 Mbit/s puede transportar hasta un máximo de 120 canales de tráfico.

Un grupo de estaciones base (BTS) están conectadas a un controlador de estaciones base (BSC), encargado de, por ejemplo, aspectos como el *handover* o traspaso del móvil de una célula a otra, o del control de potencia de las BTS y de los móviles. El BSC se ocupa de la gestión de toda la red de radio.

Una o varias BSC se conectan a una central de conmutación de móviles (MSC), que explicaremos a continuación. Es el verdadero núcleo de la red y responsable del inicio, enrutamiento, control, finalización de llamadas y tasación. También es la interfaz entre diversas redes.

Subsistema de red (NSS)

Consta de varios elementos distintos:

- MSC (Centro de conmutación de servicios móviles): realiza la función de conmutación telefónica del sistema y el control de llamadas desde y hacia otros teléfonos y elementos de la red. También captura la información de facturación de una llamada. Está conectado al BSS.
- GMSC (*Gateway Mobile Services Switching Center*): dentro del MSC de la red hay un tipo particular que es el GMSC (gateway), que sirve como puerta de acceso a otras redes. Es un dispositivo traductor (hardware o software) que se encarga de interconectar dos redes, la de telefonía fija y la red GSM.
- VLR (Registro de posiciones de visitantes): contiene información de abonado necesario para el *roaming* de una MS en una red visitada. Aunque se especifica como una entidad separada, se integra en un MSC. Cuando un terminal accede a una red visitada, esta información es transferida desde el HLR usando el procedimiento de actualización de ubicación.
- HLR (Registro de localización local): es una base de datos central para una PLMN para almacenar información de suscripción de los abonados. Guarda información sobre el perfil de servicio, ubicación y estado de actividad de un abonado. El HLR está conectado a los MSC y VLR.
- AuC (*Authentication Center*): proporciona parámetros necesarios para la autenticación para verificar el acceso de usuario. También proporciona parámetros de encriptación para cifrar la información en la interfaz aire.
- EIR (*Equipment Identity Registrar*): es una base de datos que contiene información para evitar llamadas desde estaciones móviles no autorizadas y robadas. La base de datos mantiene esta información basada en el identificador de equipo IMEI (International Mobile Equipment Identity).
- GIWU (*GSM Interworking Unit*): sirve como interfaz de comunicación entre diferentes redes para comunicación.

Subsistema de gestión de red (NMS)

Se conecta al BSS y NSS para controlar y monitorear toda la red GSM. Está formado por el OMC.

- OMC (Centro de operación y mantenimiento): realiza las funciones de operación y mantenimiento propias del sistema, estableciendo correctamente los parámetros que controlan los procedimientos de comunicación.

En la figura 2.1 se representa un esquema de la arquitectura GSM que contiene todos los elementos definidos anteriormente [4].

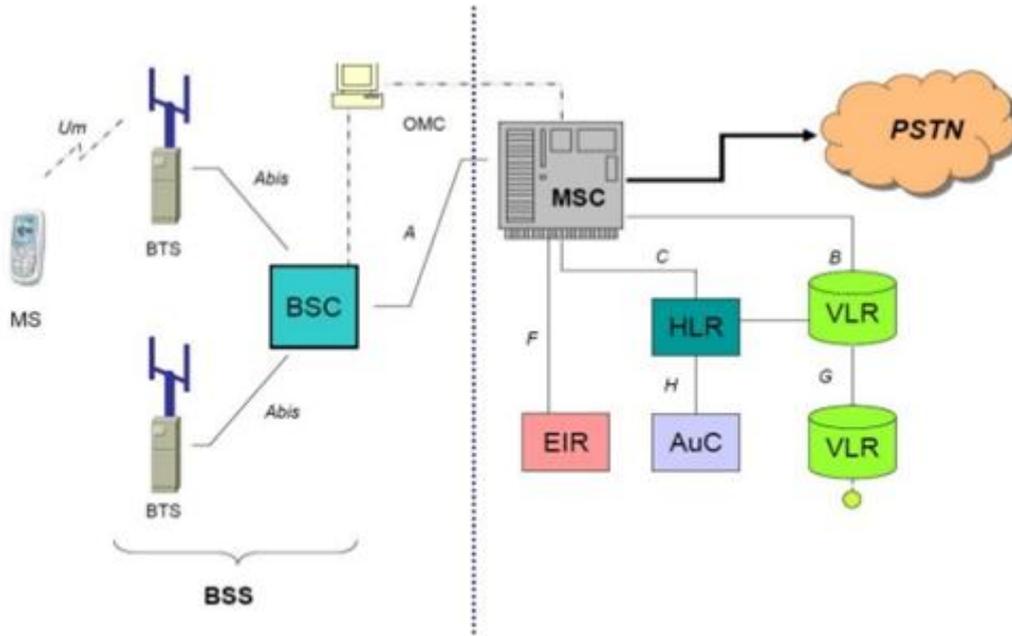


Figura 2.1 Arquitectura de una red GSM

2.1.2 Canales GSM

GSM utiliza dos bandas de 25 MHz para transmitir y recibir mediante FDD (Duplexación por división de frecuencia). La banda de 880-915 MHz se usa para las transmisiones desde la MS hasta la BTS (*uplink*) y la banda de 925-960 MHz se usa para las transmisiones entre la BTS y la MS (*downlink*). Las bandas de frecuencia superiores e inferiores se dividen en canales de 200 kHz llamados ARFCN (*Absolute Radio Frequency Channel Number*). El ARFCN denota un par de canales *uplink* y *downlink* separados por 45 MHz y compartidos en el tiempo por hasta 8 usuarios usando TDMA.

Cada uno de los 8 usuarios usa el mismo ARFCN y ocupa un único slot de tiempo (TS) por trama. Cada TS tiene una duración de 576,92 μ s. Cada usuario puede volver a usar el canal después de 8 slots, es decir, después de 4,615 ms, intervalo que es conocido como trama.

Existen dos tipos de canales, físicos y lógicos. A su vez los canales lógicos se dividen según sea de tráfico o de control.

2.1.2.1 Canales físicos

Un canal físico es un intervalo de tiempo por trama y cada canal TDMA se define por el número y posición de sus correspondientes intervalos temporales. Un canal físico da una capacidad bruta de 24,7 kbit/s. El empleo de un canal físico para voz o datos requiere la consideración de agrupaciones de 26 tramas, denominadas

multitramas. Dentro de cada una de las frecuencias resultantes de la partición del ancho de banda disponible, se procede a una segmentación en intervalos de tiempo (time slot), que se denominan de TS_0 a TS_7 , estableciéndose una trama de semicanales temporales. Cada conversación se asigna a cada una de las tramas y digitalizada se transmite como un tren de impulsos de datos, cada uno de $577 \mu s$, que se entrelaza con los procedentes de otras, por lo que cada canal puede admitir varias conversaciones, en lugar de una sola como ocurre en los sistemas analógicos.

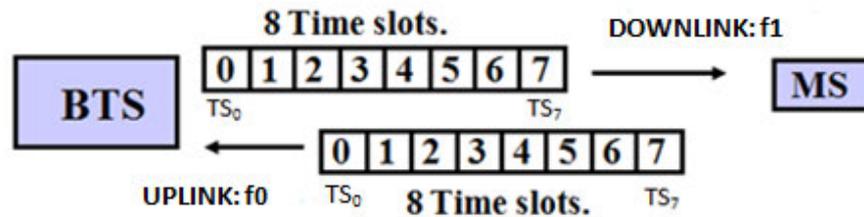


Figura 2.2 Canales TDMA sobre las frecuencias portadoras FDMA

2.1.2.2 Canales lógicos

Los canales físicos, comentados anteriormente, pueden soportar varios canales lógicos que se repartirán los intervalos de tiempo de los primeros. Dependiendo del tipo de información a transmitir entre las estaciones base y los terminales, se utilizan distintos canales lógicos. Existen dos tipos: canales de tráfico y canales comunes o de control.

- Canales de tráfico (TCH, *Traffic Channel*). Un canal de tráfico se emplea para transportar voz y datos entre la MS y la BTS, así como canales especiales de señalización asociada a la llamada. Pueden ser canales de tráfico a velocidad completa (*full-rate* TCH) o canales a la mitad de velocidad (*half-rate* TCH). Un canal TCH a velocidad completa ocupa un canal físico, mientras que dos canales que trabajen a mitad de velocidad pueden compartir un canal físico, lo que dobla la capacidad de tráfico.
- Canales de control (CCH, *Control Channels*). Sirven para regular el acceso de los terminales al sistema. Transmiten información de señalización común a todos los móviles que se encuentren en una célula y pueden ser accedidos tanto por terminales en modo “espera” como “dedicado”. Los terminales en modo “espera” pasarán al modo “dedicado” gracias a la información de señalización que proporcionan los canales de control. Los terminales que ya se encuentran en modo “dedicado” monitorizan su entorno (estaciones base) para realizar trasposos y otras funciones. Los canales de control incluyen varios tipos:

- Canales de difusión (BCH, *Broadcast Channels*). Se utilizan para difundir información general desde la BTS hacia todas las MS que se encuentren en su célula. Son los siguientes:
 - Canal de control de Radiodifusión (BCCH, *Broadcast Control Channel*). difunde información que incluye la identidad de la estación base, asignación de frecuencias, potencia de transmisión máxima permitida y las secuencias de salto de frecuencia. Se transmite en el enlace descendente.
 - Canal de Corrección de Frecuencias (FCCH, *Frequency Correction Channel*). Se usa para la transmisión continua de una señal sinusoidal para detección de la portadora de difusión, facilitándose así la sincronización de las MS con la frecuencia portadora.
 - Canal de Sincronización (SCH, *Synchronisation Channel*). Sirve para obtener el sincronismo de trama mediante la información que transmite acerca de la estructura TDMA de la célula y la identidad de la estación base.

- Canales de Control Común (CCCH, *Common Control Channels*). Sirven para comunicar una MS con la red en lo referente a intercambio de información, solicitud de un canal dedicado para el inicio de una sesión radio y confirmación del canal asignado por la red. Son los siguientes:
 - Canal de Acceso Aleatorio (RACH, *Random Access Channel*). Canal unidireccional que sirve para que la estación móvil envíe a la estación base una petición de asignación de un canal dedicado SDCCH para el intercambio de señalización. Se transmite en el enlace descendente, punto a punto.
 - Canal de Radiobúsqueda (PCH, *Paging Channel*). Utilizado para alertar al terminal de una llamada entrante o un mensaje corto al que responderá la estación móvil solicitando un canal SDCCH a través del RACH. La información es un mensaje de que incluye el número IMSI, y se transmite en el enlace descendente, punto a punto.
 - Canal de asignación de Acceso (AGCH, *Access Grant Channel*). Utilizado por la BTS para asignar un SDCCH a un terminal para señalización siguiendo la petición en el RACH. La red asigna el canal de señalización SDCCH por medio del AGCH, que se transmite en el enlace descendente, punto a punto.

- Canales de Control Dedicado (DCCH, *Dedicated Control Channels*). Son canales de señalización bidireccionales que se asignan a las MS para el establecimiento y liberación de llamadas. También se emplean para

intercambio de información entre MS y BTS sobre distintas medidas. Son los siguientes:

- Canal Específico de Control Dedicado (SDCCH, *Specific Dedicated Control Channel*). En este canal se ejecutan los procedimientos de establecimiento de llamadas, previos a la asignación de un TCH. Se transmite tanto en el enlace ascendente como descendente, punto a punto.
- Canal de Control Asociado (ACCH, *Associated Control Channel*). Son canales de señalización de la llamada. Existen dos tipos:
 - Canal de Control Asociado Lento (SACCH, *Slow Associated Control Channel*). En ciertos intervalos temporales del SDCCH y del canal de tráfico se transmite información del SACCH, como la potencia y calidad de la señal de los terminales y estaciones base. Se transmite sobre el enlace ascendente y descendente, punto a punto.
 - Canal de Control Asociado Rápido (FACCH, *Fast Associated Control Channel*). Se realiza para realizar un traspaso (handover) durante una conversación. Se puede considerar como un canal virtual que aparece y desaparece cuando se precisa el intercambio de señalización entre MS y BTS.

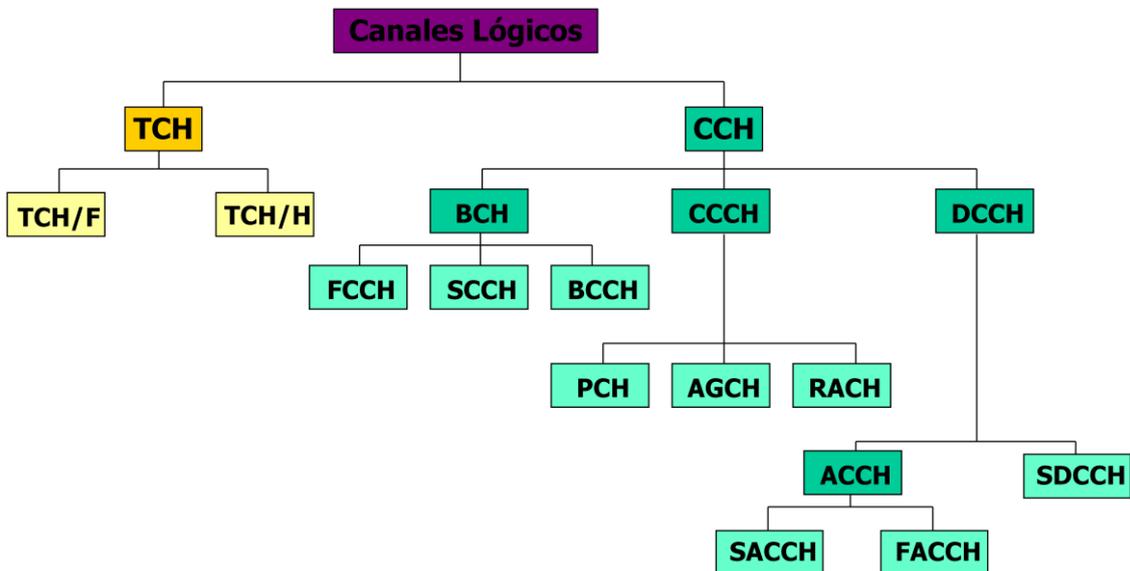


Figura 2.3 Esquema de los canales lógicos existentes en GSM

2.1.3 Procesos de conexión

Antes de proceder a explicar cómo se realiza una llamada en GSM, es necesario comprender previamente como se manejan, a través de los diferentes supuestos de tráfico, los diferentes estados en los que se puede encontrar el teléfono móvil o cómo se gestiona su posición.

2.1.3.1 Estados del móvil

Un teléfono móvil encendido puede encontrarse en dos estados diferentes, en reposo u ocupado.

- En reposo (*Idle*). Un teléfono en reposo, mientras se desplaza, acampa en la celda que mejores condiciones le ofrece para llevar a cabo una comunicación con éxito. Si es necesario, al cambiar de celda el móvil actualiza su ubicación. Esto es necesario si cambia de LAC (Location Area Code), el cual es un número que identifica a toda una zona y que sirve para posicionar al teléfono.
- Ocupado (Dedicado). Está ocupado cuando existe una conversación en curso o cuando se está inicializando. En este caso es la BSC quien decide si se debe cambiar de celda. A este cambio se le llama traspaso o handover y se explica a continuación.

2.1.3.2 Gestión de movilidad

La gestión de movilidad, traspaso o handover consiste en el cambio de BTS para un equipo móvil. Cuando una estación base detecta que le llega muy poca intensidad de señal procedente de un dispositivo móvil avisa al móvil para que busque alternativas. Esto suele ocurrir en las zonas de solapamiento entre celdas.

El móvil debe buscar otras estaciones base cercanas a las que se pueda conectar. El proceso conlleva una serie de pasos:

- Realizar un barrido en el resto de frecuencias (para buscar otras estaciones base).
- Seleccionar la estación base más adecuada entre las disponibles.
- Cambiar de frecuencia y cortar la conexión con la anterior estación.

Todos estos pasos se tienen que realizar sin que se corte la llamada [1].

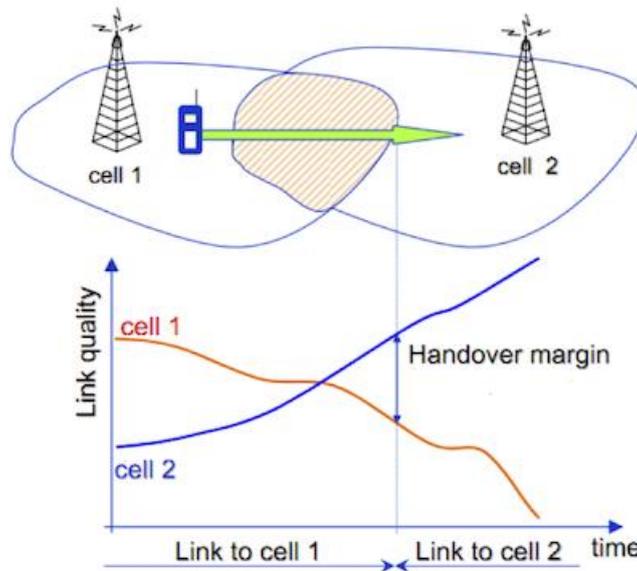


Figura 2.4 Esquema de representación del handover para un dispositivo móvil

2.1.3.3 Actualización de la ubicación

El proceso de actualización de la ubicación del terminal móvil consta de 4 pasos:

- 1. El teléfono escucha el BCCH de la celda nueva en la que ha acampado. Si el LAC (*Localization Area Code*) es el mismo en el que se encontraba no hace nada, si no es así, actualiza la posición.
 - 2. El móvil pide un SDCCH a través de un RACH (canal de acceso aleatorio).
 - 3. La BSC le asigna el SDCCH a través del AGCH (canal de asignación de acceso) que contiene mensajes de actualización de la posición.
 - 4. El móvil lleva a cabo la actualización de la posición. Si se cambia de VLR hay que informar al HLR.
- Desconexión del IMSI:
 - Permite indicar a la red que el móvil va a estar apagado. Se evita que se manden mensajes de radiobúsqueda dirigidos a ese móvil.
 - IMSI aparece en la base de datos del VLR como “detached”.
 - Conexión del IMSI:
 - Al encender el teléfono, si el LAC es el mismo que antes de apagarlo, sólo se marca el registro del IMSI como “attached”.
 - Si el LAC es diferente también se actualiza la ubicación.

- El procedimiento es el mismo:
 - RACH (Pide SDCCH)
 - AGCH (Se asigna SDCCH)
 - SDCCH (Actualiza la posición, si es necesario)
 - En el VLR se marca el IMSI como “*attached*”
- Registro periódico:
 - Es configurable por el operador.
 - Valor habitual: 2 horas.
 - Este tipo de actualización permite que no se envíen mensajes de radiobúsqueda dirigidos a los móviles que han perdido la conexión a la red (problemas de cobertura).

2.1.3.4 Realización de llamadas

Existen diferentes tipos de llamadas según dónde se originen:

- MOC (*Mobile Originated Call*): la llamada la realiza el terminal móvil.
- MTC (*Mobile Terminating Call*): el destinatario de la llamada es el terminal móvil.

Para poder establecer una llamada en GSM desde un terminal (MOC) se necesita:

- Crear un enlace radio con la estación base
- Establecer un enlace a través de la red GSM con el dispositivo o la red destinatarios de la llamada.

En el comienzo de la llamada se pueden distinguir diferentes procesos, según si la llamada es MOC o MTC. En el primer caso, es el móvil el que pide el canal, mientras que en una llamada MTC es el móvil el que debe de ser localizado por la red mediante un mensaje de *paging*.

En modo *idle* el móvil no tiene asignados recursos dedicados para poder comunicarse con la red, por lo que si la red necesita comunicarle al móvil que está siendo llamado hace uso del canal PCH (Paging Channel) para enviarle el mensaje de *paging*; mientras que, si el móvil necesita hacerle saber a la red que quiere realizar una llamada, éste hará uso del canal compartido RACH.

Como se describió anteriormente, el canal PCH es un canal *downlink* que todos los móviles escuchan a la vez, de manera que el terminal codificará este mensaje de *paging* para saber si va dirigido a él. Sin embargo, el canal RACH es un canal de acceso compartido en el que transmiten todos los móviles en sentido ascendente. Estos dos canales los usarán la BTS y el terminal móvil respectivamente hasta que se realice la asignación de canal. La petición del canal radio se realiza mediante el mensaje de *"Channel Request"*. El móvil envía este mensaje y lo repite hasta que recibe un mensaje de confirmación, donde la red le asigna el canal, llamado *"Immediate Assignment"*. El tiempo que espera para enviar mensajes *"Channel Request"* es un tiempo aleatorio (entre unos rangos controlados por la red, enviados en el BCCH).

A continuación, se describe el proceso con más detalle a través de flujos de señalización [5].

Asignación de canal

En la llamada MTC se requiere un paso previo a la asignación del canal radio para establecer la llamada, ya que el móvil se encuentra en estado Idle. En este estado no tiene recursos dedicados para poder comunicarse por la red, por lo que la red necesita comunicarle que está siendo llamado.

- 1) El móvil tiene que ser localizado mediante un mensaje de búsqueda (*paging*). Para ello utiliza el canal PCH. A partir de este paso tanto la Llamada MTC como MOC siguen el mismo esquema.
- 2) El móvil pide canal para el establecimiento de llamada mediante el mensaje de *"Channel Request"* (solicitud de canal) a través del canal RACH.
- 3) La BTS envía un mensaje a la BSC de canal requerido (*"Channel Required"*).
- 4) La BSC indica a la BTS que reserve un canal enviando el mensaje *"Channel Activation"*.
- 5) La BTS reserva el canal y envía un mensaje de confirmación mediante el mensaje *"Channel Activation Acknowledge"*.
- 6) La BSC activa el canal previamente reservado y envía un comando de asignación inmediata de ese canal (*"Immediate Assignment Command"*).
- 7) La BTS comunica esta activación del canal reservado a la MS con el comando *"Immediate Assignment"* a través del canal AGCH, con el cual se asigna al móvil los recursos radio para establecer la conexión.

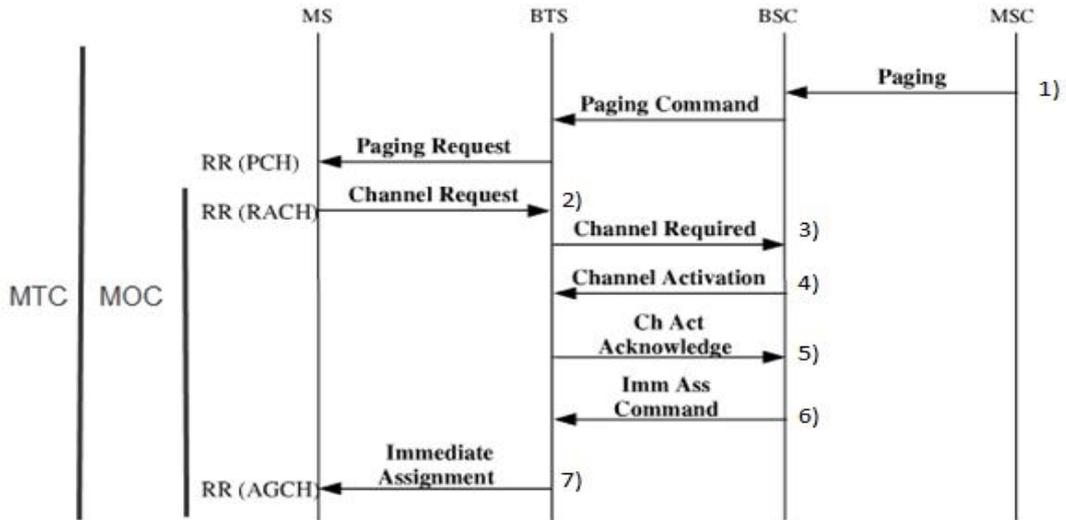


Figura 2.5 Asignación de canal radio en GSM

Autenticación del terminal en la red

Una vez que el móvil dispone del canal dedicado SDDCH, la red suele pedirle que se identifique. Para ello se emplean los siguientes pasos

- 1) La red pide al móvil que se identifique a través del mensaje *“Authentication Request”*. La MSC se lo comunica a la BSC, la cual le pasa la petición a la MS a través de la BTS. En el *“Authentication Request”* se envía una clave que tras una serie de modificaciones sirve para confirmar que el IMSI que el móvil dice tener realmente es el real.
- 2) El móvil confirma su identidad con el mensaje *“Authentication Response”*, que se hará llegar hasta la MSC.

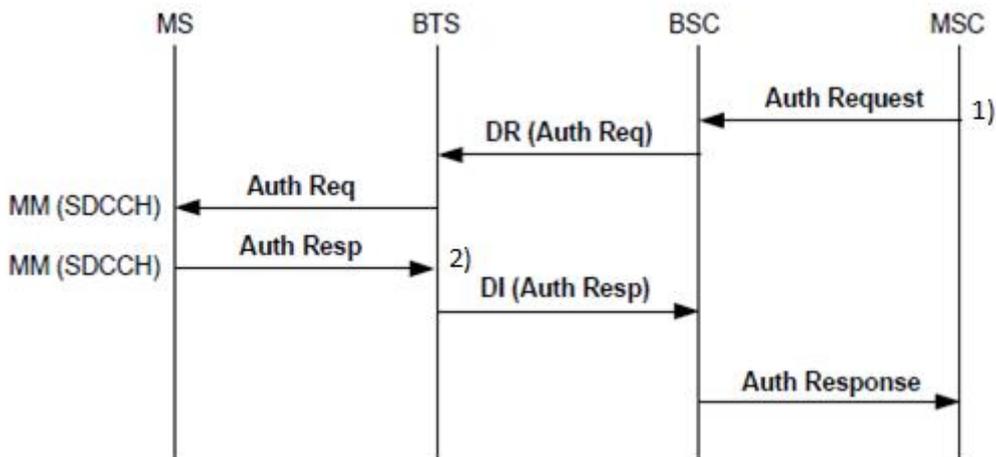


Figura 2.6 Autenticación del terminal en la red GSM

Establecimiento de llamada

Llamada MOC.

- 1) El móvil envía el mensaje "Setup" que encapsula la siguiente información:
 - Compatibilidad del móvil respecto a la conversación de voz.
 - Número destino
 - Compatibilidad en funciones de control
- 2) Una vez que la red recibe el mensaje de "Setup", crea la conexión con el destino y responde con el mensaje "Call Proceeding".
- 3) La MSC asigna un canal de tráfico TCH para voz y se lo comunica a la BSC, que a su vez se lo comunicará a la MS.
- 4) La MS envía un mensaje a la BTS de asignación completa.
- 5) La red envía al móvil el mensaje "alerting" cuando el otro extremo contesta.
- 6) La red envía el mensaje "Connect" al móvil.
- 7) El móvil contesta con el "Connect Acknowledge". En este momento se ha establecido la llamada con éxito.

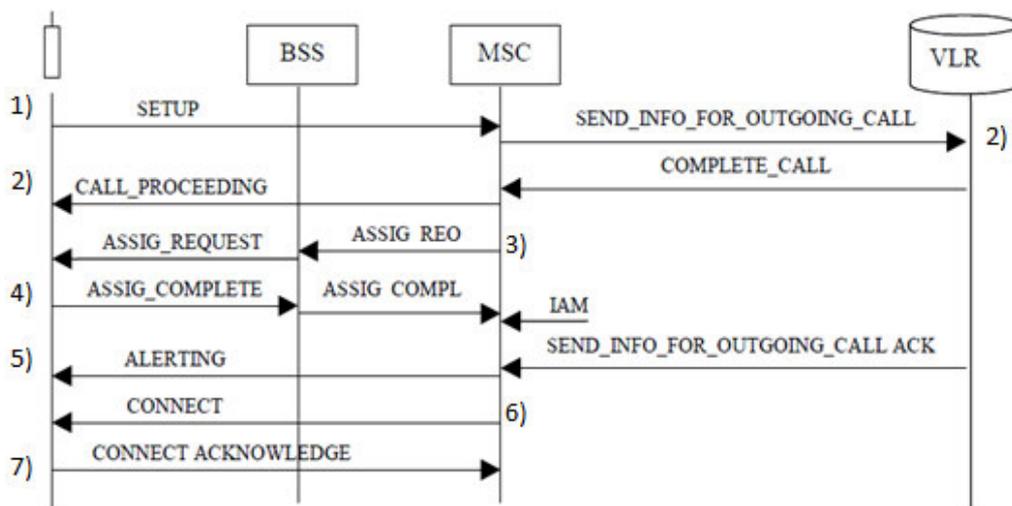


Figura 2.7 Establecimiento de una llamada MOC en GSM

Terminación de la llamada

Cuando se quiere terminar la llamada se realizan los siguientes pasos:

- 1) Se utiliza el mensaje "Disconnect" y se adjunta la causa de la desconexión.
- 2) A este mensaje, la red responde con un mensaje de Release a lo que la MS contesta con un "Release Complete". Dependiendo de quién pida la desconexión el sentido será uno u otro.
- 3) Al final se termina con un mensaje de "Channel Release" por parte de la red.

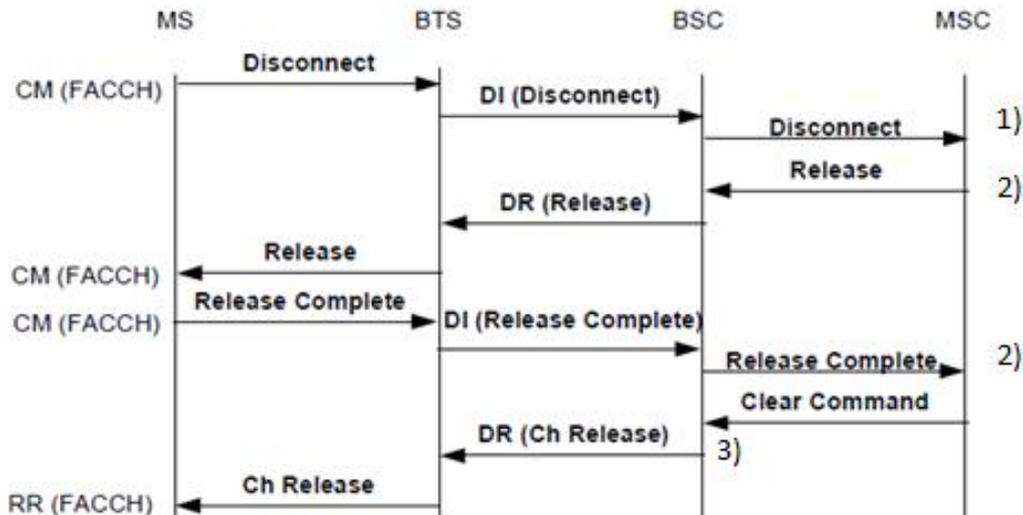


Figura 2.8 Terminación de llamada en GSM

2.2 Sistemas GPRS (2.5G)

GPRS (General Packet Radio Services) fue la primera mejora de GSM, y nace para resolver ciertas limitaciones del sistema GSM como:

- La velocidad de transferencia de 9,6 kbps.
- Pago por tiempo de conexión.
- Problemas para mantener la conectividad en itinerancia (*Roaming*)

La baja velocidad de transferencia en GSM limita la cantidad de servicios que Internet ofrece. Además, los costes se disparan, ya que pagamos por tiempo de conexión. Ya que GSM no se adapta adecuadamente a las necesidades de transmisión de datos, surge GPRS con el propósito de unificar el mundo IP con el mundo de la telefonía móvil [1].

2.2.1 Arquitectura de red

GPRS crea una red paralela a la red GSM y orientada en exclusiva a la transmisión de datos por medio de una red de conmutación de paquetes. Por lo tanto no sustituye a la red GSM, sino que la complementa. Para ello añade nuevos nodos denominados GSN (*GPRS Support Node*) ubicados en la red de transporte. Hay dos tipos de nodo GSN:

- Nodo de soporte GPRS servidor (S-GSN): Responsable del intercambio de paquetes, funciones de movilidad, autenticación y facturación. Se encarga de asignar las direcciones IP, seguir los movimientos del usuario al cambiar de estación base y asegurar la seguridad de la conexión.

Evaluación comparativa de redes móviles

- Nodo de soporte GPRS pasarela (G-GSN): este nodo es el responsable de la interconexión con redes de paquetes externas y redireccionamiento.

De esta manera, la estructura convencional de GSM se ha extendido con estos dos nodos de red que permiten crear un modo de transferencia de conmutación de paquetes extremo a extremo.

En la figura 2.9 se representa una arquitectura de red GPRS. En ella se evidencia que es una red con los mismos elementos que la red GSM, pero con el añadido de los dos nodos citados anteriormente.

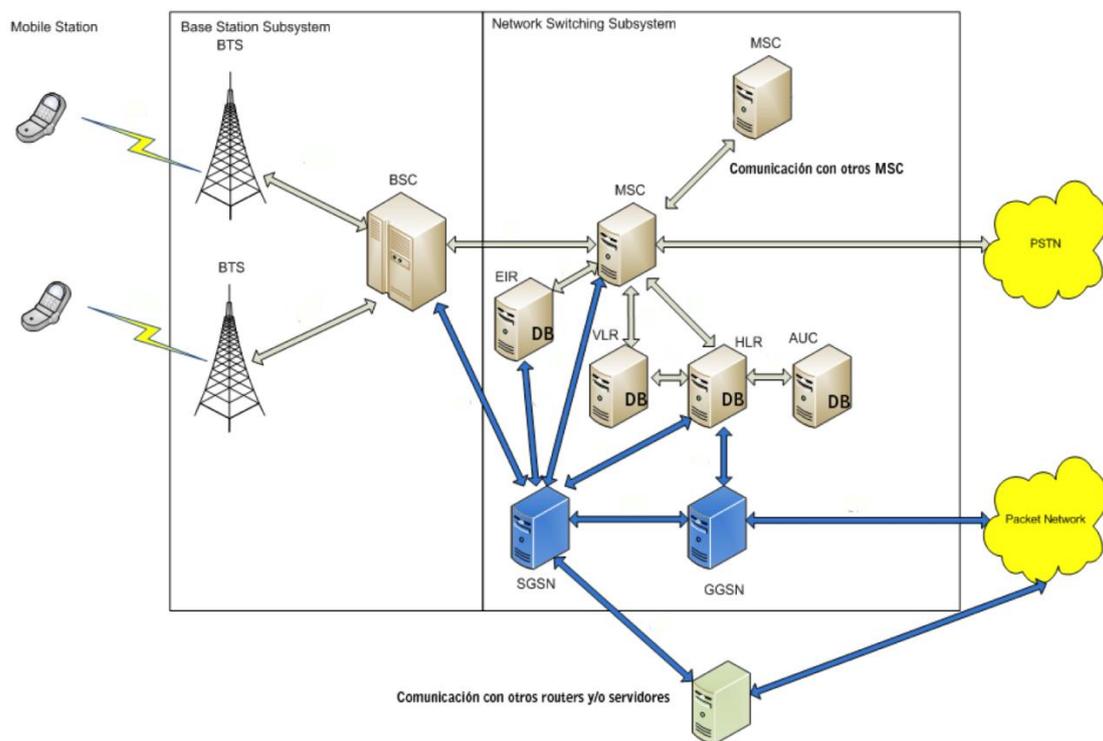


Figura 2.9 Arquitectura de red GPRS

2.2.2 Proceso de conexión

2.2.2.1 Estados del móvil

Las actividades relacionadas con un móvil GPRS se caracterizan por tres estados diferentes: *Idle*, *Standby* y *Ready*, como podemos ver en la figura 2.10.

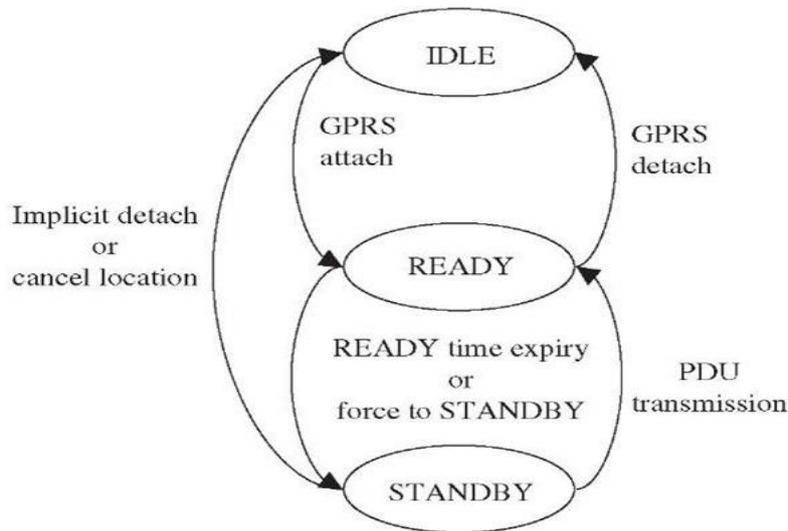


Figura 2.10 Diagrama de estados de un móvil GPRS

En el estado *GPRS Idle*, el móvil se acopla a la red GSM. En este estado, el móvil está conectado a la red de conmutación de circuitos y puede realizar actualizaciones del área de ubicación, como hemos visto en GSM. En este estado el móvil se comporta como cualquier móvil GSM. Aún no está conectado a la gestión de movilidad GPRS, por lo que entre el móvil y el SGSN no hay información de enrutamiento.

En el estado *GPRS Ready*, el móvil puede enviar o recibir PDP PDU y activar y desactivar contextos PDP, lo cual explicaremos más adelante. Para ello, primero se tiene que realizar el procedimiento *GPRS Attach* desde el estado *Idle*. Si no se produce ninguna transmisión de datos durante un período de tiempo, el móvil efectúa la transición al estado *Standby*. Un procedimiento de separación GPRS ("*GPRS Detach*") devuelve al móvil al estado *Idle*.

En *GPRS Standby*, el móvil está conectado a la red. El móvil y el SGSN siguen teniendo establecidos los contextos de movilidad necesarios. El móvil puede ser paginado para llamadas en conmutación de paquetes y conmutación de circuitos. El móvil puede activar y desactivar el contexto PDP en este estado y realizar la transición al estado *Ready* mediante la transmisión o recepción de una PDU. La transición al estado *Idle* ocurre cuando se produce la desconexión del móvil de la red o el SGSN recibe una cancelación de ubicación del HLR [6].

2.2.2.2 Conexión de datos

Una comunicación de datos tanto en 2.5G como en 3G empieza cuando se enciende el terminal. En ese momento se lanzan una serie de procesos para que el móvil se conecte a la red. A este proceso se le llama "GPRS Attach". En ese momento, el nodo SGSN ya tiene información sobre el usuario gracias a una consulta previa al HLR. Es el momento en el que aparece el icono de cobertura de datos en el terminal móvil.

A continuación, el usuario debe determinar que quiere comenzar una comunicación de datos seleccionando el APN (*Access Point Network*) que quiere usar y esto activará lo denominado como "PDP Context". Cuando se activa el *PDP Context* se crea un túnel de tráfico del usuario entre el SGSN y el GGSN. A partir de ese momento el usuario tiene una IP para acceder al servicio solicitado.

A continuación, se describen los diagramas de flujo de datos entre el móvil y la red para activar *GPRS Attach* y activar o desactivar *PDP Context* [7].

GPRS Attach

La estación móvil debe realizar una conexión GPRS ("*GPRS Attach*") para ser conocida por la red y pasar al estado READY. Después de la conexión GPRS exitosa, se dice que un contexto de movilidad (MM, *Mobility Management*) está activo entre la MS y en el SGSN. El MS puede activar un PDP context sólo después de un *GPRS Attach* satisfactorio.

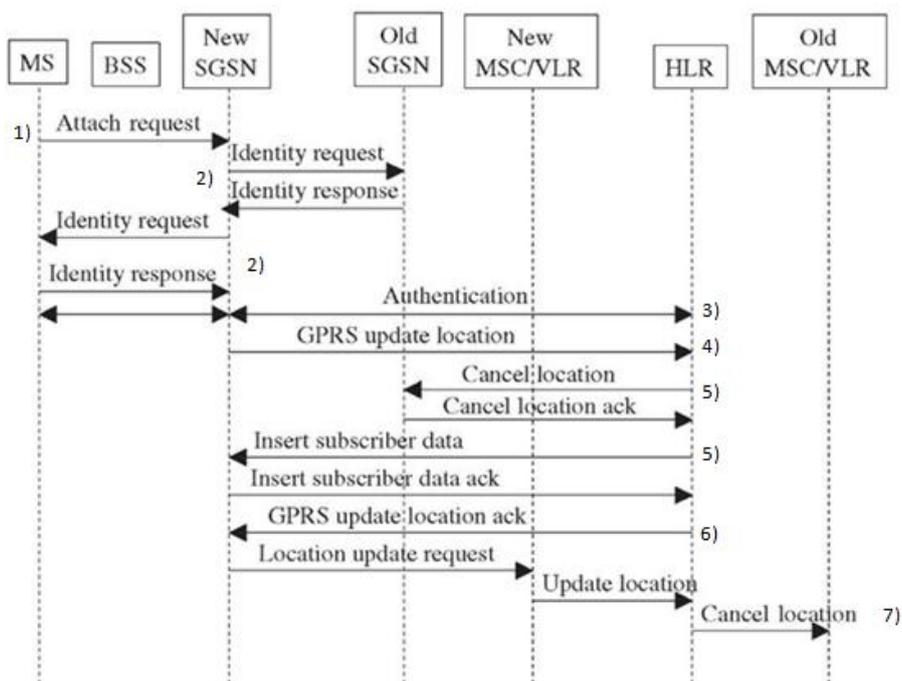


Figura 2.11 Activación de "GPRS Attach"

- 1) La estación móvil manda el mensaje "Attach request" al servidor SGSN.
Si la MS es conocida por el SGSN, es decir, el SGSN no ha cambiado desde que la MS fue conectada por última vez a la red, entonces no se requiere el paso 2.
- 2) Si la MS es desconocida para el SGSN, el SGSN toma pasos adicionales para obtener el IMSI del SGSN antiguo. En el caso de que el SGSN antiguo no pudiera proporcionar el IMSI, el nuevo SGSN solicita a la MS que proporcione el IMSI.
- 3) Una vez que se conoce el IMSI, el SGSN inicia el procedimiento de autenticación enviando una solicitud de autenticación y cifrado a la MS.
- 4) Si el SGSN ha cambiado desde que el MS fue conectado por última vez a la red, el nuevo SGSN inicia el procedimiento de ubicación de actualización con el HLR.
- 5) El HLR envía una cancelación de ubicación al SGSN antiguo y envía datos de suscripción al nuevo SGSN.
- 6) El HLR envía una solicitud de actualización de localización GPRS al nuevo SGSN.
- 7) El HLR envía una cancelación de ubicación al MSC antiguo.

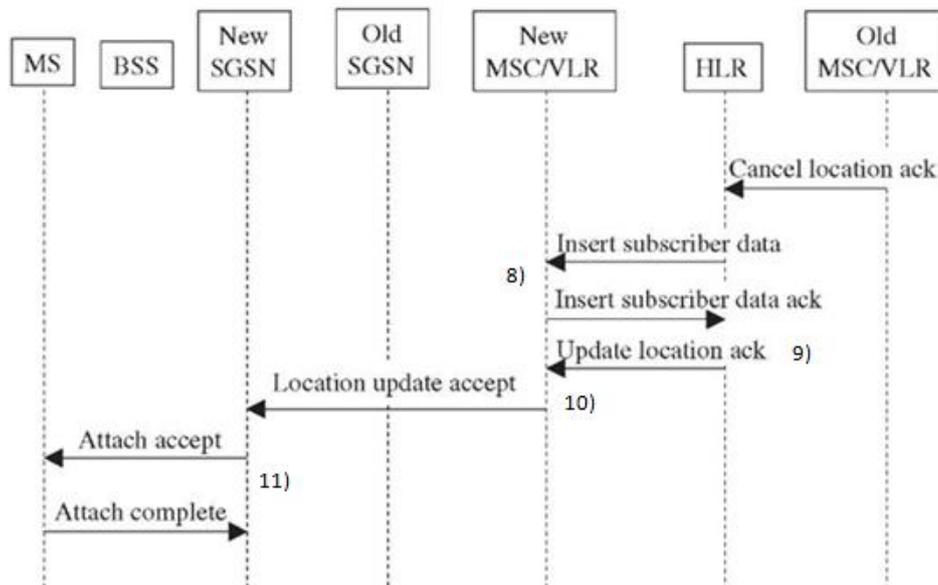


Figura 2.12 Activación de "GPRS Attach" (continuación)

- 8) El HLR envía una cancelación de ubicación al SGSN antiguo y envía datos de suscripción al nuevo MSC.
- 9) El HLR envía una actualización de ubicación al MSC.
- 10) La MSC envía un mensaje de ubicación aceptada al nuevo SGSN.
- 11) El nuevo SGSN envía "Attach accept" a la MS. El MS lo reconoce enviando un mensaje de "Attach complete"

Activación de "PDP Context" iniciada por MS

Una vez que el MS está conectado a la red GPRS, puede enviar y recibir SMS. Para utilizar otros servicios GPRS como acceso a Internet, correo electrónico, MMS... es necesario establecer un túnel entre el MS y la red de paquetes de datos externa para la transferencia de datos a través de la activación de lo llamado "PDP context", como ya hemos explicado anteriormente.

Los pasos para activar con éxito el contexto PDP son los siguientes:

- 1) El MS envía un mensaje de activación de PDP context al SGSN. Este mensaje contiene los siguientes parámetros.
 - Tipo de PDP (IP o X.25)
 - Dirección PDP (dirección IP estática o NULL para dirección IP dinámica)
 - APN (nombre del punto de acceso): señala una determinada red de datos de paquetes o un servicio al que un usuario desea acceder
 - QoS solicitada
 - NSAPI
 - Opciones de configuración de PDP
- 2) El SGSN puede decidir realizar comprobaciones de seguridad estándar, es decir, cifrado y autenticación, verificación IMSI, verificación IMEI, etc.
- 3) El SGSN valida la solicitud de contexto PDP activada para el tipo PDP, la dirección PDP, APN, etc. El SGSN también solicita a su DNS local que proporcione la dirección GGSN que atiende el APN solicitado.

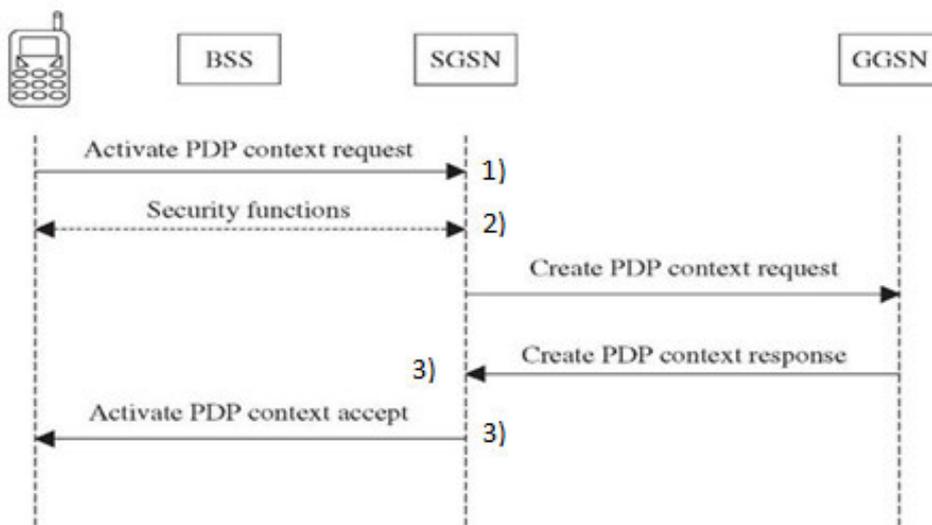


Figura 2.13 Procedimiento de activación de "PDP Context" iniciado por MS.

Activación de contexto PDP iniciada en red

Cuando un GGSN recibe una PDU PDP, comprueba si existe un contexto “PDP context” para la esa dirección PDP. Si no es así, el GGSN intenta entregar la PDU PDP iniciando una petición de contexto PDP context iniciada en red. La Figura 2.14 ilustra este procedimiento. La activación de contexto PDP iniciada en red sólo es posible si el GGSN tiene información PDP estática sobre la dirección PDP. Los pasos para activar con éxito el contexto PDP son los siguientes:

- 1) Al recibir una PDU PDP, el GGSN comprueba si hay información PDP estática para esa dirección PDP. Si es así, comienza a almacenar PDU PDP subsiguientes para esa dirección PDP.

GGSN envía una información de enrutamiento de envío para mensaje GPRS a HLR. El HLR devuelve una información de enrutamiento de envío para mensaje GPRS ack con los siguientes parámetros:

- IMSI
- Dirección SGSN

En los casos en que la solicitud no puede ser servida, el HLR devuelve un acuse de recibo negativo con la razón apropiada (por ejemplo, IMSI desconocido en el HLR).

- 2) El GGSN envía una solicitud de notificación de PDU al SGSN. El mensaje contiene los siguientes parámetros:

- IMSI
- Tipo de PDP
- Dirección PDP
- APN

El SGSN devuelve una respuesta de notificación PDP, indicando al GGSN que solicitará a la MS activar el contexto PDP.

- 3) El SGSN envía un mensaje de activación de contexto PDP de petición a la MS con los siguientes parámetros:

- Tipo de PDP
- Dirección PDP
- APN

- 4) La MS inicia entonces un procedimiento de activación de contexto PDP como se definió en la sección anterior.

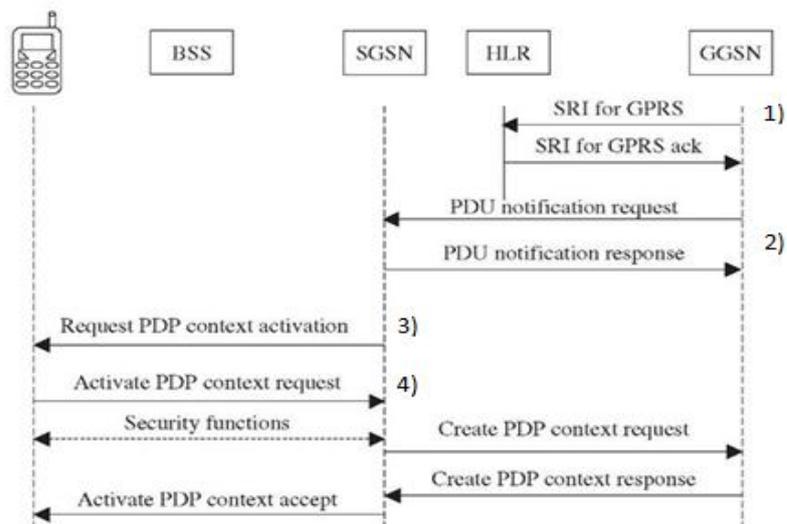


Figura 2.14 Procedimiento de activación de "PDP Context" iniciado en red

Desactivación del contexto PDP

El MS, SGSN o GGSN pueden iniciar el procedimiento de desactivación del "PDP context". El procedimiento de desactivación de contexto PDP iniciado por MS es el siguiente.

- 1) La MS envía un mensaje de desactivación de contexto "PDP context" al SGSN. El mensaje contiene una indicación de desmontaje.
- 2) El SGSN envía una petición de eliminación de "PDP context" al GGSN. El mensaje contiene TEID, NSAPI y una indicación de desmontaje.
- 3) El GGSN elimina todos los "PDPcontext" asociados con la dirección de PDP y devuelve un mensaje de respuesta de eliminación de PDP al SGSN.
- 4) El SGSN devuelve un mensaje de desactivación del "PDP context" al MS.

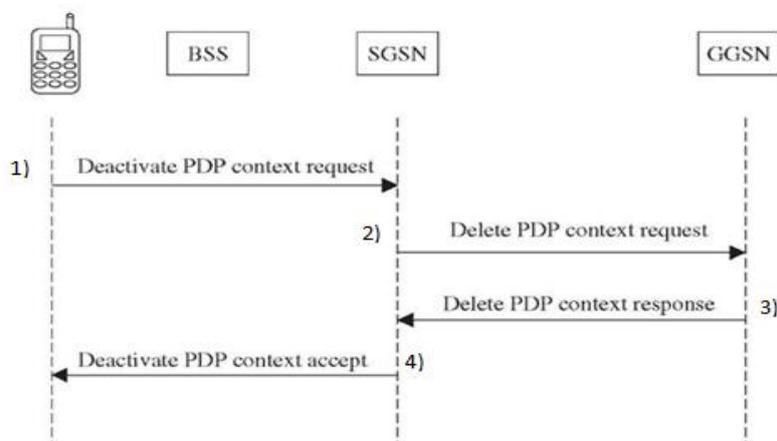


Figura 2.15 Procedimiento de desactivación de "PDP Context"

3 RED 3G

En este capítulo se describirá el sistema UMTS con sus principales características, arquitectura de red y procesos de conexión. También se hará una descripción de los sistemas que han evolucionado a raíz del UMTS, como son el HSDPA, HSUPA y el HSPA+.

3.1 Sistema UMTS

En Europa y Japón se seleccionó el estándar denominado UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*), basado en la tecnología W-CDMA. UMTS está gestionado por la organización 3GPP, también responsable de GSM, GPRS y EDGE.

UMTS surgió con el propósito de proporcionar velocidades de transmisión mucho más altas que las existentes en esos momentos. Para ello, UMTS contó con una nueva interfaz de radio y mayor ancho de banda, así como con nuevas frecuencias.

La velocidad de datos para la que se diseñó la nueva infraestructura varía mucho dependiendo de la operadora que realiza el despliegue, la cobertura, así como si nos encontramos en baja o alta movilidad. En cualquier caso, se estipula una orquilla máxima de entre 2 Mbps y 5 Mbps en el mejor de los casos con la tecnología básica UMTS. Mejoras posteriores han permitido superar ampliamente esta velocidad en evoluciones del sistema 3G como veremos más adelante.

3.1.1 Arquitectura de red

Contamos con tres elementos principales en una red UMTS:

- UE (*User Equipment*). Se compone del terminal móvil y su módulo de identidad de servicios de usuario/suscriptor (USIM) que se corresponde con la tarjeta SIM.
- UTRAN (Red de acceso radio). La red de acceso radio proporciona la conexión entre los terminales móviles y el *Core Network*. En UMTS recibe el nombre de UTRAN (Acceso Universal Radioeléctrico Terrestre) y se compone de una serie de subsistemas de redes de radio (RNS) que son el modo de comunicación de la red UMTS. Un RNS es responsable de los recursos y de la transmisión - recepción en un conjunto de celdas y está compuesto de un RNC y uno o varios nodos B. Los nodos B son los elementos de la red que se corresponden con las estaciones base (antenas). El controlador de la red de radio (RNC) es responsable de todo el control de los recursos lógicos de una estación base.

- **Core Network (Núcleo de la red).** El núcleo de red incorpora funciones de transporte y de inteligencia. Las primeras soportan el transporte de la información de tráfico y señalización, incluida la conmutación. También incluye la gestión de la movilidad. A través del núcleo de red, el UMTS se conecta con otras redes de telecomunicaciones, de forma que resulte posible la comunicación no sólo entre usuarios móviles UMTS, sino también con los que se encuentran conectados a otras redes de voz o datos. El núcleo de red consta de dos dominios: el de conmutación de circuitos (CS) y el de conmutación de paquetes (PS). El modo CS se ocupará de las comunicaciones de voz y el dominio PS manejará las comunicaciones de datos en modo paquete. Estos dominios se articulan en los nodos de conmutación de servicio y pasarelas, como ya vimos en GPRS.

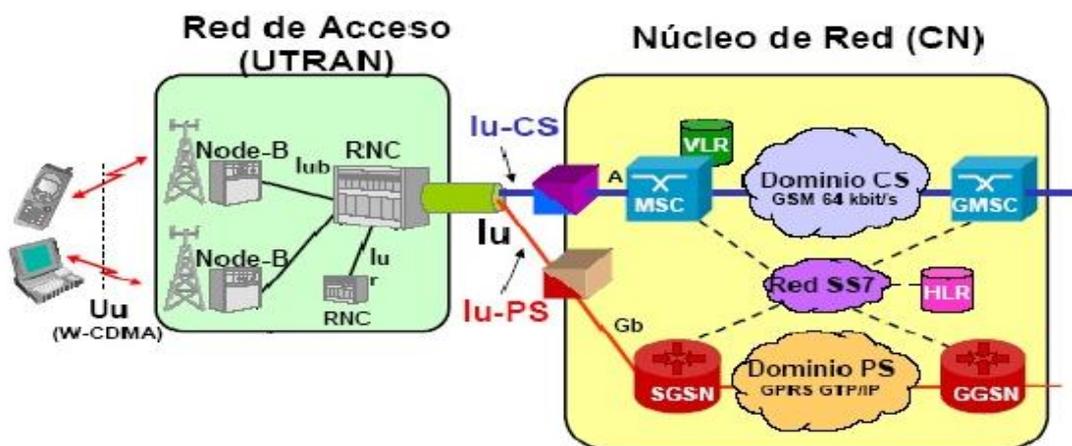


Figura 3.1 Representación de una red UMTS

Equipos del núcleo de la red

En el núcleo de la red nos encontramos diferentes elementos.

- **MSC (Mobile Switching Center)** para servicios de voz (conmutación de circuitos).
- **SGSN (Serving GPRS Support Node)**: es el equipo responsable de la entrega de paquetes de datos desde y hacia las estaciones móviles dentro de su área de servicio. Sus tareas incluyen el enrutamiento de paquetes, gestión de la movilidad (conexión / desconexión y la gestión de la ubicación), gestión de enlace lógico, así como la autenticación.
- **GGSN (Gateway GPRS Support Node)**: es responsable de la interconexión entre la red 3G y la red de conmutación de paquetes externa, como puede ser Internet. El GGSN se comporta como un *router* o pasarela, para que el usuario pueda enviar y/o recibir datos

de/hacia el exterior. Cuando el GGSN recibe datos dirigidos a un usuario específico, comprueba si el usuario está activo. En este caso, el GGSN reenvía los datos al SGSN que sirve al usuario móvil.

3.1.2 Canales UMTS

Se definen tres tipos de canales radio para la implantación de la interfaz radio de UMTS (UTRA):

- **Canales físicos:** son el soporte físico para el envío de información a través de la interfaz aire y hacen referencia a los recursos utilizados: códigos de expansión, frecuencias portadoras e intervalos de tiempo. Vienen definidos por la estructura de trama y el formato de las ráfagas bursts transferidas.
- **Canales de transporte:** proporcionan servicios de transporte de información en el nivel físico a los niveles MAC y superiores. Vienen descritos por cómo y con qué características se envían los datos a través de la interfaz aire, con independencia de qué es transportado. Se encuentran mapeados sobre canales físicos.
- **Canales lógicos:** son aquellos de los que se sirve el nivel MAC para proporcionar servicios de transferencia de datos a los niveles superiores. Cada canal lógico está definido por el tipo de información que transfiere. Se encuentran mapeados sobre canales de transporte.

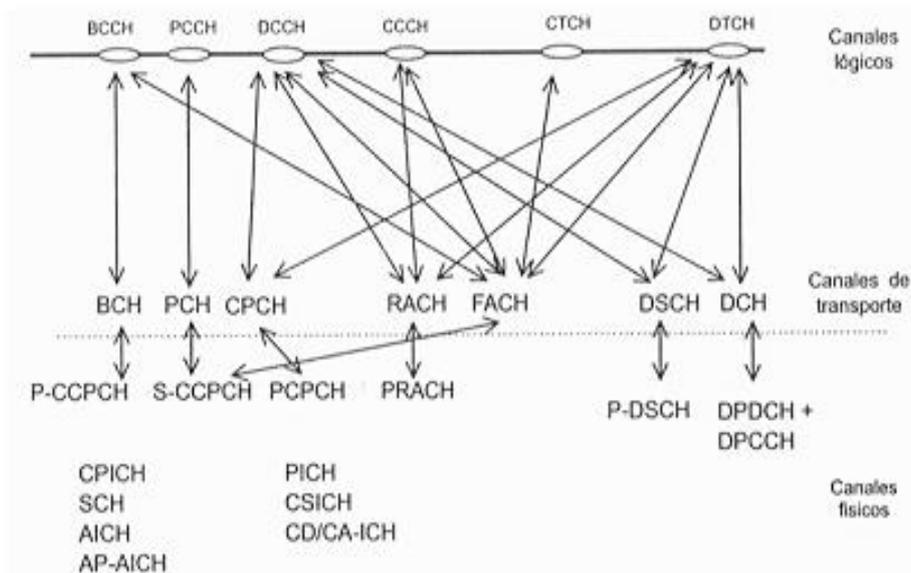


Figura 3.2 Mapeo de canales de una red UMTS

3.1.2.1 Canales lógicos

Son aquellos de los que se sirve el nivel MAC para proporcionar servicios de transferencia de datos a los niveles superiores. Cada canal lógico está definido por el tipo de información que transfiere. Se encuentran mapeados sobre canales de transporte.

- Canales de control (CCH):
 - Canal de control de broadcast (BCCH, *Broadcast Control Channel*): Descendente, Control. Se utiliza para difundir información del sistema, así como información específica de la celda.
 - Canal de control de avisos (PCCH, *Paging Control Channel*): Descendente, Control. Consiste en información de avisos de llamada (paging) a los terminales móviles no localizados.
 - Canal de control dedicado (DCCH, *Dedicated Control Channel*): Bidireccional, Control. Consiste en información de control asociada a un móvil que tiene una conexión RRC asociada.
 - Canal de control común (CCCH, *Common Control Channel*): Bidireccional, Control. Consiste en información de control asociada a un terminal móvil que no tiene una conexión RRC dedicada.
 - Canal de control compartido (SHCCH, *Shared Control Channel*): Bidireccional, Control. Consiste en información de control en modo TDD, con carácter compartido.

- Canales de tráfico (TCH):
 - Canal de tráfico dedicado (DTCH, *Dedicated Traffic Channel*): Bidireccional, Usuario. Consiste en información de tráfico asociada a un móvil que tiene una conexión asociada.
 - Canal de tráfico común (CTCH, *Common Traffic Channel*): Bidireccional, Usuario. Consiste en información de tráfico asociada a un móvil que no tiene una conexión asociada.

3.1.2.2 Canales de transporte

- Canales de transporte comunes:
 - Canal de broadcast (BCH, *Broadcasting Channel*): Descendente, Compartido. Canal de difusión de información del sistema a toda la celda.
 - Canal de acceso de subida (FACH, *Forward Access Channel*): Descendente, Compartido. Canal para el envío de información a terminales móviles cuya situación es conocida por la red.
 - Canal de avisos (PCH, *Paging Channel*): Descendente, Compartido. Canal para el envío de información a terminales móviles cuya situación no se conoce.

- Canal compartido de enlace de bajada (DSCH, *Downlink Shared Channel*): Descendente, Compartido. Canal de asignación compartido por varios móviles.
 - Canal de acceso aleatorio (RACH, *Random Access Channel*): Ascendente, Compartido. Canal de acceso aleatorio de los terminales móviles.
 - Canal de paquetes comunes (CPCH, *Common Packet Channel*): Ascendente, Compartido. Canal para la transmisión de paquetes sin asignación exclusiva.
- Canales de transporte dedicados:
 - Canal dedicado (DCH, *Dedicated Channel*): Bidireccional, Dedicado. Canal para el envío de datos o señalización asociado a un terminal móvil.

3.1.2.3 Canales físicos

- Canales físicos dedicados:
 - Canal físico dedicado de datos (DPDCH, *Dedicated Physical Data Channel*): Soporta la parte de datos del DCH.
 - Canal físico de control dedicado (DPCCH, *Dedicated Physical Control Channel*): Soporta la parte de señalización del DCH.
- Canales físicos comunes:
 - Canal físico de acceso aleatorio (PRACH, *Physical Random Access Channel*): Soporta el canal de transporte RACH.
 - Canal físico de paquetes comunes (PCPCH, *Physical Common Packet Channel*): Soporta el CPCH.
 - Canal físico primario de control común (P-CCPCH, *Primary Common Control Physical Channel*): Soporta el BCH.
 - Canal físico secundario de control común (S-CCPCH, *Secondary Common Control Physical Channel*): Soporta el FACH y el PCH.
 - Canal físico compartido de enlace de bajada (PDSCH, *Physical Downlink Shared Channel*): Soporta el DSCH.
 - Canal de control piloto (CPICH, *Common Pilot Channel*): Transmite un piloto continuo que sirve de referencia de potencia y fase a los terminales móviles.
 - Canal de sincronización (SCH, *Synchronization Channel*): Permite la sincronización de los terminales móviles con las transmisiones de la célula.
 - Canal indicador de adquisición (AICH, *Acquisition Indicator Channel*): Notifica la aceptación o rechazo de la solicitud de acceso aleatorio de los terminales móviles.

Evaluación comparativa de redes móviles

- Canal indicador de Adquisición- Acceso preámbulo (AP-AICH, *Access Preamble Acquisition Indicator channel*). Similar al AICH, pero con respecto a las solicitudes de acceso aleatorio para el uso del CPCH.
- Canal indicador de estado de CPCH (CSICH, *CPCH Status Indication Channel*): Informa del estado de disponibilidad del CPCH a los terminales móviles.
- Canal detector de colision/ indicador de asignación de CPCH (CD/CA-IICH, *Collision Detection/Channel Assignment Indicator 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.
- Canal indicador de avisos (PICH, *Page Indicator Channel*): Informa a los terminales móviles de si tienen que decodificar el PCH si existe un mensaje para ellos.

3.1.3 Proceso de conexión

3.1.3.1 Estados del móvil

Un aspecto diferente entre GSM y UMTS son los distintos estados de conexión en los que se puede encontrar el móvil. Mientras que en GSM teníamos dos, conectado y reposo (*Idle*), en UMTS el modo conectado se expande en cuatro estados en función de las características de transmisión requeridas por el usuario: CELL_DCH, CELL_FACH, CELL_PCH y URA_PCH.

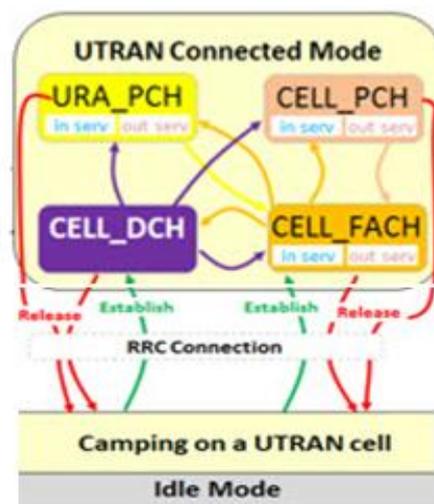


Figura 3.3 Representación de los diferentes estados del móvil en UMTS

En el estado CELL_DCH el móvil utiliza un canal dedicado al servicio móvil. Es el estado ideal para la transferencia de grandes volúmenes de datos. Pero con la aparición de aplicaciones que requieren pequeñas transparencias de datos periódicos, el sistema se queda corto en el estado CELL_DCH ya que los recursos móviles en este

modo son limitados. La solución es un estado adicional que apoye la demanda adicional de recursos, el estado CELL_FACH.

En el estado CELL_FACH el móvil usa canales compartidos en lugar de un canal físico dedicado. Este estado es ideal para la transferencia de pequeños volúmenes de datos.

El estado CELL_PCH se asemeja mucho al estado *Idle* con la diferencia de que el móvil no pierde la conexión de control. En el estado *Idle* el móvil informa a la red solamente cuando hay un cambio en la localización, sin embargo, en el estado CELL_PCH informa cada vez que el móvil acampa en una celda distinta ("cell_update"). Pero en este estado, al igual que en *Idle*, el móvil no hace transferencia de datos. Cada vez que el móvil necesita enviar el mensaje "cell_update" el móvil necesita cambiar temporalmente al estado CELL_FACH.

El cuarto y último estado, URA_PCH, es prácticamente idéntico al estado CELL_PCH. La única diferencia es que los 'cell update' sólo se envían cuando el móvil cambia el URA (Área de Registro UTRAN) en lugar del cambio de celda [8].

3.1.3.2 Realización de una conexión

Los diferentes procedimientos necesarios en el proceso de conexión hacen uso de distintas capas de la red UMTS, de esta manera se tiene un proceso dividido en capas.

Las tramas de comunicación en UMTS son los procedimientos llevados a cabo para establecer la comunicación en toda la red de este sistema. Cualquier transacción de red puede ser dividida en los siguientes pasos:

- *Paging* (búsqueda): es un procedimiento usado para búsquedas con un operador dado en el área de cobertura. Es un procedimiento originado si la transacción es originada por la red (llamada MTC). Existen dos tipos, dependiendo de si la comunicación se establece por primera vez (Tipo 1) o si la conexión ya estaba establecida anteriormente (Tipo 2).

Tipo 1:

El mensaje de *Paging* se envía a través del canal PCH. Este tipo de *Paging* está destinado para usuarios en modo *idle* o para usuarios que no están registrados en ninguna célula.

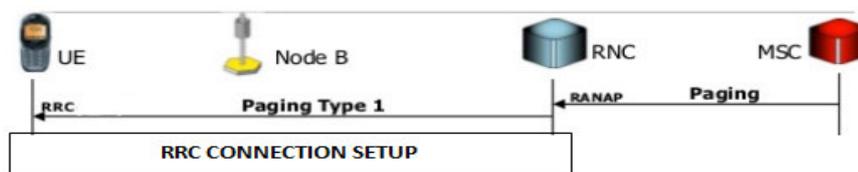


Figura 3.4 Proceso de Paging tipo 1 en red UMTS

Tipo 2:

La red intenta localizar a un terminal que ya tiene conexión. Está destinado a usuarios que se encuentran en modo dedicado. Tiene como destinatario un solo UE.

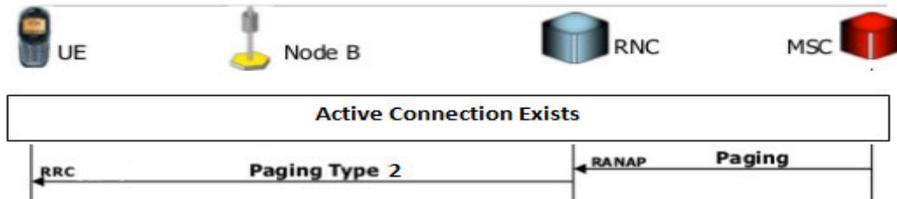


Figura 3.5 Proceso de Paging tipo 2 en red UMTS

- *Radio Resource Control Connection Setup* (configuración de la conexión de control de recursos radio): es el procedimiento fundamental para establecer la conexión entre el terminal móvil y la red de acceso radio (RAN).

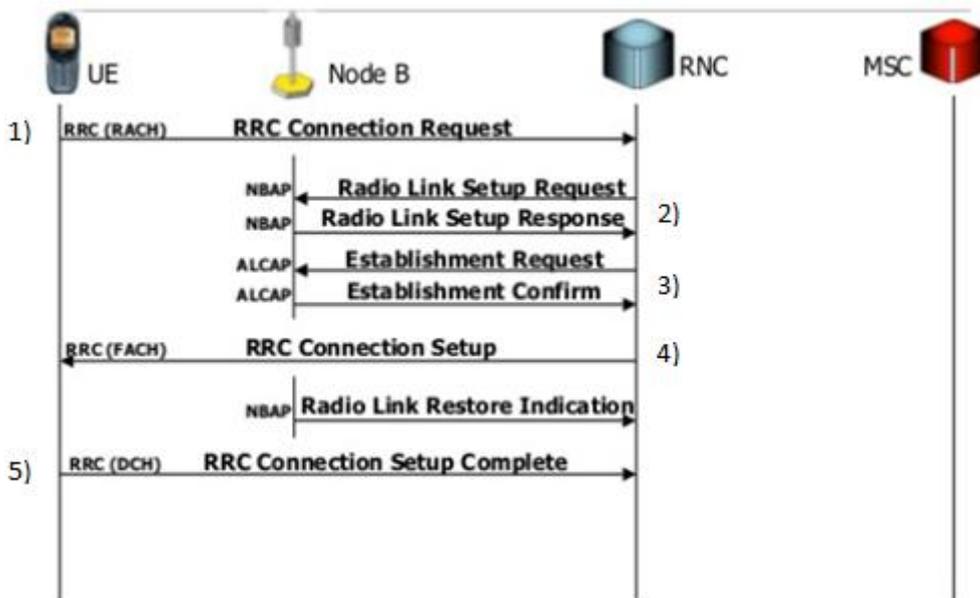


Figura 3.6 Configuración de la conexión de control de recursos radio en UMTS

- 1) El terminal envía la petición de conexión a la RNC ("*RRC Connection Request*") a través del canal RACH.
- 2) La RNC pide información sobre la dirección de la capa de transporte al Node B ("*Radio Link Setup Request*") y éste le proporciona la información a través del mensaje "*Radio Link Setup Response*".
- 3) La RNC envía una petición de establecimiento de transporte ("*Establishment Request*") y es reconocida por la BTS a través del mensaje "*Establish Confirm*".

- 4) Cuando la comunicación está lista para ser usada, la RNC envía un mensaje "RRC Connection Setup" al UE sobre el canal FACH.
 - 5) El UE confirma el establecimiento de la comunicación con un mensaje "RRC Connection Setup Complete" a través del DCH.
- *Transaction Reasoning* (razonamiento de transacciones): tiene lugar una vez que la conexión ha sido establecida. Es el proceso por el cual el terminal indica a la red el tipo de conexión que desea. Basándose en esa información la red puede decidir finalizar la conexión o proseguir.

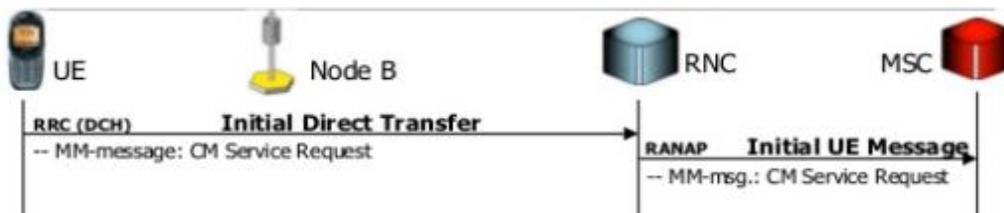


Figura 3.7 Proceso de razonamiento de transacciones en UMTS

- *Authentication and Security* (Autenticación y seguridad): autentifica de manera mutua el operador de UMTS y la red; posteriormente activa los mecanismos de seguridad necesarios para el acceso a la red.

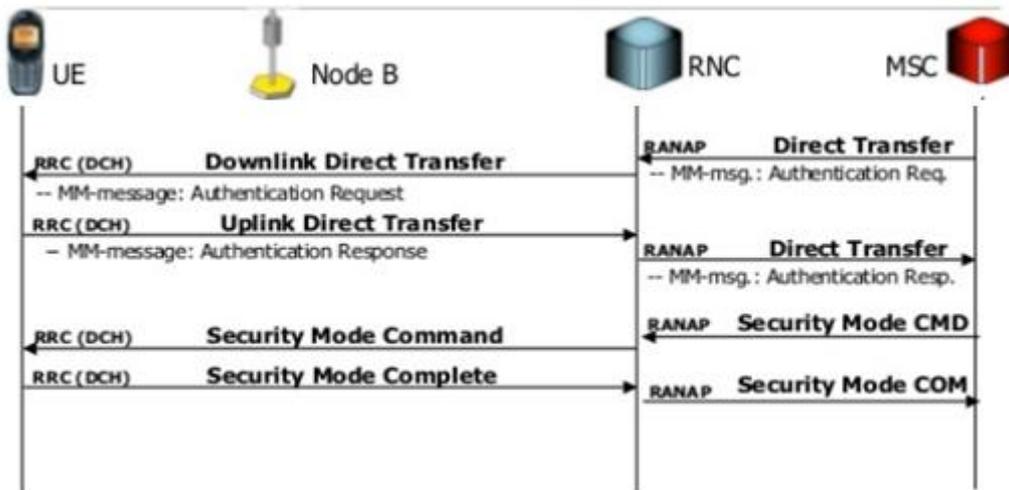


Figura 3.8 Proceso de autenticación y seguridad en UMTS

- *Transaction Setup and Radio Access Bearer Allocation* (Configuración de la transacción y asignación del portador de acceso por radio): localiza e identifica los recursos necesarios para la conexión, según el tipo de acceso que se realice (basado en conmutación de circuitos o de paquetes)

Evaluación comparativa de redes móviles

- 1) En una transacción CS como la de la figura 3.9 la información es enviada a través del mensaje "RRC/RANAP Direct Transfer".
- 2) El MSC empieza la asignación de RAB con un único identificador y pide la configuración del RAB con los parámetros de calidad necesarios ("RANAP RAB Assignment Request").
- 3) Cuando el RNC recibe esta petición, comienza con el reparto de portadoras radio comprobando los recursos disponibles.
- 4) La RNC informa al UE de la asignación de la portadora enviándole un mensaje "RRC Radio Bearer Setup".
- 5) En cuanto el UE es capaz de recibir datos de la nueva portadora, envía el asentimiento "RRC Radio Bearer Setup Complete" a la RNC.
- 6) La RNC debe establecer una portadora para la nueva comunicación, además de indicar a la MSC servidora de que un RAB ha sido asignado, enviando un mensaje "RANAP RAB Assignment Response".

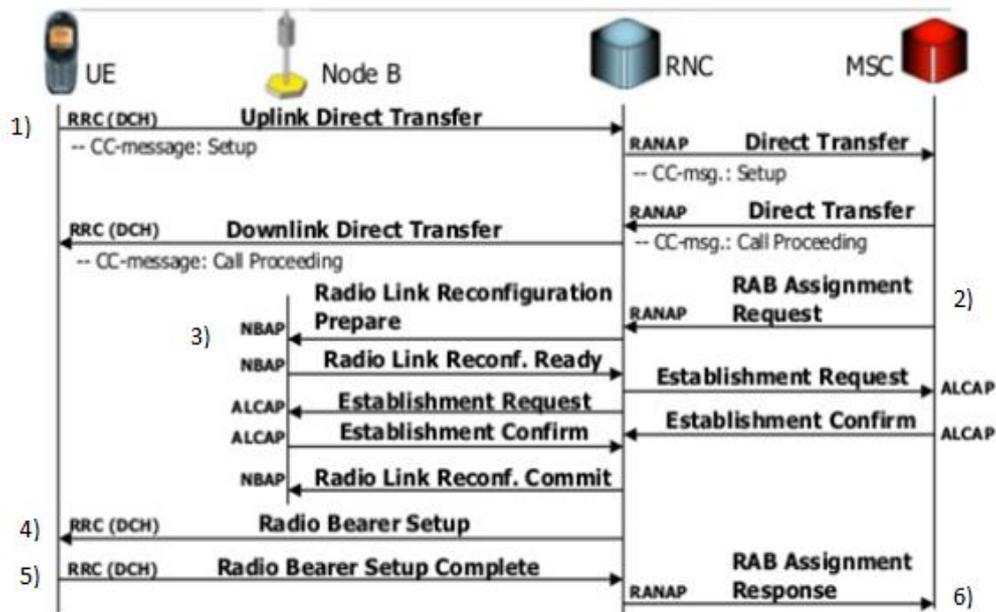


Figura 3.9 Configuración de la transacción y asignación del RAB en UMTS

- *Transaction* (transacción): ésta es la fase en la que existe una conexión activa con el plano de usuario. En la figura 3.10 consideramos una llamada MTC por lo que es el móvil quien recibe la alerta de llamada.

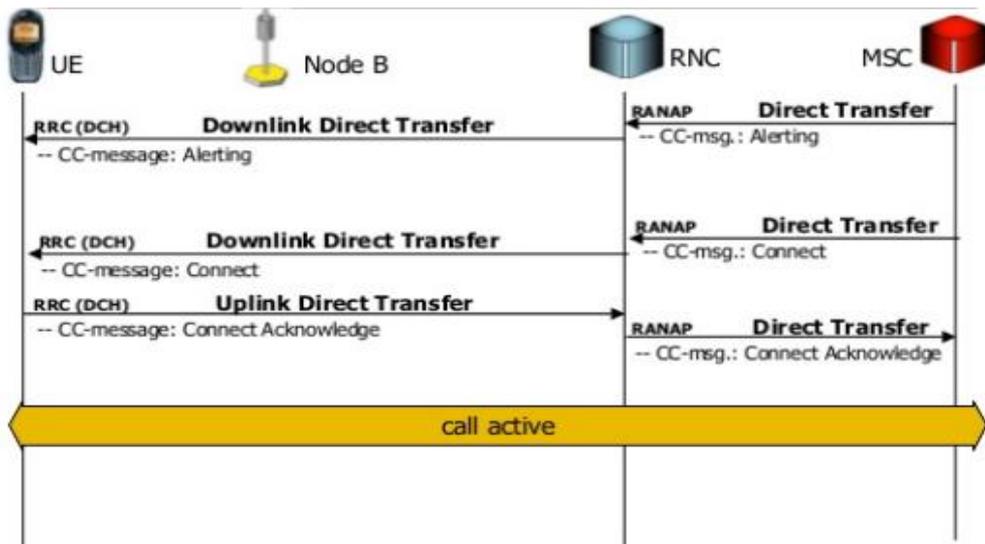


Figura 3.10 Proceso de transacción en UMTS

- *Transaction Clearing and Radio Access Bearer Release* (Desbloqueo de transacciones y liberación de portador de acceso por radio): en este paso se liberan todos los parámetros relacionados con la conexión que está teniendo lugar.

En la figura 3.11 consideramos que la desconexión se origina en el UE.

- 1) Primera se procede a la liberación del plano de usuario.
- 2) Cuando ya se ha liberado el usuario, se procede a liberar el RAB.

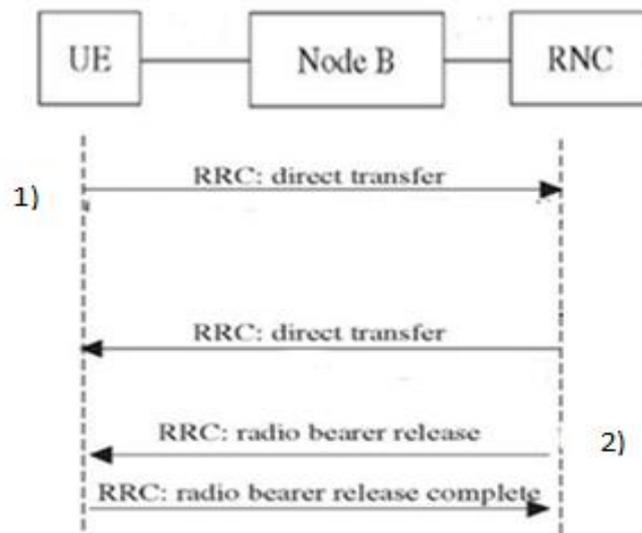


Figura 3.11 Desbloqueo de transacciones y liberación de RAB en UMTS

- *RRC Connection Release* (liberación de la conexión): este paso corresponde a la liberación de la llamada.
 - 1) El proceso es iniciado por la RNC, que envía la información al UE a través del “*RRC Connection Release*”. El terminal debe confirmar que la conexión ha sido liberada con un “*RRC Connection Release Complete*”.
 - 2) Tras esto, la RNC empieza a liberar los recursos de la interfaz Iu que ha establecido el radio enlace (“*NBAP: radio link deletion*”).
 - 3) Cuando la eliminación del radioenlace llega al nivel NBAP, la portadora de los datos de transporte de la interfaz Iub es liberada.

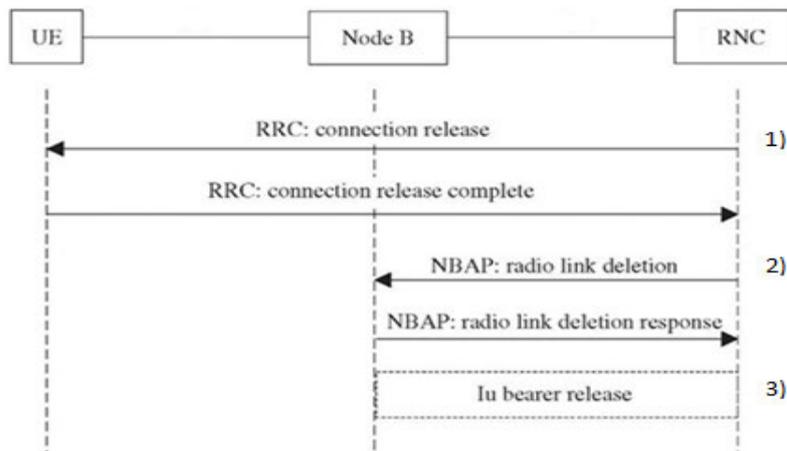


Figura 3.12 Liberación de conexión en UMTS

3.2 Sistemas UMTS avanzados

La clara necesidad de mayores velocidades de transmisión de datos, como condición necesaria para el eventual despegue de estos servicios, encuentra respuesta en la tecnología HSPA. Estos sistemas son los facilitadores del crecimiento exponencial del tráfico de datos observado desde 2007, junto con la generalización de las tarifas planas para el acceso a Internet móvil. Estos sistemas, evoluciones del UMTS, son los precursores de los sistemas LTE que veremos en el capítulo 4.

3.2.1 HSDPA (3.5G)

La tecnología HSDPA (High Speed Downlink Packet Access), también denominada 3.5G, es la optimización de la tecnología radio de UMTS, que consiste en aumentar la velocidad de descarga (entre 7.2 y hasta 14,4 Mbps) mediante la incorporación de un nuevo canal compartido en el enlace descendente (downlink) y mejorando la técnica de modulación de la señal. En este sentido, se hace uso de un esquema de modulación y codificación que cambia en función de cada usuario, dependiendo de la calidad de la señal y el uso de células.

3.2.2 HSUPA (3.75G)

HSUPA (High-Speed Uplink Packet Access) es un protocolo de acceso de datos para redes de telefonía móvil con alta tasa de transferencia de subida (de hasta 7,2 Mbit/s). Se corresponde con la tecnología 3.75G y es una mejora del estándar HSDPA aplicando las mismas técnicas en el canal ascendente, es decir, el uso de un nuevo canal compartido y la mejora de la modulación.

3.2.3 HSPA+ (3.8G, 3.85G)

HSPA+, también conocido como Evolved HSPA (HSPA Evolucionado), es un estándar de telefonía móvil para alcanzar velocidades de hasta 42 Mbps de bajada y 11,5 Mbps de subida. Esta velocidad sólo se consigue si se emplea:

- Modulación 64QAM que requerirá una calidad de señal elevada para poder ser empleada. En este caso se hablará de tecnología 3.8G.
- Técnica multi-antena conocida como MIMO (Multiple-Input Multiple-Output), mínimo de 2x2, donde se utilizan dos transmisores y dos receptores sobre la misma frecuencia para que el receptor pueda reconstruir la señal con mayor fiabilidad. Si a los 64QAM se une MIMO tendremos 3.85G.

Aun cuando las posibilidades de HSPA+ son elevadas, las velocidades presentadas representan picos teóricos que difícilmente se han llegado a alcanzar en las redes actuales. La velocidad teórica es un valor bruto que sólo se alcanza en las mejores condiciones, con una excelente señal de radio y sin apenas otros usuarios en la celda. La velocidad real se ve influida por el ancho de banda consumido por los protocolos, por las condiciones radiolétricas (nivel de cobertura), la cantidad de usuarios simultáneos y la saturación del enlace de la estación base con la red troncal de la operadora.

4 RED 4G

En este capítulo se comentarán en detalle los sistemas LTE, destacando sus características principales, arquitectura de red y procesos de conexión. También citaremos el LTE *Advance* como un sistema avanzado del LTE convencional.

4.1 Sistemas LTE

Como vimos en el capítulo 1, LTE (*Long Term Evolution*) es el estándar definido por el 3GPP considerado de cuarta generación. El objetivo principal de su implantación fue proporcionar un acceso de radiofrecuencia de alto rendimiento que permitan altas velocidades de transmisión y recepción en dispositivos móviles, y además, que pueda coexistir con otros sistemas anteriores. LTE emplea enlaces OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) para minimizar las interferencias e incrementar la eficiencia espectral, utilizando canales de tamaño variable entre 1,25 y 20 MHz.

Las velocidades que se pueden alcanzar con la tecnología 4G dependen, por tanto, del espectro disponible. Si hablamos de velocidades reales, las máximas que pueden alcanzar los dispositivos en España (por el despliegue realizado por los operadores) varía, en el mejor de los casos, entre 75 y 150 Mbps, siempre que se disponga de, al menos, 10Mhz en una de las bandas de despliegue del 4G.

Ancho de banda	10Mhz	15Mhz	20Mhz
Descarga	75Mbps	112Mbps	150 Mbps
Subida	25Mbps	37Mbps	50 Mbps

Tabla 4.1 Resumen de velocidades de LTE o 4G en España

Los terminales 4G actuales, realizan un escaneo de frecuencias continuamente para detectar si hay cobertura 4G disponible, y si es así, también detectan si hay cobertura de una sola banda 4G o de más de una. Cuando detecta que hay más de una, selecciona siempre la que tenga más ancho de banda y, por lo tanto, se ofrezcan mayores velocidades.

4.1.1 Arquitectura de red

La interfaz y la arquitectura de radio del sistema LTE son completamente nuevas. Estas actualizaciones se denominan Evolved UTRAN (E-UTRAN).

La red de acceso E-UTRAN y la red troncal EPC proporcionan de forma conjunta servicios de transferencia de paquetes IP entre los equipos de usuario y redes de paquetes externas tales como plataformas IMS y/o otras redes de telecomunicaciones como Internet. Las prestaciones de calidad de servicio (e.g., tasa de datos en bits/s, comportamientos en términos de retardos y pérdidas) de un servicio de transferencia de paquetes IP puede configurarse en base a las necesidades de los servicios finales que lo utilicen, cuyo establecimiento (señalización) se lleva a cabo a través de plataformas de servicios externas (e.g., IMS) y de forma transparente a la red troncal EPC. Formalmente, el servicio de transferencia de paquetes IP ofrecido por la red LTE entre el equipo de usuario y una red externa se denomina servicio portador EPS (*EPS Bearer Service*). Asimismo, la parte del servicio de transferencia de paquetes que proporciona la red de acceso E-UTRAN se denomina *E-UTRAN Radio Access Bearer* (ERAB).

Es importante destacar que la interconexión de los diferentes equipos físicos donde se ubicarían las funciones tanto de la red troncal EPC como de la red de acceso E-UTRAN, se realiza mediante tecnologías de red basadas en IP. De esta forma, la red física que se utiliza para interconectar los diferentes equipos de una red LTE, y que se denomina comúnmente como red de transporte, es una red IP convencional. Por tanto, la infraestructura de una red LTE, además de los equipos propios que implementan las funciones del estándar 3GPP, también integra otros elementos de red propios de las redes IP tales como *routers*, servidores DHCP (*Dynamic Host Configuration Protocol*) para la configuración automática de las direcciones IP de los equipos de la red LTE y servidores DNS (*Domain Name Server*) para asociar los nombres de los equipos con sus direcciones IP.

Un importante logro de E-UTRAN ha sido la reducción del coste y la complejidad de los equipos, esto es gracias a que se ha eliminado el nodo de control (conocido en UMTS como RNC). Por tanto, las funciones de control de recursos de radio, control de calidad de servicio y movilidad han sido integradas al nuevo "Node B", llamado evolved Node B. Todos los eNB se conectan a través de una red IP y se pueden comunicar unos a otros usando sobre IP. Los esquemas de modulación empleados son QPSK, 16-QAM y 64-QAM.

Los elementos que forman la arquitectura LTE son:

- Equipos móviles de usuarios: UE.
- Red de acceso evolucionada: E-UTRAN. La red E-UTRAN está formada por un único nodo llamado eNodoB (*Enhanced Node B*). Este nodo está conectado con otros eNodoB así como con el núcleo (core) de LTE, tanto para la parte de señalización (MME) como de datos de usuario (SGW).
- Red troncal de paquetes evolucionada: EPC. La EPC (*Evolved Packet Core*) consiste en una red de paquetes basada en protocolo IP. La arquitectura EPC sigue los mismos parámetros de diseño de las redes antecesoras, sin embargo, divide las funciones del *Gateway* de control (SGSN en UMTS) en un plano de control comandado por el MME (*Mobility Management Entity*) y un plano de usuario liderado por el SGW (*Serving Gateway*), lo que implica una arquitectura optimizada para el plano de usuario y una reducción en el número de elementos que son atravesados por los paquetes de datos. Las funciones originales del GGSN son implantadas por el PDN Gateway (PGW).

Las principales entidades dentro del core son:

- MME (*Mobility Management Entity*): obtiene datos de usuario a través de la información almacenada en el HSS. Autentica, autoriza y selecciona la red de datos externa apropiada para establecer el enlace entre el E-UTRAN a las redes o servicios externos. MME proporciona conectividad entre el eNodoB y la red UMTS existente a través del SGSN. También realiza tareas de movilidad y facturación.
- SGW (*Serving Gateway*): es un equipo del plano de usuario que es controlado por el MME. El SGW también es un punto de monitoreo de las políticas de conexión y servicio.
- PGW (*PDN Gateway*): puede ser comparado con las funciones realizadas por el GGSN en 3G, pero además tiene un papel importante en el control de la movilidad. El PGW asigna la dirección IP al UE.
- HSS (*Home Subscriber Server*): Almacena y administra datos relativos a la suscripción de usuarios.
- PCRF (*Policy Control and Charging Rules Function*): Realiza funciones de control de políticas y reglas de facturación [1].

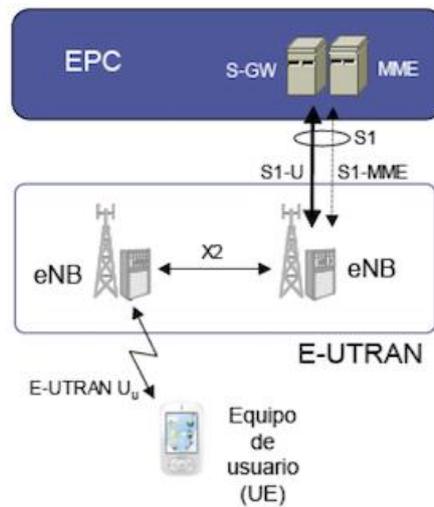


Figura 4.1 Representación de la arquitectura 4G

4.1.2 Tecnologías contempladas en LTE

- OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplex*):
 La tecnología OFDM se ha incorporado a LTE porque permite un gran ancho de banda para los datos y que estos se transmitan de manera eficiente, sin dejar de ofrecer un alto grado de protección frente a las reflexiones e interferencias. Los regímenes de acceso difieren entre el enlace ascendente y descendente: OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) se utiliza en el enlace descendente, mientras que SC-FDMA (*Single Carrier-Frequency Division Multiple Access*) se utiliza para el enlace ascendente porque la relación potencia de pico/potencia media (PAPR) es pequeña y un valor más alto permite una alta eficiencia del amplificador de potencia RF de los teléfonos móviles, un factor importante para equipos alimentados por baterías.
- Tecnología MIMO (*Multiple Input Multiple Output*):
 La tecnología MIMO se basa en la utilización de múltiples antenas en transmisión y recepción para conseguir multiplexación espacial aprovechando la variabilidad espacial del canal radio. De esta forma, el inconveniente que los sistemas de telecomunicaciones anteriores encontraban debido a las señales múltiples que seguían diferentes trayectorias, derivando en reflexiones, se convierte en ventaja, y estas señales adicionales pueden ser utilizadas para aumentar el rendimiento. El uso de múltiples antenas introduce cierta complejidad al sistema para permitir diferenciar las señales recibidas. Para ello se pueden utilizar matrices de antenas 2x2, 4x2, ó 4x4. Añadir nuevas antenas a una estación base es relativamente fácil, pero en el caso de los teléfonos móviles es más complicado. Las dimensiones de los equipos limitan el número de antenas, que deberían estar separadas al menos media longitud de onda ($\lambda/2$), lo que resulta un grave inconveniente. Se requiere que el multitrayecto

sea lo suficientemente “rico” para que las antenas de recepción puedan separar las señales procedentes de las diferentes antenas de transmisión. La separación de los flujos de datos que comparten banda se basa en la decorrelación de las múltiples señales recibidas en presencia de multirrayecto. La capacidad aumenta linealmente con el número de antenas. MIMO proporciona alta capacidad con anchura de banda limitada, es decir, elevada eficiencia espectral.

4.1.3 Servicios de voz en LTE

LTE es un sistema donde únicamente existe la conmutación de paquetes tanto para servicios de voz como de datos.

LTE utiliza un core de paquetes (EPC, *Evolved Packet Core*) capaz de acomodar todos los tipos de tráfico: voz, video y datos. Pero los trabajos de normalización se han centrado en los datos, prestando poca atención a la voz. A ese problema se añade la complicación cuando LTE se mezcla con diferentes tipos de redes tradicionales, como el GSM o el HSPA.

Originalmente LTE fue visto como un sistema completamente IP, válido solamente para transportar datos, y los operadores serían capaces de transportar voz por los sistemas 2G y/o 3G o mediante el uso de sistemas de VoIP.

Los mecanismos existentes para proporcionar el servicio de voz en LTE son los siguientes:

- VoLGA/Voice over LTE GAN (*Generic Access Network*)
- VoLTE basado en IMS
- CSFB, Circuit Switched Fall-Back
- SRVCC (Single Radio Voice Call Continuity)

4.1.3.1 VoLTE/VoLGA

La norma VoLGA (Voz sobre LTE a través de GAN) se basa en los actuales estándares 3GPP para la red de acceso genérica (GAN) y su objetivo es permitir a los usuarios de LTE recibir un conjunto coherente de servicios de conmutación de circuitos (voz, SMS, etc.) en la transición entre las redes de acceso GSM, UMTS, y LTE. Para los operadores móviles, el objetivo pretendido fue proporcionar un método de bajo coste y riesgo para soportar sus servicios primarios de generación de ingresos, como la voz y SMS, con el despliegue de nuevas redes LTE. Con VoLGA, los operadores reutilizan los MSC existentes para cursar la voz sobre LTE.

Por su parte, VoLTE es distinto y se basa en IMS. En VoLTE el control de la llamada se realiza en la plataforma IMS, mientras que en VoLGA se utiliza el acceso LTE

pero el control de la llamada se lleva a cabo en el MSC, por medio del interfuncionamiento a través del VANC (*VoLGA Access Network Controller*). La principal ventaja de VoLGA es que permite reutilizar la voz existente para proporcionar servicios de voz sobre LTE desde el principio, pero es una solución provisional.

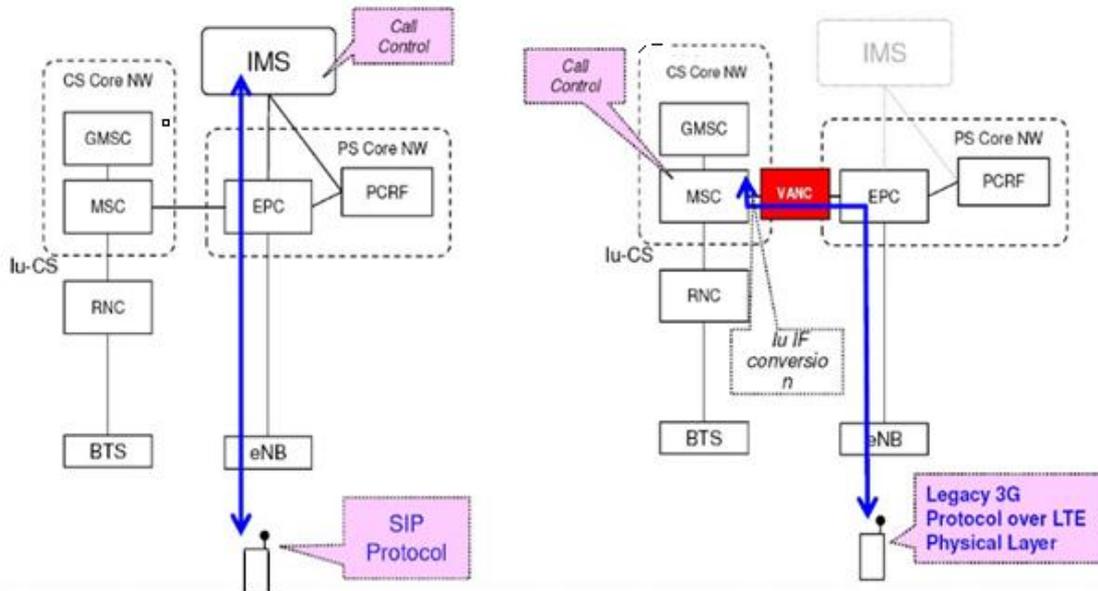


Figura 4.2 Diferencia entre VoLTE y VoLGA

4.1.3.2 CSFB (Circuit Switched Fall Back)

La conmutación de circuitos es la opción CSFB (retorno al dominio de conmutación de circuitos) para proporcionar voz sobre LTE. LTE CSFB utiliza una variedad de progresos y elementos de red para permitir recurrir a la conmutación de circuitos 2G ó 3G antes de que la llamada sea iniciada. También permite el envío de SMS a través de una interfaz conocida como SG, que permite que los mensajes se envíen a través de un canal de LTE.

CSFB requiere la modificación de ciertos elementos dentro de la red, en particular del MSC. CSFB es el principal mecanismo de voz en LTE, pero finalmente será VoLTE y SRVCC lo que se impondrá a largo plazo.

4.1.3.3 SRVCC (Signal Radio Voice Call Continuity)

Es un mecanismo basado en la red IMS, por el cual la función de continuidad de señales de radio para la llamada de voz (SRVCC) asegura el poder cursar llamadas de voz sobre accesos PS y accesos CS para las llamadas que están ancladas en IMS. El terminal LTE es capaz de transmitir/recibir en una sola de las redes de accesos en un momento dado. Con CSFB, mientras se hace o recibe una llamada de voz, el UE

suspende la conexión de datos con la red LTE y establece una conexión con una red legada.

Para llevar a cabo SRVCC en una red 3GPP, de E-UTRAN para UTRAN, la MME recibe por primera vez la entrega de solicitud de E-UTRAN con la indicación de que es para el manejo de SRVCC, y a continuación dispara el procedimiento SRVCC con el servidor MSC [3].

4.1.4 Canales LTE

Como sucede en UMTS, en LTE también hay tres categorías:

- Físicos. Son los canales de transmisión que llevan los datos del usuario y los mensajes de control.
- Transporte: ofrecen servicios de transferencia de información a la subcapa MAC y a las capas inferiores.
- Lógicos: proporcionan servicios para la subcapa MAC dentro de la estructura del protocolo LTE.

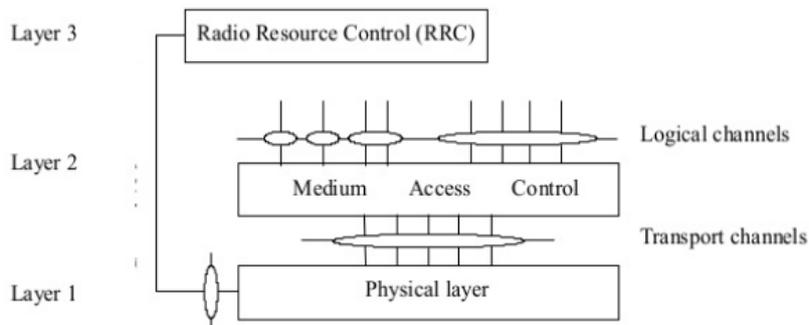


Figura 4.3 Estructura de canales en LTE en las diferentes capas

4.1.4.1 Canales físicos

Son los canales de transmisión que llevan los datos del usuario y los mensajes de control.

Enlace descendente (downlink):

- Canal físico de difusión (PBCH, *Physical Broadcast Channel*): transporta la información del sistema que los equipos de usuario (UE) requieren para acceder a la red.
- Canal físico de control del enlace descendente (PDCCH, *Physical Downlink Control Channel*): lleva la información de configuración (asignación de los canales de radio o scheduling).

- Canal físico de indicador híbrido ARQ (PHICH, *Physical Hybrid ARQ Indicator Channel*): se utiliza para informar del estado ARQ híbrido.
- Canal físico compartido del enlace (PDSCH, *Physical Downlink Shared Channel*): se utiliza para las funciones de unicast y avisos.
- Canal físico multicast (PMCH, *Physical Multicast Channel*): lleva la información del sistema para fines de multidifusión.
- Canal físico de indicador del formato de control (PCFICH, *Physical Control Format Indicator Channel*): proporciona información para que el equipo de usuario (UE) pueda decodificar el PDSCH.

Enlace ascendente (uplink):

- Canal físico de control en enlace ascendente (PUCCH, *Physical Uplink Control Channel*): envía el reconocimiento ARQ híbrido.
- Canal físico compartido en el enlace ascendente (PUSCH, *Physical Uplink Shared Channel*): es la contraparte del PDSCH en el enlace ascendente.
- Canal físico de acceso aleatorio (PRACH, *Physical Random Access Channel*): se utiliza para funciones de acceso aleatorio.

4.1.4.2 Canales de transporte

Ofrecen servicios de transferencia de información a la subcapa MAC y a las capas inferiores.

Enlace descendente (downlink):

- Canal compartido en el enlace descendente (DL-SCH, *Downlink Shared Channel*): es el principal para la transferencia de datos en el downlink. Es utilizado por muchos canales lógicos.
- Canal de difusión (BCH, *Broadcast Channel*): mapea a los canales de control de difusión BCCH.
- Canal de notificación (PCH, *Paging Channel*): para transmitir el PCCH.
- Canal multicast (MCH, *Multicast Channel*): se utiliza para transmitir información MCCH para crear transmisiones de multidifusión.

Enlace ascendente (uplink)

- Canal compartido en el enlace ascendente (UL-SCH, *Downlink Shared Channel*): es el principal canal para la transferencia de datos en el uplink. Es utilizado por muchos canales lógicos.
- Canal de acceso aleatorio (RACH, *Random Access Channel*): se utiliza para los requisitos de acceso aleatorio.

4.1.4.3 Canales lógicos

Proporcionan servicios para la subcapa MAC dentro de la estructura del protocolo LTE.

- Canales de control
 - Canal de control de difusión (BCCH, *Broadcast Control Channel*): proporciona información del sistema a todos los terminales móviles conectados al eNodo B.
 - Canal de control notificación (PCCH, *Paging Control Channel*): se utiliza para enviar información de aviso en la búsqueda de una unidad en una red.
 - Canal de control común (CCCH, *Common Control Channel*): se emplea para obtener información de acceso aleatorio.
 - Canal de control de transporte multicast (MCCH, *Multicast Control Channel*): se utiliza para la información necesaria para la recepción de multicast.
 - Canal dedicado de control (DCCH, *Dedicated Control Channel*): se utiliza para llevar información de control específica del usuario.

- Canales de tráfico
 - Canal de tráfico dedicado (DTCH, *Dedicated Traffic Channel*): se utiliza para la transmisión de los datos del usuario.
 - Canal de tráfico multicast (MTCH, *Multicast Traffic Channel*): es utilizado para la transmisión de datos multidifusión.

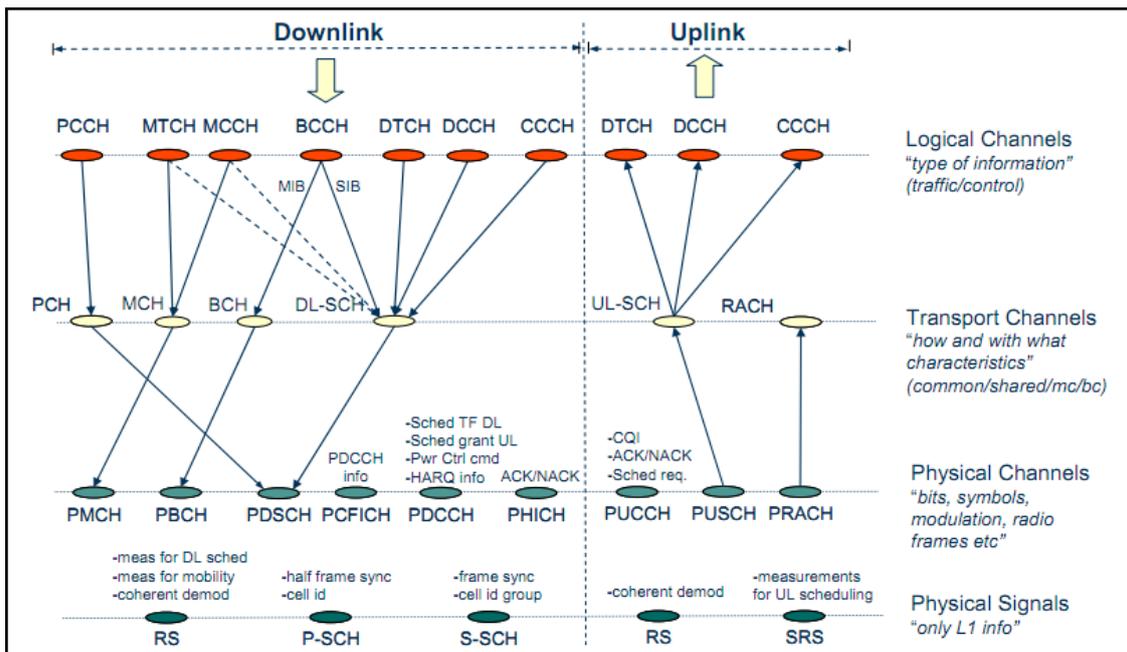


Figura 4.4 Mapeo de canales en una red LTE

4.1.5 Procesos de conexión

4.1.5.1 Estados del móvil

El equipo de usuario (UE) puede estar en uno de estos tres estados, LTE_DETACHED, LTE_IDLE y LTE_ACTIVE. El estado LTE_DETACHED es típicamente un estado transitorio en el que el equipo de usuario (UE) está encendido, pero está en el proceso de búsqueda y registro en red. En el estado LTE_ACTIVE, el UE está registrado con la red y tiene una conexión RRC con el eNodo B, el eNB. En el estado de LTE_ACTIVE, la red conoce la célula a la que pertenece el UE y puede transmitir/recibir datos del UE. El modo LTE_IDLE es un estado de conservación de energía del UE en el que, normalmente, no está transmitiendo ni recibiendo paquetes. En el estado LTE_IDLE, los datos del UE no se almacenan en el eNB y su ubicación es sólo conocida por el MME, y sólo en la granularidad de un área de seguimiento (TA, *Tracking Area*) consistente en múltiples eNBs. La MME conoce la TA en la que el UE se registró por última vez y, si es necesario, lanza un mensaje de aviso (*paging*) para localizarlo en una celda.

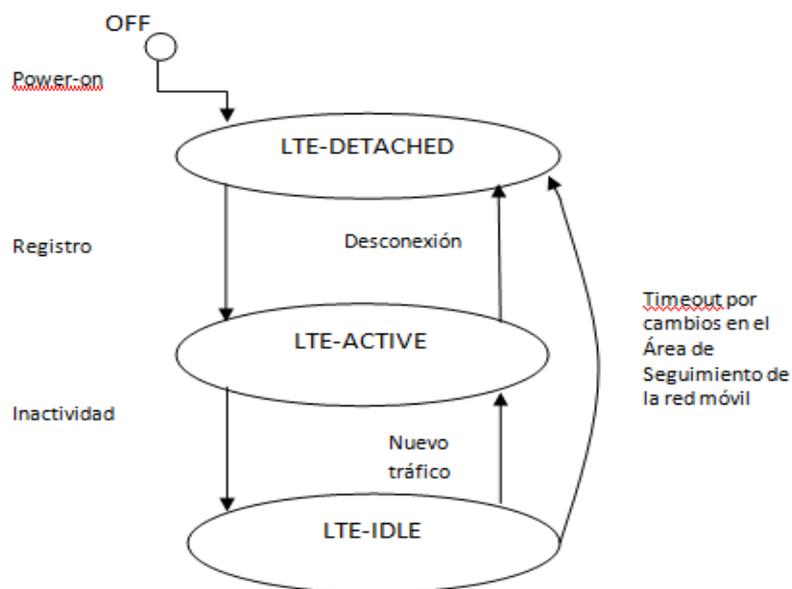


Figura 4.5 Transición de estados en LTE

4.1.5.2 Procedimientos de gestión de sesiones

Procedimiento de registro

El procedimiento de registro a la red (*Attach*) es el primer procedimiento que ejecuta un usuario del sistema LTE en aras a poder recibir los servicios de la red. El procedimiento de registro normalmente se lleva a cabo cuando se enciende el equipo de usuario y éste detecta la presencia de una red LTE. A diferencia de sus predecesores GSM y UMTS donde los procedimientos de registro correspondientes ("*IMSI Attach*" y

“GPRS Attach”) están asociados exclusivamente a la gestión de movilidad, en LTE dicho procedimiento también forma parte de la gestión de sesiones. El motivo radica en que el procedimiento de registro en LTE conlleva el establecimiento de una conexión PDN a través de la activación de un servicio portador EPS por defecto (*EPS Bearer Service*). Por tanto, en LTE, una vez el terminal ya se ha registrado en la red, ya dispone de un servicio de conectividad IP operativo (faceta popularmente conocida como “*always-on*”). En la Figura 4.6 se ilustra un procedimiento de registro, cuyos detalles se comentan a continuación [9].

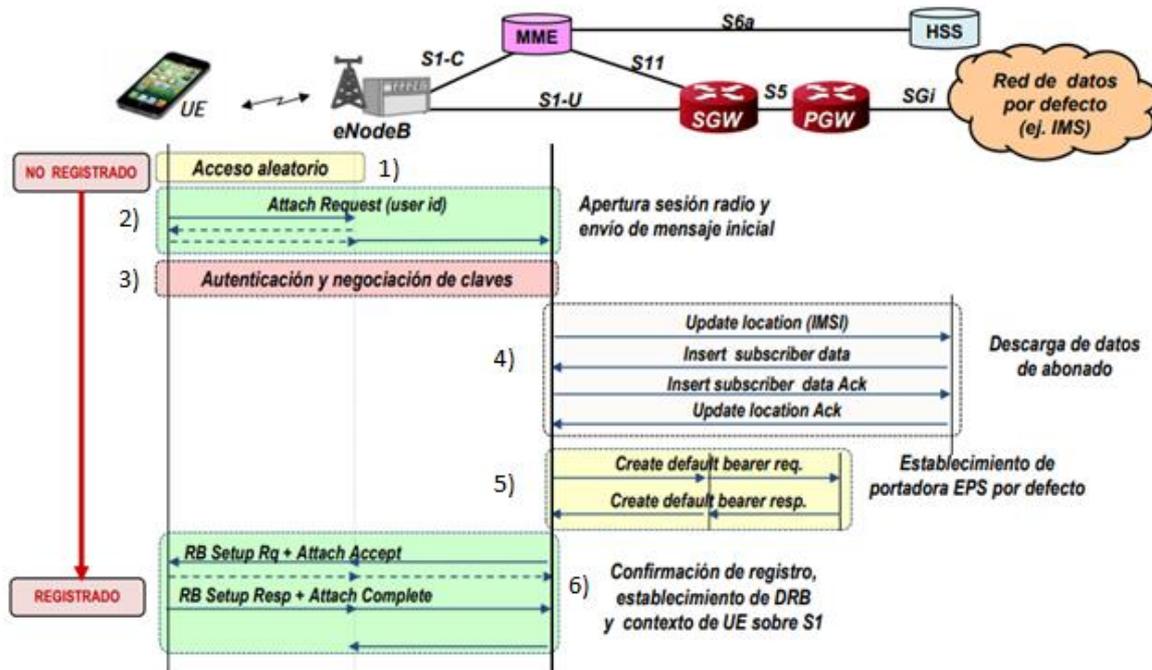


Figura 4.6 Procedimiento de registro en LTE

- 1) Acceso aleatorio. El terminal LTE decide la celda a través de la cuál debe iniciar el procedimiento de registro. En dicha celda, lo primero que debe hacer el terminal es establecer una conexión de control RRC. Para ello, el terminal inicia el procedimiento de acceso aleatorio a través del canal RACH.
- 2) Inicio de la conexión RRC. El mensaje “*Attach Request*”. Este mensaje contiene los campos específicos del protocolo RRC y en su parte de datos transporta el mensaje de señalización NAS.
- 3) Una vez recibido el mensaje de “*Attach Request*” y conocida la identidad del usuario correspondiente en la entidad MME, puede llevarse a cabo el mecanismo de autenticación y seguridad.
- 4) Actualización de la localización. Este proceso permite que la HSS siempre almacene información de dónde se encuentran accesibles los usuarios registrados. Además, como resultado del procedimiento de actualización de la localización, la entidad MME recibe los datos de suscripción del usuario.

- 5) Establecimiento de portadora EPS por defecto. Se incluye la identidad de esta portadora que quedará almacenada en el MME.
- 6) Se transporta el mensaje "Attach Accept" correspondiente a la señalización entre el equipo de usuario y la entidad MME. El mensaje incluye la identidad del servicio portador EPS establecido, sus parámetros de QoS, el identificador APN de la red externa y la dirección IP asignada. Finalmente, el equipo de usuario envía el mensaje que completa el proceso de registro ("Attach Complete") que se transporta hasta la entidad MME mediante el servicio de transferencia de mensajes NAS que ofrece el protocolo RRC de la interfaz radio y el protocolo S1-AP de la interfaz S1-MME.

Servicio portador EPS

En cada conexión siempre existe un servicio portador EPS por defecto activo por el que se enviaría todo el tráfico IP de usuario. Este servicio portador por defecto se asigna en cada proceso de registro, como ya hemos visto en el apartado anterior. Opcionalmente, para poder proporcionar un servicio de calidad específico a un determinado flujo de paquetes IP (por ejemplo, una videollamada), pueden activarse servicios portadores EPS adicionales al portador por defecto, denominados como servicios portadores EPS dedicados. De esta forma, si en una conexión PDN existen servicios portadores EPS dedicados activos, el tráfico seleccionado se envía a través de ellos y el resto se cursa a través del portador EPS por defecto. Si se hace uso de servicios portadores EPS dedicados, éstos pueden activarse/modificarse/desactivarse al inicio o bien en el transcurso de una conexión PDN.

Activación de portadora dedicada

En la siguiente figura vemos un esquema de activación de portadora dedicada.

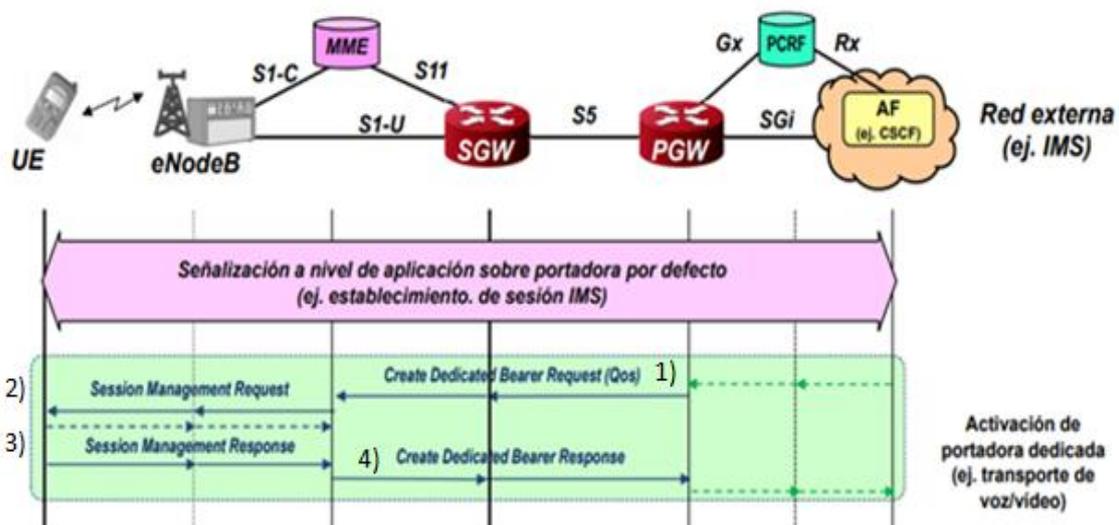


Figura 4.7 Activación de portadora dedicada en LTE

- 1) La activación del servicio portador EPS dedicado se inicia desde la pasarela P-GW mediante el envío del mensaje "Create Bearer Request" a la pasarela S-GW. El mensaje de activación contiene parámetros de QoS, junto con el descriptor de tráfico. El mensaje también contiene la información necesaria para configurar el plano de usuario entre pasarelas. Finalmente, el mensaje de activación del servicio portador dedicado llega a la entidad MME que está a cargo del usuario en cuestión.
- 2) La entidad MME selecciona un identificador para el nuevo servicio portador y construye un mensaje NAS denominado "Session Management Request". Dicho mensaje contiene la identidad del servicio portador y sus parámetros de QoS.
- 3) La confirmación se realiza mediante el envío del mensaje NAS "Session Management Response" que se transporta hasta la entidad MME mediante el protocolo RRC de la interfaz radio y el protocolo S1-AP de la interfaz S1-MME.
- 4) La entidad MME responde a la petición de activación del servicio portador dedicado a la pasarela S-GW y ésta a la pasarela P-GW ("Create Dedicated Bearer Response"). En dichas respuestas se incluyen los identificadores de túnel que permiten terminar de establecer el plano de usuario entre eNB y P-GW en sentido descendente.

Gestión de recursos radio

Para poder establecer cualquier tipo de transferencia de información entre el terminal móvil y eNodeB, es necesario establecer el denominado servicio portador radio. En la Figura 4.8 se describe gráficamente el procedimiento de establecimiento de la conexión y de los portadores radio [10].

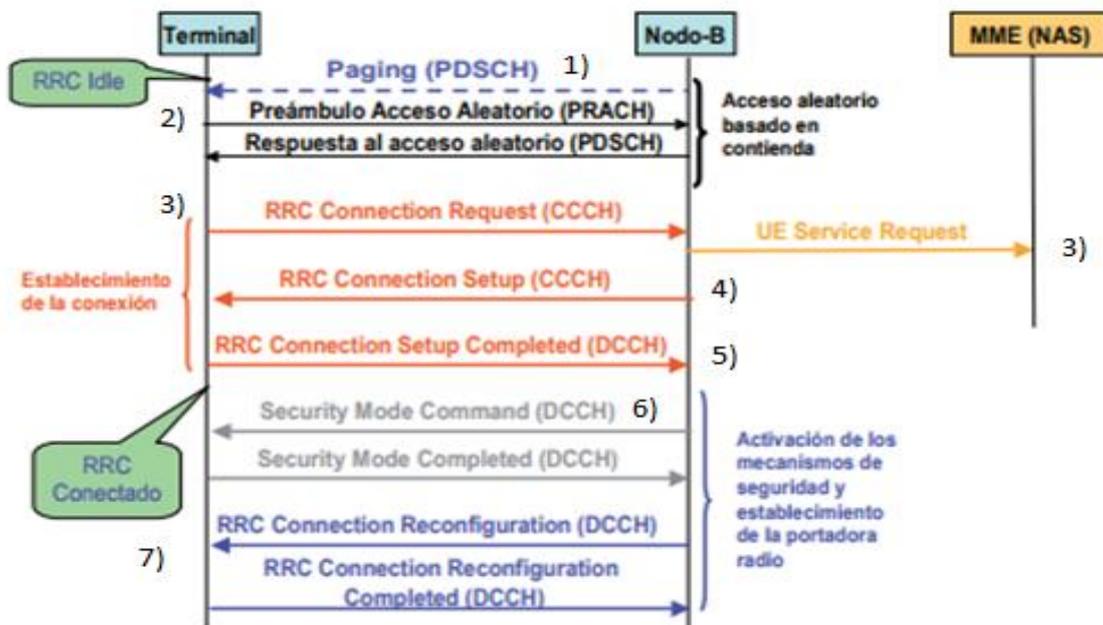


Figura 4.8 Procedimiento de conexión de recursos radio en LTE

- 1) En este caso se considera que el procedimiento se inicia como respuesta a un mensaje de aviso ("*Paging*") por parte de la red.
- 2) El terminal móvil inicia un procedimiento de acceso aleatorio.
- 3) El móvil envía un mensaje de "*RRC Connection Request*" que incluye, además del motivo de la petición, una identificación temporal del móvil o en su defecto un número aleatorio de 40 bits.
- 4) Si el eNB acepta la petición de conexión, envía como respuesta un mensaje del tipo "*RRC Connection Setup*" que incluye los parámetros de configuración inicial de la portadora radio SRB1.
- 5) El terminal móvil envía un mensaje de reconocimiento ("*RRC Connection Setup Completed*") e incluye un mensaje al NAS, un identificador (PLMN) del operador móvil seleccionado y, si se conoce, el identificador del nodo MME al que está registrado. A partir de estos dos últimos parámetros el eNB decide cual es el nodo del núcleo de red al que debe conectarse utilizando la interfaz S1.

Una vez completada esta fase, el terminal cambia del estado desocupado ("*idle*") al estado conectado. A continuación, se procede a la fase de activación de los mecanismos de seguridad y al establecimiento de los servicios portadores radio.

- 6) El eNB envía un mensaje de activación del modo de seguridad ("*Security Mode Command*") en donde se solicita la activación tanto del modo cifrado como de los mecanismos de protección de la integridad de los mensajes. El terminal móvil verifica la protección de la integridad del mensaje recibido y configura las capas inferiores a RRC para poder aplicar a los mensajes subsiguientes los mecanismos de cifrado y protección de la integridad de la información. Envía el mensaje "*Security Mode Completed*".
- 7) La red envía entonces un mensaje de petición de reconfiguración de la conexión RRC ("*RRC-Connection Reconfiguration*") incluyendo los parámetros de configuración para establecer el segundo servicio portador radio de señalización (SRB2) y una o más servicios portadores radio de datos (DRB). Además de esta información de configuración, el mensaje también puede transportar señalización al NAS u otro tipo de información. El terminal móvil finalmente completa el procedimiento enviando un mensaje de reconfiguración completada ("*RRC-Connection Reconfiguration Complete*").

Gestión de localización

En LTE se define el concepto de Área de Seguimiento (*Tracking Area, TA*) para gestionar la información de localización. Un TA agrupa a un conjunto de eNBs de forma que la información de localización disponible en la red troncal EPC de un determinado equipo de usuario solamente se conoce en base a la resolución proporcionada por

tales agrupaciones. La identidad de un TA se denomina TAI (*Tracking Area Identifier*) y se difunde a través de los mensajes de información de sistema enviados en los canales de control de los eNBs que integran una TA. Un eNB sólo puede pertenecer a una TA de una red troncal EPC, es decir, no hay solapes entre diferentes TAs. El equipo de usuario, a partir del identificador TAI recibido, es el encargado de comunicar a la red en qué TA se encuentra accesible mediante los mecanismos de Network Attach y de *Tracking Area Update*. De esta forma, cuando la red necesita contactar con el terminal, el mensaje de aviso (*paging*) se difunde a través de todas las estaciones base que integran el TA en que se encuentra localizado el terminal.

Liberación de sesión radio

En caso de inactividad o petición de desconexión, se liberan los recursos sobre la UTRAN, pudiéndose restablecer rápidamente (menos de 50ms) en caso necesario. El móvil pasa de estar conectado al estado idle.

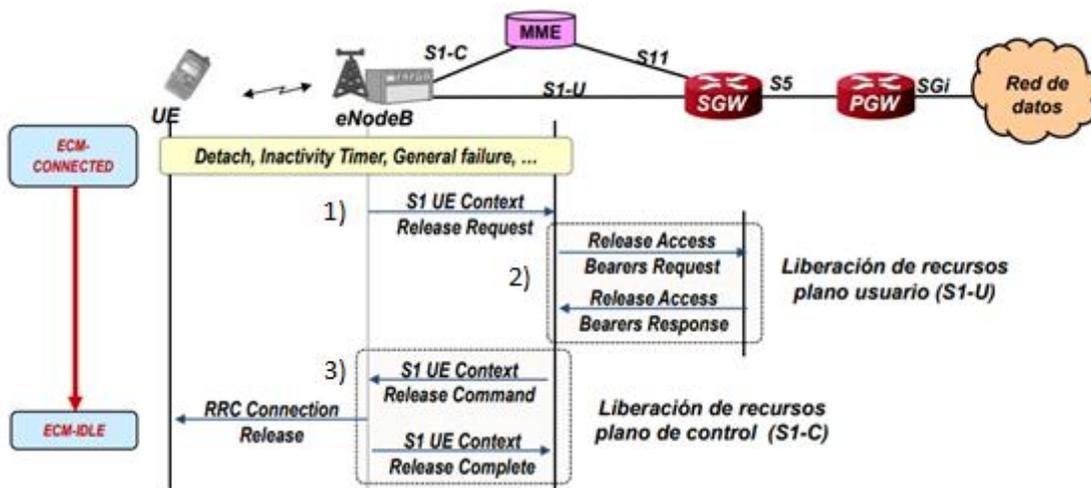


Figura 4.9 Liberación de sesión radio en LTE

- 1) Tras un periodo de inactividad o una desconexión de red, el eNodeB inicia la liberación de recursos radio. Manda la petición al MME a través del emnsaje "Release Request".
- 2) El MME manda la petición al SGW y se comienzan a liberar los portadores de acceso radio.
- 3) La MME le comunica al eNodeB que los recursos radio han sido liberados y se lo comunica al terminal móvil a través de "RRC Connection Release".

4.2 LTE Advanced

LTE Advanced se corresponde con las mejoras realizadas en la tecnología LTE para poder alcanzar velocidades superiores a los 150 Mbps. También se denomina 4.5G o 4G+ y se caracteriza por permitir un sistema escalable de ancho de banda

excediendo los 20 MHz del LTE (potencialmente hasta los 100 MHz). Esta técnica se conoce como "Carrier Agregación".

4.2.1 Carrier Agregación

"Carrier Agregación" consiste en que, cuando un terminal se da cuenta de que tiene cobertura de dos antenas 4G a la vez, cada una de una banda de frecuencias diferente, en lugar de tener que elegir entre una de las dos, se plantea usar las dos antenas. Si el dispositivo es capaz de trabajar con dos bandas de frecuencia 4G a la vez, y siempre que la red también sea capaz de gestionarlo, se usan las dos antenas simultáneamente para las descargas de Internet, y la velocidad máxima teórica de bajada será la de la suma de las velocidades de cada antena individual. Por ejemplo, si se tiene cobertura 4G en la banda 1.800MHz con ancho de banda 15MHz y a su vez, en la banda 2600 con ancho de banda 20MHz, actualmente el terminal elegiría la antena de 2600 y, por lo tanto, podría descargar a 150Mbps... Pero, si contamos con Carrier Agregación, pasaríamos a usar las dos antenas a la vez (1.800 + 2.600) y la velocidad máxima de descarga será de $150 + 112 = 262$ Mbps. Y en el caso máximo a día de hoy, si en una ciudad tenemos 20MHz en dos bandas, entonces al unir las velocidades de una celda y de otra (cada una con 150Mbps) podremos llegar a $150 + 150 = 300$ Mbps de velocidad de descarga [1].

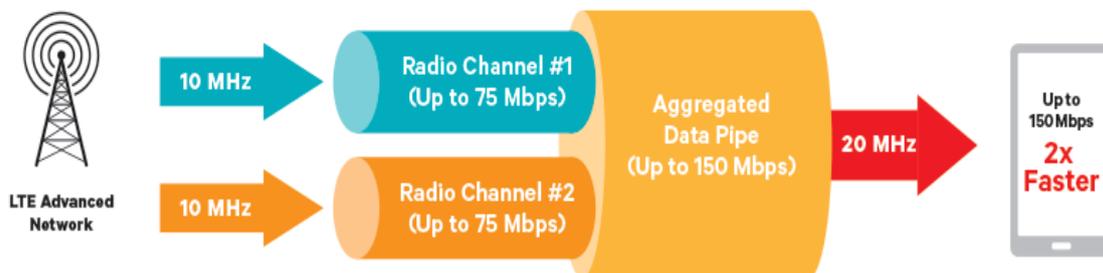


Figura 4.10 Representación de Carrier Agregación con dos bandas de 10MHz

Por el momento los dispositivos actuales pueden llegar a permitir Carrier Agregación de hasta 2 bandas. En el futuro se podrá ampliar a más para alcanzar mayores velocidades.

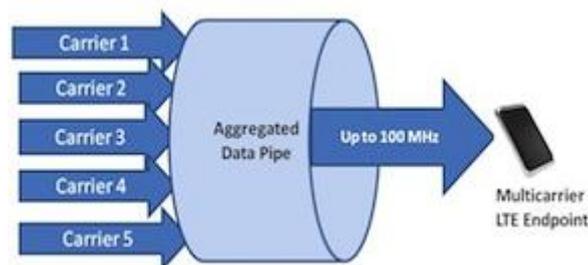


Figura 4.11 Representación de Carrier Agregación de hasta 5 bandas con 20MHz

5 EVALUACIÓN COMPARATIVA

Una vez realizado en la primera parte de este proyecto un repaso de las distintas tecnologías móviles presentes en nuestra sociedad, la segunda parte del proyecto se centrará en la descripción de un proceso de evaluación comparativa de redes móviles.

Para ello, en el presente capítulo se define el concepto de evaluación comparativa y su importancia dentro del mundo empresarial, haciendo especial hincapié en su utilización por parte de los operadores de redes móviles.

5.1 Introducción a la evaluación comparativa

La evaluación comparativa, también conocida por su término en inglés, *benchmarking*, es un método usado por diversas organizaciones, públicas o privadas, para mejorar el rendimiento de una manera sistemática y lógica, midiendo y comparando su desempeño contra otros, para seguidamente, usar las lecciones aprendidas de los mejores y hacer mejoras específicas [11].

Se trata de responder a las preguntas:

- “¿Quién tiene un mejor rendimiento?”
- “¿Por qué son mejores?”
- “¿Qué acciones debemos tomar para mejorar nuestro rendimiento?”

El creciente interés en esta técnica ha sido fomentado por la publicación de conjuntos de indicadores clave de rendimiento en diversos campos de aplicación, que permiten a las empresas medir su desempeño de manera simple y fijar objetivos basados en ellos.

Un Indicador clave de rendimiento (KPI, *Key Performance Indicator*) es una medida de rendimiento de una actividad que es crítica para el éxito de una organización.

Otro término usado en este tipo de estudio es el de punto de referencia o *benchmark*, que es el rendimiento alcanzado por “el mejor de la clase” para un proceso o actividad empresarial específica. Este rendimiento alcanzado y contrastado se puede utilizar para establecer metas de mejora.

Tipos de evaluación comparativa

La evaluación comparativa se puede llevar a cabo contra cualquier organización u objetivo que se considere que es "el mejor de su clase". Un ejercicio completo de evaluación comparativa implicará no sólo la recopilación y comparación de datos, sino que incluirá estudios de investigación para descubrir las razones de un rendimiento superior. El análisis comparativo basado en datos se hace ahora más fácil en caso de

haber KPI ya implementados con anterioridad para una determinada actividad, debiendo seleccionar con cuidado el conjunto correcto. Cuando una organización desea llevar a cabo estudios de investigación como parte de la evaluación comparativa, puede llevarlos a cabo de tres maneras:

- Interno: comparación de operaciones internas, como de una división, área o equipo de proyecto con otro, dentro de la misma organización. Las grandes empresas a menudo tienen un amplio margen para este tipo de evaluación comparativa, y deben tratar de llevar el nivel de rendimiento de toda la empresa a las cotas del mejor.
- Competitivo: una comparación con un competidor específico para el producto, servicio o función de interés. Esto proporcionará datos e información sobre lo que los competidores están logrando. Es más difícil y complejo de llevar a cabo. Por ello, a veces se crean asociaciones de organizaciones que comparten datos en busca de una mejora común, mientras que, en otras ocasiones, son terceras empresas externas las que se encargan de la recopilación y comparación de datos de organizaciones que compiten entre sí.
- Genérico: una comparación de funciones o procesos empresariales que son los mismos, independientemente de la industria o el país.

Beneficios al realizar una evaluación comparativa

Los beneficios clave para las organizaciones son los siguientes:

- Enfoca los esfuerzos de mejora en cuestiones fundamentales para el éxito.
- Asegura que los objetivos de mejora se basen en lo que se ha logrado en la práctica, lo que elimina la tentación de decir "no se puede hacer".
- Proporciona confianza en caso de que el rendimiento de una organización se compare favorablemente con las mejores.
- Para las organizaciones del sector público, la evaluación comparativa proporciona la garantía de que se está alcanzando el mejor servicio en función del valor del mismo.

Requerimientos para una evaluación comparativa exitosa

Los ingredientes principales para el éxito (como en cualquier procedimiento de gestión) son:

- Una comprensión clara de lo que necesita ser mejorado, y por qué. Este análisis suele ser la responsabilidad de los altos directivos. La evaluación comparativa debe alinearse con los objetivos de la organización para que tenga éxito.
- Selección cuidadosa de contra quién se evaluará.
- Comprensión clara de las razones de cualquier diferencia en el rendimiento.

Evaluación comparativa

- Establecimiento de metas y objetivos que son desafiantes y alcanzables con esfuerzo.
- Una voluntad de cambio y adaptación basada en los resultados del *benchmarking*.
- Persistencia. Los resultados no necesariamente vienen rápida y fácilmente.

Cinco Pasos para una evaluación comparativa exitosa

Los cinco pasos clave en el proceso de evaluación comparativa son:

- Plan: Establezca claramente lo que necesita ser mejorado -asegúrese de que es importante para usted y sus clientes- y determine la metodología de recolección de datos que se utilizará (incluyendo cualquier KPI).
- Análisis: Recopilar los datos y determinar la brecha de rendimiento actual - contra un competidor, industria o internamente- e identificar las razones de la diferencia.
- Acción: Desarrollar e implementar planes de mejora y objetivos de rendimiento.
- Revisión: Supervise el rendimiento en función de los objetivos de rendimiento.
- Repetir: Repita todo el proceso, la evaluación comparativa necesita convertirse en un hábito para lograr la mejora de rendimiento.

¿Cuáles son los obstáculos para el éxito de la evaluación comparativa?

Al implementar una evaluación comparativa se debe tener en cuenta no caer en los siguientes puntos:

- Tratar de comparar muchas cosas. Es mejor seleccionar dos o tres áreas clave y, a continuación, agregar gradualmente otras a lo largo del tiempo.
- Perder el tiempo comparando cosas que no aportan información útil. Cada punto de referencia debe apuntar a mejorar el desempeño en áreas que son fundamentales para el desempeño de la organización.
- Falta de precisión en lo que se está midiendo.
- No realizar una prueba piloto para asegurar que la metodología funcione.
- Renunciar demasiado pronto.
 - No cambiar los objetivos de evaluación comparativa si cambian las prioridades de la organización.

5.2 Evaluación comparativa de redes móviles

Para los operadores móviles, la calidad de la experiencia (QoE, *Quality of Experience*) es uno de los factores clave que impulsan los ingresos y reducen la pérdida de clientes [12]. ¿Cómo de buena debe ser una red móvil o un servicio? Las pruebas de evaluación comparativa contra la competencia son una manera efectiva de medir las mejoras marginales necesarias y de desencadenar inversiones mejor enfocadas. También es una forma de conocer a la competencia y recopilar información valiosa como fuente de campañas publicitarias.

En una red móvil madura, es fundamental asegurarse de que la calidad percibida del abonado está bajo control, es decir, sigue mejorando o al menos no empeora, especialmente cuando se compara con la competencia y cada vez que se introduce una nueva tecnología. Esto ha demostrado ser uno de los factores más importantes de la reducción de los ingresos y la pérdida de clientes.

Con una demanda constante de nuevos servicios y un mejor desempeño de la red, es fundamental que los operadores tengan una manera fiable, precisa y reproducible de medir la calidad de experiencia de sus suscriptores y compararlos con los competidores, aparte de recopilar información valiosa sobre la red de los competidores.

Las pruebas de evaluación comparativa son la solución óptima para cuantificar las mejoras marginales necesarias para igualar o superar a la competencia; y determinar áreas específicas, a partir de los KPI relacionados con el servicio y la red, donde las inversiones (actividades de optimización o mejoras de la red) deberían ser dirigidas.

Desde el sector público, las autoridades reguladoras quieren también asegurarse de que los indicadores clave de desempeño de los servicios (KPI) se mantienen entre los servicios ofrecidos por los licenciarios. Por último, los proveedores de infraestructuras de redes deben mostrar a sus clientes que las nuevas características de la red o el hardware recién instalado están mejorando la calidad percibida por los suscriptores.

Proyecto de evaluación comparativa de redes móviles

Este tipo de estudio de mercado es normalmente solicitado por un operador de telefonía móvil que desea comparar el desempeño de su red móvil con los principales actores presentes en el mercado. Para ello encarga una serie de pruebas, tanto para servicios de voz como de datos, idénticas para todos los operadores bajo análisis en el estudio.

El operador presenta un pliego de condiciones para la realización del proyecto y lo saca a concurso, para que posteriormente varias empresas independientes puedan presentar sus propuestas y pujen por él. Estas empresas indican en su propuesta los

medios humanos y técnicos que pondrían al servicio del proyecto, así como el presupuesto para la realización del mismo. En función de estos factores el operador concederá su ejecución a una u otra empresa.

En los siguientes capítulos de este proyecto se repasarán los elementos principales de un proyecto de evaluación comparativa de redes móviles a nivel nacional.

Se comenzará describiendo el equipo humano que involucra un proyecto de este tipo, así como las herramientas hardware y software disponibles en el mercado para llevarlo a cabo. Continuará con la metodología bajo la que se realizan las pruebas o medidas del estudio, que forman parte de las condiciones impuestas por el operador. Por último, se repasarán los principales KPI que son medidos y reportados para comparar el rendimiento de las redes de los distintos operadores.

6 MEDIOS HUMANOS Y TÉCNICOS

En este capítulo se pretende describir los elementos que componen un proyecto o campaña de benchmarking de redes móviles a nivel nacional. Como hemos comentado anteriormente, dicho proyecto surge bajo petición de un operador de telefonía móvil que desea comparar el rendimiento de su red respecto a la de los demás operadores principales en el sector.

Se realiza una descripción del personal humano involucrado, haciendo hincapié en las responsabilidades atribuidas a cada miembro del equipo. También se analizan las herramientas técnicas, *hardware* y *software*, disponibles en el mercado, y que han sido especialmente diseñadas para realizar proyectos de este tipo.

6.1 Equipo humano

Cuando se presenta una propuesta técnica para la posible adjudicación de un proyecto, ésta debe contar con un organigrama en el que se describan los puestos a ocupar por el personal, así como las tareas y responsabilidades de cada uno de ellos.

El siguiente organigrama muestra un ejemplo del personal necesario para llevar a cabo la ejecución del proyecto de forma jerarquizada:

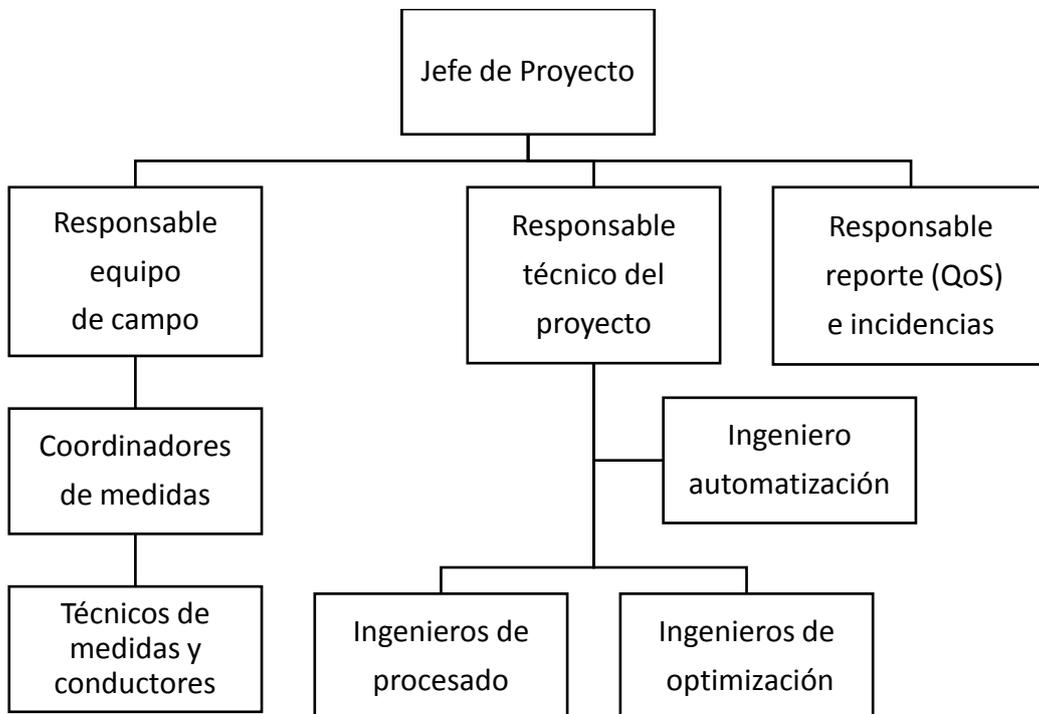


Figura 6.1 Organigrama del equipo de proyecto

A continuación, se realiza una breve descripción de los perfiles.

- **Jefe de proyecto o *project manager*.**

Tiene la responsabilidad principal de liderar el proyecto y asegurar la correcta comunicación con el cliente. Además, se encarga de verificar la definición e implementación de los procedimientos de control de calidad necesarios para garantizar la correcta realización de los trabajos de medidas y análisis. Gestiona el día a día del proyecto para la correcta consecución de objetivos. Coordina y supervisa la realización de presentaciones ejecutivas.

- **Responsable técnico del proyecto.**

Encargado de la integridad de las tareas de post-procesado, análisis y reporte de datos para las distintas campañas y servicios. Actúa de nexo entre los ingenieros de análisis y el grupo de coordinación en labores de post-procesado y análisis.

- **Ingenieros expertos en análisis calidad/optimización de red**

Responsables del post-procesado y análisis de la campaña, clasificada por tipo de medidas y tecnología. Con experiencia en el manejo de las herramientas de post-procesado y el análisis de medidas de calidad de red radio. Debe poseer un amplio conocimiento técnico en el sistema de medidas utilizado además de ser experto en el manejo de bases de dato. Se dividen en dos equipos, procesado y optimización.

- **Responsable de reporte QoS**

Experto en calidad de servicio, responsable del reporte de resultados y posibles incidencias al cliente. Es el encargado de garantizar la calidad y fiabilidad de los datos reportados al cliente.

- **Responsable del equipo de trabajo de campo**

Su función es dar soporte a los coordinadores de medidas ante cualquier problema importante que pudiera ocurrir, teniendo la última palabra sobre decisiones que afecten a la contratación de personal de campo o al funcionamiento de los equipos. Da información directa sobre posibles incidencias al jefe de proyecto y al responsable técnico del mismo, para adoptar soluciones rápidamente.

- **Coordinadores de medidas.**

Su responsabilidad es la planificación de los coches de medidas, garantizar la correcta ejecución de dichas medidas -seguimiento de la planificación, chequeo de integridad, etc., así como dar el soporte técnico necesario a los técnicos de campo.

- **Técnicos de medidas.**

Responsables de implementar las medidas según las directrices de los coordinadores de medidas. Cada equipo o coche estará compuesto por uno o dos técnicos de medidas que deberán respetar los turnos de medidas.

Adicionalmente, es necesaria la continua contratación de conductores para los coches de medidas, que acompañen a los técnicos en aquellas ciudades/provincias planificadas.

Por último, se hace útil la colaboración de un ingeniero programador para la creación de herramientas software que puedan automatizar algunas acciones rutinarias, así como para la programación en lenguaje SQL, básico en las labores de procesado y análisis.

6.2 Equipo técnico

Las medidas a realizar en un proyecto de benchmarking a nivel nacional pueden incluir medidas de *drive test*¹ tanto de cobertura exterior como interior, según desee el cliente, lo cual implica que los equipos a utilizar serán diferentes en cada uno de estos dos escenarios.

En las medidas de cobertura exterior (*outdoor*), el técnico se desplaza en un vehículo, por lo que se dota de movilidad, espacio y autonomía al equipo de medidas.

En entornos de interior (*indoor*), las medidas se limitan a espacios de concentración de usuarios, y los técnicos deberán entrar a pie transportando con ellos el equipo de medidas.

En las medidas *outdoor* se usa un escáner de frecuencia que lee todo el espectro, de forma que pueda analizarse lo que ocurre en cada una de las bandas de frecuencia, mientras que en las medidas *indoor* no se puede usar este equipo, ya que supondría un peso y una batería adicional a transportar. La importancia de no poder usar el escáner es que, si únicamente se dispone de las medidas de los teléfonos móviles, no se sabe a ciencia cierta la naturaleza de un cambio de frecuencia, un cambio de BTS (*Base Transceiver Station*) o incluso un *roaming* dentro de operadoras. Con la lectura del escáner se puede comprobar si estos cambios son correctos [13].

Las medidas sufren un proceso desde el momento en el que se toman hasta que son entregadas al cliente. A lo largo de su recorrido, el equipo humano hace uso de herramientas software y hardware para su tratamiento. En este proyecto se van a describir, a modo de ejemplo, las herramientas proporcionadas por la empresa Swissqual, subsidiaria independiente de Rohde & Schwarz, para la realización de proyectos de benchmarking.

Se comienza con una descripción de los elementos hardware y software usados en la toma de medidas en escenarios *outdoor*, para continuar sus equivalentes para medidas *indoor*. Por último, se describe el software de post-procesado, que es común para analizar las medidas tomadas en ambos escenarios.

¹ Drive test: método de medición y evaluación de la cobertura, capacidad y calidad de servicio de una red móvil [14].

6.2.1 Equipo para medidas en exterior

Como se ha comentado anteriormente, las medidas en exterior se realizan desde un automóvil.

El equipo de medidas, llamado Diversity Benchmarker II, se ubica en el maletero de dicho automóvil, donde también se ubica el escáner de frecuencia, sirviendo como ejemplo el escáner SeeGull MXflex de la marca PCTEL, para la que Swissqual ofrece soporte a la hora de trabajar junto a sus equipos. Opcionalmente se puede instalar también en el maletero una fuente de alimentación o batería que proporcione mayor estabilidad al equipo de medidas.

En el techo del automóvil se instala un cofre que contine las distintas antenas de medida, además de dos antenas para el escáner y otra para el dispositivo GPS.

Por último, el técnico cuenta con un ordenador personal conectado al equipo de medida para monitorizar las pruebas realizadas mediante un software llamado NetQual NQNiew.

6.2.1.1 Diversity Benchmarker II

El Diversity Benchmarker II es una plataforma modular y escalable para campañas de benchmarking basadas en *drive test*, que permite a operadores móviles y empresas que proporcionan servicios de evaluación comparar la calidad del servicio (QoS y QoE) basándose en el conjunto más completo de indicadores clave de rendimiento (KPI) y escenarios de prueba precisos [15].

Permite al usuario medir diferentes redes celulares con diferentes estándares al mismo tiempo. El sistema utiliza modelos especiales de teléfonos móviles como interfaz con la red móvil. Estos teléfonos proporcionan acceso a los parámetros de red internos.

El sistema es controlado mediante un ordenador portátil con el software NetQual NQNiew de Swissqual, que establece llamadas, registra los parámetros de la red celular, mide la calidad de voz, así como la calidad de otras pruebas útiles de datos, como correo electrónico, ping, video, etc.

La plataforma de hardware está diseñada para pruebas de *drive test*, por lo que está a prueba de posibles choques y vibraciones procedentes del automóvil, además de sistemas de refrigeración y funciones como el apagado automático que ayuden a proteger el equipo, intentando asegurar la recolección de datos de forma ininterrumpida y exacta.

En la figura 6.2 se distinguen los principales elementos del sistema [16].



Figura 6.2 Visión general de los componentes del sistema Benchmarker II

Consta de un rack CMR (*Computer Module Rack*) con ocho slots para módulos CSM (*Computer SlideIn Modules*) y un rack DMR (*Device Module Rack*) que tiene hasta ocho slots para dispositivos ASM (*AudioDevice SlideIn Module*). Es posible apilar un segundo rack DMR sobre el primero. Como elemento opcional es posible instalar un módulo combinador RCM (*RF Combiner Module*), con el fin de reducir el número de antenas a instalar.

Vamos a hacer una pequeña descripción de cada elemento.

- **Computer Module Rack (CMR)**

El rack CMR consta de una entrada de alimentación de 12 Vdc en su parte trasera y distribuye la energía a los demás dispositivos instalados. Puede albergar hasta 8 módulos CSM.

Incluye un *switch* LAN que proporciona 1 GB LAN a los ocho posibles módulos CSM y a los puertos Ethernet en su panel frontal.

En la figura 6.3 se puede apreciar el rack CMR sin ningún módulo CSM instalado en su interior. En la parte inferior se encuentran los ocho slots para las conectar con las futuras CSM a instalar, y en la parte izquierda los cuatro puertos Ethernet, bajo el botón de encendido del sistema. Estos puertos Ethernet se usarán principalmente para conectar el ordenador personal del técnico, y así tener acceso a los dispositivos instalados, además de monitorizar las medidas.

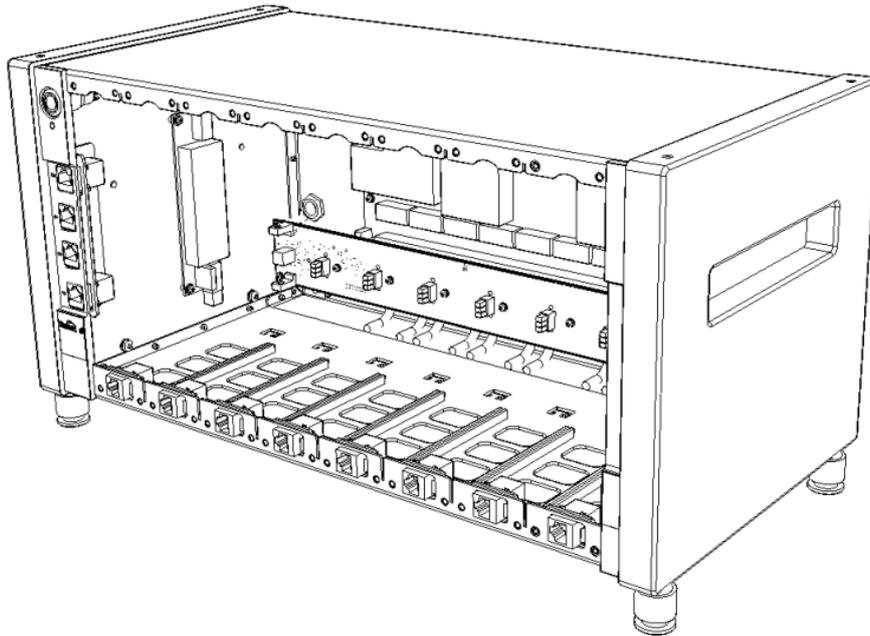


Figura 6.3 Computer Module Rack

- **Computer SlideIn Module (CSM)**

El módulo CSM es un controlador de dispositivos ASM que incluye en su interior una computadora Intel de tercera generación. Consta de botón de reinicio propio para apagar o reiniciar en caso de que se haya quedado colgado, así como un ventilador integrado para su refrigeración.

Está dotado de varios puertos para distintos tipos de conexiones:

- Dos interfaces, DM1 y DM2, para proporcionar alimentación y conexión de datos a dos módulos ASM mediante cable SATA.
- Tres puertos USB para la conexión de dispositivos externos.
- Interfaces de PC estándar para uso auxiliar (HDMI, DVI).
- Conexión de red con el switch LAN del rack CMR mediante cable RJ-45.

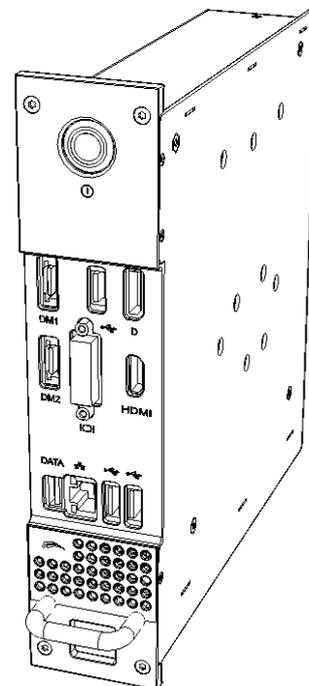


Figura 6.4 Computer SlideIn Module

- **Device Module Rack (DMR)**

La función principal del rack DMR es alojar hasta ocho módulos de dispositivo ASM.

En la figura se puede apreciar el rack DMR sin ningún módulo instalado en su interior.

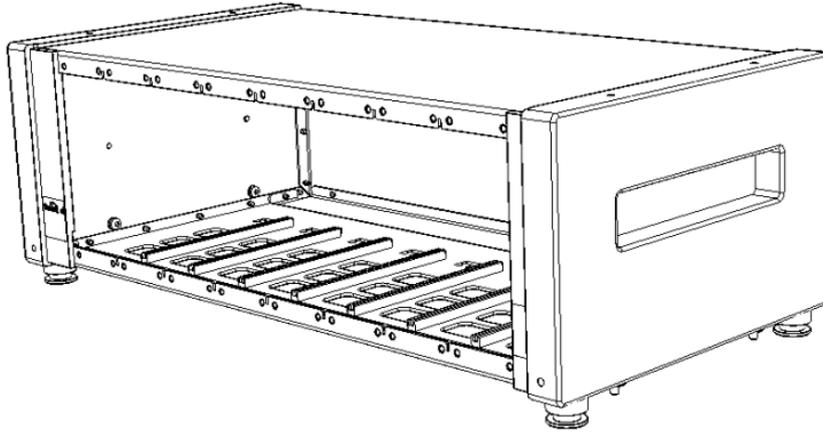


Figura 6.5 Device Module Rack

- **AudioDevice SlideIn Module (ASM)**

El módulo ASM proporciona alojamiento mecánico y blindaje para el teléfono móvil instalado en su interior, así como energía emulando electrónicamente la batería del teléfono.

- Contiene una ranura SIM para poder intercambiar fácilmente la tarjeta SIM del teléfono instalado.
- Interfaz IN1 para la alimentación y conexión de datos mediante cable SATA desde un módulo CSM.
- Conectores de radiofrecuencia RF para conectar las antenas de medida.

En las figuras 6.6 y 6.7 se puede observar un módulo ASM y un teléfono móvil instalado en un módulo ASM respectivamente.

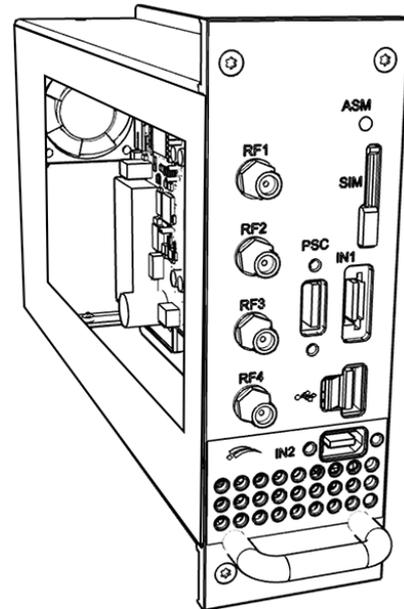


Figura 6.6 AudioDevice SlideIn Module

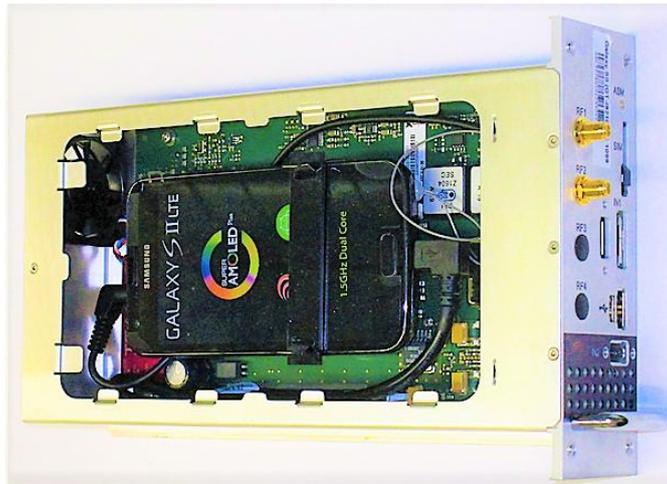


Figura 6.7 Módulo ASM con teléfono móvil instalado en su interior

- **RF Combiner Module (RCM)**

Un módulo RCM combina los puertos RF de los dispositivos de medida (ASM) y los conecta a las antenas comunes. Es decir, un combinador reduce la cantidad de antenas necesarias a instalar en el techo del coche.

Se aloja en el rack DMR de la misma forma que un módulo ASM.

En aquellos puertos RF del combinador sin usar, es decir, sin conectar a un módulo ASM, se deberá adaptar a 50 ohm.

En el esquema de la figura 6.8 se representan un módulo combinador y un ejemplo de conexión de tres terminales móviles a dicho módulo.

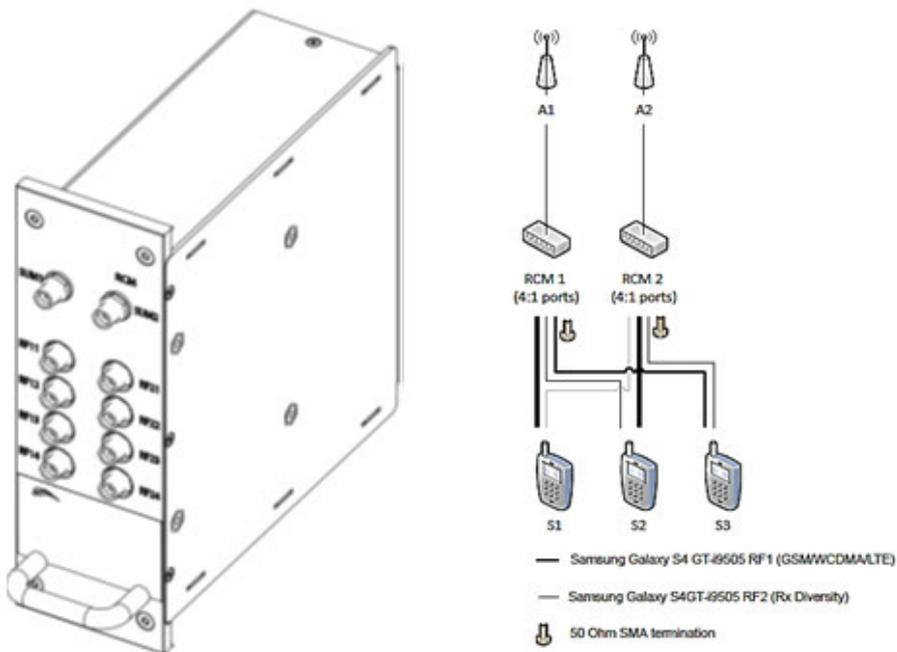


Figura 6.8 Dispositivo RF Combiner Module y ejemplo de conexión

Los terminales tienen dos puertos de antena:

- Puerto principal: Proporciona la señal de transmisión y es la vía de recepción principal.
- Puerto secundario: Proporciona la vía de recepción secundaria para diversidad de recepción y MIMO.

Los puertos primarios y secundarios deben estar conectados a antenas independientes en el techo del automóvil. El puerto principal del teléfono S1 está conectado al puerto 1 del RCM 1, que está conectado a la antena A1, y el puerto secundario del teléfono S1 está conectado al puerto 1 del RCM 2 y la antena A2.

6.2.1.2 Escáner de frecuencia

Como se ha comentado anteriormente, la presencia de un escáner de frecuencia permite tener una lectura completa del comportamiento de la red, lo cual es de vital importancia a la hora de compararlo con las medidas recogidas por los terminales móviles, ya que podría sacar a la luz fallos tanto en el comportamiento de los terminales como de la red.

Un ejemplo de escáner usado para medidas de *drive test* es el PCTEL SeeGull MXflex, que podemos observar en la figura 6.9.



Figura 6.9 Escáner PCTEL SeeGull MXflex

Incluye toma de corriente para alimentarlo desde una toma de mechero en el automóvil, cuatro conexiones SMA para antenas de RF y conexión USB para conectarlo al equipo de medidas.

Este escáner tiene soporte desde el equipo de medidas Diversity Benchmarker II, integrándolo a su hardware mediante una conexión USB a una CSM, y a su software desde la aplicación NetQual NQNiew, con la cual podemos visualizar en cualquier momento la lectura de red que está haciendo el escáner. Además, al igual que se hace con los terminales móviles, durante las medidas se genera un *log* o registro propio de medidas para el escáner, que podrá ser usado más tardes en labores de análisis y procesado.

6.2.1.3 Instalación de las antenas

Las antenas usadas en *drive test* se colocarán en un cofre en la parte superior del coche como se muestra en la figura 6.10. Deberá asegurarse un tendido de cable robusto, protegiendo los cables de la antena de posibles flexiones o daños.

El propósito de instalar las antenas en un cofre sobre el techo es proporcionar condiciones de radiación iguales para cada una de las antenas utilizadas en las mediciones. La siguiente figura muestra un ejemplo de un cofre con antenas instaladas en su interior.



Figura 6.10 Antenas instaladas en el cofre

Se requiere una atenuación adicional de 12 dB de la señal recogida por las antenas del equipo de prueba para que imite un escenario de la vida real, es decir, el de un ocupante del vehículo usando su teléfono móvil [17]. Esta atenuación estará garantizada mediante la inserción de atenuadores adecuadamente dimensionados, considerando la pérdida de inserción del cableado de RF.

El tipo de antena a utilizar debe cubrir todas las frecuencias que usan los operadores en España, comprendidas entre los 900-2600 MHz, según el tipo de tecnología. Tanto los módulos ASM como el escáner que acompaña al equipo de medidas hacen uso del mismo tipo de antena. En la figura 6.11 se muestra un ejemplo de antena, de la marca PCTEL.



Figura 6.11 Antena PCTEL

Las bases de las antenas deben estar en un plano horizontal, con un área circular libre que corresponda a al menos una longitud de onda.

Se debe tener en cuenta la distancia entre antenas para evitar efectos de acoplamiento o interferencia. Para maximizar el aislamiento y evitar el efecto de radiación pasiva, se recomienda mantener una distancia de al menos 2 longitudes de onda entre antenas [18].

En resumen, es necesario colocar las antenas al menos una longitud de onda desde el borde del techo y por lo menos dos longitudes de onda separadas entre sí, como recoge la figura 6.12.

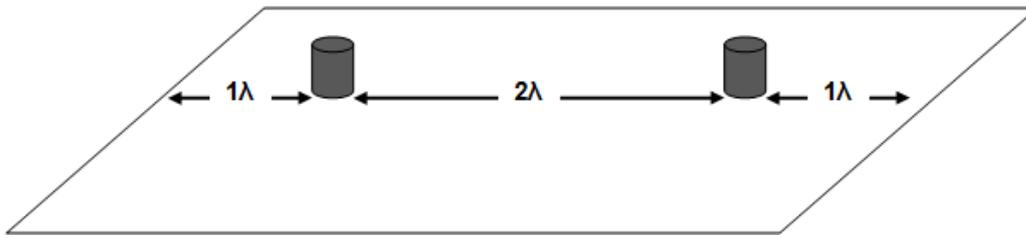


Figura 6.12 Distancias para las antenas del techo

Para calcular la longitud de onda, se aplica la fórmula: $\lambda = c / \text{frecuencia}$

La tabla 6.1 incluye las longitudes de onda correspondientes a las frecuencias más utilizadas por los operadores en comunicaciones móviles.

Frequency (MHz)	Wavelength (cm)
850	35.2
900	33.1
1800	16.6
1900	15.8
2100	14.4

Tabla 6.1 Longitudes de onda para las frecuencias típicas

Como puede observarse, para una frecuencia de 900 MHz sería necesario mantener una distancia superior a 60 cm, lo cual haría imposible instalar un número elevado de antenas en el techo de un vehículo, ya que cada dispositivo móvil dispone de dos conexiones a antena para la recepción de señal.

Con el fin de reducir los problemas de instalación mecánica reduciendo el número de antenas implicadas, es posible utilizar combinadores como los descritos anteriormente. El módulo combinador de cuatro puertos introduce una atenuación adicional de 6 dB, que debemos contemplar para alcanzar el objetivo de los 12 dB.

6.2.1.4 Elementos adicionales

- **GPS**

Se puede utilizar casi cualquier dispositivo GPS basado en conexión USB que admita el protocolo NMEA para proporcionar información de ubicación al equipo Diversity.



Figura 6.13 Dispositivo GPS

El dispositivo se conecta a una CSM a través de uno de los puertos USB. La antena se aloja en el cofre de antenas junto a las demás.

- **Inversor DC/AC**

Para un funcionamiento de los equipos estable y permanente durante el desarrollo de las medidas se hace necesario el uso de dos elementos más: un inversor DC/AC y un módulo de alimentación ininterrumpida.

Su función es transformar la corriente continua procedente de la batería en corriente alterna para alimentar el ordenador portátil del técnico. Un ejemplo de inversor se muestra en la figura 6.14.



Figura 6.14 Inversor DC/AC

- **Módulo de alimentación ininterrumpida**

La función del módulo de alimentación ininterrumpida es mantener una alimentación en continua estable de 12V para el equipo de medidas Diversity durante breves caídas de tensión, como pudiera ser un apagado y encendido del motor, evitando que estas caídas puedan afectarle.

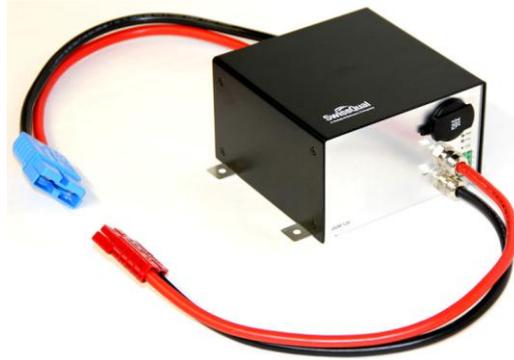


Figura 6.15 Módulo de alimentación ininterrumpida

6.2.1.5 NetQual NQView

NQView es la interfaz gráfica de usuario para el Diversity Benchmarker II. Es utilizada para configurar escenarios de prueba y supervisar el estado de las tareas y campañas en tiempo real en una variedad de pantallas configurables, mostrando resultados e información de RF desde las capas físicas hasta las capas de aplicación para una gama completa de tecnologías [19]. También puede reproducir archivos de medidas para un análisis inmediato de sus datos.

La ventana de bienvenida de la herramienta distingue las tres consolas en las que se divide el programa: Control, Realtime y Replay.

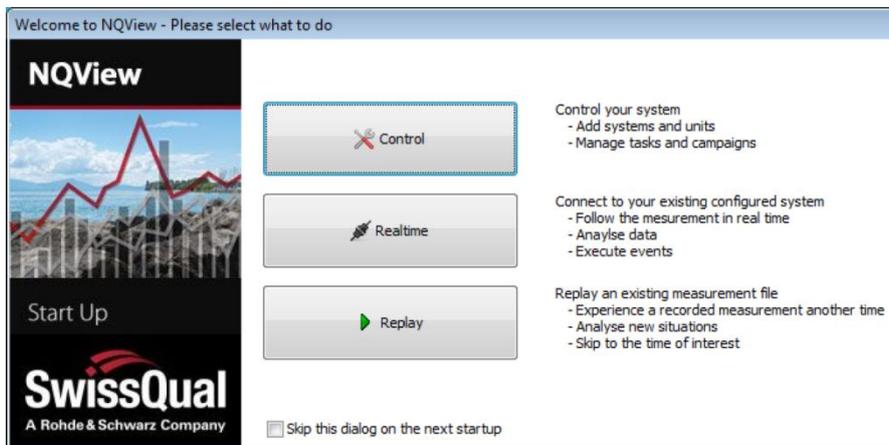


Figura 6.16 Consolas NQView

Independientemente de la opción elegida, el usuario podrá alternar entre ellas una vez entre en el programa.

La consola Control se utiliza para configurar el hardware del equipo de medidas Diversity y para crear las distintas campañas de medidas a realizar.

Realtime es usado para monitorizar el correcto funcionamiento de las medidas en tiempo real.

Por último, mediante la consola Replay podemos reproducir una medida anteriormente realizada para un primer análisis.

Una vez seleccionemos una de las tres opciones accedemos a la ventana principal del programa. En la parte izquierda tenemos tres pestañas para cambiar entre las diferentes consolas y en la parte derecha el área de trabajo. Cada una de las consolas consta a su vez de un panel de navegación que proporciona acceso a las funciones de la consola.

Consola Control

La consola Control consta de un panel de navegación dividido en 4 funciones: System Configuration, Task and Jobs, Task Schedules y Test Results Summary.

- System Configuration configura el hardware del sistema, los abonados y los perfiles del sistema.

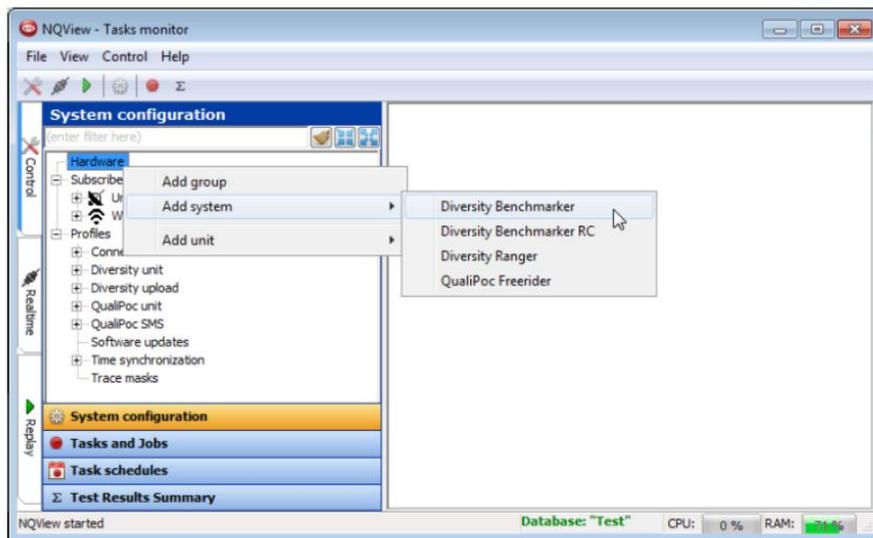


Figura 6.17 Función System Configuration en la consola Control

- Task and Jobs se utiliza para configurar tareas, trabajos, pruebas y perfiles de tareas.

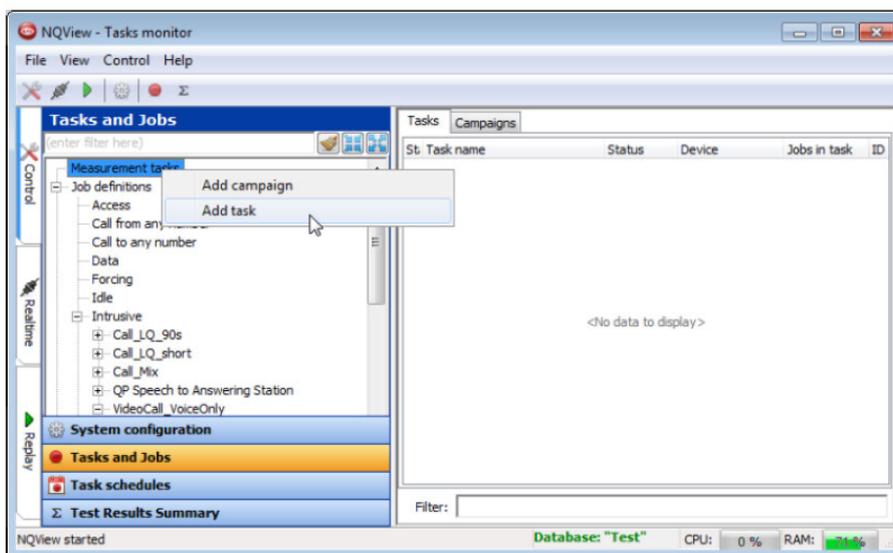


Figura 6.18 Función Task and Jobs en la consola Control

Medios humanos y técnicos

- Task Schedules ayuda a planificar un programa de pruebas. Puede organizar las tareas de los dispositivos del sistema en una línea de tiempo.

Para ver la programación de tareas de un dispositivo, se arrastra el dispositivo desde el panel Task Schedules al panel Scheduling.

Las casillas de verificación situadas en la parte superior del panel filtran las programaciones y la lista Interval especifica la longitud de la línea de tiempo.



Figura 6.19 Función Task Schedules en la consola Control

- Test Results Summary proporciona una visión general de las pruebas completadas.

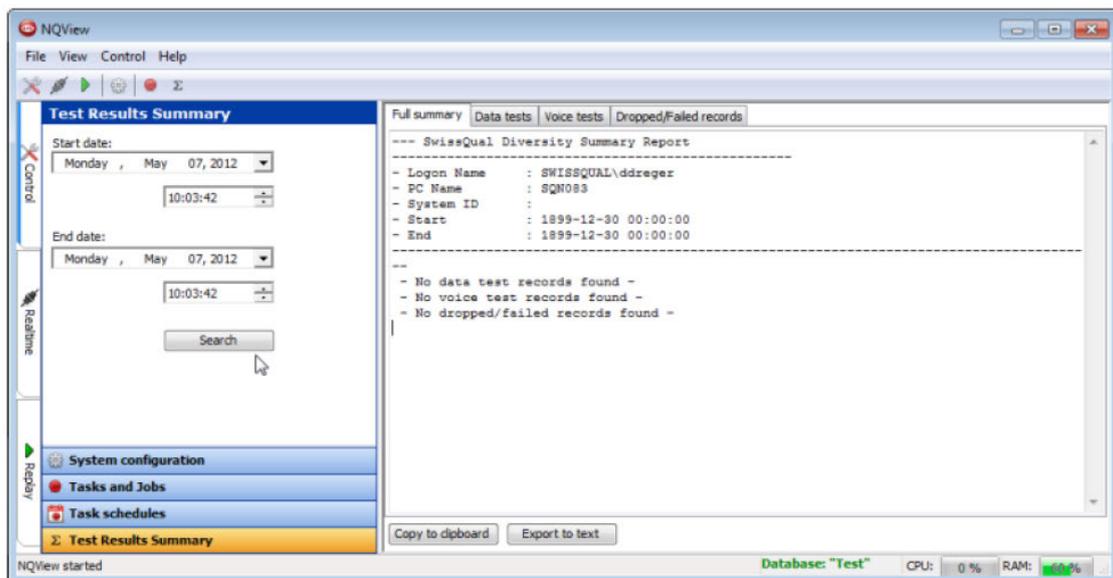


Figura 6.20 Panel Test Results Summary en la consola Control

Consolas Realtime y Replay

La consola Realtime incluye un panel de navegación que se divide en cuatro funciones: Pages and Monitors, Values, Events y User Markers.

La consola Replay incluye el mismo panel de navegación que la consola Realtime a excepción de la función User Markers, que no puede utilizarse en el modo repetición.

- Pages and Monitors es una vista en árbol de las páginas y monitores disponibles para el dispositivo que seleccione.

Para agregar una página o un monitor al área de trabajo, se hace doble clic en un elemento del árbol o se utiliza el icono Open Pages and Monitors en la barra de herramientas principal.

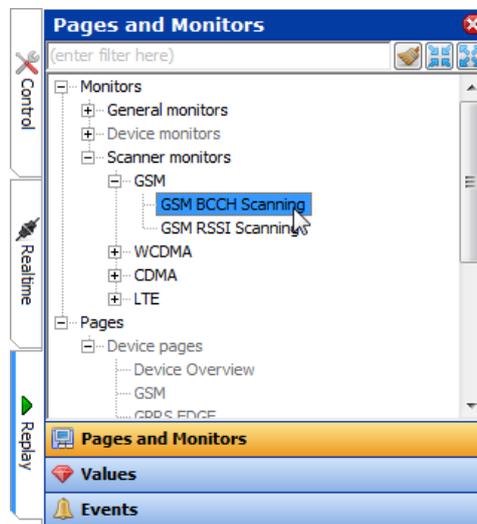


Figura 6.21 Función Pages and Monitors en la consola Replay

- Values contiene los valores de medición que se pueden supervisar en NQView.

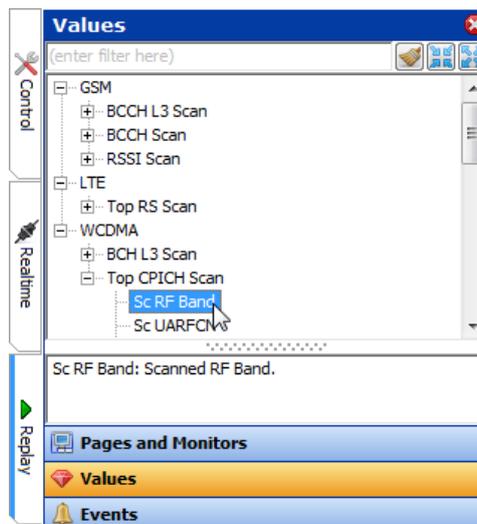


Figura 6.22 Función Values en la consola Replay

Para agregar un valor a un monitor, se selecciona un dispositivo, un valor en el árbol y se arrastra el valor al monitor.

- Events se puede utilizar para activar o desactivar eventos durante una medición o durante la reproducción. Los eventos son disparadores (*triggers*) especiales que se pueden configurar para informar cuando se produce algo específico durante una medición, por ejemplo, una llamada perdida.

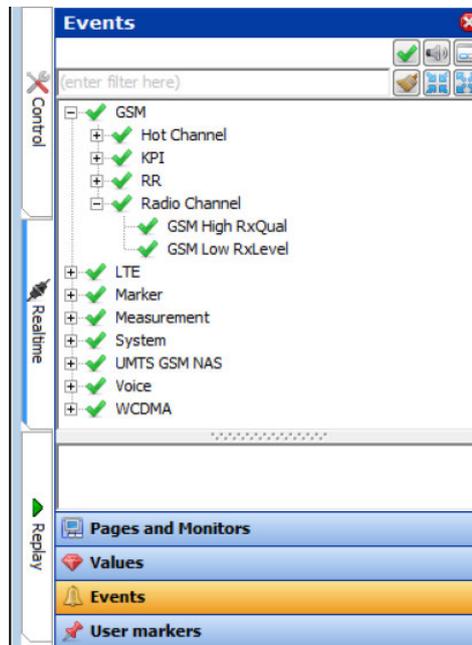


Figura 6.23 Función Values en la consola Realtime

- User Markers permite crear marcadores de texto que se pueden insertar en los datos de medición durante un test con Diversity.

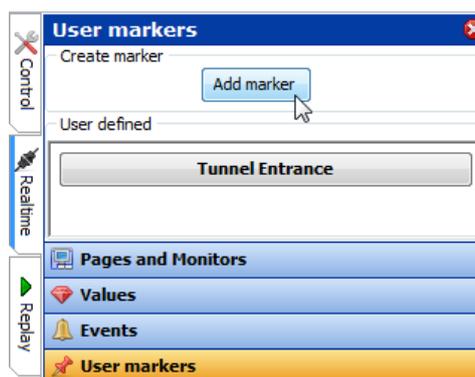


Figura 6.24 Función User Markers en la consola Realtime

6.2.2 Equipo para medidas en interior

Las medidas en interiores se realizan a pie en lugares de alta concentración de usuarios, que son de especial interés para el operador.

Las herramientas con las que se trabaja son teléfonos móviles convencionales con un software específico instalado en su interior, que poseen menor capacidad de cálculo y estabilidad que el equipo para medidas en exterior (Diversity). El equipo se llama QualiPoc Freerider II, y consta de varios teléfonos móviles conectados a una tableta, que servirá de interfaz con el usuario.

Para las medidas de interior no contamos con la ayuda de un escáner de RF.

6.2.2.1 Qualipoc Freerider II

SwissQual QualiPoc Freerider II es una herramienta multitecnología de benchmarking y optimización para redes móviles.

Gracias a su bajo peso y pequeño tamaño es ideal para lugares inaccesibles para los productos de prueba convencionales.

Se puede realizar una variedad de pruebas diferentes en hasta seis teléfonos simultáneamente. Los teléfonos Android (FR Slaves) se controlan de forma sencilla e inalámbrica a través de una tableta Android (FR Master) [20].

En figura 6.25 se pueden ver ambos equipos:

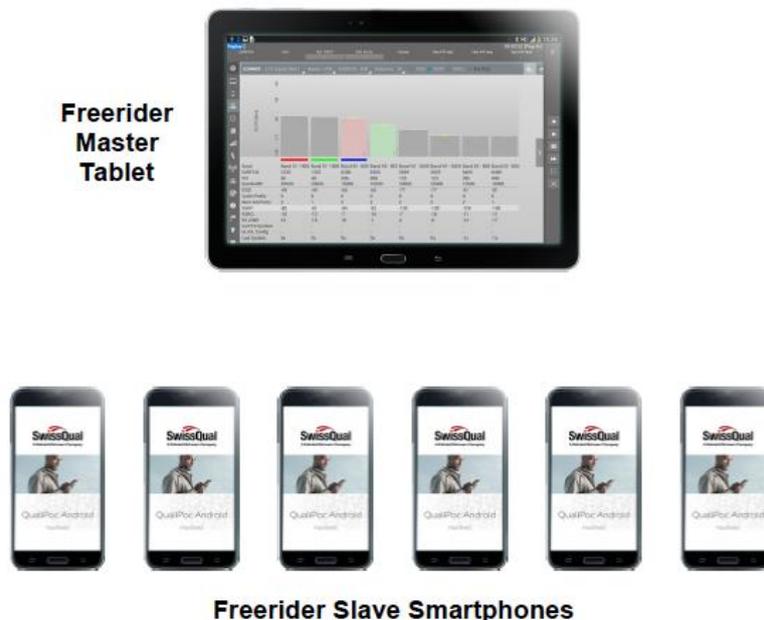


Figura 6.25 Componentes equipo Qualipoc Freerider II

La conexión inalámbrica entre FR Master y FR Slaves se lleva a cabo mediante Bluetooth y Wi-Fi.

El FR Master usa una conexión Bluetooth para configurar, controlar y monitorear los teléfonos FR Slaves, así como para sincronizar la hora con ellos al encender o cuando se inician o programan mediciones.

Además, el dispositivo maestro puede crear una conexión Wi-Fi con los teléfonos esclavos para recuperar y eliminar los archivos de medida alojados en ellos. Esta función también está disponible vía Bluetooth, pero se ejecutaría de forma más lenta (envío de archivos).

6.2.2.2 Software QualiPoc

Tanto la tableta como los teléfonos llevan instalado un software especial para configurar y operar un sistema Freerider II. Los teléfonos pueden ser usados de forma independiente para otro tipo de medida que así lo requiera, sin necesidad de ser manejados desde la tableta.

Una vez se arranca la tableta Android y se inicia la aplicación QualiPoc, aparece una pantalla que muestra el espacio de trabajo principal (figura 6.26). En él se pueden controlar y monitorear las pruebas realizadas en los teléfonos.

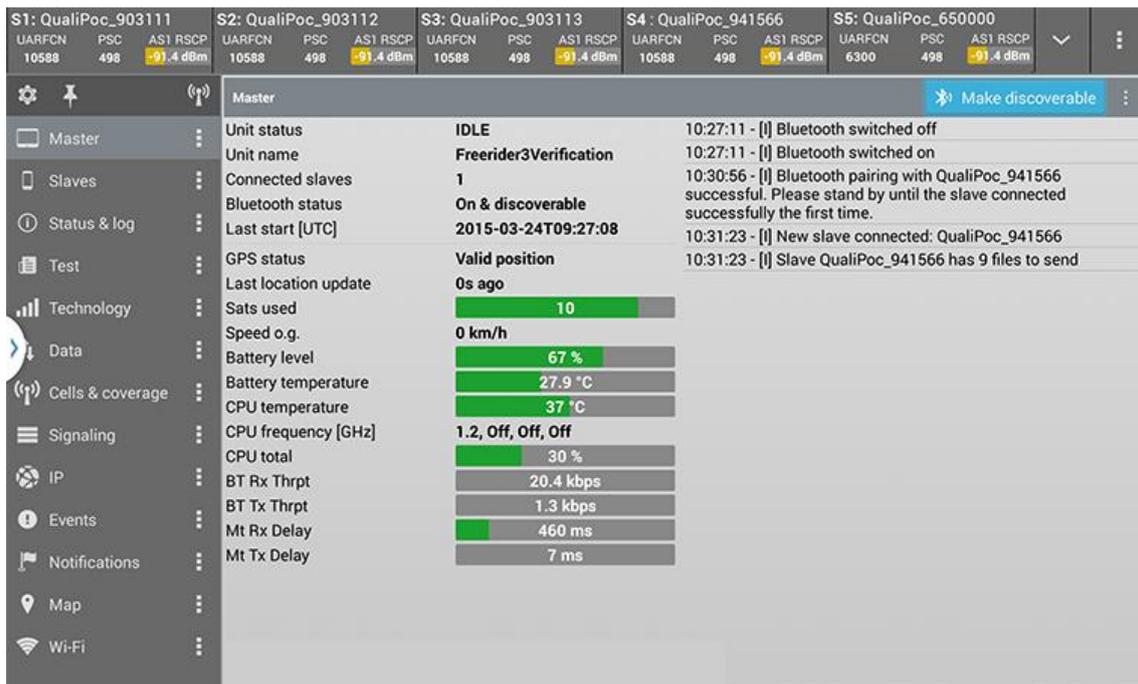


Figura 6.26 Espacio de trabajo tableta Qualipoc

El espacio de trabajo consta de los siguientes elementos:

- Información de la celda a la que se encuentra conectado cada teléfono en la parte superior de la pantalla. Configurable.
- Barra de acción  en la parte superior derecha de la pantalla con los siguientes elementos:
- Menú de acciones 

- Menú principal 
- Barra de navegación que contiene los monitores para las mediciones. Es configurable tanto la lista de monitores que aparecen en la barra de navegación como los monitores en sí. En la figura 6.26, aparece desplegado el monitor Master.

Monitores

El espacio de trabajo de la aplicación cuenta con una barra de navegación con varios monitores predeterminados. Esta barra se puede personalizar, agregando nuevos monitores al espacio de trabajo o personalizando los ya existentes, guardando espacios de trabajo personales.

Dentro de los monitores predeterminados se pueden encontrar los siguientes:

- Master: Este monitor muestra información (nombre de la unidad, FR Slaves conectados, estado de la conexión Bluetooth, información de posición, nivel de batería, etc.) acerca del estado de funcionamiento del FR Master.
- Slaves: Muestra una lista de los FR Slaves que están actualmente conectados al FR Master junto con información de cada FR Slave. La figura 6.27 muestra un ejemplo de este monitor.

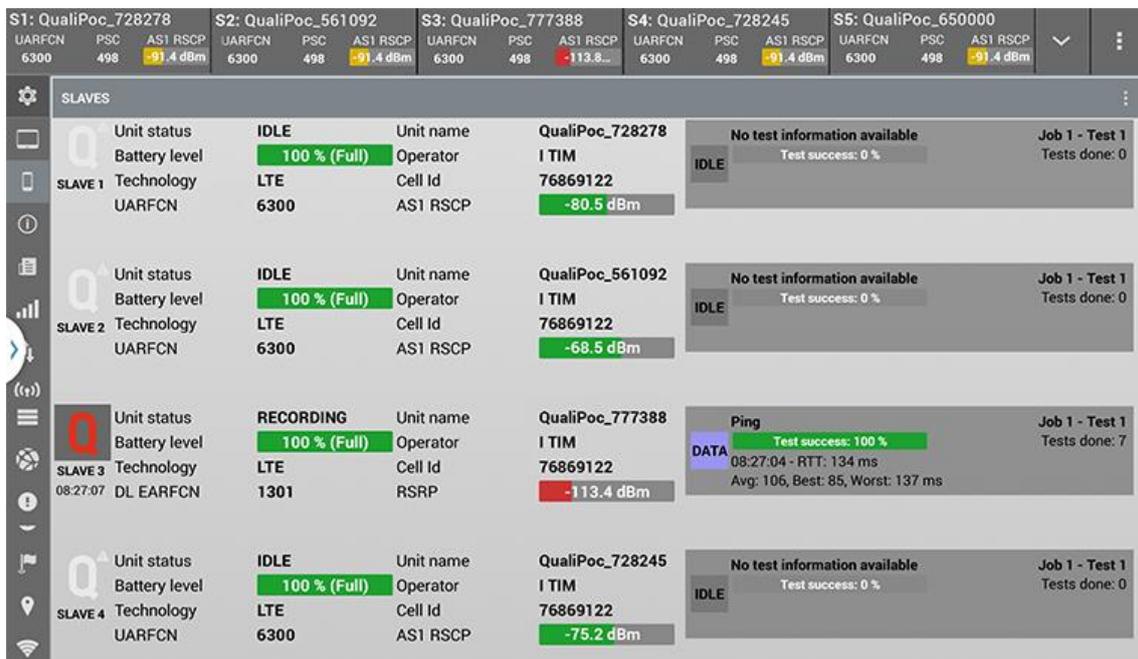


Figura 6.27 Monitor Slaves

- Status & Log: Incluye información general sobre el operador, tecnología, GPS, ejecución de las pruebas y estadísticas generales de resultados de los dispositivos esclavos.
- Test: Muestra el resumen de las pruebas en curso incluyendo gráfico de barras para los KPIs.

- Technology: Muestra información detallada de la tecnología de datos que el dispositivo QualiPoc está usando actualmente.
- Data: Muestra información sobre la descarga/subida actual.
- Cells & Coverage: Proporciona una visión general del estado y la cobertura de las celdas en servicio y de las vecinas.
- Signaling: Muestra una lista de cabeceras de señalización incluyendo la opción de decodificar cada mensaje de señalización.
- IP: Muestra los mensajes HTTP, FTP, TCP, DNS e ICMP que se han capturado incluyendo la opción de decidir los mensajes.
- Events: Muestra una lista de eventos relacionados con llamadas de voz y datos, así como los resultados de escaneo Wi-Fi.
- Notifications: Muestra notificaciones relevantes.
- Map: Muestra la posición actual, ruta e información acerca de las estaciones base en un mapa basado en Google Maps, Open Street Map u otros proveedores de mapas.
- Wi-Fi: Muestra información sobre las redes Wi-Fi escaneadas dentro del alcance del dispositivo QualiPoc.

Menú principal

Los comandos principales de QualiPoc están disponibles a través del icono de menú  en la parte superior derecha de la pantalla.

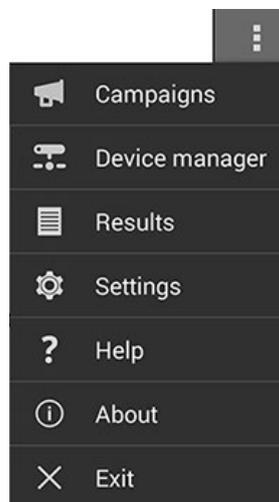


Figura 6.28 Menú principal

Descripción de los elementos del menú principal del FR Master:

- Campaigns: Crea y ejecuta trabajos de medición. La configuración del trabajo y sus comandos se envían desde el FR Master a los FR Slaves a través de una conexión Bluetooth.
- Device Manager: Añade o selecciona un dispositivo externo, por ejemplo, un receptor GPS o un scanner.

Evaluación comparativa de redes móviles

- Results: Gestiona los archivos de medida de los FR Slaves, es decir, su envío, compresión, eliminación y reproducción.
- Settings: Da acceso a la configuración del FR Master.
- Help: Contiene videos de instrucción.
- About: Muestra la versión del software QualiPoc, la versión de Android, el tipo de dispositivo, la versión del firmware y la licencia SwissQual disponible.
- Exit: Sale de QualiPoc.

Menú de acciones

Se puede acceder al menú de acciones desde la flecha hacia abajo  en la parte superior derecha de la pantalla.



Figura 6.29 Menú de acciones

La barra de herramientas permite realizar rápidamente las siguientes acciones cuando se supervisa una prueba.

- Forcing: Permite el forzado estático a una determinada red, tecnología o banda de frecuencia (deshabilitado durante la ejecución de una prueba).
- Freeze: Congela los monitores hasta que se vuelva a tocar el icono.
- Screenshot: Captura la pantalla y guarda la imagen en la tarjeta SD.
- Add text marker: Agrega un marcador de texto al archivo de medida (opción solamente disponible durante una medición en vivo).
- Add photo marker: Captura una fotografía con la cámara del teléfono y guarda la fotografía en la tarjeta SD en la carpeta de resultados. Si está en modo medición será añadido al archivo de medida.

6.2.3 Software post-procesado NQDI

Una vez los técnicos de campo han realizado las medidas requeridas con los equipos anteriormente descritos, es el turno de analizar dichas medidas por parte de los ingenieros. Para ello hacen uso del software de post-procesado.

NQDI (NetQual Data Investigation) es la herramienta de post-procesado de SwissQual para datos generados por la familia de los productos QualiPoc/Diversity para la optimización de redes y benchmarking [21].

NQDI se usa para analizar la calidad de audio, datos y video en paralelo con todos los parámetros de la red y los valores obtenidos a partir de las medidas hechas en todas las tecnologías móviles.

Está diseñado como una aplicación Cliente/Servidor usando Microsoft SQL Server como repositorio para los datos. Incluye herramientas para la administración de datos, filtros, análisis, estadísticas, mapas y generación de reportes de KPI.

Una vez se arranca la aplicación, lo primero que aparece es una ventana para poder acceder a la base de datos sobre la que queremos trabajar (figura 6.30). En caso de que se necesite crear una nueva base de datos, también puede ser creada desde esta ventana, para posteriormente acceder a ella.



Figura 6.30 Acceso a BBDD

Después de conectarnos a una base de datos, se muestra la interfaz gráfica de NQDI (figura 6.31), compuesta por diferentes pestañas, entre las que caben destacar las siguientes: Data Management, Data Selection y Analysis.

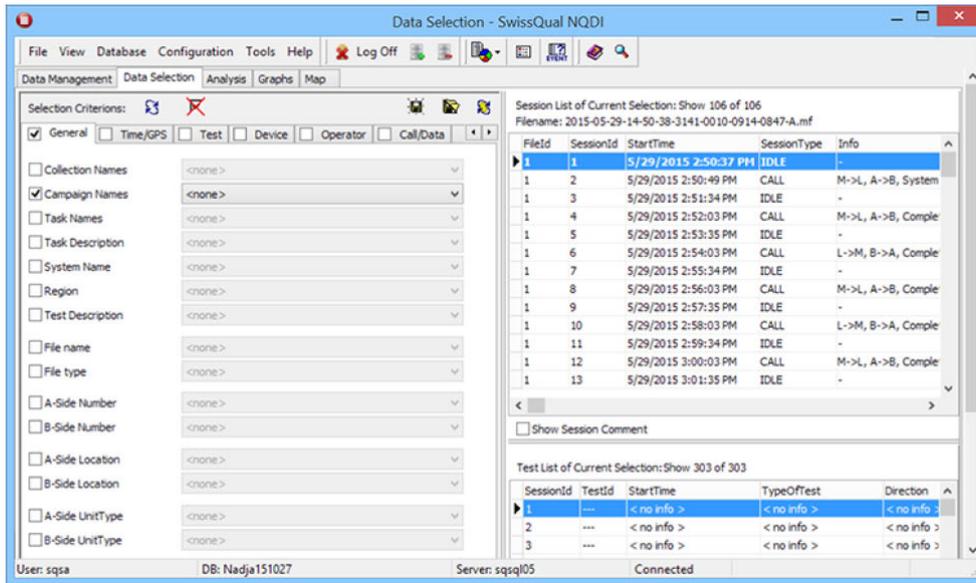


Figura 6.31 Ventana principal de NQDI

6.2.3.1 Data Management

Desde la pestaña Data Management se administra el contenido de la base de datos. Aquí, se pueden importar o eliminar archivos de medida o sesiones individuales de la base de datos.

Está dividida a su vez en tres pestañas: Import Data, Remove Data y Maintain Data.

Desde Import Data se pueden elegir los archivos de medida que queremos importar a la base de datos NQDI haciendo clic en el icono . Se selecciona el archivo de medidas desde el directorio donde se halle y se procede a su importación haciendo clic en el icono .

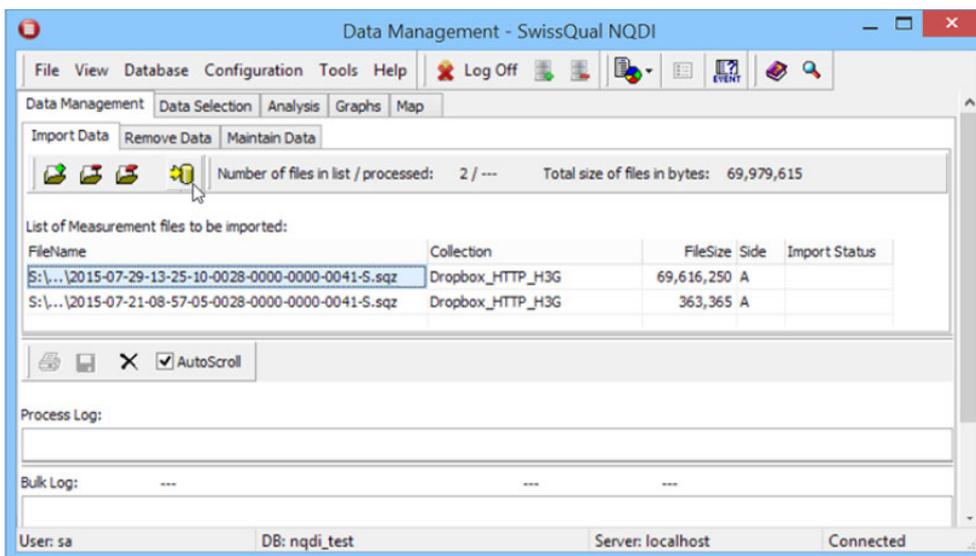


Figura 6.32 Pestaña Data Management - Import Data

En la pestaña Remove Data se pueden seleccionar los archivos que se desea eliminar de la base de datos.

Se puede elegir entre borrar todos los datos de la base de datos y dejarla vacía mediante el icono  , o solamente ciertos archivos a elegir que formen parte de ella, mediante el icono  .

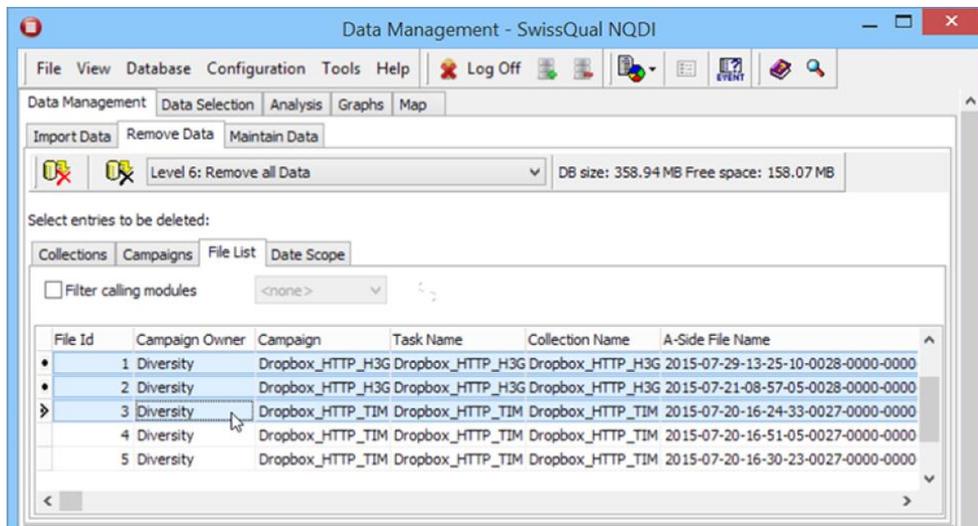


Figura 6.33 Pestaña Data Management - Import Data

Por último, la pestaña Maintain Data permite cambiar el nombre de un archivo de medidas ya importado.

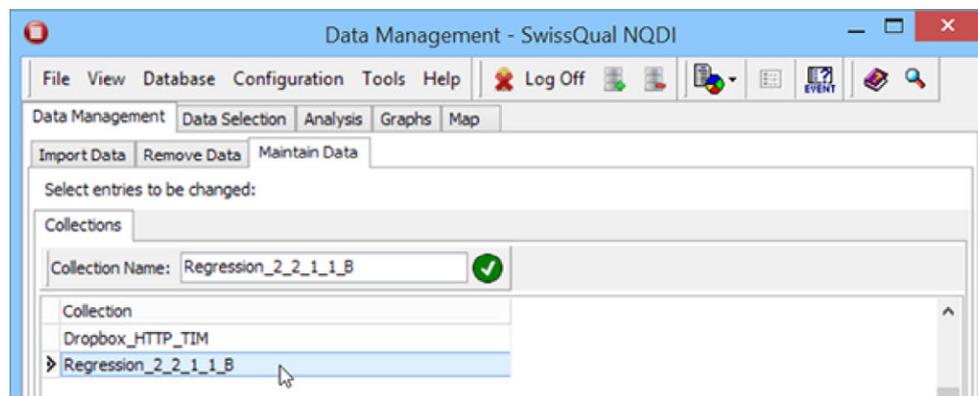


Figura 6.34 Pestaña Data Management - Mantein Data

6.2.3.2 Data Selection

Data Selection permite seleccionar partes específicas de los datos guardados en la base de datos. Para ello, se hace uso de distintos filtros sobre los archivos de medidas para quedarse sólo con las sesiones o pruebas que coincidan con los criterios del filtro.

Existen varias opciones que despliegan diversos tipos de criterios a elegir por el usuario. Vamos a describir algunas de ellas.

Seleccionando la opción General se permite filtrar entre parámetros generales de selección, como son el nombre de los archivos, el tipo de medida (VOZ, DATOS o IDLE), el equipo desde el que ha sido realizada, etc.

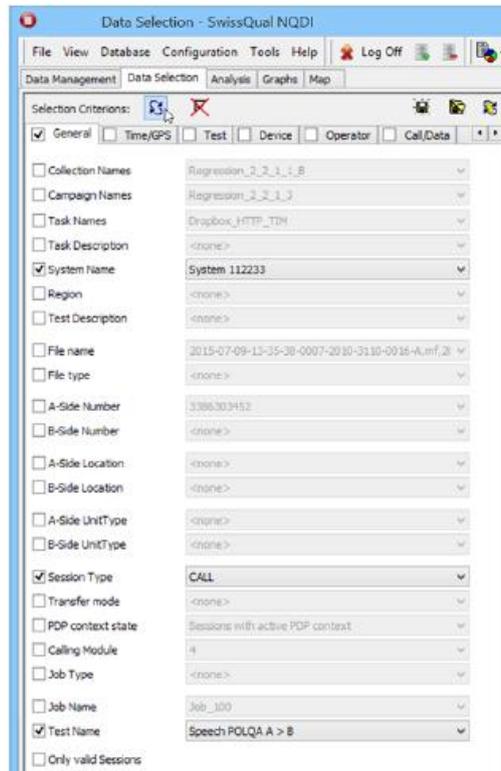


Figura 6.35 Pestaña Data Selection - General

La opción Test contiene criterios de selección específicos para cada tipo de prueba en la base de datos.

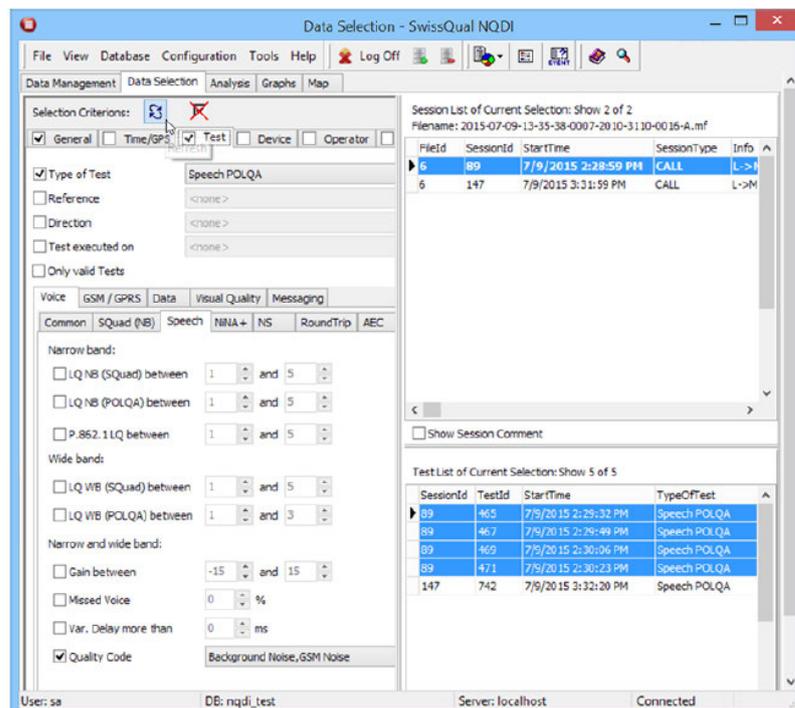


Figura 6.36 Data Selection - Test

Otra opción de filtrado es Device, mediante la cual se pueden seleccionar los datos de medición creados por un dispositivo específico, identificándolo por su modelo, código IMEI o código IMSI.

La opción Operator permite seleccionar los datos que se recopilaron de un operador específico, por ejemplo, a través de los códigos MCC, MNC o LAC.

Existen más opciones desplegadas que permiten realizar el filtrado de los datos, como la opción Maps, para hacerlo por ubicación geográfica, la opción KPI, que permite seleccionar las sesiones que contienen los KPI elegidos, o la opción Layer, desde la que se pueden seleccionar criterios específicos para los mensajes GSM, GPRS, UMTS y LTE (entre la red y el dispositivo móvil) en las distintas capas o niveles.

6.2.3.3 Analysis

La pestaña Analysis se puede utilizar para analizar los detalles de una sesión específica o una prueba específica. Se puede seleccionar esa sesión o prueba específica desde la pestaña Data Selection o mediante el navegador de sesiones.

Un archivo de medida se divide en sesiones. Estas sesiones pueden ser de tres tipos:

- CALL. Para llamadas de voz. La duración de la sesión comprende desde el comando de marcación hasta la acción de desconexión.
- DATA. Para transmisiones de datos. La duración de la sesión comprende desde la activación del contexto PDP hasta su desactivación.
- IDLE. Indica la cantidad de tiempo entre dos sesiones de voz o datos.

Una sesión puede contener una o más pruebas. Por ejemplo, una sesión de datos puede contener varios test de datos que se ejecutan consecutivamente, tales como búsqueda web, descarga vía HTTP, ping, etc.

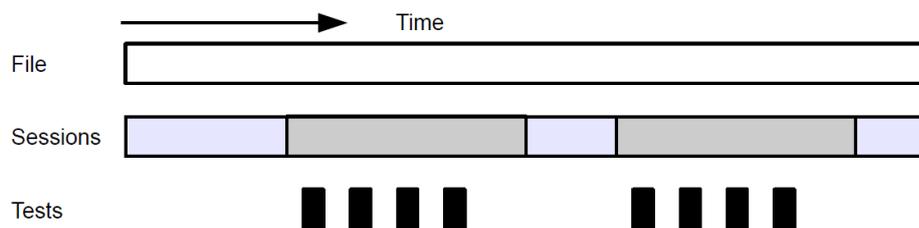


Figura 6.37 Ejemplo de un archivo de medidas

La página de análisis está compuesta por varios paneles de información, que permiten hacer un análisis completo de las medidas. En la figura 6.38 se puede apreciar una sesión de datos compuesta por varios test, entre los que se encuentran varias transferencias de archivos vía HTTP (*HTTP Transfer*), en tecnología LTE.

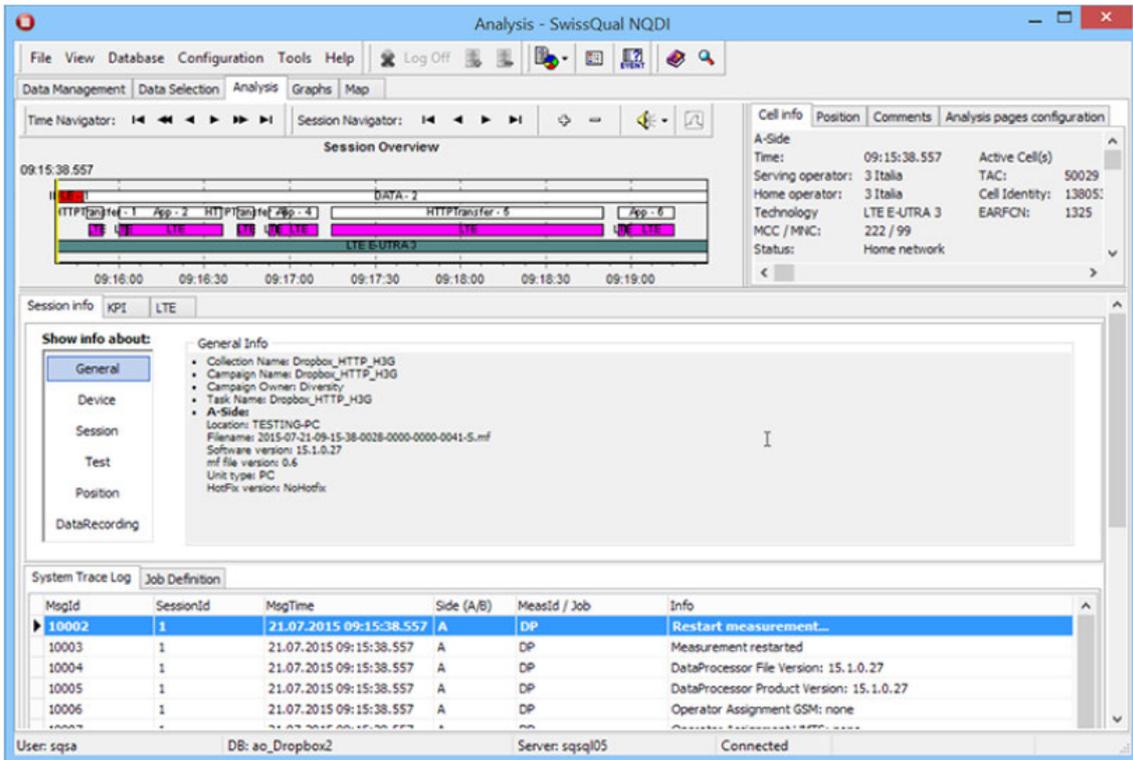


Figura 6.38 Pestaña Analysis

En la parte superior de la página se encuentran tres herramientas: Time Navigator, Session Navigator y Session Overview.

La barra de herramientas Time Navigator facilita la navegación a través de una sesión. Permite desplazarse al principio y al final de la sesión o desplazarse en pasos definidos, rápido (1s) o normal (0.25s).

Mediante la barra Session Navigator se puede desplazarse a la primera, anterior, siguiente o última sesión de la selección de datos actual. Además, permite aumentar o disminuir el número de sesiones que son representadas en el panel Session Overview, cuyo eje x muestra el tiempo. Por defecto, aparte de la sesión seleccionada, se muestra la sesión anterior y la siguiente.

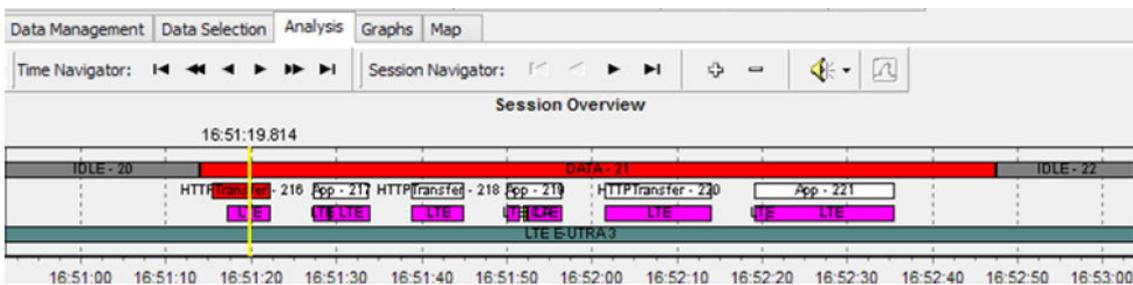


Figura 6.39 Pestaña Analysis – Session Overview

En la parte derecha de la ventana se dispone de un panel con información sobre la celda en la que se encuentra el dispositivo móvil, su posición, y dos opciones manipulables por el usuario, como es la adición de comentarios a un determinado test o sesión, y la configuración de una página de análisis personalizada (figura 6.40).

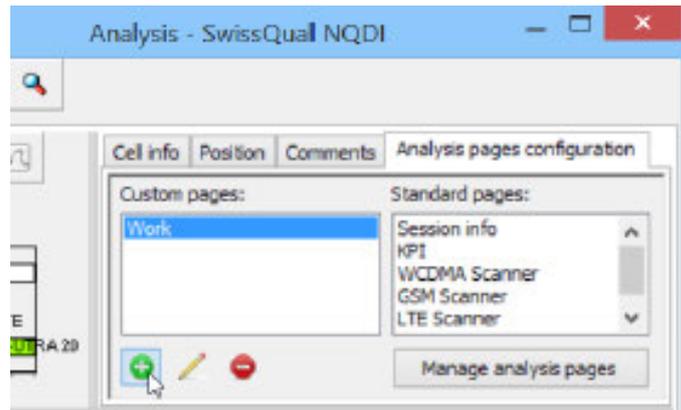


Figura 6.40 Pestaña Analysis – Analysis pages configuration

Por último, en la parte inferior de la pestaña de análisis se muestra el panel de resultados. Existen unas páginas fijas, que corresponden a Session Info, KPI y otra pestaña para las tecnologías en uso, que, en el ejemplo de la figura 6.38, era solamente LTE.

La pestaña Session Info contiene información general sobre el equipo de medida, el dispositivo móvil, la sesión o test, etc.

Mediante la pestaña KPI podemos comprobar el cumplimiento de los distintos KPIs aplicables a los test realizados.

En la pestaña de la tecnología en uso se recoge la información sobre el comportamiento de la red, ya sea GSM, UMTS o LTE. Se muestran algunos de los parámetros más importantes de la celda en servicio y de las celdas vecinas, así como los mensajes de comunicación entre el dispositivo móvil y la red. En el caso de que durante las medidas se haya hecho uso de un escáner RF, como es el caso de las medias en exterior, se podrá comparar la información de la red recogida por los dispositivos móviles con la recogida por el escáner, con el fin de poder indagar en la causa de posibles fallos durante las medidas.

Si desde el panel Session Overview se hace clic sobre un determinado test, este se pondrá en rojo, y NQDI mostrará los resultados de medición detallados para la prueba seleccionada en el panel de resultados. En la figura 6.41 se ha seleccionado uno de los tests o pruebas de voz (*speech*) que componen la sesión CALL. Aparecen nuevas pestañas en el panel de resultados, en este caso Listening Quality y Call Quality. Por otro lado, puesto que durante la sesión el dispositivo móvil ha hecho uso de las tecnologías GSM y UMTS, y también había un escáner midiendo, se añade una pestaña para cada uno de estos tres casos.

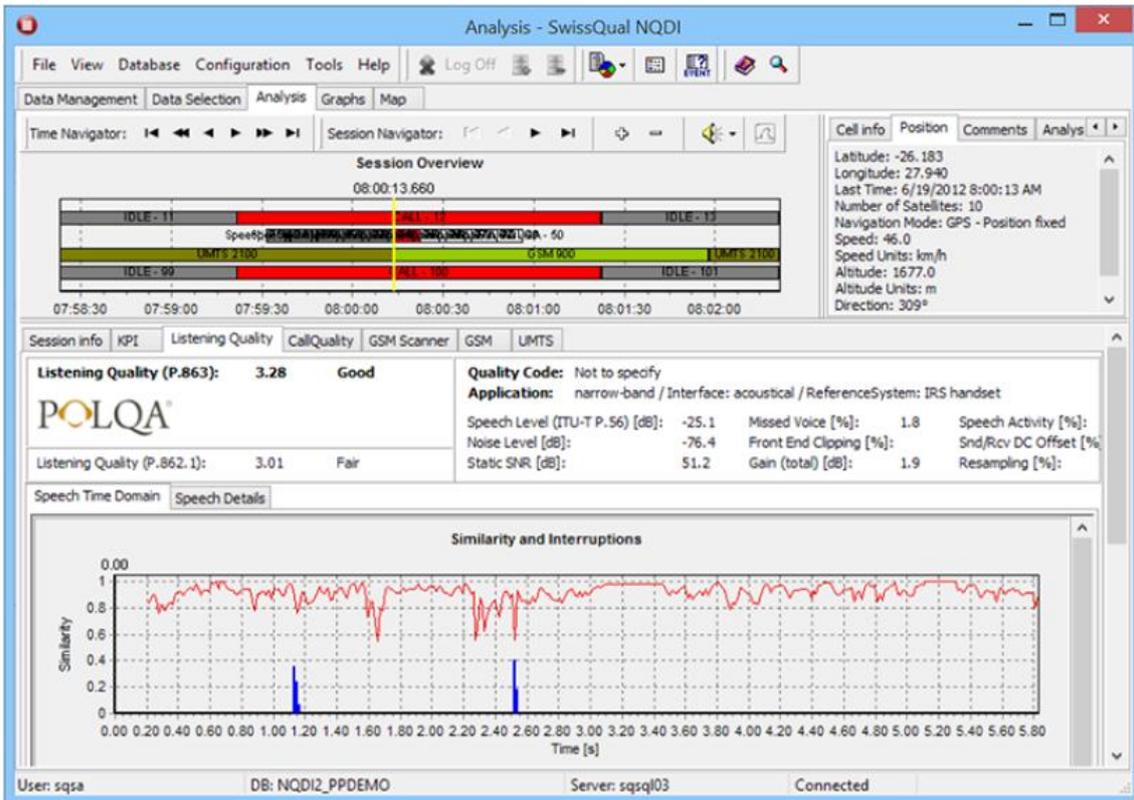


Figura 6.41 Pestaña Analysis – Panel de resultados

6.2.3.4 Graphs, Map y Report

Además de las tres pestañas principales ya descritas, NQDI cuenta con otras herramientas o funciones de interés, como son Graphs, Maps y Reports.

La herramienta Graphs se utiliza para configurar un diagrama de dispersión para mostrar los valores de dos variables para un conjunto de datos.

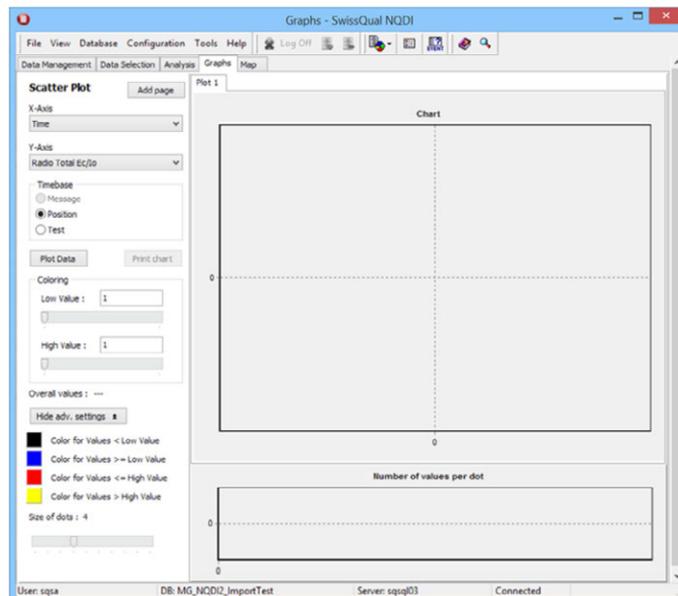


Figura 6.42 Pantalla inicial de la pestaña Graphs

Medios humanos y técnicos

La herramienta Map permite representar diferentes valores en un mapa. Para ello, es necesario tener instalado en el sistema el software de creación de mapas MapInfo, en el que se apoya NQDI para visualizar y analizar datos en relación con su ubicación.

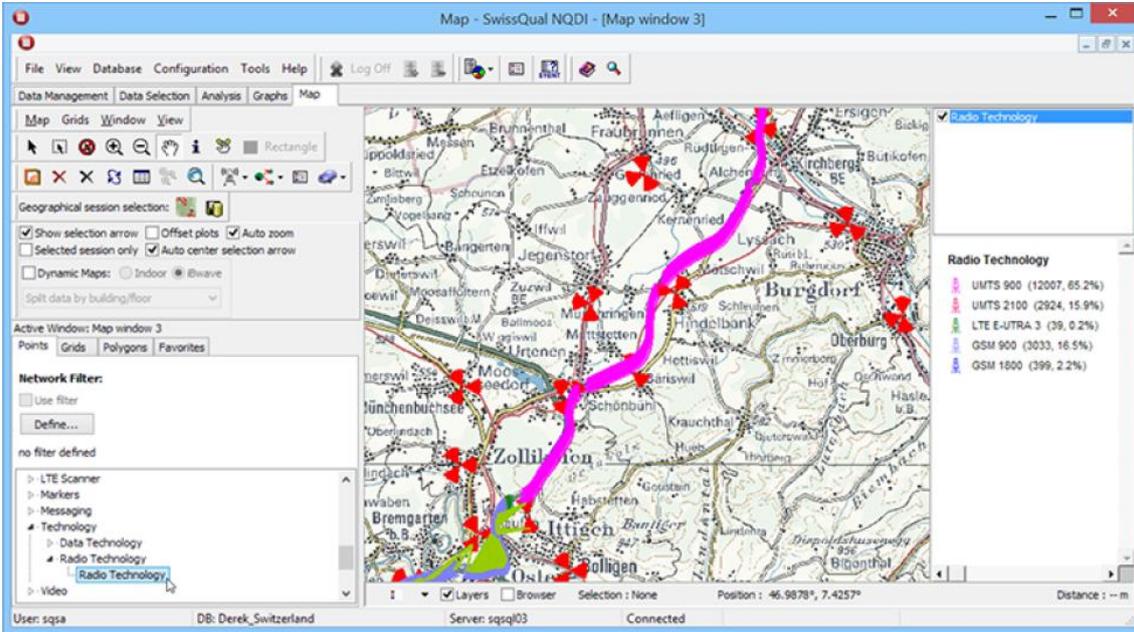


Figura 6.43 Herramienta Map

Por último, se debe mencionar una utilidad de NQDI como es la generación de informes a partir de una selección de datos.

Para crear un informe, se debe hacer clic en el icono Report  y seleccionar uno de los informes que aparecen en el menú.

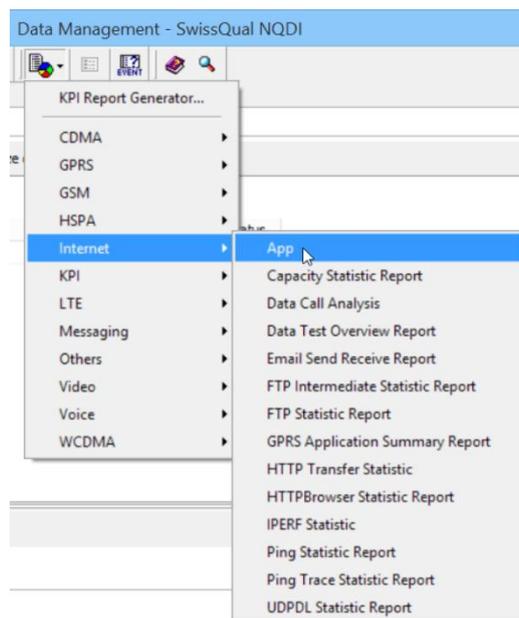


Figura 6.44 Selección de informe

Evaluación comparativa de redes móviles

A continuación, el informe se genera en segundo plano como un subproceso de fondo. Tan pronto como termine, se mostrará el informe.

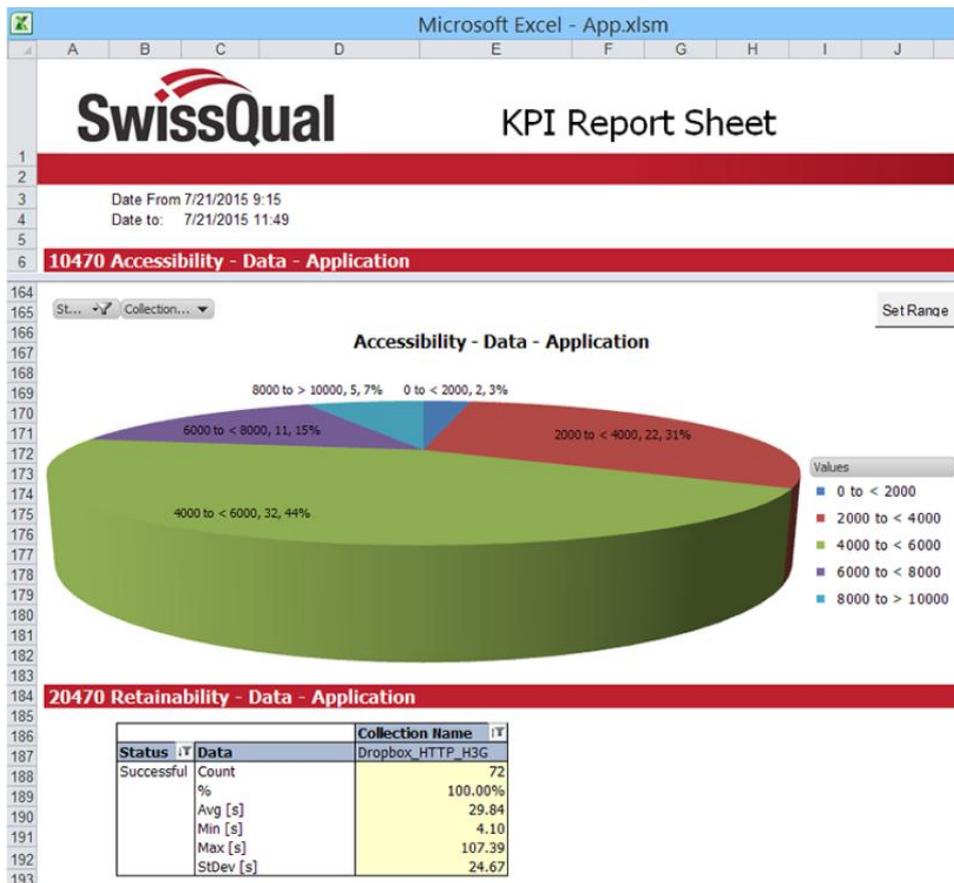


Figura 6.45 Ejemplo de informe generado

7 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN COMPARATIVA

A la hora de encargar un proyecto de benchmarking, cada cliente, por ejemplo, un operador de telefonía móvil, tiene sus propias preferencias sobre cómo quiere que se realicen las medidas. Esto afecta principalmente a aspectos como los escenarios en los que desea que se tomar medias, las tecnologías a analizar o los tipos de pruebas a realizar. Y, por tanto, afectará también a la futura planificación de las medidas, que se realizarán basándose en ello.

En el capítulo anterior, se expusieron algunas de las herramientas que existen en el mercado para la realización de este tipo de proyectos, en particular las del fabricante Swissqual. El propósito del presente capítulo es definir los requerimientos en torno a la ejecución de campañas de evaluación comparativa. Y para ello, se van a utilizar como modelo de ejemplo las especificaciones del operador Vodafone para la realización de un benchmarking de redes móviles a nivel nacional [22].

Al tratarse de una empresa con presencia en muchos países, Vodafone intenta aplicar la misma metodología en todos los mercados, de manera que pueda sacar una fotografía completa del estado o competitividad de su red móvil a nivel internacional, desde un enfoque común. Normalmente, dicha fotografía se saca a lo largo de un año, tras lo cual se establecen los objetivos para el año siguiente, repitiéndose de nuevo el proceso.

El objetivo es asegurar una metodología consistente y eficiente a través de la cual obtener unos resultados que permitan identificar y analizar posibles conflictos en la red, con el fin de desencadenar actividades de mejora, así como para obtener conocimientos competitivos sobre el comportamiento del resto de operadores.

Además, se pretende que la metodología sea válida para cualquier fabricante de equipos de prueba, centrándose en definiciones y requisitos generales.

7.1 Escenarios de medidas

Los escenarios principales de medidas de drive test que establece Vodafone en un proyecto de evaluación comparativa a nivel nacional se dividen en tres grupos principales: ciudades, transporte y lugares de concentración de usuarios.

Dentro de la categoría de ciudades se puede distinguir entre el grupo que forman las principales ciudades del país, otro formado por ciudades secundarias, más pequeñas que las anteriores en términos de habitantes pero que reúnen un peso específico de la población, otro grupo de ciudades que complementan a los dos grupos anteriores, y las áreas turísticas. Más adelante se describirán los requisitos para ser encuadradas en uno u otro grupo.

Para la categoría de transporte se toman medidas en las principales autovías del país, las principales líneas de ferrocarril y carreteras convencionales que unan varios núcleos de población.

Por último, los principales lugares de concentración de usuarios a medir pueden ser los principales aeropuertos del país, las principales estaciones de ferrocarril o los estadios de fútbol más importantes.

Para todos los escenarios que son objeto de medida se deben realizar pruebas de servicios de voz y de datos en paralelo, siendo ejecutadas dichas pruebas al mismo tiempo. Por el contrario, en el caso de que se requieran medidas en diferentes tecnologías, 3G y 4G, éstas no se evaluarán a la vez, es decir, deberán ser medidas en tandas distintas sin coincidir en el tiempo.

El número de veces que se sea necesario medir una misma entidad, de cualquiera de los escenarios citados, dependerá de los criterios del cliente, así como también la época del año en la que desee realizar las medidas. Los operadores desean tener varias medidas de una misma entidad a lo largo de un periodo de tiempo, por ejemplo, un año, para poder comprobar el impacto de posibles mejoras que hayan introducido en la red, así como para estar al tanto de los avances de sus competidores.

Las mediciones se realizan por defecto de lunes a viernes (días laborables), mientras que los sábados se permiten en caso de necesidad para otorgar más flexibilidad. La ventana de tiempo de medición diaria excluye las horas nocturnas, debiendo asegurarse que las horas de mayor uso de los servicios de voz y datos estén incluidas.

La planificación de la medida de los emplazamientos es un arduo trabajo, ya que una vez se dispone de un número determinado de equipos hardware y de personal técnico, se debe intentar tener involucrado durante el mayor tiempo posible el 100% de los recursos. Además, se debe optimizar el tiempo destinado a las medidas, intentando minimizar el impacto del tiempo de desplazamiento de los técnicos hacia los distintos escenarios. Esta optimización se consigue agrupando varios objetivos cercanos geográficamente, o que sean de obligado paso. Por ejemplo, si se debe medir una carretera nacional, se aprovecha el paso por una ciudad que sea también objetivo para proceder a su medida, o si se debe medir una línea de alta velocidad, se aprovecha para medir las estaciones de ferrocarril.

7.1.1 Ciudades

La selección de ciudades se basa en prioridades comerciales y de inversión, así como en su distribución geográfica, beneficiando a aquellas con una distribución más homogénea de la población.

Las medidas se realizan en movimiento, usando un vehículo de drive test, con un equipo como el Diversity Benchmarker descrito en el capítulo anterior, cubriendo

todas las áreas urbanizadas de las ciudades. Las pruebas de voz y de datos se ejecutan al mismo tiempo y en las mismas rutas, de forma que la cantidad de datos recopilados para ambas pruebas esté relacionada con la duración del recorrido de prueba.

El número total de ciudades a medir entre ciudades principales y secundarias debe ser mayor que diez, lo que dará lugar a una buena muestra de la población. En España, las diez primeras ciudades por población concentran ya el 20% de la población total del país.

Por lo general, la extensión geográfica de una ciudad es mucho mayor que la urbanizada, por lo que es importante identificar para cada ciudad cuán amplio es el subconjunto de territorio a considerar para la prueba.

En la figura 7.1 se puede distinguir entre los límites políticos (azul) de la ciudad de Roma y las principales zonas urbanizadas (verde). Las rutas de prueba cubren alrededor del 66% de la red urbanizada.

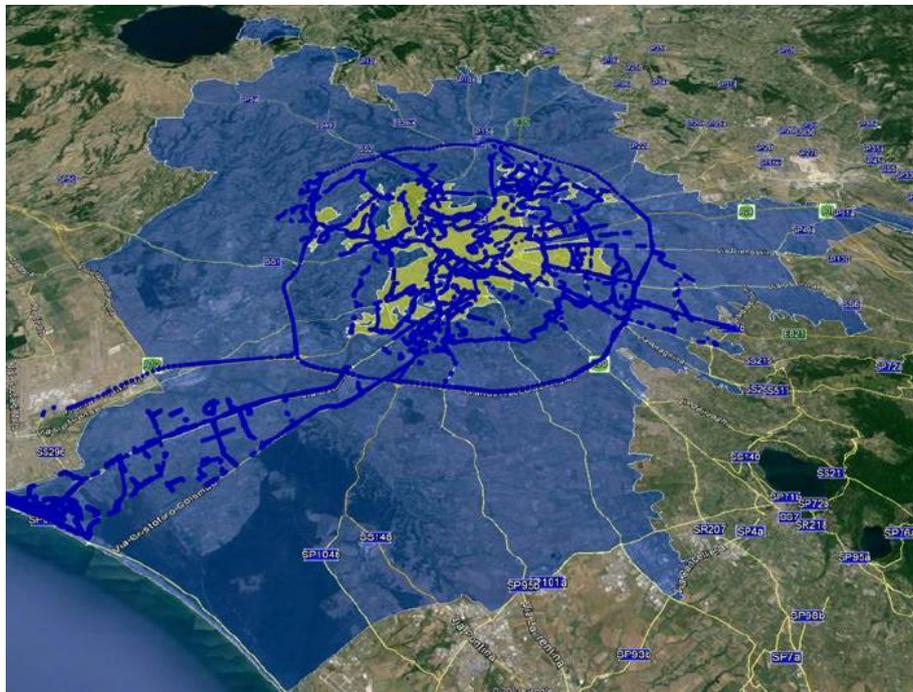


Figura 7.1 Ejemplo de límites políticos y zonas urbanizadas

Ciudades principales

Las ciudades principales se seleccionan de aquellas ciudades relevantes que cubran al menos el 15% de la población nacional. Para España, las seis primeras ciudades por población (Madrid, Barcelona, Valencia, Sevilla, Zaragoza y Málaga) cubren este porcentaje.

Para garantizar un enfoque de muestreo homogéneo con relevancia estadística se establecen tres requisitos principales:

Evaluación comparativa de redes móviles

1. El porcentaje mínimo de muestra urbanizada debe superar el 50 %, es decir, se debe cubrir durante las medidas más del 50 % del territorio urbanizado en una ciudad.

2. El número mínimo de llamadas (para las pruebas de voz) por km² muestreado debe ser mayor que 10.

3. El número mínimo de intentos de llamada por ciudad debe ser igual o mayor a 500.

Al realizarse las pruebas de datos en paralelo con las de voz, el volumen de datos recogidos para las pruebas de datos será proporcional al de las pruebas de voz.

Ciudades secundarias

Las ciudades secundarias se definirán como la selección de ciudades que cubran al menos un 5% adicional de la población nacional respecto de las ciudades principales.

Los dos requisitos principales que deben recoger las medidas son:

1. El porcentaje mínimo de muestra urbanizada debe superar el 70%.

2. El número mínimo de llamadas (para las pruebas de voz) por km² muestreado debe ser mayor que 10.



Figura 7.2 Ejemplo de área muestreada para una ciudad secundaria

Ciudades complementarias

Las ciudades complementarias tienen como objetivo un 8% de población adicional al ya recogido anteriormente (20%). Las ciudades deben ser seleccionadas de acuerdo a su clasificación en términos de población y a las prioridades comerciales.

Se adopta la misma metodología prevista para ciudades principales o secundarias para garantizar la comparabilidad de los resultados.

El número de pruebas por ciudad podría ser menor en comparación con las muestras de ciudades principales/secundarias, pero se requieren un mínimo de 120 muestras de voz para cada ciudad complementaria.

Áreas turísticas

Las localizaciones turísticas son aquellas afectadas por un crecimiento rápido del tráfico de usuarios, llamado factor de la estacionalidad, durante determinadas épocas del año. Podemos distinguir entre temporadas de verano e invierno dependiendo de en qué parte del año tiene relevancia este fenómeno para una determinada área.

En el caso de que contemos con varios posibles escenarios relevantes dispersos, podremos agruparlos en un área geográfica en torno a una localización principal de referencia. Cada agrupación será medida durante su temporada alta de población.

El número mínimo áreas turísticas a medir será igual a diez, teniendo libertad de definir un panel más amplio según necesidades. El patrón de medida será exactamente igual al reflejado en el resto de ciudades.

El volumen de muestras para un área se acordará en base a la extensión geográfica específica. En presencia de áreas urbanizadas se aplicarán los criterios de muestreo de ciudades secundarias.

7.1.2 Transporte

Como se ha comentado anteriormente, este tipo de escenario está formado por las principales autovías del país, líneas de ferrocarril y carreteras convencionales que unen varios núcleos de población.

La principal diferencia entre ellos a la hora de tomar medidas es que mientras las autopistas y carreteras se miden desde el vehículo de pruebas, las medidas a tomar en ferrocarriles se deben realizar con el equipo para medidas de interior, como el QualiPoc Freerider, que fue descrito en el capítulo anterior.

En el caso de las ciudades se establecía un número mínimo de muestras (intentos de llamada en el caso de las pruebas de voz) a obtener. Este número de muestras se consigue realizando un mallado de la ciudad más o menos exhaustivo en función del requerimiento. Para la medida de las entidades de transporte simplemente podremos recorrer dichas entidades de principio a fin, obteniendo mayor o menor número de muestras en función de la velocidad a la que nos desplazamos. Por tanto, en caso de requerir más datos solo queda repetir la medida de una misma entidad con mayor frecuencia a lo largo del año.

Autovías

Se deben identificar las principales autopistas del país. En el caso de las autovías españolas, las seis autovías que parten desde Madrid (A1-A6) y la autovía del Mediterráneo (A7) son las de mayor volumen de usuarios a nivel nacional, además de cubrir geográficamente buena parte de la península.

Ferrocarriles

Igualmente se deben identificar las principales líneas de ferrocarril del país. Dentro del ferrocarril, se presta especial importancia a las líneas de alta velocidad (AVE). En España, tenemos cuatro posibles líneas de alta velocidad para ser medidas que parten desde Madrid. Una con destino a Cataluña, otra a Levante (con destinos finales Valencia o Alicante), otra más a Andalucía (teniendo como destinos finales Sevilla o Málaga), y por último una línea con destino a Castilla y León cuyo destino final es León.

La medida de los ferrocarriles podría considerarse fuera de las entidades a medir únicamente por razones de seguridad, al no conseguir los permisos necesarios, o por motivos empresariales, debido al coste que supone su medida.

Carreteras convencionales

El objeto de medida son rutas de interconexión que no sean autovías, no pertenecientes a entornos urbanos, siendo posible cruzar y medir poblaciones durante el recorrido, por ejemplo, lugares turísticos.

Se pueden tomar como punto de partida las principales carreteras nacionales, dando una buena representación geográfica de cada una de las regiones del país, con una medida equivalente en cada provincia/región de acuerdo con la extensión de la carretera y las poblaciones de las ciudades interconectadas. Se pueden tomar como ejemplo las rutas principales utilizadas por las empresas de viajes en autocar.

Debido a la gran cantidad de carreteras que pueden ser objetivo de esta medida, éstas podrán ir rotando con el fin de maximizar el territorio muestreado, aunque un conjunto de carreteras nacionales podría mantenerse como referencia si es importante por razones comerciales.

7.1.3 Lugares de concentración

Por último, son objeto de este tipo de proyectos los puntos de concentración de usuarios. Por lugares de concentración nos referimos a ubicaciones específicas donde los clientes se acumulan con alta densidad de presencia. En tales lugares, las medidas deben hacerse a pie, con el equipo para medidas de interior.

Este tipo de lugares podrían clasificarse como:

- Aeropuertos.
- Estaciones de tren.
- Estadios.
- Recintos de conciertos.
- Centros Comerciales.
- Campus universitarios.
- Otros.



Figura 7.3 Ejemplos de lugares de concentración

El número mínimo de lugares de concentración a medir debe ser igual a veinte.

Vodafone toma medidas para los tres primeros puntos anteriormente citados: aeropuertos, estaciones de ferrocarril y estadios de fútbol.

Debido a la particular logística que conlleva medir este tipo de emplazamientos (permisos, fechas, zonas de acceso restringido, etc.), y las diferentes extensiones espaciales de estos sitios, se debe asignar un tiempo de medida apropiado a cada lugar de concentración. Se debe identificar a priori los principales puntos de interés dentro del recinto a medir, dotándoles de mayor protagonismo durante las medidas.

En total, la duración esperada de una medida de un lugar de concentración de usuarios varía entre dos y seis horas, para lo que se espera recoger un número de muestras suficiente.

7.2 Ámbito de las medidas

El alcance de una auditoría, o evaluación comparativa, es evaluar la experiencia como usuario final de los clientes, así como la capacidad de la red utilizando diferentes servicios en diferentes entornos y ubicaciones.

El objetivo general es obtener una imagen sólida y representativa del mercado, refrescándola en el tiempo con la agregación de cada nueva medida.

En el apartado anterior ya hemos comentado los escenarios que son objeto de este tipo de estudio, ahora nos vamos a centrar en describir aspectos como las redes a medir, las tecnologías utilizadas, así como las pruebas que se realizan para analizar los servicios de voz y datos.

7.2.1 Redes bajo prueba

Las redes móviles a analizar serán las de los principales operadores del mercado español que proporcionan los servicios bajo análisis en este proyecto a sus clientes.

Los cuatro operadores con infraestructura propia desplegada en la mayor parte del territorio español son Vodafone, Movistar, Orange y Yoigo. Estos serán los operadores a comparar.



Figura 7.4 Operadores bajo prueba

De estos cuatro operadores, tres de ellos, Movistar, Vodafone y Orange, operan sólo dentro de su propia red móvil desplegada. El cuarto operador, Yoigo, hacía uso hasta el año pasado de la red de Movistar para las tecnologías 2G y 3G en aquellos puntos donde no tuviera red propia; sin embargo, tenía vetado el acceso a la red 4G de Movistar, perdiendo así cobertura respecto a los demás operadores al depender únicamente de sus equipos instalados para esta tecnología.

A partir de 2017, Yoigo ha alcanzado un acuerdo con Orange para poder acceder a su red en cualquier tecnología, incluido 4G, en aquellos puntos donde no disponga de cobertura con su red propia, que está previsto que esté totalmente desplegada en 2019.

7.2.2 Servicios y tecnologías

Los cuatro operadores móviles citados anteriormente cuentan como hemos dicho con red móvil propia y ofrecen servicios de voz y de datos. En el presente estudio se dividen las pruebas según sean para voz o datos, y también se establece una diferencia en la tecnología bajo la que son realizadas.

7.2.2.1 Servicios de voz

Dentro de los servicios de voz, se realizan pruebas de llamadas de móvil a móvil, o de móvil a fijo y viceversa. Estas pruebas de voz, pueden realizarse en tecnología 3G como preferida, que comprende el uso de 2G en caso de ser necesario por razones de cobertura, o en tecnología 4G como preferida, que comprende obligatoriamente el retorno a redes 3G y 2G al ser necesario el uso de CSFB para la realización de las llamadas. De forma excepcional, podrían realizarse pruebas de voz usando VoLTE, variante para realizar llamadas en 4G, gracias a la cual los móviles pueden permanecer todo el tiempo conectados a esa tecnología.

El siguiente esquema recoge estos casos:

- Tecnologías:
 - 3G/2G
 - 4G/3G/2G (CSFB)
 - 4G VoLTE
- Pruebas:
 - Llamadas de móvil a móvil
 - Llamadas de móvil a fijo / fijo a móvil

En España, el servicio de VoLTE sólo está disponible en los operadores Vodafone y Orange. Movistar tiene previsto su lanzamiento este año y Yoigo no ha dado aún información al respecto. Además, el uso de VoLTE sólo puede darse de momento entre dos móviles del mismo operador y compatibles con esta tecnología. Se espera que en un futuro cercano puedan realizarse llamadas VoLTE entre distintos operadores, y que aumente el número de modelos compatibles con esta tecnología. Por estos motivos las pruebas de VoLTE se encuentran en fase experimental y no forman parte aún de un proyecto de evaluación comparativa.

7.2.2.2 Servicios de datos

Para analizar el comportamiento de los servicios de datos se realiza una batería de pruebas que den una idea aproximada tanto de la experiencia de usuario como de la capacidad de la red de datos del operador. Al igual que para el servicio de voz, las pruebas de datos pueden hacerse en 3G como tecnología preferida, que comprende el uso de 2G en caso de ser necesario, o en tecnología 4G como preferida, que comprende también el uso de 3G y 2G. Dentro de la tecnología 4G, existe la variante 4G con CA (Carrier Aggregation), que aumenta la velocidad del tráfico de datos.

El siguiente esquema recoge lo mencionado:

- Tecnologías:
 - 3G/2G
 - 4G/3G/2G
 - 4G CA (Carrier Aggregation) /4G/3G/2G
- Pruebas:
 - Descarga vía HTTP (3MB)
 - Subida vía HTTP (1MB)
 - Navegación web (test mobile Kepler + test Kepler)
 - Visionado de Youtube 30" (calidad SD + HD)

ICMP PING

Descarga durante 10" vía HTTP

Subida durante 10" vía HTTP

La tecnología de agregación de portadora (CA) es una de las características principales del LTE-Advance o 4G+, que supone una evolución de la red móvil desde el LTE/4G convencional. En nuestro país esta tecnología está implantada de momento sólo en las principales ciudades y es ofrecida por todos los operadores menos Yoigo, que sólo dispone de una banda de frecuencias para LTE (1800 MHz). Por otro lado, para poder usar CA se requiere un dispositivo compatible con esta tecnología, debiendo tener una especificación de LTE Categoría 6 o superior, capaz de alcanzar una velocidad de descarga de 300 Mbps.

Podemos comprobar el uso de CA en una medición con el software NQDI (ver figura 7.5), que creará una pestaña adicional para la componente portadora secundaria (SCC - Secondary Component Carrier) en la pestaña LTE Radio, además de la portadora primaria (PCC – Primary Component Carrier), siempre presente durante una conexión a LTE.

Session info	KPI	Video	LTE				
Quality of Service		Applied Forcing		Handover History			
RRC Measurements		PDCP downlink		PDCP uplink			
LTE Radio	LTE Downlink	LTE Uplink	RLC/MAC downlink	RLC/MAC uplink	Access		
EMM STATE					12:49:45.959		
State:		Registered					
Sub-state:		Normal service					
PLMNID:		228-01					
PCC	SCC 1						
LTE RADIO SCC 1 (LTE E-UTRA 20)					12:49:45.937		
PCI	188		UL Freq [MHz]	847			
UL EARFCN	24300		DL Freq [MHz]	806			
DL EARFCN	6300						
RSRP [dBm]:		-70.76		RSSI [dBm]:			
RSRQ [dB]:		-13.84		-39.77			
Antenna 1			Antenna 2				
RSRP Rx[0] [dBm]:		-70.76		RSRP Rx[1] [dBm]:			
RSRQ Rx[0] [dB]:		-14.01		RSRQ Rx[1] [dB]:			
RSSI Rx[0] [dBm]:		-39.77		RSSI Rx[1] [dBm]:			
SINR Rx[0] [dB]:		5.84		SINR Rx[1] [dB]:			
				-78.93			
				-14.21			
				-47.74			
				7.35			
SERVING CELL MONITOR (PCC)					12:49:45.948		
Duplex Mode:	FDD		E-UTRA operating band:	3			
UL Bandwidth:	20 MHz		DL Bandwidth:	20 MHz			
Access:	Full		Detected Tx Antennas:	2			
TAC:	1212		PCI:	87			
QRxLevMin [dB]:	-124		SRxLev [dB]:	20			
PMax [dBm]:	23		MaxTxPower [dBm]:	23			
SIntraSearch [dB]:	62		SNonIntraSearch [dB]:	14			
NEIGHBOR DETAILS (PCC and SCC)					Count: 2		
Carrier	EARFCN	PCI	RSRP	RSRQ	RSSI	CP Type	Antennas
PCell	1301	87	-83.16	-12.38	-63.02	Normal	2
SCell 1	6300	187	-69.13	-11.41	-49.84	Normal	2

Figura 7.5 Análisis de CA en NQDI

7.2.3 Configuración del hardware/software

El tipo de prueba de voz dependerá del escenario a medir. Para medidas de cobertura exterior, como es el caso de las ciudades o las autovías y carreteras, se opta por evaluar los servicios de voz mediante llamadas móvil a móvil, aprovechando la mayor capacidad de dispositivos móviles que pueden albergar los vehículos de drive test y la modularidad del hardware utilizado.

Para las ciudades principales y secundarias se utilizan dos coches de medidas con el fin de realizar un mallado más exhaustivo en un menor tiempo. Al contar con dos coches, las llamadas de móvil a móvil se realizan desde un coche a otro. El teléfono de un operador de la parte A llama al teléfono del mismo operador de la parte B y viceversa. Cada vehículo cuenta con cuatro teléfonos de voz, uno para cada operador bajo prueba. Un ejemplo de esta configuración con equipos Swissqual Diversity Benchmarker II puede verse en la figura 7.6.

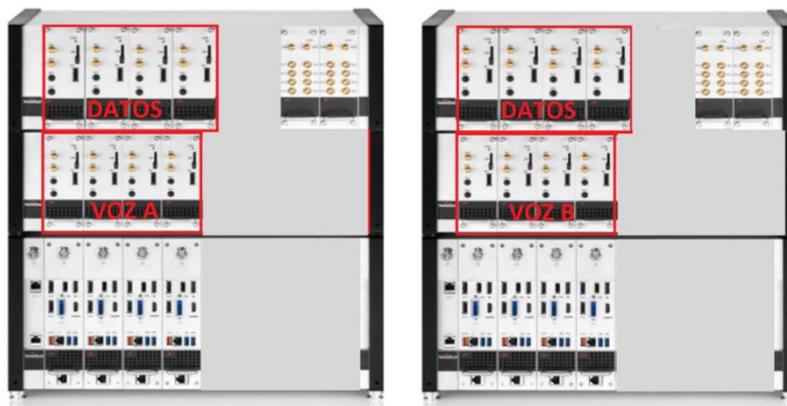


Figura 7.6 Configuración para llamadas de móvil a móvil desde coches distintos

Para la medida de autovías, carreteras y localidades secundarias o áreas turísticas, se utiliza un único coche de medidas que cuenta con ocho teléfonos de voz, que incluyen los cuatro de la parte A y los cuatro de la parte B, realizando entonces las llamadas de móvil a móvil entre ellos, dentro del mismo vehículo. Al igual que en el caso anterior, el teléfono de un operador de la parte A llama a su homólogo de la parte B y viceversa. Este tipo de instalación puede verse en la figura 7.7.

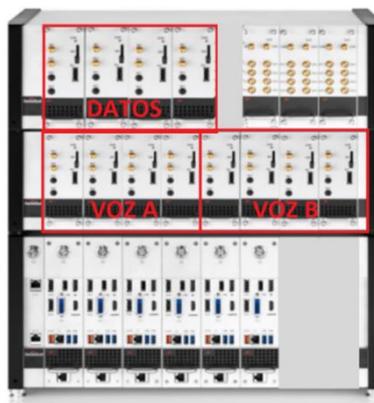


Figura 7.7 Configuración para llamadas de móvil a móvil desde el mismo coche

Evaluación comparativa de redes móviles

En el caso de escenarios de cobertura interior, como son las líneas de ferrocarril y los lugares de concentración, se opta por evaluar la voz mediante llamadas de móvil a fijo y viceversa, reduciendo así el número de dispositivos móviles necesarios para la prueba de voz, que siempre será igual a cuatro, uno por operador. Esto facilita la labor del técnico al tener un menor número de dispositivos a controlar. Un ejemplo de esta configuración con el equipo Swissqual QualiPoc Freerider II puede verse en la figura 7.8.



Figura 7.8 Configuración para llamadas móvil a fijo

Mientras a la hora de realizar la medida de la voz el escenario influye en el tipo de prueba a realizar, en las pruebas de datos influye además el tipo de tecnología.

Así, en las ciudades principales y secundarias uno de los dos coches medirá datos 4G con agregación de portadora (CA), aprovechando que esta tecnología ya está implantada para la mayoría de los operadores en estos escenarios. Para hacer uso de esta tecnología, será necesario instalar móviles con especificación LTE Categoría 6 o superior en uno de los dos coches. La figura 7.9 muestra la configuración de los equipos para este caso.



Figura 7.9 Configuración para medida de datos 4G con CA

En el resto de escenarios, sean de cobertura exterior o interior, será suficiente la medida de 4G estándar, para este cometido se utilizan teléfonos con especificación LTE Categoría 4 (ver figura 7.10).

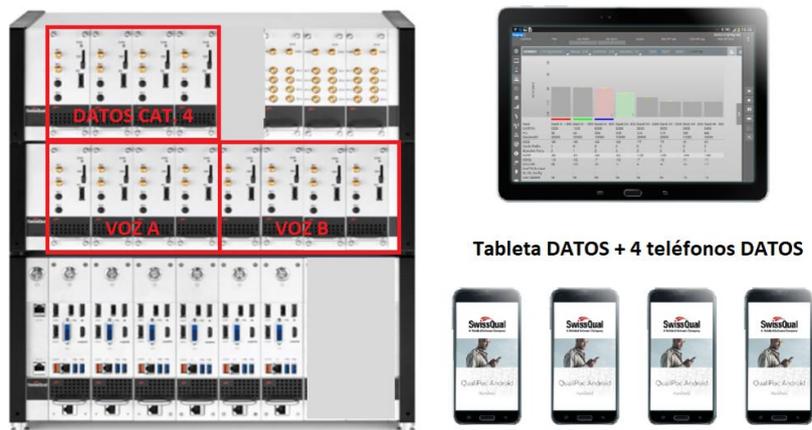


Figura 7.10 Configuración para medida de datos 4G

Cuando se realiza una medida en 4G, el móvil actúa libremente escogiendo la mejor red posible. Si dispone de buena cobertura 4G escogerá esta, en caso de no disponer de una buena calidad, buscará redes 3G, y en caso de no conseguir buena cobertura tampoco de esta última, buscará redes 2G disponibles. Obviamente, en las ciudades principales la cobertura 4G es prácticamente del 100%, pero si nos alejamos a entornos rurales se hará mayor uso del 3G e incluso del 2G. Para los operadores es un dato importante conocer el porcentaje de uso de las tecnologías durante las pruebas.

En el caso de requerir una medida en 3G, debemos forzar los dispositivos a conectarse solamente a esa red o inferior, 2G. Esto se realiza a nivel de software a la hora de configurar los equipos de prueba, que permiten el forzado a cualquier tecnología o combinación de ellas, e incluso al uso de una determinada banda de frecuencias dentro de una tecnología. En las figuras 7.11 y 7.12 se recoge esta opción tanto en NQView, para el equipo Diversity, como en el software QualiPoc.

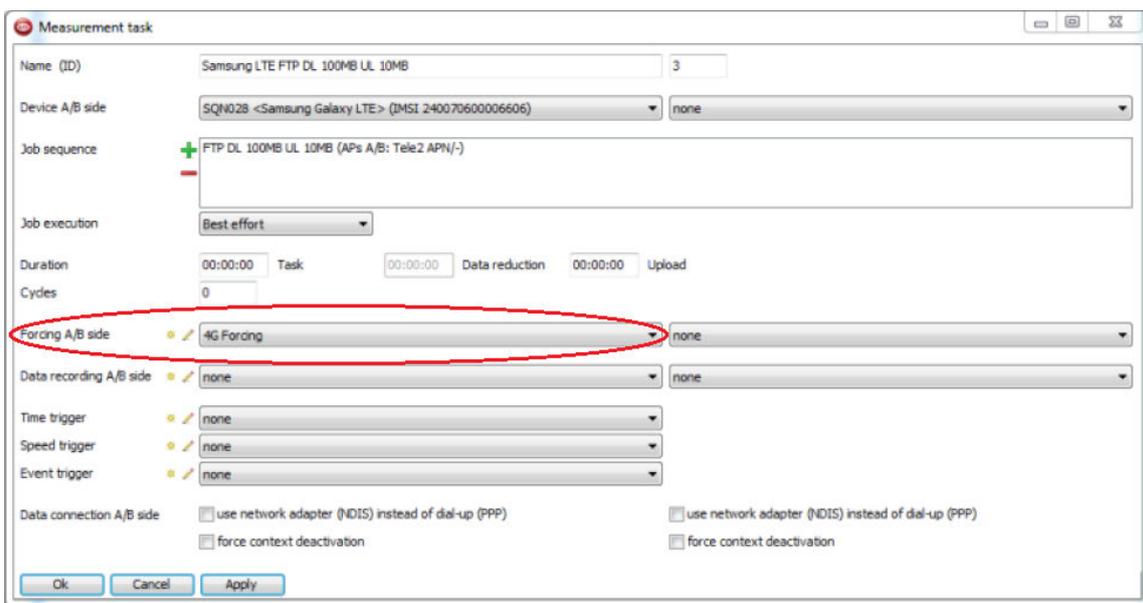


Figura 7.11 Forzado de tecnología en NQView

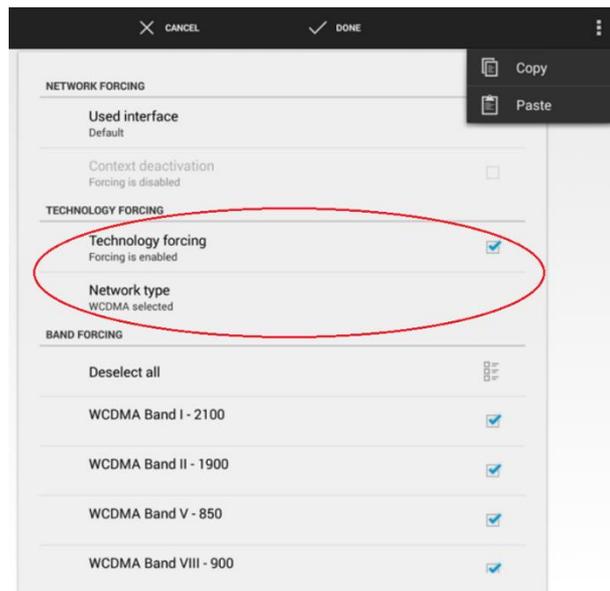


Figura 7.12 Forzado de tecnología en QualiPoc

7.3 Configuración de las pruebas

En el apartado anterior ya fueron introducidas brevemente las pruebas que se realizan para analizar el comportamiento de los servicios de voz y datos de los operadores.

Estas pruebas tienen dos objetivos principales. El primer objetivo es tratar de simular de la forma más cercana posible el uso normal que hace de un teléfono móvil un usuario. El segundo es que, tras su ejecución, se recoja una información valiosa que sirva para dar una idea lo más aproximada posible tanto del desempeño de las redes móviles como de la experiencia a nivel de usuario.

Para el primer objetivo, las pruebas de voz realizan llamadas entre móviles o entre un dispositivo móvil y una línea perteneciente a la red fija, que reflejan las dos posibilidades que tenemos en nuestro día a día. Para las pruebas de datos, se lanza una secuencia de varios test que son ejecutados uno tras otro consecutivamente, y que al igual que en el caso de las pruebas de voz, tratan de simular el uso de un teléfono móvil hoy en día, mediante la descarga y subida de archivos, la navegación por páginas web o el visionado de videos en YouTube.

Una vez realizadas las medidas, se procede al análisis de resultados, extrayendo una serie de indicadores de rendimiento (KPI) que den una imagen lo más fiel posible de la calidad de servicio ofrecida por cada operador.

Se va a describir cada una de las pruebas o test que se realizan y las peculiaridades que presentan.

7.3.1 Prueba de voz

A continuación, se representa de forma esquematizada el patrón de prueba que se utiliza para las pruebas de voz, ya sean móvil a fijo o móvil a móvil.

TEST PATTERN									
MOC:MTC	Call duration	Idle	Voice only / MultiRab	MRratio	Mail size for MR	Speech sample	Speech sample duration	Speech quality algorithm	Fast Dormancy
1:1	120 sec	60 sec	MultiRab	1:4	10 kbytes	English	5 sec	PolcaNB / WB	On

Figura 7.13 Patrón para prueba de voz

Vamos a ir comentando cada una de las especificaciones que contiene el patrón de prueba.

- **MOC:MTC -> 1:1**

El termino MOC (Mobile Originated Call) hace referencia a una llamada originada desde un terminal móvil hacia un número de la red fija, como por ejemplo una línea RDSI.

El termino MTC (Mobile Terminated Call) hace referencia a una llamada originada desde una línea de la red fija que tiene como destino a un terminal móvil.

La relación 1:1 indica que, a cada llamada de prueba originada desde la parte móvil a la red fija (MOC), le seguirá una llamada desde la red fija al terminal móvil (MTC). Esto comprendería un ciclo de llamadas, que daría paso a un segundo ciclo que empezaría de nuevo con una MOC.

En el caso de las llamadas móvil a móvil existen terminales móviles a ambos lados de la conexión. Como vimos en el apartado 7.2.3, para este tipo de prueba existe un terminal de voz de un operador que definimos como parte A de la comunicación, y otro terminal de voz del mismo operador que definimos como parte B. El terminal de voz de la parte A siempre es el encargado de realizar la primera llamada, con destino a la parte B. Esta llamada viene a hacer las veces de la MOC del caso anterior. La siguiente llamada será desde la parte B con destino a la parte A, que representaría la MTC. Al igual que antes, así se completaría un ciclo de llamadas.

- **Tiempo de duración de la llamada (Call Duration): 120 segundos.**

El tiempo de duración de la llamada indica el tiempo durante el cual se intercambian las muestras de voz entre las dos partes.

- **Tiempo de reposo (Idle): 60 segundos.**

Tras los 120 segundos de duración de la llamada, esta se desconecta y se establece un periodo de tiempo sin actividad (Idle) de 60 segundos hasta el establecimiento de una nueva llamada.

El tiempo de duración de la llamada y el tiempo de reposo, o *Idle*, forman conjuntamente un periodo de ventana de llamada de 180 segundos.

Además, al comienzo de una nueva llamada se establece un tiempo de establecimiento de llamada de 20 segundos. Si tras ese periodo de tiempo no se ha conseguido contactar con la otra parte, la llamada se da por fallida.

La configuración de estos tiempos se realiza desde el software de los equipos de medida cuando queremos configurar una prueba de voz. En la figura 7.14 se muestra un ejemplo para NQView.

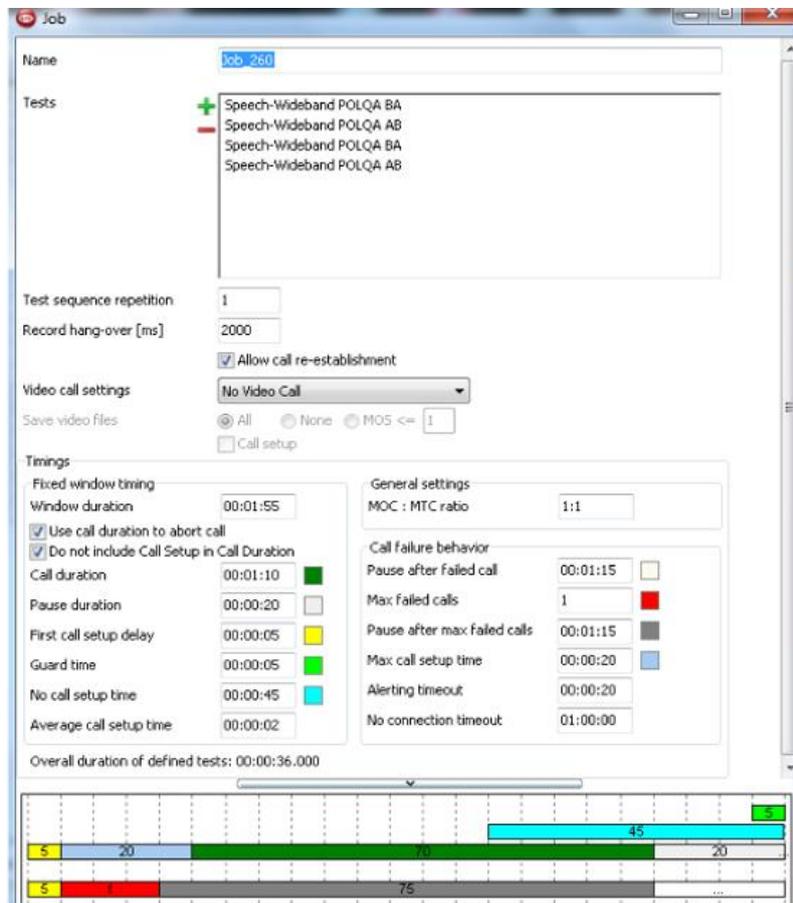


Figura 7.14 Configuración de llamada en NQView

- **MultiRAB**

Se conoce como MultiRAB a la capacidad que tienen los teléfonos móviles de establecer conexiones simultáneas con la red de conmutación de circuitos y la red de conmutación de paquetes. Esto nos da la posibilidad de usar los servicios que ofrecen ambas redes. Por ejemplo, mientras realizamos una llamada con nuestro teléfono

móvil, podemos recibir notificaciones de aplicaciones como pueden ser Gmail, WhatsApp o cualquier otra.

Para simular esta situación y realizar unas pruebas de voz lo más cercanas a la realidad del usuario de un *smartphone*, se inyectará tráfico de datos durante las llamadas. Obviamente, el teléfono debe operar con los datos siempre activados, es decir, con una conexión PDP activa y abierta todo el tiempo.

Se propone el envío de un correo electrónico de un tamaño fijo de 10 kB a la cuenta de correo electrónico del teléfono, parte A de voz para pruebas de móvil a fijo, y ambas partes A y B en la configuración de llamadas móvil a móvil (alternando entre una parte y otra en diferentes llamadas). Cada vez que el cliente de correo electrónico en el teléfono de voz reciba un mensaje nuevo, dicho cliente descargará el encabezado y el cuerpo del correo.

Se aceptan otros enfoques equivalentes al envío de un correo electrónico, como puedan ser pequeños test de datos, siempre que computen un tráfico de datos de aproximadamente 10 kB.

El 25% de las llamadas se deberán ver afectadas (MultiRAB ratio 1:4), y el tráfico de datos se distribuye aleatoriamente sobre la ventana de llamada.

La opción MultiRAB está presente en el software de los equipos de medida, como puede verse en la figura 7.15 para NQView.

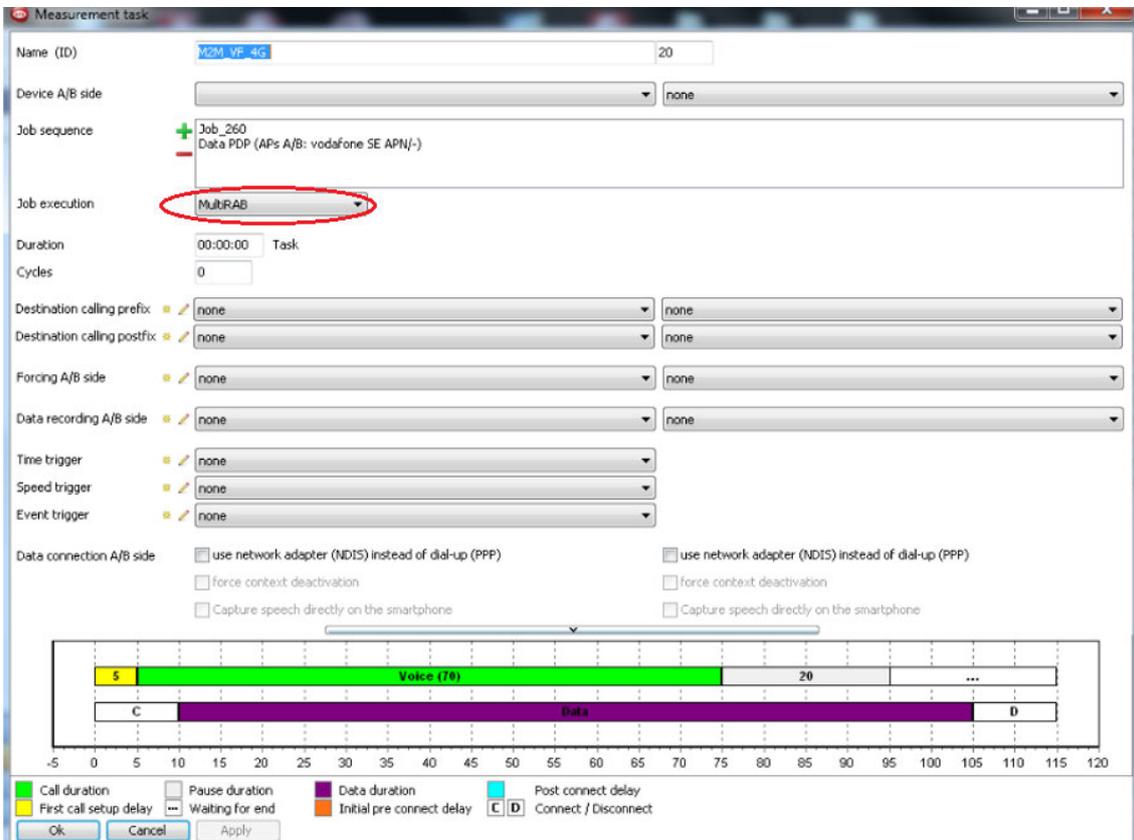


Figura 7.15 Opción MultiRAB en NQView

- Muestra de voz (*Speech Sample*)

La muestra de voz es en inglés y tanto una voz masculina como femenina deben usarse en ella.

Se aceptan muestras de voz con una duración de entre cinco y diez segundos.

Las muestras de voz se intercambiarán alternativamente entre las dos partes en cada llamada, simulando una conversación entre ellas.

Para llamadas entre móvil y fijo y viceversa, se utiliza una muestra de voz de referencia de banda estrecha. La evaluación de la calidad de voz se realizará utilizando el algoritmo POLQA (Perceptual Objective Listening Quality Analysis) de banda estrecha.

En el caso de llamadas móvil a móvil, se utiliza una muestra de voz de súper banda ancha de 14 KHz. La evaluación de la calidad de voz debe realizarse utilizando el algoritmo POLQA de banda ancha.

POLQA es un estándar de la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones), P.863 [23], que cubre un modelo para predecir la calidad del habla mediante el análisis de la señal de voz digital. En la figura 7.16 podemos observar un sencillo esquema de este modelo.

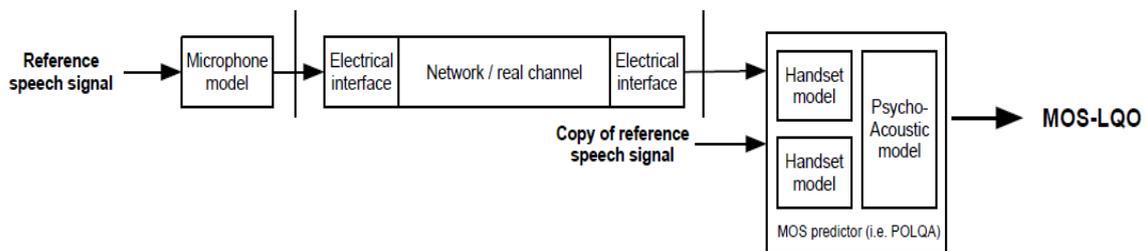


Figura 7.16 Modelo POLQA para evaluación de la calidad de voz

Básicamente, realiza una comparación entre una señal de referencia, que contiene una muestra de voz, y es introducida en un canal de comunicaciones, con la señal que sale del mismo degradada. En función de lo que varíe la muestra de voz de la señal degradada respecto a la de referencia se le asigna un nivel calidad.

Las mediciones de calidad de voz se realizarán tanto en la dirección de enlace ascendente y como de enlace descendente, es decir, en ambos extremos de la comunicación, sean parte fija o móvil.

NQDI tiene implementado el algoritmo POLQA para banda estrecha y banda ancha, gracias a lo cual podemos realizar un análisis completo de la muestra de voz. Se puede ver un ejemplo de dicho análisis en la figura 7.17.

Durante la prueba de llamadas móvil a móvil podría ser difícil tener una clara división de los fallos originados en cada una de las dos partes que intervienen en la llamada (o incluso en la parte del núcleo de red), por lo que se debe investigar la

accesibilidad más detenidamente para ayudar a identificar el lado del dispositivo donde está presente el problema.

En caso de realizar alguna prueba de VoLTE, se utilizará el mismo tipo de muestra y de evaluación de la calidad de voz que en el caso de llamadas móvil a móvil con CSFB.

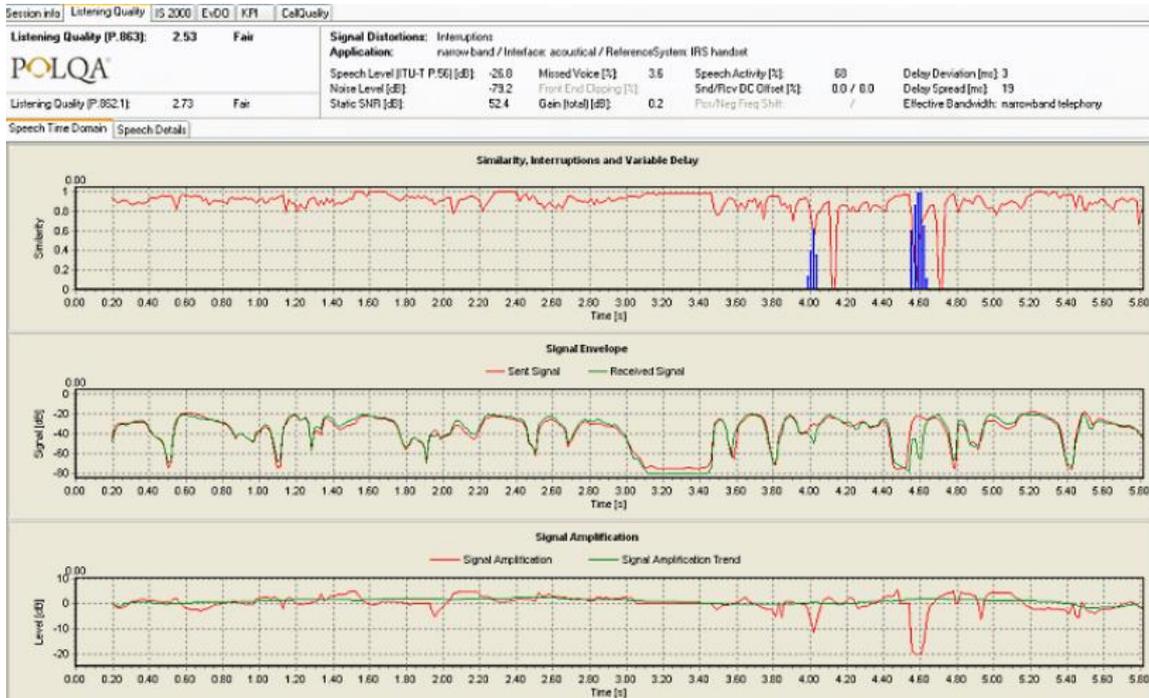


Figura 7.17 Representación de resultados POLQA en NQDI

7.3.2 Prueba de datos

A diferencia de la medición de voz, se utilizará una única prueba para las mediciones de datos en todos los escenarios de la metodología descrita en el presente capítulo.

La figura 7.18 muestra el ciclo de medición de datos, formado por distintos test individuales, ejecutado simultáneamente con las mediciones de voz descritas en la sección anterior.

La mayoría de los test tienen como propósito analizar la calidad del servicio de datos ofrecido por un operador desde el punto de vista de la experiencia del usuario o cliente. Los únicos dos test que inciden principalmente en analizar la capacidad de la red del operador son la descarga o subida de archivos durante un tiempo fijo (10 segundos).

En la columna de la derecha se establece el tiempo límite (timeout) para la realización de cada tipo de test. Si dicho tiempo es alcanzado antes de completar un test, este se da como fallido.

TEST SEQUENCE	ID	JOB DATA P3 SMARTPHONE	MAX DURATION (Timeout) [sec]
PDP Context Activation	0	PDP Activation	150
Payload Ping x5	1	Payload: 5 ping 800 bytes (Interval 100 ms)	5
HTTP Web browsing [mobileKepler 0s]	2	Http Web Browsing (Mobile Kepler [file size 142 kbytes])	15s Connection Timeout + 9s Transfer Timeout
HTTP Web browsing [mobileKepler 30s]	3	Http Web Browsing (Mobile Kepler [file size 142 kbytes])	15s Connection Timeout + 9s Transfer Timeout
Payload Ping x5	4	Payload: 5 ping 800 bytes (Interval 100 ms)	5
HTTP UL 1MB	5	Http Transfer UL [file size 1 MB]	64
Payload Ping x5	6	Payload: 5 ping 800 bytes (Interval 100 ms)	5
HTTP DL 3MB	7	Http Transfer DL [file size 3 MB]	192
Payload Ping x5	8	Payload: 5 ping 800 bytes (Interval 100 ms)	5
ICMP Ping [1/ 5]	9	Ping 32 bytes	1
ICMP Ping [2/ 5]	9	Ping 32 bytes	1
ICMP Ping [3/ 5]	9	Ping 32 bytes	1
ICMP Ping [4/ 5]	9	Ping 32 bytes	1
ICMP Ping [5/ 5]	9	Ping 32 bytes	1
Payload Ping x5	10	Payload: 5 ping 800 bytes (Interval 100 ms)	5
HTTP DL 3MB	11	Http Transfer DL [file size 3 MB]	192
Payload Ping x5	12	Payload: 5 ping 800 bytes (Interval 100 ms)	5
ICMP Ping [1/ 5]	13	Ping 32 bytes	1
ICMP Ping [2/ 5]	13	Ping 32 bytes	1
ICMP Ping [3/ 5]	13	Ping 32 bytes	1
ICMP Ping [4/ 5]	13	Ping 32 bytes	1
ICMP Ping [5/ 5]	13	Ping 32 bytes	1
Payload Ping x5	14	Payload: 5 ping 800 bytes (Interval 100 ms)	5
HTTP UL 1MB	15	Http Transfer UL [file size 1 MB]	64
Payload Ping x5	16	Payload: 5 ping 800 bytes (Interval 100 ms)	5
HTTP Web browsing [Kepler 0s]	17	Http Web Browsing (Kepler [file size 810 kbytes])	15s Connection Timeout + 51s Transfer Timeout
HTTP Web browsing [Kepler 30s]	18	Http Web Browsing (Kepler [file size 810 kbytes])	15s Connection Timeout + 51s Transfer Timeout
Payload Ping x5	19	Payload: 5 ping 800 bytes (Interval 100 ms)	5
HTTP DL 10s	20	Http Transfer Network capability DL [file size 400 MB]	10
Payload Ping x5	21	Payload: 5 ping 800 bytes (Interval 100 ms)	5
HTTP UL 10s	22	Http Transfer Network capability UL [file size 400 MB]	10
Payload Ping x5	23	Payload: 5 ping 800 bytes (Interval 100 ms)	5
YouTube 30 sec SD clip	24	YouTube (duration 30 sec)	45
YouTube 30 sec HD clip	25	YouTube (duration 30 sec)	45
PDP Context De-activation	26	PDP Deactivation	150

Figura 7.18 Ciclo de datos

A continuación, se va a realizar una descripción de cada test [24].

- **Activación de contexto PDP (PDP Context Activation)**

Antes de ejecutar cualquier tipo de test es necesaria la activación de contexto PDP. Este procedimiento establece una sesión de datos y asigna una dirección IP al terminal móvil. A partir de entonces se podrá hacer uso del servicio de datos.

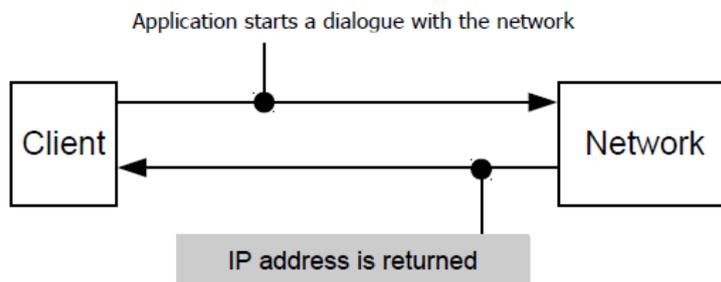


Figura 7.19 Activación de contexto PDP

Se establece un tiempo límite de 150 segundos para la activación de contexto PDP.

- Navegación web vía HTTP (HTTP Web Browsing)

La prueba de navegación web se utiliza para descargar una página web completa utilizando el protocolo HTTP. La prueba se convierte en exitosa cuando se ha descargado la página web completa.

Se utilizan dos páginas web de referencia según el ETSI, Mobile Kepler y Kepler. Ambas pueden ser obtenidas desde el portal de la ETSI.

La página web se solicitará a través de su URL usando resolución por DNS. Se debe usar el navegador por defecto de Android para reflejar la experiencia real del usuario.

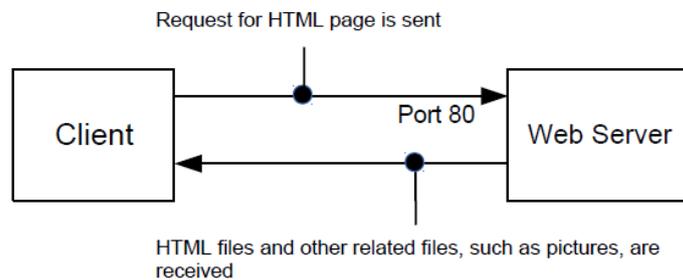


Figura 7.20 Navegación web vía HTTP

Se establecen varios tiempos límite para la navegación web. Por un lado, se establecen 15 segundos para la resolución DNS y otros 15 segundos para conexión con el servidor que aloja la página.

Dependiendo de si se trata de la página tipo Kepler (de mayor tamaño) o de la página tipo Mobile Kepler, se establecen unos tiempos máximos distintos para la descarga completa de la página, 51 segundos para Kepler y 9 segundos para Mobile Kepler.

- Transferecia de archivos vía HTTP (HTTP DL/UP)

Las pruebas de transferencia descargan o suben un archivo a un servidor mediante el protocolo http y calculan el rendimiento de la red una vez finalizada la transferencia de dicho archivo. El rendimiento puede expresarse en términos de velocidad durante la fase de descarga o carga.

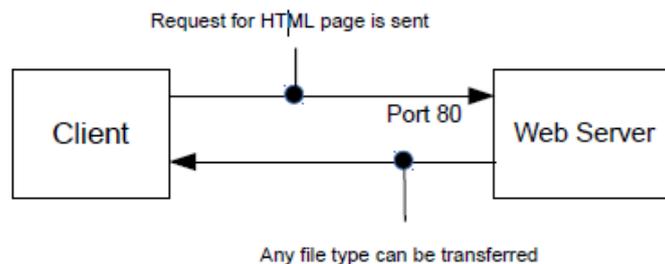


Figura 7.21 Transferecia de archivos vía HTTP

Se realizan dos tipos de test de transferencia de datos:

- Descarga o subida completa de un archivo de referencia.

Se utilizan archivos de 3 MB para la descarga y de 1 MB para la subida. Se establecen unos tiempos límite de 192 segundos para el primer caso y de 64 segundos para el segundo, los cuales equivalen a una tasa de transferencia media de 128 kbps.

- Descarga o subida de un archivo de referencia durante un periodo de tiempo predefinido.

El tamaño del archivo debe ser lo suficientemente grande para no completar su carga o descarga antes del tiempo de transferencia fijado, que es de 10 segundos. En este caso se ha elegido un archivo de 400 MB. El tiempo fijado hace la función de tiempo límite, aunque en este tipo de test alcanzarlo no supone dar el test por fallido.

Los test de descarga/subida de pequeños archivos tienen como objetivos principales contabilizar la tasa de éxito en la consecución del test y la velocidad de transferencia alcanzada. En zonas con buena cobertura se alcanzará una mayor velocidad, y, por tanto, dará tiempo a realizar un mayor número de test que en aquellas áreas con peor cobertura. Esto hace que las estadísticas tiendan a ponderarse en favor de altos valores de velocidad, eclipsando las tasas bajas.

Para contrarrestar este efecto se realizan también test de duración fija, que tienen como finalidad evaluar la velocidad promedio de una red heterogénea, atravesando durante ese tiempo áreas con mayor o menor ancho de banda, lo que nos dará información acerca del comportamiento y capacidad de la red. Pese a que cuanto mayor sea el tiempo de duración mejor podremos ver estos efectos, un tiempo de 10 parece ser un equilibrio razonable entre una evaluación de rendimiento fiable y el impacto en los costos.

- **Ping ICMP**

La prueba de ping verifica la conectividad entre dos equipos dentro de una red de datos IP y da una percepción del retardo de la red. La prueba mide el tiempo de ida y vuelta (RTT - Round Trip Time) entre la solicitud y la respuesta de varios pings enviando mensajes ICMP.

El test consta de cinco mensajes ICMP de 32 bytes enviados consecutivamente previa respuesta del anterior.

La prueba tiene éxito cuando todas las solicitudes de eco ICMP son correspondidas por sus respuestas de eco ICMP. Si alguno de los pings no se confirma correctamente dentro del tiempo límite, se considera que la prueba ha fallado. En la figura 7.22 se muestra la mecánica de la prueba.

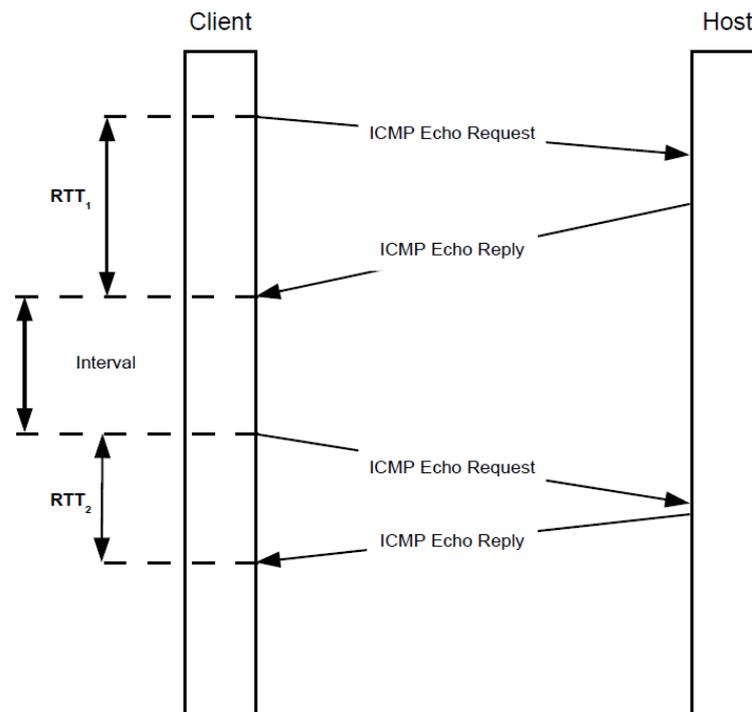


Figura 7.22 Ping ICMP

- Ping Payload

Este tipo de ping se ejecuta inmediatamente antes de cada test para comenzar las mediciones de un servicio bajo condiciones de arranque definidas y comparables.

El ping Payload sigue la misma metodología que el caso de ping ICMP (cinco mensajes consecutivos), pero utilizando un tamaño de 800 bytes.

No se realiza ninguna evaluación de rendimiento en torno a esta tarea.

- YouTube

Los vídeos de referencia deben tener una duración de 30 segundos y resolución máxima de 360p para el caso de SD y de 720p para HD. Deben ser alojados en YouTube, es decir, se deben cargar correctamente en su plataforma y estar disponibles en el catálogo.

La medida de la calidad del servicio de YouTube se caracteriza por la capacidad de reproducir el video seleccionado sin pausas ni interrupciones. Para ello, aunque se haya subido un vídeo a YouTube en HD 720p, la plataforma crea variantes del mismo vídeo en 480p, 360p y 240p y escoge automáticamente para su reproducción la resolución más acorde con la tasa de bit disponible por el usuario.

Desde los equipos de medida no se puede realizar un forzado de resolución HD para la reproducción de videos de YouTube. Se puede superar parcialmente este

problema seleccionando manualmente sobre el teléfono de prueba la opción “alta calidad en el móvil”, gracias a la cual se utilizará siempre la mejor resolución disponible (ver figura 7.23). Por ejemplo, si nos encontramos en una zona con buena cobertura 4G, para un vídeo con resolución 720p, se reproducirá en dicha resolución y no en una menor. Igualmente pasará si nos encontramos con cobertura 3G y un vídeo de 360p.

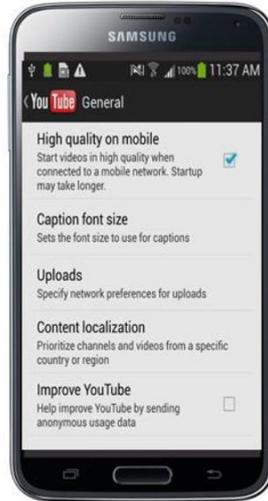


Figura 7.23 Activación de alta calidad

La configuración de cada test se realiza en las herramientas software de los equipos de medida, hasta formar el ciclo de pruebas completo. En la figura 7.24 se puede observar un ejemplo para NQView.

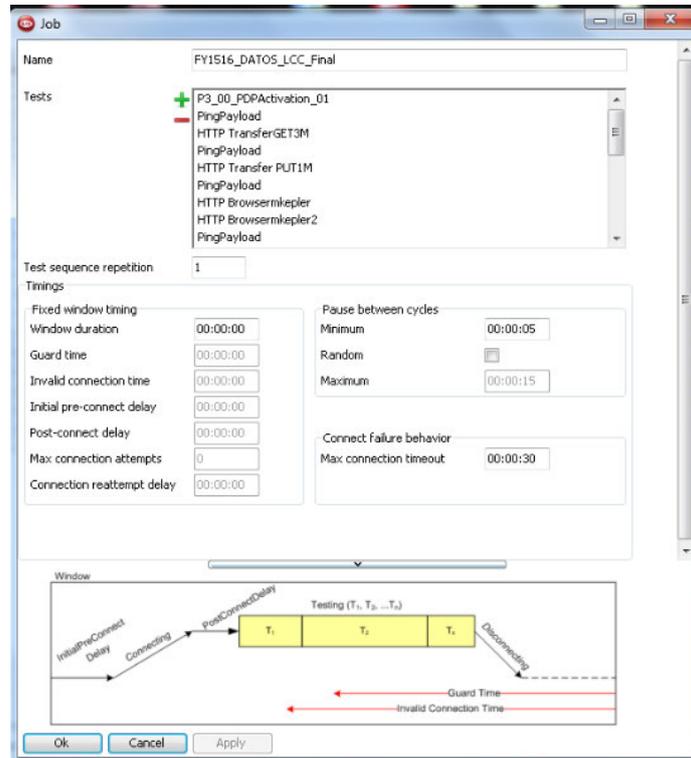


Figura 7.24 Creación de ciclo de datos en NQView

7.3.3 Ajustes especiales

Tarjetas SIM

Antes de comenzar con la ejecución de la campaña de medidas se debe hacer un estudio de las tarjetas SIM necesarias para llevarla a cabo. Se debe tener en cuenta que la mitad de las pruebas se realizan para servicios de voz y la otra mitad para servicios de datos. Así como también que se realizan pruebas bajo tecnología 4G y otras tantas para 3G.

Este tipo de condicionantes debe de ser utilizado a la hora de escoger el plan de servicios de voz y/o datos asociado a cada tarjeta. Para realizar medidas de voz, se necesita contratar un plan que dé prioridad a las llamadas, ya que el uso de datos es muy pequeño. Lo contrario ocurre para realizar medidas de datos, donde la prioridad es contar con una tarifa con un gran volumen de datos.

Además, para operar bajo la red 4G se deben usar tarjetas SIM que sean compatibles con esta tecnología.

Durante la ejecución de las campañas de medidas, las tarjetas SIM utilizadas en un equipo de prueba deben rotarse entre los distintos terminales móviles cada semana para diseminar los efectos producidos por variaciones en el equipo de prueba y en las antenas de manera justa.

Además, los técnicos deben estar pendientes durante el desarrollo de las pruebas de que una tarjeta no haya agotado su plan de servicios, ya que, en el caso de los datos, una vez se hayan alcanzado el tope de datos disponibles en la tarifa, se producirá un descenso de la velocidad de conexión, influyendo negativamente en el desarrollo de las medidas.

Servidor web

Las pruebas de datos (navegación web, transferencia de archivos, ping) deben evaluarse frente a un servidor local en el país.

Dicho proveedor local de acceso a internet debe ser independiente de cualquiera de los operadores de red bajo prueba. Si no es factible, se proporcionará una alternativa adecuada. La conectividad (ancho de banda, retardos) del servidor se dimensionará para satisfacer los requisitos de uso, por ejemplo, el número máximo de descargas paralelas de los canales de prueba.

Servidor de llamadas de voz

Para realizar las llamadas desde un terminal móvil a una línea de la red fija, y viceversa, se requiere disponer de un servidor de voz que atienda dichas llamadas en la parte fija. El servidor puede ser, típicamente, un ordenador conectado a una o más

líneas RDSI. Una aplicación instalada en el ordenador contesta las llamadas entrantes (MOC) o genera las llamadas salientes (MTC).

La aplicación tiene que tener las siguientes capacidades:

- Respuesta automática de llamadas entrantes.
- Evaluación de la calidad del habla de las llamadas de voz entrantes (MOC - enlace ascendente).
- Proporcionar muestras de voz para el enlace descendente.
- Generación de llamadas MTC.

En el caso de Swissqual, el servidor se configura mediante la herramienta software NQView, al igual que se configura el equipo Diversity Benchmarker.

Fast Dormancy

Es una función de la tecnología móvil diseñada para reducir el consumo de batería y la utilización de la red durante períodos de inactividad de datos [25]. Se implementa monitoreando el nivel de actividad del dispositivo móvil y asignándole un canal de control y estado de potencia apropiados para su nivel de actividad. Cada estado produce un consumo de energía y un rendimiento de red diferentes, al tiempo que se mantiene una conexión de datos coherente.

Para que funcione, es necesario que tanto el dispositivo como la red soporten Fast Dormancy. Durante las pruebas se debe habilitar la función Fast Dormancy.

8 CALIDAD DE SERVICIO. PARÁMETROS REPORTADOS

El presente capítulo tiene objetivo explicar el concepto de calidad de servicio y su importancia para un operador móvil, ya que su evaluación sirve para garantizar la plena satisfacción de sus clientes.

Para poder medir la calidad de servicio, se hace uso de parámetros de calidad o KPI, capaces de analizar de manera objetiva el rendimiento de los servicios ofrecidos. En el caso de este proyecto de evaluación comparativa de redes móviles, se definen los parámetros reportados para los diferentes servicios de voz y datos descritos en el capítulo anterior.

8.1 Teoría de calidad de servicio en redes móviles

Una definición ampliamente aceptada para Calidad de Servicio es la que consta en la recomendación E.800 de la UIT, en los siguientes términos: “La totalidad de las características de un servicio de telecomunicaciones que determinan su capacidad para satisfacer las necesidades explícitas e implícitas del usuario del servicio” [26].

Según la recomendación E.800, la calidad de servicio se puede evaluar en un contexto extremo a extremo, esto es de usuario a usuario, en donde cada elemento intermedio tiene su influencia sobre la evaluación final de la calidad de servicio. En el siguiente gráfico constan los elementos que conforman un servicio de manera general. Si bien se plantea una conexión de usuario a usuario, en muchos servicios actuales el usuario final se ve reemplazado por otro tipo de dispositivos, como puede ser un servidor.

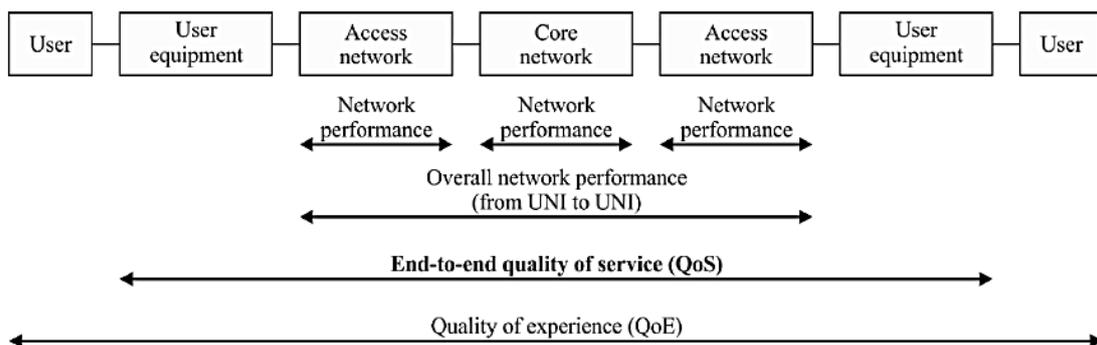


Figura 8.1 Calidad de servicio extremo a extremo

El aseguramiento de la calidad de servicio (*Quality of Service, QoS*) es un factor importante en los procesos de provisión de servicios, sean estos del tipo que sean, ya que permiten satisfacer los requerimientos de los clientes y con esto lograr la fidelidad a los mismos. Además, el hecho de orientar el diseño de un sistema a lograr servicios de calidad permitirá a futuro optimizar los costos y a mejorar los ingresos.

Para mejorar la calidad de servicio se requiere conocer cómo evaluarla, establecer parámetros de calidad, lo que permitirá conocer o establecer un punto de partida. Los parámetros deben estar orientados a satisfacer las necesidades y expectativas del usuario al cual están dirigidos los servicios.

La calidad de servicio en los sistemas de telecomunicaciones ha sido motivo de extensos estudios, especialmente por parte de los organismos de estandarización a nivel mundial, así vemos como la Unión Internacional de Telecomunicaciones cuenta con una gran variedad de recomendaciones relacionadas con la calidad de servicios en los sistemas de telecomunicaciones.

En la recomendación G.1000 se expone la teoría relacionada con la calidad de servicio en los sistemas de telecomunicaciones, y se plantea la calidad de servicio como un ciclo que consta de cuatro polos, ver la figura 8.2, en el cual se relacionan cuatro aspectos de la calidad de servicio, asociadas con el cliente o usuario de los servicios por un lado, y el proveedor de servicios por otro lado (se considera incluido al proveedor de red si el proveedor de servicio no es el propietario de la red) [27].

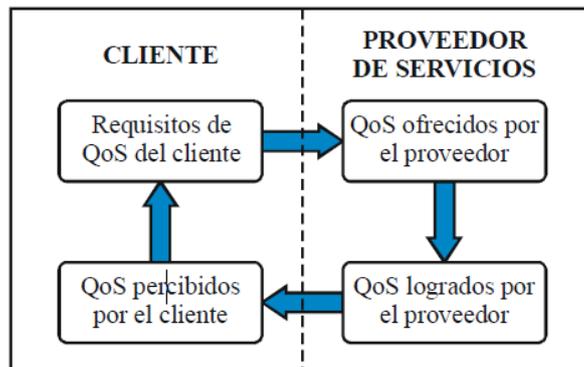


Figura 8.2 Cuatro polos de la calidad de servicio

En principio se parte de los requisitos de calidad de servicio que aspira el cliente o usuario, planteando en primer lugar los requisitos de servicio en un lenguaje entendible y menos técnico, sobre la base de los cuales el proveedor de servicio oferta una determinada calidad de servicio, tratando de satisfacer en lo mayor posible los requerimientos del cliente, realizando un balance entre la inversión que puede realizar y los ingresos que aspira obtener; con este objetivo y acorde a la inversión realizada, alcanzará en la práctica una determinada calidad de servicio que ofrece al usuario (QoS alcanzada por el proveedor), lo que influye en lo que finalmente el usuario percibe al hacer uso del servicio (QoS percibida por el cliente). Este ciclo se repite constantemente hasta lograr un equilibrio entre costo y calidad del servicio prestado.

Las aspiraciones del usuario siempre van a ser muy altas, por otro lado, toma en consideración lo que está dispuesto a pagar para satisfacer todos sus requerimientos, esto permite llegar a un equilibrio entre lo que el proveedor puede ofrecer y lo que satisface en cierta medida al usuario.

El ánimo de mejorar por parte de los proveedores se alienta también por la competencia existente en el mercado, que constantemente está mejorando para

captar clientes sean estos nuevos o provenientes de otros proveedores. En teoría este ciclo “de mejora continua” ha servido como argumento de los proveedores de servicios para objetar la necesidad de que un tercer actor, el regulador o controlador, intervenga en el proceso de mejora de la calidad de servicio. Los operadores han puesto como ejemplo varios países en los que la calidad de servicio estaría mejorando únicamente por la intervención del mercado y la competencia sin la necesidad de un organismo de regulación y control.

En general, la calidad de servicio, al estar orientada a satisfacer los requerimientos del usuario-cliente, se debería evaluar sobre la base de encuestas, lo cual es un trabajo que requiere mucho esfuerzo, tiempo y de un costo alto. En la práctica, se trata de evaluar el rendimiento de la red sobre la base de medición de parámetros técnicos, y a partir de estos, con la utilización de algoritmos y estimaciones, hallar una equivalencia con la satisfacción del cliente.

Según la recomendación E. 804 la utilización de un servicio se realiza por fases, lo cual implica que la evaluación de la calidad del servicio se considera como un modelo orientado a fases [28]. En la figura 8.3 se representan las fases en la utilización de un servicio de telecomunicaciones.

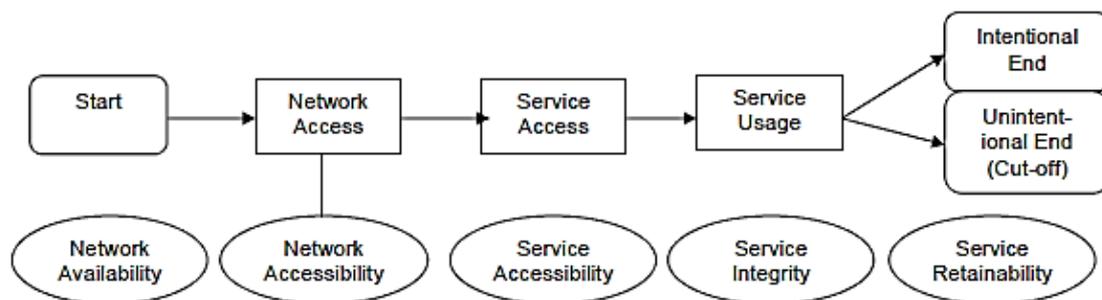


Figura 8.3 Aspectos de QoS relacionados con las fases de uso del servicio

Existe una fase inicial relacionada con la disponibilidad de la red (*Network Availability*).

En la fase siguiente, denominada accesibilidad a la red (*Network Accessibility*), se evalúa el acceso a la red, es decir, la probabilidad de que el usuario tenga acceso a la red que proporciona un servicio.

Para la tercera fase, denominada accesibilidad al servicio (*Service Accessibility*), se toma en consideración el acceso al servicio, que es la probabilidad que el usuario pueda acceder a utilizar un servicio deseado que se encuentra disponible en la red.

La cuarta fase, integridad del servicio (*Service Integrity*), evalúa la calidad del servicio durante su prestación. Como ejemplo de parámetro en esta fase tenemos la calidad de voz.

La fase final, denominada mantenimiento del servicio (*Service Retainability*), determina en qué medida el servicio se completó hasta el punto en el que el usuario

voluntariamente dio por terminado el servicio, o si la causa de la terminación del servicio se debió a un evento no voluntario por parte del usuario, evento conocido como corte o caída del servicio.

Se debe aclarar que cada fase es dependiente de la fase previa, esto es que para que se pueda ejecutar una fase, la fase previa debió ser exitosa. Así por ejemplo para llegar a la fase de accesibilidad a la red, la fase de disponibilidad de la red debió ser positiva, y para llegar a la fase de mantenimiento del servicio, todas las fases previas debieron ser positivas o exitosas. Todo proceso de utilización de un servicio inicia obligatoriamente por la fase inicial denominada disponibilidad de la red.

8.2 Definición de parámetros de calidad de servicio

La recomendación E. 804 brinda un conjunto de parámetros de calidad de servicio desde el punto de vista del usuario, y que se han establecido para los servicios más conocidos sobre redes móviles. Así mismo, para cada parámetro se plantean los eventos que disparan el inicio y fin de la medición del parámetro. Esta información es recogida en la recomendación TS 102 250 - Parte 2 del Instituto Europeo de Estandarización de las Telecomunicaciones (ETSI) [29].

Como ya se describió en el capítulo 5, los parámetros de calidad reciben a nivel empresarial el sobrenombre de KPI, que son medidas del nivel del desempeño de un proceso.

Los KPI tienen como objetivos principales medir el nivel de servicio, realizar un diagnóstico de la situación, comunicar e informar sobre la situación y los objetivos, motivar a los equipos responsables del cumplimiento de los objetivos reflejados en el KPI y, en general, evaluar cualquier progreso de manera constante.

La figura 8.4 muestra un modelo para parámetros de calidad de servicio. Este modelo tiene cuatro capas.

La primera capa es la disponibilidad de red, que define la calidad de servicio más bien desde el punto de vista del proveedor de servicios que del usuario del servicio.

La segunda capa es el acceso a la red. Desde el punto de vista del usuario del servicio, éste es el requisito básico para todos los otros aspectos y parámetros de calidad de servicio.

La tercera capa contiene los otros tres aspectos de QoS: acceso al servicio, integridad del servicio y mantenimiento del servicio.

Los diferentes servicios se encuentran en la cuarta capa. Su resultado son los parámetros de calidad de servicio.

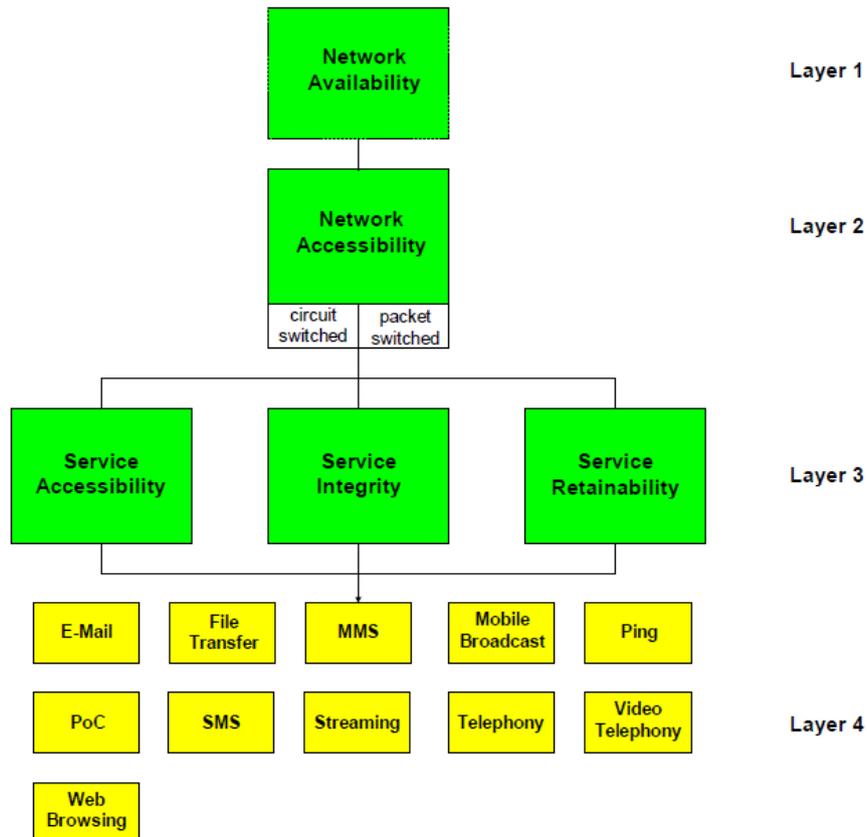


Figura 8.4 Aspectos de QoS y sus correspondientes parámetros de QoS

Para la realización de un proyecto de evaluación comparativa de redes móviles se efectúan tanto pruebas de voz como de datos para los diferentes operadores. Por tanto, se hará uso de distintos servicios encuadrados en la capa cuarta, como son el servicio de telefonía para el caso de las pruebas de voz, así como los servicios de navegación web, transferencia de archivos, reproducción de video o envío de ping en el caso de las pruebas de datos.

En un primer punto vamos a definir algunos de los parámetros de calidad para servicios de voz más importantes, para a continuación, realizar lo mismo con los parámetros para datos.

8.2.1 Parámetros de calidad para servicios de voz

Para comprender mejor algunos de los parámetros definidos en este apartado, se va a realizar una pequeña introducción mediante el uso de un diagrama de flujo de una llamada en GSM (figura 8.5).

En el capítulo 2 se detalló con mayor profundidad el proceso de una llamada en una red 2G. Para el cálculo de parámetros de calidad del servicio de voz se tienen en cuenta tres puntos principales de dicho proceso.

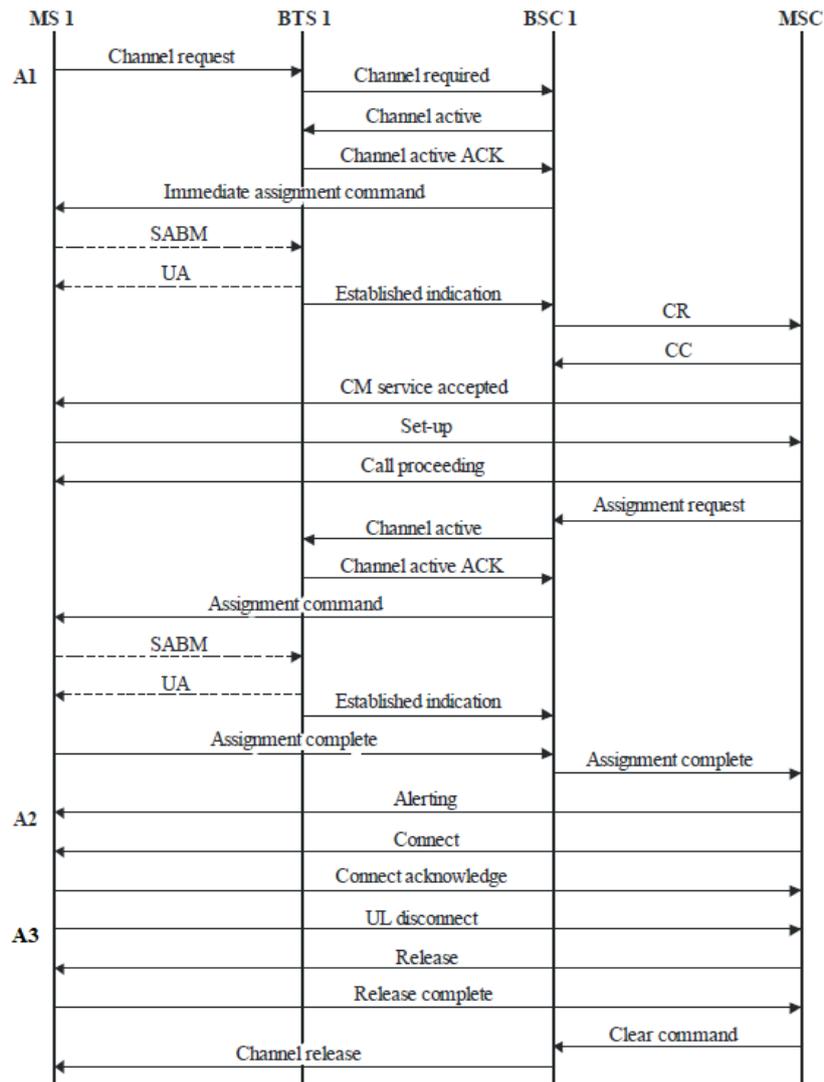


Figura 8.5 Diagrama de flujo para MOC en GSM

El primer punto (A1) del diagrama indica el momento en el que un usuario desea establecer una llamada de voz pulsando el botón de llamada de su teléfono. A nivel de red, esta acción se realiza con el envío del mensaje *Channel Request* desde el terminal.

El segundo punto (A2) indica el momento en el que el usuario que inicia el proceso de llamada escucha el tono de alerta procedente de la otra parte. A nivel de red, esta acción corresponde al mensaje *Alerting* recibido por el terminal. En este punto se da por realizado el establecimiento de la llamada con éxito.

Por último, el tercer punto (A3) indica el momento en el que el usuario da por terminada la llamada, pulsando el botón de colgar de su teléfono. A nivel de red, el terminal envía la petición *Disconnect*. En este punto se da por completada la llamada con éxito.

Estos puntos se visualizan mejor aún en el software NQDI, ya que permite seleccionar los mensajes de señalización de GSM sobre la capa 3 (figura 8.6).

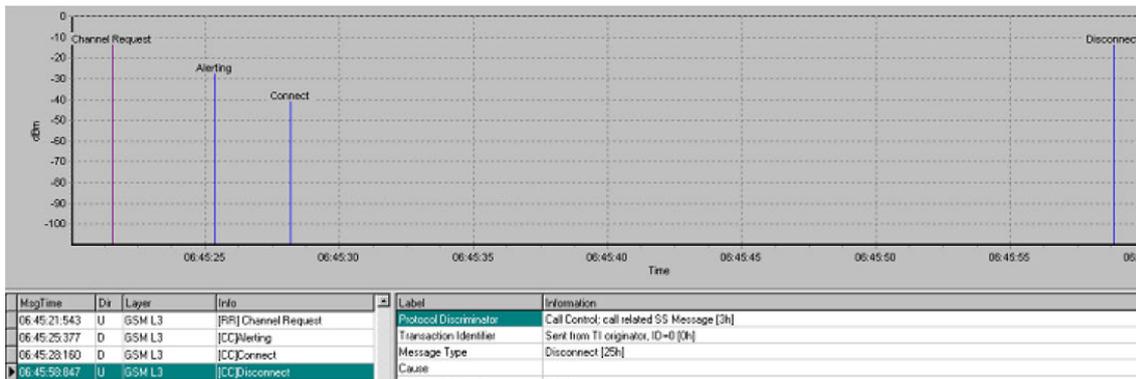


Figura 8.6 Gráfico de una llamada GSM en NQDI

Una vez realizada esta breve explicación se definen los siguientes parámetros para el servicio de voz.

- **Porcentaje de inaccesibilidad al servicio de voz [%]**

Denota la probabilidad de que el usuario no pueda acceder al servicio de voz cuando lo solicite, si éste se ofrece mediante la visualización del indicador de red en el teléfono.

$$\text{Porcentaje de inaccesibilidad al servicio de voz [\%]} = \frac{\text{Intentos de llamada sin éxito}}{\text{Total de intentos de llamada}} \times 100$$

La medida de este parámetro se realiza desde que el usuario presiona el botón de llamada (A1), hasta que escucha el tono de alerta (A2). Si no se alcanza el tono de alerta será un intento de llamada sin éxito.

En ocasiones se utiliza el parámetro ‘porcentaje de establecimiento de llamada con éxito’, que es el inverso al de servicio de voz no accesible, pero que sirve para describir la misma situación.

- **Tiempo de acceso al servicio de voz o establecimiento de llamada [s]**

Describe el período de tiempo entre el envío de la información para la realización de la llamada y la recepción de la notificación de establecimiento de la llamada.

$$\text{Tiempo de acceso al servicio de voz [s]} = t_{A2} - t_{A1}$$

La medida de este parámetro se realiza desde que el usuario presiona el botón de llamada (A1), hasta que escucha el tono de alerta (A2).

- **Porcentaje de llamadas de voz caídas [%]**

Indica la probabilidad de que una llamada ya establecida se termine por una causa distinta de su finalización voluntaria.

$$\begin{aligned} & \text{Porcentaje de llamadas de voz caídas [\%]} \\ &= \frac{\text{Llamadas terminadas involuntariamente}}{\text{Total de llamadas completadas con éxito}} \times 100 \end{aligned}$$

La medida de este parámetro se realiza desde que el usuario recibe el tono de llamada (A2) hasta que la llamada es completada con éxito (A3). Si no se alcanza este último punto estamos ante una llamada caída.

En ocasiones se utiliza el parámetro de ‘porcentaje de llamadas completadas con éxito’, que es el inverso al de llamadas de voz caídas, pero que sirve para describir la misma situación.

- **Calidad de voz [MOS]**

Es un indicador que representa la calidad de transmisión de voz de extremo a extremo del servicio de telefonía móvil.

La validación de la calidad de extremo a extremo se realiza mediante escalas MOS-LQO (Mean Opinion Score - Listening Quality Objective). Estas escalas, del 1 al 5, describen la opinión de los usuarios con respecto a la transmisión de voz y sus problemas (ruido, voz del robot, eco, abandonos, etc.).

Existen algoritmos implementados, como el algoritmo POLQA referido en el capítulo anterior, que gracias al uso de modelos cognitivos simulan la opinión de los usuarios y asignan un valor de calidad.

El baremo usado para definir dicha calidad sería el siguiente:

MOS	Calidad de la voz
5	Excelente
4	Buena
3	Razonable
2	Pobre
1	Mala

Tabla 8.1 Escala MOS de calidad de voz

La evaluación se hace en las dos partes involucradas en la comunicación, parte A y parte B. Además, es posible analizar la calidad de voz en función de una llamada o en función de una muestra de voz.

- Para el primer caso, calidad de voz en función de una llamada de voz:

Calidad de voz para una llamada (parte A) = MOS-LQO

Calidad de voz para una llamada (parte B) = MOS-LQO

Se asignará un valor de calidad MOS a la llamada desde cada una de las dos partes de forma independiente. Opcionalmente, puede ser útil unir ambos valores de calidad de voz (partes A y B) en uno. En este caso, se utilizará el peor de ambos.

- Para el segundo caso, calidad de voz en función de una muestra de voz:

Calidad de voz para una muestra (parte A) = MOS-LQO

Calidad de voz para una muestra (parte B) = MOS-LQO

Se asignará un valor de calidad MOS a la muestra de voz desde cada una de las dos partes de forma independiente. Opcionalmente, puede ser útil unir ambos valores de calidad de voz (partes A y B) en uno. En este caso, se utilizará el peor de ambos.

- **Porcentaje de calidad de voz no sostenida [%]**

Refleja el mantenimiento de la calidad de voz durante una llamada completada con éxito. Las llamadas caídas no están incluidas en el cálculo de este KPI.

Se divide en dos casos en función del algoritmo usado.

- Para llamadas de móvil a fijo se utiliza el algoritmo de calidad POLQA de banda estrecha. En este caso la medida de calidad de voz no sostenible se hará de la siguiente forma:

Una llamada no sostenible (FALSE) es aquella en la que:

1. Dos muestras de voz consecutivas tienen MOS < 2,0 (referencia para banda estrecha de POLQA):
 - 2 muestras consecutivas, independientemente de la dirección (A→B/B→A).
 - 2 muestras consecutivas en la misma dirección (A→B / B→A).

2. Cinco o más muestras de voz tienen MOS < 2,0 durante la llamada de 120 segundos.

El porcentaje de calidad de voz no sostenible durante una llamada será:

Porcentaje de calidad de voz no sostenida en banda estrecha [%]

$$= \frac{\text{FALSE}}{\text{TRUE}+\text{FALSE}} \times 100$$

- Para llamadas móvil a móvil se utiliza el algoritmo de calidad POLQA de banda ancha. En este caso la medida de calidad de voz no sostenible se hará de la siguiente forma:

Una llamada no sostenible (FALSE) es aquella en la que:

1. Dos muestras de voz consecutivas tienen MOS < 1,6 (referencia de banda ancha de Polqa):
 - 2 muestras consecutivas, independientemente de la dirección (A→B / B→A).
 - 2 muestras consecutivas en la misma dirección (A→B / B→A).
2. Cinco o más muestras de voz tienen MOS < 1,6 en una llamada de 120 segundos.

El porcentaje de calidad de voz no sostenible durante una llamada será:

Porcentaje de calidad de voz no sostenida en banda ancha [%]

$$= \frac{\text{FALSE}}{\text{TRUE} + \text{FALSE}} \times 100$$

8.2.2 Parámetros de calidad para servicios de datos

Dentro de los parámetros o KPI reportados tras la realización de las pruebas de datos podemos distinguir entre parámetros independientes del servicio o dependientes del él.

Los parámetros independientes del servicio están relacionados con las capas 1 y 2 de la figura 8.4, aportando información sobre la disponibilidad y accesibilidad de la red de datos.

Los parámetros dependientes del servicio están relacionados con la capa 3 de la figura 4.4 y analizan la accesibilidad, integridad y mantenimiento del servicio escogido (búsqueda web, ping, youtube, etc.).

Antes de pasar a la definición de los parámetros es necesario reseñar un aspecto que influye en la medida de los parámetros asociados a servicios HTTP. Actualmente existen dos puntos de vista sobre la mejor manera de reflejar la experiencia del usuario para estos servicios. Estos puntos de vista difieren en el momento que da por terminada la fase de acceso IP al servicio, y comienzo a la fase de transferencia de paquetes de datos.

En las figuras 8.7 y 8.8 se ilustra un ejemplo de los diferentes puntos de activación definidos para cada método. El método A establece el punto de comienzo de la fase de transferencia de datos en la recepción del primer paquete de datos, mientras que el método B lo hace desde el envío del comando HTTP GET. En las figuras ambos puntos están indicados por el número seis (6).

Los equipos de prueba deben ser capaces de medir los parámetros de calidad de un servicio mediante ambos métodos. Así ocurre en el caso de los equipos Swissqual descritos en capítulos anteriores en este proyecto.

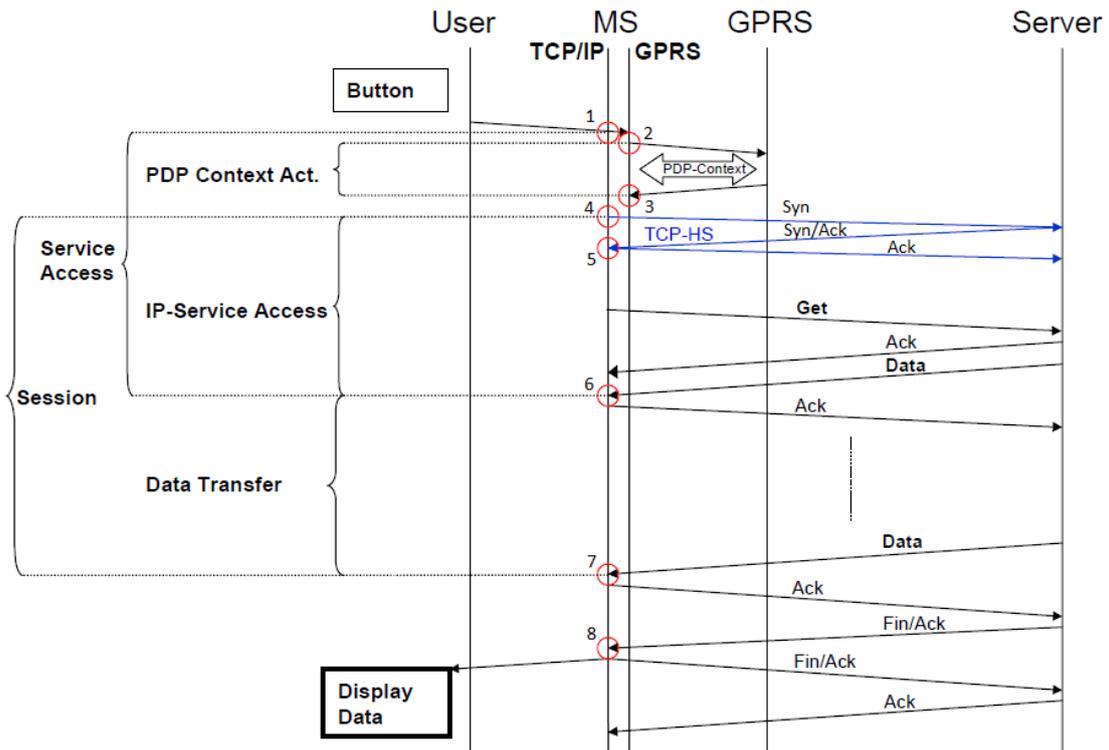


Figura 8.7 Método A para el cálculo de parámetros QoS

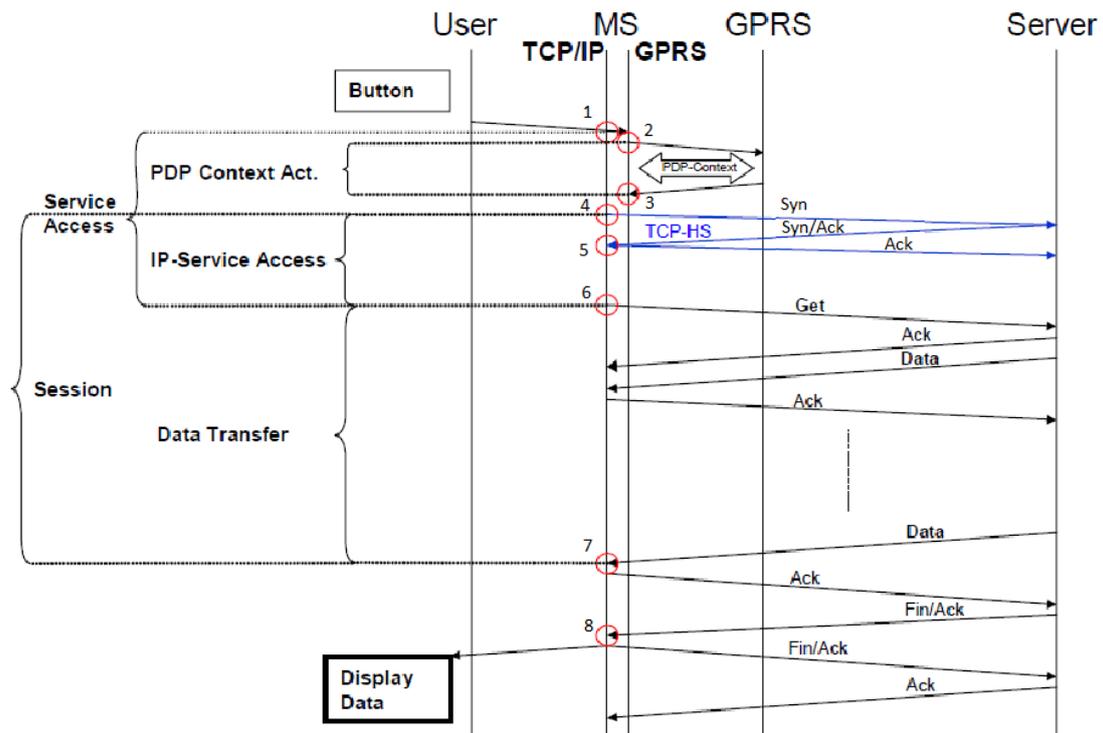


Figura 8.8 Método B para el cálculo de parámetros QoS

Los números introducidos en los esquemas (método A y B) servirán como disparadores (*triggers*) para el cálculo de los siguientes parámetros.

8.2.2.1 Parámetros independientes del servicio

Los parámetros descritos a continuación tienen como objetivo analizar aspectos relacionados con el acceso a la red de datos y la conectividad IP.

- **Porcentaje de activación de contexto PDP fallida [%]**

Indica la probabilidad de que el contexto PDP no pueda activarse. Es la proporción de intentos fallidos de activación de contexto PDP y el número total de intentos de activación de contexto PDP.

$$\begin{aligned} & \text{Porcentaje de activación de contexto PDP fallida [\%]} \\ &= \frac{\text{Intentos de activación sin éxito}}{\text{Total de intentos de activación}} \times 100 \end{aligned}$$

La medida de este parámetro se realiza desde que el teléfono móvil envía a la red un mensaje de petición de activación de contexto PDP (2), hasta que recibe un mensaje de aceptación de la activación por parte de ésta (3), lo que sería un proceso de activación con éxito. En caso de no recibir dicha aceptación por parte de la red, estaríamos ante un intento de activación fallido.

- **Tiempo de activación de contexto PDP [s]**

Describe el período de tiempo necesario para activar el contexto PDP.

$$\text{Tiempo de activación de contexto PDP [s]} = t_3 - t_2$$

La medida de este parámetro se realiza desde que el teléfono móvil envía a la red un mensaje de petición de activación de contexto PDP (2), hasta que recibe un mensaje de aceptación de la activación por parte de ésta (3).

- **Porcentaje de contexto PDP caído [%]**

Indica la probabilidad de que un contexto PDP se desactive sin ser iniciada su desactivación intencionadamente por el usuario.

$$\begin{aligned} & \text{Porcentaje de contexto PDP caído [\%]} \\ &= \frac{\text{Contextos PDP desactivados involuntariamente}}{\text{Total de contextos PDP activados con éxito}} \times 100 \end{aligned}$$

La medida de este parámetro se realiza desde que el teléfono móvil recibe de la red un mensaje de aceptación de activación de contexto PDP (3), hasta que ocurre una pérdida de contexto PDP no iniciada por el usuario.

- **Porcentaje de resolución DNS fallida [%]**

Es la probabilidad de que la traducción de un nombre de dominio a dirección IP no haya tenido éxito.

$$\text{Porcentaje de resolución DNS fallida [\%]} = \frac{\text{Peticiónes de traducción DNS sin éxito}}{\text{Peticiónes de traducción DNS}} \times 100$$

La medida de este parámetro se realiza desde que se envía una solicitud para resolver un nombre de dominio hasta que se recibe una respuesta con la dirección IP resuelta, lo que sería una petición con éxito. En caso de no recibirla, sería una petición sin éxito.

- **Tiempo de resolución de DNS [s]**

Es el tiempo que se tarda en realizar una traducción de nombre de dominio a una dirección IP.

$$\text{Tiempo de resolución DNS [s]} = t_{\text{respuesta con dirección IP}} - t_{\text{petición de traducción}}$$

La medida de este parámetro se realiza desde que se envía una solicitud para resolver un nombre de dominio hasta que se recibe una respuesta con la dirección IP resuelta.

8.2.2.2 Parámetros dependientes del servicio

Navegación y descarga de archivos vía HTTP

- **Porcentaje de acceso IP al servicio fallido [%]**

Indica la probabilidad de que un abonado no pueda establecer una conexión TCP/IP al servidor HTTP de un servicio con éxito.

$$\begin{aligned} & \text{Porcentaje de acceso IP servicio fallido [\%]} \\ & = \frac{\text{Intentos de establecer una conexión IP al servidor sin éxito}}{\text{Total de intentos de establecer una conexión IP al servidor}} \times 100 \end{aligned}$$

La medida de este parámetro se realiza desde el envío de la solicitud inicial a un servidor (4) hasta el momento en que se recibe el primer paquete de datos, para el método A (6), o se envía el comando GET, para el método B (6). En caso de no obtener dicho paquete sería un intento sin éxito.

- **Tiempo de acceso IP al servicio [s]**

Es el período de tiempo necesario para establecer una conexión TCP/IP con el servidor HTTP de un servicio, desde el envío de la solicitud inicial a un servidor (4) hasta el momento en que se recibe el primer paquete de datos, para el método A (6), o se envía el comando GET, para el método B (6).

$$\text{Tiempo de acceso al servicio IP [s]} = t_6 - t_4$$

- **Porcentaje de transferencias de datos caídas [%]**

Es el cociente entre transferencias de datos incompletas y transferencias de datos que se iniciaron con éxito.

$$\begin{aligned} & \text{Porcentaje de transferencias de datos caídas [\%]} \\ &= \frac{\text{Transferencias de datos incompletas}}{\text{Transferencias de datos iniciadas con éxito}} \times 100 \end{aligned}$$

La medida de este parámetro se realiza desde el momento en que se recibe el primer paquete de datos, para el método A (6), o desde que se envía el comando GET, para el método B (6), hasta la recepción del último paquete de datos con contenido (7), lo que sería una transferencia con éxito. En caso de no recibir hasta el último paquete de datos sería una transferencia incompleta.

- **Tasa media de datos [kbit/s]**

Después de que se ha establecido satisfactoriamente un enlace de datos, este parámetro describe la velocidad media de transferencia de datos medida durante todo el tiempo de conexión al servicio. La transferencia de datos deberá terminar con éxito. El requisito previo para este parámetro es el acceso a la red y al servicio.

$$\text{Tasa media de datos [kbit/s]} = \frac{\text{Datos transferidos [kbit]}}{t_7 - t_6}$$

La medida de este parámetro se realiza desde el momento en que se recibe el primer paquete de datos, para el método A (6), o desde que se envía el comando GET, para el método B (6), hasta la recepción del último paquete de datos con contenido (7).

- **Tiempo de transferencia de datos [s]**

Es el período de tiempo necesario para completar con éxito una transferencia de datos.

$$\text{Tiempo de transferencia de datos [s]} = t_7 - t_6$$

La medida de este parámetro se realiza desde el momento en que se recibe el primer paquete de datos, para el método A (6), o desde que se envía el comando GET, para el método B (6), hasta la recepción del último paquete de datos con contenido (7).

- **Porcentaje de sesión fallida [%]**

Es la proporción entre sesiones no completadas y sesiones que se iniciaron correctamente.

$$\text{Porcentaje de sesión fallida [\%]} = \frac{\text{Sesiones no completadas}}{\text{Sesiones comenzadas con éxito}} \times 100$$

La medida de este parámetro se realiza desde el envío de la consulta inicial a un servidor (4) hasta la recepción del último paquete de datos con contenido (7), lo cual sería una sesión exitosa. En caso de no alcanzar este último paquete, estaríamos ante una sesión no completada.

- **Tiempo de sesión [s]**

Es el período de tiempo necesario para completar con éxito una sesión de datos.

$$\text{Tiempo de sesión [s]} = t_7 - t_4$$

La medida de este parámetro se realiza desde el envío de la consulta inicial (4) a un servidor hasta la recepción del último paquete de datos con contenido (7).

- **Tiempo de ida y vuelta (TCP handshake) [ms]**

El establecimiento de la conexión entre cliente y servidor se realiza mediante la negociación en tres pasos (TCP handshake → SYN, SYN/ACK y ACK).

El tiempo de ida y vuelta es el período de tiempo entre el envío del paquete [SYN] y la recepción del paquete [SYN, ACK].

$$\text{Tiempo de ida y vuelta [ms]} = t_5 - t_4$$

Ping ICMP

- **Duración Ping ICMP [ms]**

Es el tiempo requerido para que un paquete viaje de una fuente a un destino y viceversa. Se utiliza para medir el retardo de una red en un momento dado. Para esta medición el servicio deberá estar ya establecido.

$$\text{Duración Ping ICMP [ms]} = t_{\text{respuesta eco ICMP}} - t_{\text{solicitud eco ICMP}}$$

La medida de este parámetro se realiza desde el momento en que se envía la solicitud de eco ICMP hasta que la respuesta de eco ICMP es recibida por el remitente.

YouTube

- **Porcentaje de éxito de acceso al servicio [%]**

Indica la probabilidad de acceder con éxito al servicio de *streaming*.

$$\text{Porcentaje de éxito de acceso al servicio [\%]} = \left(1 - \frac{\text{Número de accesos fallidos}}{\text{Total de intentos de acceso}}\right) \times 100$$

La medida de este parámetro se realiza desde (ver figura 8.9) la indicación de comienzo de descarga de vídeo (botón *Play*) hasta el comienzo de la transferencia de vídeo (recepción del primer paquete de datos de vídeo), lo que daría un acceso con éxito. En caso de no llegar a recibir el primer paquete de datos sería un acceso fallido.

- **Porcentaje de reproducción sin interrupciones [%]**

Indica la calidad efectiva percibida mediante la evaluación de los videoclips reproducidos sin ningún problema de interrupción.

$$\text{Porcentaje de reproducción sin interrupciones [\%]} = \frac{\text{Nº de reproducciones sin interrupciones}}{\text{Total de reproducciones}} \times 100$$

La medida de este parámetro se realiza desde el comienzo de la reproducción de vídeo (el primer fotograma aparece en el reproductor) hasta el fin de la reproducción (ver figura 8.9).

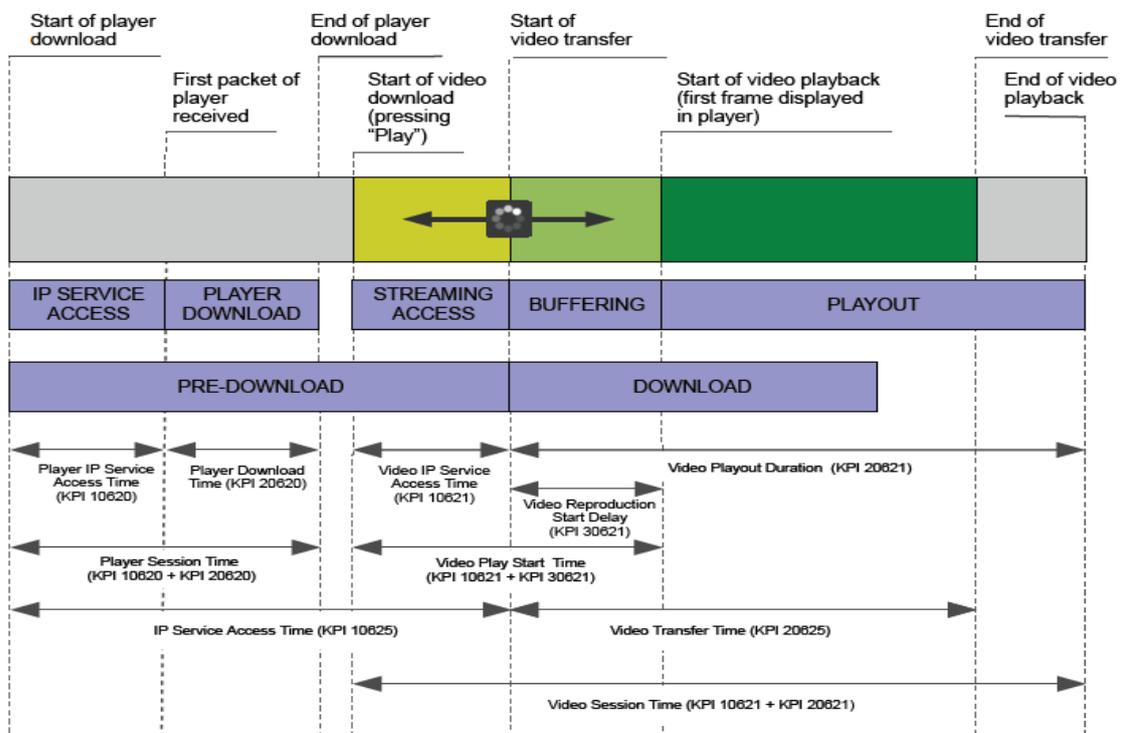


Figura 8.9 Fases típicas de los servicios de vídeo basados en TCP

Calidad de servicio. Parámetros reportados

Desde el software NQDI se pueden comprobar multitud de KPI relacionados con YouTube.

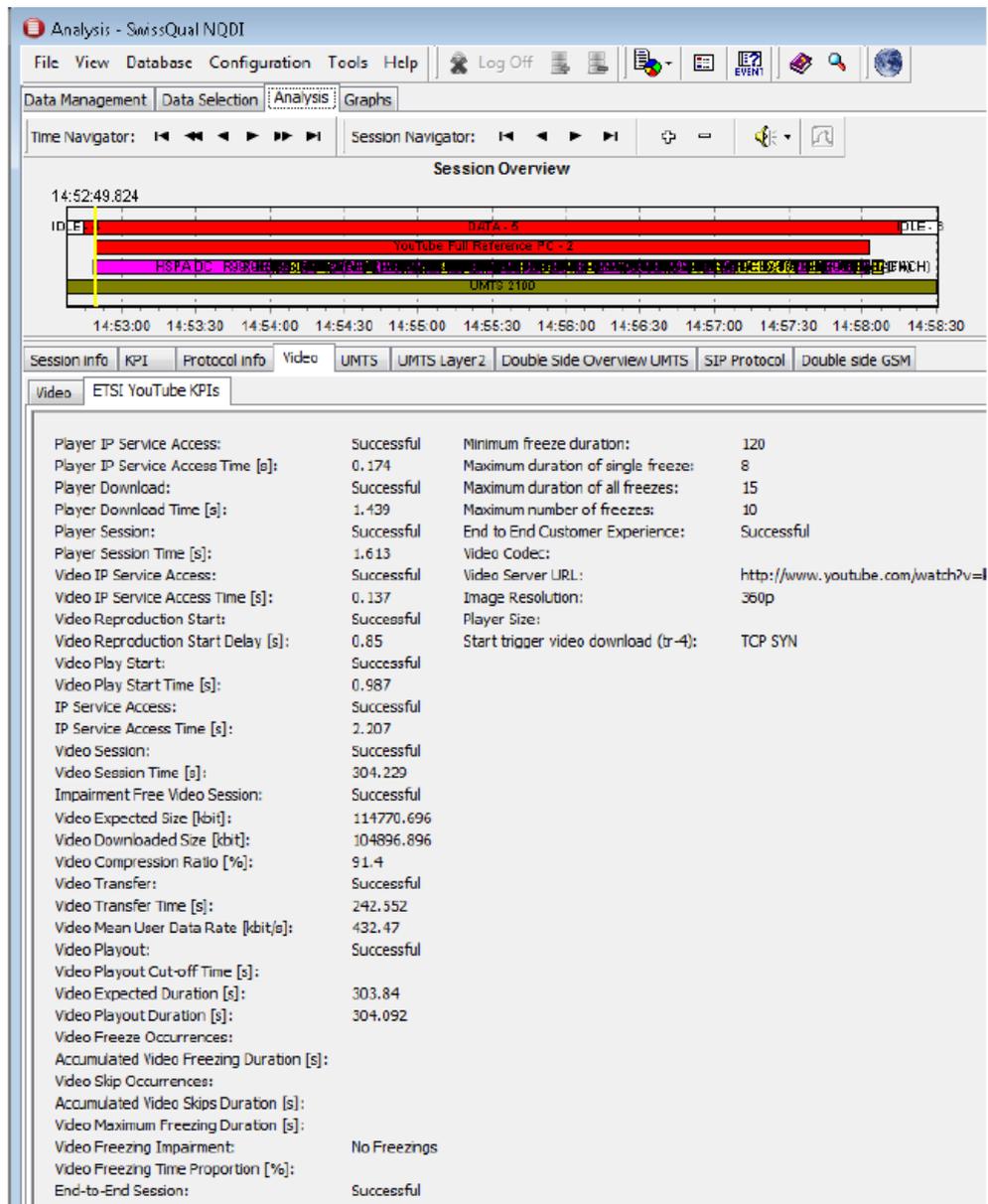


Figura 8.10 KPI de YouTube en NQDI

9 ANÁLISIS DE REDES MÓVILES EN ESPAÑA 2016

Como capítulo final para este proyecto se van a presentar los resultados obtenidos para una evaluación comparativa realizada en 2016 a nivel nacional [30].

Esta evaluación ha sido realizada por la empresa alemana P3 Communications GmbH, que además de ofrecer servicios de análisis de redes móviles, es fabricante de los equipos de medida utilizados para efectuar dichos análisis. Por tanto, utiliza esta prueba tanto para comparar la calidad de servicio de los cuatro principales operadores móviles españoles como para hacer publicidad de sus propios servicios.

Debido al carácter público y meramente informativo de la prueba, los escenarios y, por consiguiente, el tipo y número de pruebas realizadas, son menores que en un proyecto equivalente solicitado por un operador. Pese a ello, puede servir para dar imagen general del rendimiento de cada operador móvil en España para servicios de voz y datos.

La metodología de las pruebas tiene bastante en común con la descrita en el capítulo 7, y los parámetros de calidad o KPI reportados coinciden en su mayoría con los definidos en el capítulo 8 de este proyecto.

9.1 Metodología de las pruebas

El análisis se realizó entre el 7 y el 28 de octubre de 2016. Todas las muestras se recabaron entre las 8:00 y las 22:00 horas. Se contó con cuatro vehículos de pruebas equipados con teléfonos para realizar mediciones simultáneas de voz y datos.

Las rutas de las pruebas se muestran en la figura 9.1. Abarcan 14 grandes ciudades, 26 localidades pequeñas, y carreteras y autovías de conexión entre ellas.



Figura 9.1 Rutas de las pruebas

Pruebas de voz

Cada vehículo contaba con dos teléfonos Samsung Galaxy S5 Cat 4 por operadora para las pruebas de voz, con los que se realizan llamadas de un vehículo a otro. La calidad de las muestras de voz transmitidas se evaluó empleando el algoritmo POLQA de banda ancha. Con el fin de tener en cuenta la elevada cuota de LTE, las muestras de voz se obtuvieron en parte en modo 4G preferido sobre 3G preferido, y en parte en modo 4G preferido sobre 4G preferido. En consecuencia, la mayoría de teléfonos necesitaban realizar CSFB. Para tener en cuenta las situaciones de uso típicas de un teléfono durante las llamadas de voz, se generó un tráfico de datos subyacente (MultiRAB).

Pruebas de datos

El rendimiento de los datos se midió empleando un teléfono Samsung Galaxy S7 Cat 9 por operadora en cada vehículo. La tecnología de acceso se fijó en modo 4G. Durante las pruebas web, se accedió a páginas web conforme a la clasificación Alexa, ampliamente reconocida. Además, se empleó la página web artificial de prueba “Kepler”. Con el fin de probar el rendimiento del servicio de datos, se transfirieron archivos de 3 MB y 1 MB para su descarga y subida a un servidor de prueba ubicado en Internet. Además, el rendimiento máximo de datos se midió analizando la cantidad de datos que podían transferirse en un periodo de 10 segundos (descarga y subida). Otra de las disciplinas era la reproducción de vídeos de YouTube. Se tomó en consideración que YouTube adapta la resolución de vídeo dependiendo del ancho de banda disponible, por lo que las mediciones de YouTube también determinaron la resolución media de los vídeos.

9.2 Parámetros reportados y resultados

Los parámetros reportados difieren en función de si se analizan servicios de voz o de datos. Además, dentro de los servicios de datos, cada prueba (navegación web, descarga/subida de archivos o YouTube) puede tener unos indicadores particulares.

Servicios de voz

Los indicadores de rendimiento extraídos para las pruebas de llamadas móvil a móvil son los siguientes:

- Porcentaje de éxito (%).
- Tiempo de establecimiento de llamada (s).
- Calidad media de la muestra de voz (MOS-LQO).

Los resultados son presentados en función del escenario donde fueron tomadas las medidas, dividiéndose así para ciudades, pueblos y carreteras.

La tabla 9.1 muestra los resultados medios obtenidos para las pruebas de voz en cada uno de los tres escenarios de medidas.

Voz - Drivetest	Vodafone	Movistar	Orange	Yoigo
Ciudades				
Porcentaje de éxito (%)	99,1	98,3	98,4	96,5
Tiempo de establecimiento de llamada (s)	5,3	6,5	5,9	7,1
Calidad media de la muestra de voz (MOS-LQO)	3,7	3,6	3,7	3,1
Pueblos				
Porcentaje de éxito (%)	98,5	99,4	98,6	96,4
Tiempo de establecimiento de llamada (s)	5,3	6,4	5,6	6,7
Calidad media de la muestra de voz (MOS-LQO)	3,7	3,5	3,7	3,1
Carreteras				
Porcentaje de éxito (%)	95,0	94,9	92,9	83,4
Tiempo de establecimiento de llamada (s)	5,4	6,5	5,8	7,1
Calidad media de la muestra de voz (MOS-LQO)	3,6	3,5	3,6	2,9

Tabla 9.1 Resultados pruebas de voz

A la vista de los resultados, Vodafone lidera la calidad del servicio de voz, sobre todo en ciudades, donde obtiene la mejor puntuación en los tres KPI analizados.

Movistar y Orange permanecen parejos en el cómputo total para los tres escenarios de medidas, ofreciendo Orange un poco mejor servicio en ciudades y Movistar en pueblos y carreteras.

Por último, Yoigo aparece en cualquier escenario como el peor operador, especialmente en carreteras, donde obtiene los peores valores con bastante diferencia respecto al resto.

Servicios de datos

Como se ha comentado antes, en función de la prueba de datos realizada es posible extraer unos indicadores de rendimiento apropiados. El siguiente esquema recoge los KPI para cada una de las pruebas realizadas.

- Descarga página web
 - Porcentaje de éxito (%).
 - Duración de la sesión (s).

Evaluación comparativa de redes móviles

- Descarga/subida de datos (3 MB/1 MB)
 - Porcentaje de éxito (s).
 - Duración media de la sesión (s).

- Descarga/subida de datos (10 segundos)
 - Porcentaje de éxito (s).
 - Velocidad media de descarga (kbit/s).

- YouTube
 - Porcentaje de éxito (%).
 - Duración de inicio de sesión (s).
 - Reproducciones sin interrupciones (%).

Al igual que en el caso de los servicios de voz, los resultados se dividen para cada uno de los escenarios de prueba. La tabla 9.2 muestra los resultados de las pruebas de datos para ciudades.

Datos Ciudades - Drivetest	Vodafone	Movistar	Orange	Yoigo
Duración de descarga de la página (Dinámica/Estática)				
Porcentaje de éxito (%/%)	99,3/99,6	99,0/99,6	98,9/99,5	96,3/97,1
Duración total de la sesión (s/s)	3,8/1,2	3,7/1,5	3,7/1,5	3,9/1,5
Descarga de datos (3 MB)				
Porcentaje de éxito/duración media de la sesión (%/s)	99,9/1,2	99,5/1,2	99,8/1,5	98,1/2,3
90%/10% más rápido que (kbit/s)	13544/57554	15613/53074	10113/44776	6267/30573
Subida de datos (1 MB)				
Porcentaje de éxito/duración media de la sesión (%/s)	99,4/1,3	99,5/1,2	98,6/1,5	95,0/2,3
90%/10% más rápido que (kbit/s)	3086/24287	4161/20725	2637/16632	1431/14159
Descarga de datos (10 segundos)				
Porcentaje de éxito (%)	99,9	99,7	99,6	98,5
Velocidad media de descarga (kbit/s)	63834	49017	43814	22530
90%/10% más rápido que (kbit/s)	20243/122992	17547/85989	14653/78903	7348/40233
Subida de datos (10 segundos)				
Porcentaje de éxito (%)	99,8	99,4	99,5	97,1
Velocidad media de descarga (kbit/s)	21640	20452	16845	11319
90%/10% más rápido que (kbit/s)	3626/42089	4401/34931	2333/31691	1316/21394
Youtube Video				
Porcentaje de éxito/duración inicio de sesión (%/s)	99,5/1,6	99,6/1,7	99,5/1,6	97,3/1,7
Reproducciones sin interrupciones (%)	100,0	99,9	100,0	100,0
Resolución media (p)	674	676	669	642

Tabla 9.2 Resultados de pruebas de datos para ciudades

En las ciudades, Vodafone y Movistar obtienen los mejores resultados, gracias a unas velocidades de descarga y subida superiores al resto. Orange les sigue de cerca y cumple razonablemente bien.

En cuanto a Yoigo, es claramente el operador que peor resultados obtiene, a excepción de las pruebas con YouTube, donde demuestra un buen desempeño. Se debe recordar que Yoigo es el único de los cuatro operadores nacionales que aún no tiene implementado LTE Advanced, que permite hacer agregación de portadora (CA) para alcanzar mayores velocidades de datos, al disponer solamente de una banda de frecuencia para LTE, la de 1800 MHz.

Continuando con el estudio, en la tabla 9.3 se presentan los resultados de datos para los pueblos.

Datos Pueblos - Drivetest	Vodafone	Movistar	Orange	Yoigo
Duración de descarga de la página (Dinámica/Estática)				
Porcentaje de éxito (%/%)	98,8/99,1	97,2/98,9	98,3/99,0	93,9/94,8
Duración total de la sesión (s/s)	3,9/1,4	3,9/1,7	3,9/1,7	4,1/1,8
Descarga de datos (3 MB)				
Porcentaje de éxito/duración media de la sesión (%/s)	100,0/2,1	99,6/1,4	99,4/2,0	96,6/2,6
90%/10% más rápido que (kbit/s)	5860/50805	9960/52563	6669/39736	5911/31755
Subida de datos (1 MB)				
Porcentaje de éxito/duración media de la sesión (%/s)	96,8/1,9	98,1/2,0	97,8/2,4	93,2/3,0
90%/10% más rápido que (kbit/s)	1916/20000	1950/17794	1390/13765	1103/12707
Descarga de datos (10 segundos)				
Porcentaje de éxito (%)	99,8	98,3	99,4	94,9
Velocidad media de descarga (kbit/s)	45807	48713	35426	23851
90%/10% más rápido que (kbit/s)	7329/87448	12729/94010	7978/70304	7073/44088
Subida de datos (10 segundos)				
Porcentaje de éxito (%)	99,2	99,2	99,1	94,9
Velocidad media de descarga (kbit/s)	15645	14163	13083	8043
90%/10% más rápido que (kbit/s)	1539/37539	1602/31666	1450/26562	698/20601
Youtube Video				
Porcentaje de éxito/duración inicio de sesión (%/s)	98,8/1,7	99,2/1,8	99,4/1,7	95,8/1,9
Reproducciones sin interrupciones (%)	100,0	100,0	100,0	100,0
Resolución media (p)	649	667	648	636

Tabla 9.3 Resultados de pruebas de datos para pueblos

En las ciudades de menor tamaño, o pueblos, los tres operadores principales mantienen niveles parejos de calidad de servicio.

Yoigo, por su parte, sufre con velocidades bastante inferiores y porcentajes de éxito alejados de los tres líderes. Mientras en las ciudades principales Yoigo era el único operador sin disponer de LTE Advance, en los pueblos aún tiene que desarrollar

al 100% su red 4G, ya que esta solo abarca a las principales ciudades españolas y la mayoría de las capitales de provincia.

Los últimos resultados que quedan por ver son las pruebas de datos para carreteras, que aparecen en la tabla 9.4.

Datos Carreteras - Drivetest	Vodafone	Movistar	Orange	Yoigo
Duración de descarga de la página (Dinámica/Estática)				
Porcentaje de éxito (%/%)	94,7/96,7	91,5/95,9	92,0/93,3	81,4/81,4
Duración total de la sesión (s/s)	4,1/1,9	4,1/2,2	4,1/2,2	4,4/2,6
Descarga de datos (3 MB)				
Porcentaje de éxito/duración media de la sesión (%/s)	98,4/3,6	97,3/3,5	96,3/4,1	87,2/5,5
90%/10% más rápido que (kbit/s)	3270/48368	3834/41812	2980/35216	2075/25913
Subida de datos (1 MB)				
Porcentaje de éxito/duración media de la sesión (%/s)	95,1/2,8	94,9/3,2	92,4/3,5	82,0/4,7
90%/10% más rápido que (kbit/s)	1108/16878	1109/14564	939/13134	782/11158
Descarga de datos (10 segundos)				
Porcentaje de éxito (%)	97,5	96,7	96,9	90,1
Velocidad media de descarga (kbit/s)	34310	27349	23625	13412
90%/10% más rápido que (kbit/s)	4509/80427	3819/60603	3468/55140	2302/32969
Subida de datos (10 segundos)				
Porcentaje de éxito (%)	95,4	96,1	94,1	86,6
Velocidad media de descarga (kbit/s)	10661	8651	7930	4751
90%/10% más rápido que (kbit/s)	804/26539	968/21213	528/20410	503/14244
Youtube Video				
Porcentaje de éxito/duración inicio de sesión (%/s)	97,2/1,9	97,2/2,1	96,1/2,1	87,9/2,3
Reproducciones sin interrupciones (%)	99,3	99,5	99,0	99,3
Resolución media (p)	612	614	571	540

Tabla 9.4 Resultados de pruebas de datos para carreteras

Los resultados de las pruebas de datos para carreteras presentan un claro dominador, Vodafone, que presenta las mejores tasas de éxito para todos los test y las mayores velocidades de descarga y subida.

En segundo y tercer lugar aparecen Movistar y Orange respectivamente, siendo Movistar el único capaz de llegar a los resultados de Vodafone en alguno de los test.

Yoigo continua el mismo camino apercibido en los resultados para pueblos, ya que como se ha dicho carece de un despliegue de red 4G comparable a la de los otros tres operadores.

Analizando los resultados vistos para datos en los tres escenarios, Vodafone sería líder, seguido por Movistar y este a su vez por Orange. Yoigo queda muy descolgado de los tres operadores principales.

9.3 Ponderación de los resultados

Para poder establecer una clasificación de los operadores, que resulte más visual e intuitiva que los datos expuestos en el apartado anterior, la empresa P3, encargada de realizar esta evaluación, distribuye una puntuación máxima entre las pruebas de voz y datos, y a la vez, entre los tres escenarios medidos.

Así, la puntuación máxima para un operador, que es de 1000 puntos, se reparte en un 60% para los resultados obtenidos en las pruebas de datos y en un 40% para los cosechados en las pruebas de voz, de manera que refleje la importancia de las situaciones de uso.

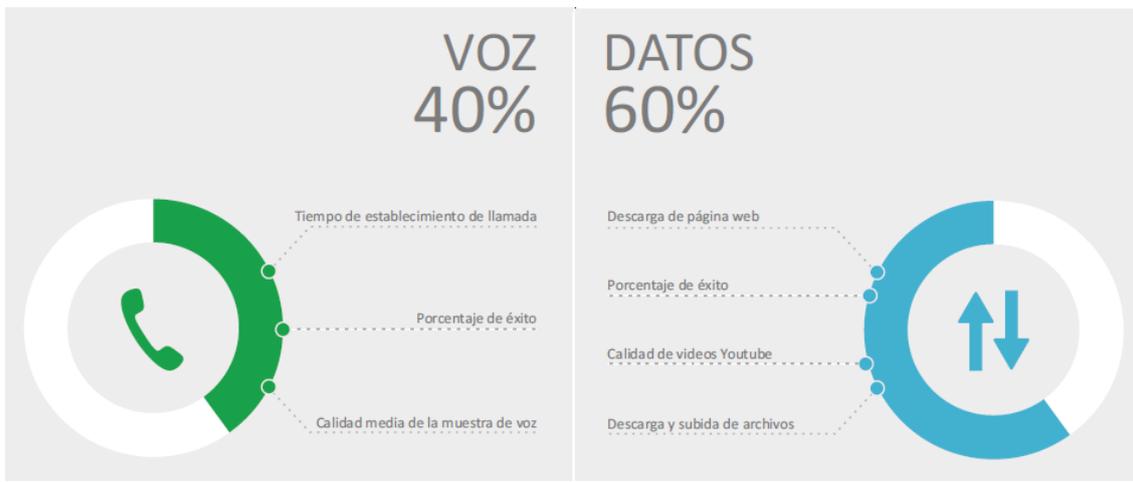


Figura 9.2 Distribución de la puntuación entre datos y voz

Por otro lado, estos 1000 puntos se encuentran también repartidos entre ciudades, con 600 puntos, pueblos, con 200 puntos, y carreteras, con los 200 puntos restantes, de manera que refleje la distribución geográfica de la población española.



Figura 9.3 Distribución de la puntuación entre los escenarios de medida

Evaluación comparativa de redes móviles

Si unimos los dos condicionantes descritos, obtenemos que, para los 600 puntos otorgados a las ciudades, 240 puntos serán para resultados de voz y 360 puntos para resultados de datos. Igualmente, para localidades pequeñas y carreteras, se repartirán los 200 puntos otorgados a cada escenario en 80 puntos para pruebas de voz y 120 para las pruebas de datos.

En la tabla 9.5 se muestra el porcentaje de puntos máximos que cada operadora ha alcanzado en cada disciplina. El criterio de cálculo de las puntuaciones no ha sido publicado por parte de la empresa encargada del análisis.

Resultados generales de voz y datos			Vodafone	Movistar	Orange	Yoigo
VOZ		max. 400 puntos	344	325	325	240
Ciudades	Drivetest	240	89%	82%	84%	68%
Pueblos	Drivetest	80	86%	88%	86%	68%
Carreteras	Drivetest	80	76%	73%	68%	28%
DATOS		max. 600 puntos	521	511	497	391
Ciudades	Drivetest	360	91%	90%	87%	74%
Pueblos	Drivetest	120	84%	83%	83%	63%
Carreteras	Drivetest	120	78%	74%	70%	41%
TOTAL		max. 1000 puntos	865	836	822	631

Tabla 9.5 Resultados generales de voz y datos

Conclusiones

Vodafone es la clara ganadora, tanto en voz como en datos. Lidera con claridad en las ciudades y carreteras, pero sus resultados se debilitan en las localidades pequeñas en comparación con Movistar.

Movistar se alza con la medalla de plata. Es la mejor en la categoría de voz en las localidades pequeñas, y su rendimiento de datos es excelente en las ciudades y localidades pequeñas.

Orange queda en tercer lugar, igualando a Movistar en la categoría de voz. Ha demostrado tener una fuerza especial en las localidades pequeñas, donde alcanza el mismo nivel que sus competidores en todas las disciplinas. Su tercer puesto se debe a un rendimiento global más débil en la categoría de datos.

La operadora española de menor tamaño, Yoigo, se queda a la zaga. En las grandes ciudades alcanza resultados aceptables, pero en las localidades pequeñas y en las carreteras se encuentra a gran distancia de los otros tres operadores.

CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

Los operadores de redes de telefonía móvil están continuamente evolucionando y modernizando su red, intentando ofrecer nuevas funcionalidades a sus clientes y mejor calidad de servicio.

Actualmente, los cuatro operadores en España con red propia trabajan en la mejora de la red LTE, ampliando su cobertura, evolucionando hacia el estándar LTE-Advance para ofrecer mayor velocidad de tráfico de datos, y ofreciendo nuevos servicios como VoLTE para la realización de llamadas de voz.

Sin embargo, no todos los operadores despliegan estas mejoras a la misma velocidad, impidiendo realizar una comparación homogénea de sus redes. En el caso del LTE-Advanced, sólo está desarrollado en las principales ciudades del país, y Yoigo no tiene posibilidad de implementarlo. Y en el caso de VoLTE, de momento sólo Vodafone lo ofrece a sus clientes, lo que imposibilita una comparación del servicio con sus rivales directos.

Desde el punto de vista de los fabricantes de equipos de prueba, es fundamental ir un paso por delante a la implantación de una tecnología por parte de los operadores, ya que precisamente sus equipos deben utilizarse para evaluar el rendimiento de dicha tecnología.

Cada vez que sale un nuevo estándar de comunicaciones móviles, este es implementado antes por parte de los fabricantes de dispositivos móviles o equipos de prueba que por los operadores de telefonía móvil. La razón principal es el costo y el tiempo que supone la actualización de una red móvil.

Como ejemplo de esto último podemos nombrar la tecnología MIMO 4x4. El Samsung Galaxy S7, lanzado a principios de 2016, fue el primer terminal preparado para poder hacer uso de esta tecnología. Acto seguido, Rohde & Schwarz ya integraba este dispositivo en su amplia gama de productos para medidas en redes de telefonía móvil. En cuanto a los operadores, Vodafone España ha presentado este verano la activación del 4.5G, incluyendo MIMO 4x4, en las zonas céntricas de las principales ciudades del país.

Desafíos del mañana

A pesar de que a día de hoy las compañías de telecomunicaciones todavía no han completado el despliegue de 4G en todo el territorio, la quinta generación de telefonía (5G) ya está en camino y pronto nuestros teléfonos móviles funcionarán más rápidos y de forma más eficiente.

Los primeros en implantar esta tecnología serán Estados Unidos y países asiáticos como Japón y Corea. Más tarde llegará a los países europeos, entre ellos España, donde se prevén los primeros despliegues para 2020.

Las conexiones 5G podrán alcanzar una velocidad de hasta 20 Gbps. Los operadores de telefonía móvil tendrán que requerir operar en un nuevo espectro en el rango de 6 a 300 GHz, lo que implica inversiones masivas en la infraestructura de red.

Supondrá una evolución más allá del internet móvil y alcanzará el “*Internet of Things*” (IoT, “Internet de las cosas”) de forma masiva. La baja latencia del 5G permitirá interactuar en tiempo real a todos los objetos cotidianos con Internet, a diferencia del IoT actual donde los servicios de internet actuales comprometen el rendimiento de estos objetos.

Colaboración abierta para la evaluación comparativa de redes móviles

La colaboración abierta o *crowdsourcing* consiste en externalizar tareas que, tradicionalmente, realizaban empleados o contratistas, dejándolas a cargo de un grupo numeroso de personas o de una comunidad, a través de una convocatoria abierta.

Actualmente la evaluación de redes móviles se realiza mediante pruebas de *drive test*, que cuenta con las siguientes desventajas:

- Consumo de una cantidad significativa de tiempo y esfuerzo humano.
- Grandes gastos de operación.
- Adquisición de datos limitada geográficamente (desplazamientos).
- Necesidad de realizar un análisis a posteriori.

La colaboración abierta mediante nuestros teléfonos móviles parece una alternativa viable a las pruebas convencionales. La idea es que los teléfonos funcionen como sensores geolocalizados capaces de monitorear el estado de la red de acceso, además de servir como equipos de medida. La práctica común es que los dispositivos ejecuten una aplicación móvil que, conectada a un servidor designado, pueda proporcionar mediciones relacionadas con la red tales, como por ejemplo la velocidad de transferencia de datos o el retardo de la red.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 DynaTAC 8000x. Primer teléfono portátil.	12
Figura 1.2 Nokia 1011. Primer teléfono GSM producido en masa.....	13
Figura 1.3 Cuadro de evolución de las redes móviles	15
Figura 2.1 Arquitectura de una red GSM.....	21
Figura 2.2 Canales TDMA sobre las frecuencias portadoras FDMA	22
Figura 2.3 Esquema de los canales lógicos existentes en GSM.....	24
Figura 2.4 Esquema de representación del handover para un dispositivo móvil	26
Figura 2.5 Asignación de canal radio en GSM	29
Figura 2.6 Autenticación del terminal en la red GSM	29
Figura 2.7 Establecimiento de una llamada MOC en GSM.....	30
Figura 2.8 Terminación de llamada en GSM.....	31
Figura 2.9 Arquitectura de red GPRS.....	32
Figura 2.10 Diagrama de estados de un móvil GPRS.....	33
Figura 2.11 Activación de "GPRS Attach"	34
Figura 2.12 Activación de "GPRS Attach" (continuación).....	35
Figura 2.13 Procedimiento de activación de "PDP Context" iniciado por MS.	36
Figura 2.14 Procedimiento de activación de "PDP Context" iniciado en red.....	38
Figura 2.15 Procedimiento de desactivación de "PDP Context"	38
Figura 3.1 Representación de una red UMTS.....	40
Figura 3.2 Mapeo de canales de una red UMTS.....	41
Figura 3.3 Representación de los diferentes estados del móvil en UMTS	44
Figura 3.4 Proceso de Paging tipo 1 en red UMTS	45
Figura 3.5 Proceso de Paging tipo 2 en red UMTS	46
Figura 3.6 Configuración de la conexión de control de recursos radio en UMTS	46
Figura 3.7 Proceso de razonamiento de transacciones en UMTS.....	47
Figura 3.8 Proceso de autenticación y seguridad en UMTS	47
Figura 3.9 Configuración de la transacción y asignación del RAB en UMTS	48
Figura 3.10 Proceso de transacción en UMTS	49

Figura 3.11 Desbloqueo de transacciones y liberación de RAB en UMTS.....	49
Figura 3.12 Liberación de conexión en UMTS	50
Figura 4.1 Representación de la arquitectura 4G	56
Figura 4.2 Diferencia entre VoLTE y VoLGA.....	58
Figura 4.3 Estructura de canales en LTE en las diferentes capas	59
Figura 4.4 Mapeo de canales en una red LTE.....	61
Figura 4.5 Transición de estados en LTE.....	62
Figura 4.6 Procedimiento de registro en LTE	63
Figura 4.7 Activación de portadora dedicada en LTE	64
Figura 4.8 Procedimiento de conexión de recursos radio en LTE	65
Figura 4.9 Liberación de sesión radio en LTE	67
Figura 4.10 Representación de Carrier Agregation con dos bandas de 10Mhz	68
Figura 4.11 Representación de Carrier Agregation de hasta 5 bandas con 20MHz	68
Figura 6.1 Organigrama del equipo de proyecto	75
Figura 6.2 Visión general de los componentes del sistema Benchmarker II.....	79
Figura 6.3 Computer Module Rack.....	80
Figura 6.4 Computer SlideIn Module.....	80
Figura 6.5 Device Module Rack	81
Figura 6.6 AudioDevice SlideIn Module	81
Figura 6.7 Módulo ASM con teléfono móvil instalado en su interior	82
Figura 6.8 Dispositivo RF Combiner Module y ejemplo de conexión.....	82
Figura 6.9 Escáner PCTEL SeeGull MXflex	83
Figura 6.10 Antenas instaladas en el cofre.....	84
Figura 6.11 Antena PCTEL.....	84
Figura 6.12 Distancias para las antenas del techo	85
Figura 6.13 Dispositivo GPS	86
Figura 6.14 Inversor DC/AC	86
Figura 6.15 Módulo de alimentación ininterrumpida	87
Figura 6.16 Consolas NQView.....	87

Figura 6.17 Función System Configuration en la consola Control	88
Figura 6.18 Función Task and Jobs en la consola Control	88
Figura 6.19 Función Task Schedules en la consola Control	89
Figura 6.20 Panel Test Results Summary en la consola Control	89
Figura 6.21 Función Pages and Monitors en la consola Replay	90
Figura 6.22 Función Values en la consola Replay	90
Figura 6.23 Función Values en la consola Realtime	91
Figura 6.24 Función User Markers en la consola Realtime	91
Figura 6.25 Componentes equipo Qualipoc Freerider II	92
Figura 6.26 Espacio de trabajo tableta Qualipoc.....	93
Figura 6.27 Monitor Slaves	94
Figura 6.28 Menú principal.....	95
Figura 6.29 Menú de acciones.....	96
Figura 6.30 Acceso a BBDD	97
Figura 6.31 Ventana principal de NQDI	98
Figura 6.32 Pestaña Data Management - Import Data	98
Figura 6.33 Pestaña Data Management - Import Data	99
Figura 6.34 Pestaña Data Management - Mantein Data.....	99
Figura 6.35 Pestaña Data Selection - General	100
Figura 6.36 Data Selection - Test	100
Figura 6.37 Ejemplo de un archivo de medidas	101
Figura 6.38 Pestaña Analysis	102
Figura 6.39 Pestaña Analysis – Session Overview	102
Figura 6.40 Pestaña Analysis – Analysis pages configuration	103
Figura 6.41 Pestaña Analysis – Panel de resultados.....	104
Figura 6.42 Pantalla inicial de la pestaña Graphs.....	104
Figura 6.43 Herramienta Map	105
Figura 6.44 Selección de informe	105
Figura 6.45 Ejemplo de informe generado.....	106

Figura 7.1 Ejemplo de límites políticos y zonas urbanizadas	109
Figura 7.2 Ejemplo de área muestreada para una ciudad secundaria	110
Figura 7.3 Ejemplos de lugares de concentración	113
Figura 7.4 Operadores bajo prueba	114
Figura 7.5 Análisis de CA en NQDI	116
Figura 7.6 Configuración para llamadas de móvil a móvil desde coches distintos	117
Figura 7.7 Configuración para llamadas de móvil a móvil desde el mismo coche	117
Figura 7.8 Configuración para llamadas móvil a fijo	118
Figura 7.9 Configuración para medida de datos 4G con CA	118
Figura 7.10 Configuración para medida de datos 4G	119
Figura 7.11 Forzado de tecnología en NQView	119
Figura 7.12 Forzado de tecnología en QualiPoc	120
Figura 7.13 Patrón para prueba de voz	121
Figura 7.14 Configuración de llamada en NQView	122
Figura 7.15 Opción MultiRAB en NQView	123
Figura 7.16 Modelo POLQA para evaluación de la calidad de voz	124
Figura 7.17 Representación de resultados POLQA en NQDI	125
Figura 7.18 Ciclo de datos	126
Figura 7.19 Activación de contexto PDP	126
Figura 7.20 Navegación web vía HTTP	127
Figura 7.21 Tansferencia de archivos vía HTTP	127
Figura 7.22 Ping ICMP	129
Figura 7.23 Activación de alta calidad	130
Figura 7.24 Creación de ciclo de datos en NQView	130
Figura 8.1 Calidad de servicio extremo a extremo	133
Figura 8.2 Cuatro polos de la calidad de servicio	134
Figura 8.3 Aspectos de QoS relacionados con las fases de uso del servicio	135
Figura 8.4 Aspectos de QoS y sus correspondientes parámetros de QoS	137
Figura 8.5 Diagrama de flujo para MOC en GSM	138

Figura 8.6 Gráfico de una llamada GSM en NQDI	139
Figura 8.7 Método A para el cálculo de parámetros QoS	143
Figura 8.8 Método B para el cálculo de parámetros QoS	143
Figura 8.9 Fases típicas de los servicios de vídeo basados en TCP.....	148
Figura 8.10 KPI de YouTube en NQDI	149
Figura 9.1 Rutas de las pruebas.....	151
Figura 9.2 Distribución de la puntuación entre datos y voz.....	157
Figura 9.3 Distribución de la puntuación entre los escenarios de medida	157

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Características técnicas de GSM	17
Tabla 4.1 Resumen de velocidades de LTE o 4G en España	53
Tabla 6.1 Longitudes de onda para las frecuencias típicas	85
Tabla 8.1 Escala MOS de calidad de voz.....	140
Tabla 9.1 Resultados pruebas de voz	153
Tabla 9.2 Resultados de pruebas de datos para ciudades	154
Tabla 9.3 Resultados de pruebas de datos para pueblos.....	155
Tabla 9.4 Resultados de pruebas de datos para carreteras	156
Tabla 9.5 Resultados generales de voz y datos	158

ACRÓNIMOS

3GPP	3rd Generation Partnership Project
AC	Alternating Current
ACCH	Associated Control Channel
AGCH	Access Grant Channel
AICH	Adquisition Indicator Channel
AMPS	Advanced Mobile Phone System
AP-AICH	Access Preamble Acquisition Indicator channel
APN	Access Point Name
ARFCN	Absolute Radio Frequency Channel Number
ASM	AudioDevice SlideIn Module
AuC	Authentication Center
BCCH	Broadcast Control Channel
BCH	Broadcast Channel
BSC	Base Station Controller
BSS	Base Station Subsystem
BTS	Base Transceiver Station
CA	Carrier Aggregation
CCCH	Common Control Channel
CCH	Control Channel
CD/CA-ICH	Collision Detection/Channel Assignment Indicator Channel
CDMA	Code Division Multiple Access
CMR	Computer Module Rack
CPICH	Common Pilot Channel
CS	Circuit Switching
CSFB	Circuit Switched FallBack
CSICH	CPCH Status Indication Channel
CSM	Computer SlideIn Modules
CTCH	Common Traffic Channel
D-AMPS	Digital Advanced Mobile Phone System

DC	Direct Current
DCCH	Dedicated Control Channel
DCH	Dedicated Channel
DDI	Daini Denden Incorporated
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DL-SCH	Downlink Shared Channel
DMR	Device Module Rack
DNS	Domain Name System
DPCCH	Dedicated Physical Control Channel
DPDCH	Dedicated Physical Data Channel
DSCH	Downlink Shared Channel
DTCH	Dedicated Traffic Channel
DVI	Digital Visual Interface
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
E-GPRS	Enhanced GPRS
EIR	Equipment Identity Registrer
EPC	Evolved Packet Core
ERAB	E-UTRAN Radio Access Bearer
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FACCH	Fast Associated Control Channel
FACH	Forward Access Channel
FCCH	Frequency Correction Channel
FDD	Frequency Division Duplex
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FTP	File Transfer Protocol
G-GSN	Gateway GPRS Support Node
GAN	Generic Access Network
GIWU	GSM Interworking Unit
GMSC	Gateway Mobile Services Switching Center
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Position System

GSM	Global System for Communications
GSN	Gateway Support Node
HD	High Definition
HDMI	High-Definition Multimedia Interface
HLR	Home Location Register
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
HSPA	High-Speed Packet Access
HSS	Home Subscriber Server
HSUPA	High-Speed Uplink Packet Access
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
ICCID	Integrated Circuit Card Identifier
ICMP	Internet Control Message Protocol
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IMEI	International Mobile Station Equipment Identity
IMS	IP Multimedia Subsystem
IMSI	International Mobile Subscriber Identity
IMT	International Mobile Telecommunications
IP	Internet Protocol
ITU	International Telecommunication Union
JTACS	Japanese Total Access Communication System
KPI	Key Performance Indicator
LAC	Location Area Code
LAI	Location Area Identity
LAN	Local Area Network
LTE	Long Term Evolution
MAC	Media Access Control
MCC	Mobile Country Code
MCCH	Multicast Control Channel
MCH	Multicast Channel
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MM	Mobility Management

MME	Mobility Management Entity
MNC	Mobile Network Code
MOC	Mobile Originated Call
MOS-LQO	Mean Opinion Score - Listening Quality Objective
MS	Mobile Station
MSC	Mobile Switching Center
MSIN	Mobile Subscription Identification Number
MSISDN	Mobile Station Integrated Services Digital Network
MTC	Mobile Terminated Call
MTCH	Multicast Traffic Channel
NAS	Non-Access Stratum
NBAP	Node B Application Part
NDC	National Destination Code
NMEA	National Marine Electronics Association
NMS	Network Management Station
NMT	Nordic Mobile Telephone
NQDI	NetQual Data Investigation
NSAPI	Network Service Access Point Identifier
NSS	Network Switching Subsystem
NTT	Nippon Telegraph and Telephone
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
OMC	Operations and Maintenance Center
PBCH	Physical Broadcast Channel
PC	Personal Computer
PCC	Primary Component Carrier
PCCH	Paging Control Channel
P-CCPCH	Primary Common Control Physical Channel
PCFICH	Physical Control Format Indicator Channel
PCH	Paging Channel
PCPCH	Physical Common Packet Channel
PCRF	Policy Control and Charging Rules Function

PDCCH	Physical Downlink Control Channel
PDP	Packet Data Protocol
PDSCH	Physical Downlink Shared Channel
PDU	Protocol Data Unit
PHICH	Physical Hybrid ARQ Indicator Channel
PICH	Page Indicator Channel
PLMN	Public Land Mobile Network
PMCH	Physical Multicast Channel
POLQA	Perceptual Objective Listening Quality Analysis
PRACH	Physical Random Access Channel
PS	Packet Switching
PUCCH	Physical Uplink Control Channel
PUSCH	Physical Uplink Shared Channel
QoE	Quality of Experience
QoS	Quality of Service
RAB	Radio Access Bearer
RACH	Random Access Channel
RAN	Radio Access Network
RANAP	Radio Access Network Application Part
RCM	RF Combiner Module
RDSI	Red Digital de Servicios Integrados
RF	Radio Frequency
RNC	Radio Network Controller
RNS	Radio Network Subsystem
RRC	Radio Resource Control
RTMI	Radio Telefono Mobile Integrato
RTT	Round Trip Time
S-GSN	Serving GPRS Support Node
SACCH	Slow Associated Control Channel
SATA	Serial Advanced Technology Attachment
SCC	Secondary Component Carrier

S-CCPCH	Secondary Common Control Physical Channel
SCH	Synchronisation Channel
SD	Secure Digital (tarjeta)
SD	Standard Definition (resolución de vídeo)
SDCCH	Specific Dedicated Control Channel
SGW	Serving Gateway
SHCCH	Shared Control Channel
SIM	Subscriber Identity Module
SMA	SubMiniature version A
SMS	Short Message Service
SN	Subscriber Number
SQL	Structured Query Language
SRVCC	Signal Radio Voice Call Continuity
TA	Tracking Area
TACS	Total Access Communications System
TAI	Tracking Area Identifier
TCH	Traffic Channel
TCP	Transmission Control Protocol
TDD	Time Division Duplex
TDM	Time Division Multiplexing
TDMA	Time Division Multiple Access
TDS-CDMA	Time Division Synchronous CDMA
TS	Time Slot
UE	User Equipment
UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones
UL-SCH	Downlink Shared Channel
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
URA	UTRAN Registration Area
USB	Universal Serial Bus
USIM	Universal Subscriber Identity Module
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network

VANC	VoLGA Access Network Controller
VLR	Visitor Location Register
VoIP	Voice over Internet Protocol
VoLGA	Voice over LTE GAN
VoLTE	Voice over Long-Term Evolution
W-CDMA	Wideband Code Division Multiple Access
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Sistemas de telefonía y comunicaciones móviles". Máster Universitario en Desarrollo de Software para Dispositivos Móviles, curso 2014-2015, de la Universidad de Alicante.
https://mastermoviles.gitbooks.io/tecnologias2/content/sistemas_de_telefonia_y_comunicaciones_moviles.html
- [2] Tutorial de la capa física en comunicaciones móviles. Leonardo Almagro Martos.
<http://ceres.ugr.es/~alumnos/tutorialcfc/cm/cuatro.html>
- [3] Comunicaciones móviles. Sistemas GSM, UMTS y LTE. José Manuel Huidobro. Ra-Ma Edición 2012.
- [4] Comunicaciones móviles. David Ortega Gallegos.
<https://es.slideshare.net/davidortegag/capitulo-07-comunicaciones-moviles>
- [5] Training GSM. Call establishment. Documentación de la empresa LCC España
- [6] GPRS Procedures (General Packet Radio Service) Part 1
<http://what-when-how.com/roaming-in-wireless-networks/gprs-procedures-general-packet-radio-service-part-1>
- [7] GPRS Procedures (General Packet Radio Service) Part 2
<http://what-when-how.com/roaming-in-wireless-networks/gprs-procedures-general-packet-radio-service-part-2>
- [8] ¿Qué son los Modos, Estados y Transiciones en GSM, UMTS y LTE? Telecom Hall
<http://www.telecomhall.com/es/que-son-los-modos-estados-y-transiciones-en-gsm-umts-y-lte.aspx>
- [9] Curso LTE. Arquitectura funcional y protocolos. Manuel Álvarez-Campana.
<http://catedraisdefe.etsit.upm.es/wp-content/uploads/2015/04/Manuel-Alvarez-Campana-T3.pdf>
- [10] LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles. Fundación Vodafone España.
http://www.fundacionvodafone.es/sites/default/files/libro_lte.pdf
- [11] KPIs and Benchmarking.
<http://constructingexcellence.org.uk/kpis-and-benchmarking>

- [12] Benchmarking.
<http://www.mobile-network-testing.com/en/solutions/mobile-operators/mobile-benchmarking>
- [13] Campaña de benchmarking: cobertura de telefonía móvil en entornos indoor. Celia Moreno Jiménez. Proyecto Fin de Carrera, Universidad de Sevilla.
- [14] Drive testing.
https://en.wikipedia.org/wiki/Drive_testing
- [15] Diversity Benchmarker II.
<http://www.mobile-network-testing.com/en/products/benchmarking/diversity-benchmarker-2>
- [16] SwissQual Diversity Benchmarker II Hardware Manual.
- [17] ETSI TR 102 581, A Study on the Minimum Additional Required Attenuation.
- [18] SwissQual Antenna System Diagrams and RF Isolation Application Note.
- [19] SwissQual NetQual NQView User Manual.
- [20] SwissQual QualiPoc Freerider II Manual.
- [21] SwissQual NetQual NQDI Classic Manual.
- [22] Vodafone Monthly Drive Tests Benchmark Methodology Specification by TLT FY2015/16, Requirement and Measurement Specification.
- [23] Recommendation ITU-T P.863, Perceptual objective listening quality assessment.
- [24] SwissQual Diversity Data and Messaging Tests Manual.
- [25] Fast Dormancy.
https://en.wikipedia.org/wiki/Fast_Dormancy
- [26] Recomendación UIT-T E.800, Definiciones de términos relativos a la calidad de servicio.
- [27] Recomendación UIT-T G.1000, Calidad de servicio en las comunicaciones: Marco y definiciones.
- [28] Recommendation ITU-T E.804, QoS aspects for popular services in mobile networks.
- [29] ETSI TS 102 250-2, Definition of Quality of Service parameters and their computation

[30] Análisis de las redes españolas de telefonía móvil en 2016.

<http://www.p3-networkanalytics.com/wp-content/uploads/2016/11/Spain-network-test-connect-2016-spanish-V3.pdf>