

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE MADRID

ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR



PROYECTO FIN DE CARRERA

**RENOVACIÓN TECNOLÓGICA DE LA RED DE
ACCESO DE UN OPERADOR MÓVIL**

Ingeniería de Telecomunicación

Víctor Sánchez Bernaldo de Quirós
Septiembre de 2015

RENOVACIÓN TECNOLÓGICA DE LA RED DE ACCESO DE UN OPERADOR MÓVIL

AUTOR: Víctor Sánchez Bernaldo de Quirós
TUTOR: Ricardo Gonzalez Marcos
PONENTE: Jorge E. López de Vergara Méndez

Ingeniería de Telecomunicación
Escuela Politécnica Superior
Universidad Autónoma de Madrid
Septiembre de 2015

Resumen

En este proyecto se identifican, miden, analizan y finalmente se optimizan los Indicadores Clave de un Red de Acceso Radio en la que se ha llevado a cabo una renovación tecnológica. Esta renovación se hace mediante la sustitución de equipamiento antiguo al tiempo que se implanta nuevo equipamiento para satisfacer las necesidades del mercado. Para la ejecución del proyecto se ha seleccionado un área urbana con alta densidad de abonados.

Como punto de partida del proyecto se ha resumido de forma breve el estado del Arte de las diferentes tecnologías disponibles haciendo un especial hincapié en la tecnología "SINGLE RAN" que tiene como característica principal la posibilidad de soportar múltiples estándares de comunicación móvil.

A lo largo de proyecto se han seguido los procedimiento que Ericsson tiene definidos para la optimización de redes móviles. En ese proceso, se estudian los KPIs de nodos GSM, UMTS y LTE, una vez analizado, se procede a recomendar acciones correctoras con el objeto de conseguir las condiciones óptimas para poder ofrecer el mejor servicio al usuario final de la red.

El desarrollo se ha llevado a cabo en tres etapas. En primer lugar, se describe el emplazamiento donde se realiza la modernización de la red. En segundo lugar, se explican los distintos procesos de monitorización, First Tuning y optimización, para todas las tecnologías (2G/3G/4G) y sus respectivos KPIs. Finalmente, se muestran los resultados de la monitorización, explicando y analizando el comportamiento de los nodos, y en el caso de exista alguna incidencia, dar soluciones y recomendaciones de mejora

Finalmente, se presentan las conclusiones extraídas a lo largo del trabajo, así como las posibles líneas de trabajo futuro.

Palabras Clave

Tecnología, GSM, UMTS, LTE, KPI, First tuning, optimización, emplazamiento, modernización y swap.

Abstract

This thesis describes process of the identification, measurement, analysis and optimization of the Key Performance Indicators of Radio Access Network that has undergone a technology renovation by replacing old equipment and adding new technologies. The work is conducted in site located in a dense urban area.

As an introduction of the project there is a summary where it is highlighted the state of art of the different technologies with particular emphasis on the "SINGLE RAN" technology which supports multiple mobile communications standards.

The execution follows procedures that Ericsson has been using in the area of optimization of the mobile access network in the last years. In that process, a number of KPIS of GSM, UMTS and LTE nodes are studied and analyzed and subsequently a number of corrective actions are taken in order to achieve a site with the capability to offer improved services and features to the end user.

The development part is carried out three steps. Firstly, it is described the site which is the subject of the network modernization. Secondly, it is explained the monitoring processes, First tuning and optimization, for all technologies as well as their respective targeted KPIs. At the third place, the behavior of the KPI values resulted from the monitoring periods is analyzed and, in case there is an incidence in the node, recommend the necessary actions to resolve it.

Finally, are presented the conclusions extracted throughout this work as well as the possible lines of future work.

Key Words

Technology, GSM, UMTS, LTE, KPI, First tuning, optimization, site, modernization and swap.

Agradecimientos

Quisiera agradecer a varias personas todo el apoyo y ayuda que me han aportado en estos años de enseñanza y especialmente para la realización de este proyecto.

En primer lugar, a mis compañeros de clase por todos estos años de universidad, con los que he compartido una gran experiencia tanto a nivel de estudios como personal.

Agradecer a todo el profesorado de la Universidad Autónoma de Madrid por todo lo que me han enseñado y en especial a mi ponente Jorge Lopez de Vergara Méndez por darme la posibilidad de realizar este proyecto.

A Ericsson por darme la posibilidad de la realización del proyecto y en especial a mi tutor Ricardo Gonzalez Marcos. También a mis compañeros de trabajo Dani, Christian, Marely e Isa por todo lo que me han enseñado, ayudado y apoyado en la realización de este proyecto.

Por último, a mi familia, mis amigos y mi pareja por todo el apoyo que me han dado en todos los momentos desde que empecé. De verdad, a vosotros muchas gracias.

INDICE DE CONTENIDOS

1	Introducción	1
1.1	Motivación	1
1.2	Objetivo	1
1.3	Metodología y plan de trabajo	2
1.4	Organización de la memoria	2
2	Estado del arte	5
2.1	Funcionamiento de una red móvil	5
2.2	Evolución de las redes móviles	7
2.3	Estándares de red de acceso móvil	9
2.3.1	GSM	9
2.3.2	UMTS	13
2.3.3	LTE	16
2.4	Optimización de Redes de acceso móvil	21
2.5	Tecnología Single RAN	22
2.6	Conclusiones	26
3	Contexto del proyecto	27
3.1	Introducción	27
3.2	Valor para el Operador	29
3.3	Valor para el usuario final	30
3.4	Conclusiones	30
4	Desarrollo	31
4.1	Introducción	31
4.2	Emplazamiento	31
4.3	Descripción de KPIs	33
4.4	Herramientas	34
4.5	First tuning y optimización GSM/UMTS	35
4.5.1	First Tuning	35
4.5.1.1	KPIs GSM	36
4.5.1.2	KPIs UMTS	37
4.5.2	Optimización	38
4.5.2.1	KPIs GSM	38
4.5.2.2	KPIs UMTS	40
4.5.3	Plan de tiempos	41
4.6	First tuning LTE	42
4.6.1	Medida estática	43
4.6.2	Medida dinámica	43
4.6.3	KPIs LTE	44
4.6.3.1	Informe de medidas en modo estático	44
4.6.3.2	Informe de medidas en modo dinámico	45
4.6.4	Plan de tiempos	47
4.7	Conclusiones	48
5	Monitorización, pruebas y resultados	49
5.1	GSM900	49
5.1.1	First tuning	49
5.1.2	Optimización	53
5.2	UMTS U900	59
5.2.1	First tuning	59
5.2.2	Optimización	63

5.3 UMTS U2100	69
5.3.1 First tuning.....	69
5.3.2 Optimización	73
5.4 LTE1800.....	79
5.4.1 Medida estática.....	79
5.4.2 Medida dinámica	80
5.5 Conclusiones.....	83
6 Conclusiones y trabajo futuro	85
6.1 Conclusiones.....	85
6.2 Trabajo futuro	86
Referencias y bibliografía	87
Términos.....	88
Glosario.....	89
Anexo	92
A. PRESUPUESTO.....	92
B. PLIEGO DE CONDICIONES	95

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 2-1: COBERTURA DE ESTACIONES BASE.....	5
FIGURA 2-2: SISTEMA CELULAR HEXAGONAL.....	6
FIGURA 2-3: EVOLUCIÓN DE LA TECNOLOGÍA MÓVIL DIGITAL 2G-2G-4G.....	8
FIGURA 2-4: RESUMEN FRECUENCIAS GSM [3].....	9
FIGURA 2-5: ARQUITECTURA DE RED GSM	10
FIGURA 2-6: ARQUITECTURA GPRS	13
FIGURA 2-7: ARQUITECTURA UMTS/GERAN	14
FIGURA 2-8: EVOLUCIÓN HSPA [4]	16
FIGURA 2-9: EVOLUCIÓN DE INGRESOS POR MINUTO (1993-2010) [5]	16
FIGURA 2-10: PROMEDIO MENSUAL DE MINUTOS DE USO POR ABONADO [5].....	17
FIGURA 2-11: DISTRIBUCIÓN DE INGRESOS DE SERVICIOS MÓVILES [5].....	17
FIGURA 2-12: CRECIMIENTO MENSUAL DE DATOS (MB) [5]	18
FIGURA 2-13: FRECUENCIAS LTE [6].....	19
FIGURA 2-14: CARACTERÍSTICAS LTE [6]	19
FIGURA 2-15: ARQUITECTURA LTE	20
FIGURA 2-16: MÓDULOS RBS 6000 [8].....	22
FIGURA 2-17: EVO CONTROLLERS [8].....	23
FIGURA 2-18: INFRAESTRUCTURA COMPARTIDA CON EVO RAN [8].....	23
FIGURA 2-19: CAPACIDAD DE TRANSPORTE (IP RAN) [8].....	24
FIGURA 2-20: SISTEMA DE SOPORTE A OPERACIÓN COMÚN [8].....	24
FIGURA 2-21: EJEMPLO DE MODERNIZACION RBS PARA TECNOLOGÍA GSM [8]	25
FIGURA 2-22: AHORRO ENERGÉTICO CON RBS6000 [8].....	25
FIGURA 3-1: MAPA DE DISTRIBUCIÓN REGIONAL DEL OPERADOR [9].....	28
FIGURA 3-2: MAPA DE UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS OFICINAS DE ERICSSON [9]	29
FIGURA 4-1: UBICACIÓN DEL EMPLAZAMIENTO (PUNTO AZUL).....	31

FIGURA 4-2: COBERTURA GSM900 PREVIA.....	32
FIGURA 4-3: SIMULACIÓN DE LA SITUACIÓN FINAL.....	33
FIGURA 4-4: PLAN DE TIEMPOS GENÉRICO NODOS GSM/UMTS	42
FIGURA 4-5: PLAN DE TIEMPOS GENÉRICO NODOS LTE.....	47
FIGURA 5-1: 2G CALL SETUP FAIL RATE	49
FIGURA 5-2: 2G CALL DROP RATE CS.....	50
FIGURA 5-3: 2G ASSIGNMENT FAILURE RATIO (SDCCH).....	50
FIGURA 5-4: VOICE TRAFFIC VOLUME (IN ERLANG)	51
FIGURA 5-5: GPRS/EDGE DATA VOLUME (IN KBYTE).....	51
FIGURA 5-6: CELL AVAILABILITY ON ANY HOUR.....	52
FIGURA 5-7: 2G ASSIGNMENT FAILURE RATIO (TCH)	53
FIGURA 5-8: 2G ASSIGNMENT FAILURE RATIO (SDCCH).....	54
FIGURA 5-9: 2G VOICE DROP CALL RATE.....	54
FIGURA 5-10: GPRS/EDGE DATA VOLUME (IN KBYTE).....	55
FIGURA 5-11: BAD QUALITY UPLINK SAMPLES (RX QUAL 5-7 FROM TOTAL)	55
FIGURA 5-12: BAD QUALITY DOWNLINK SAMPLES (RX QUAL 5-7 FROM TOTAL)	56
FIGURA 5-13: VOICE TRAFFIC VOLUME (IN ERLANG).....	56
FIGURA 5-14: % OF AMR TRAFFIC	57
FIGURA 5-15: % CELL DOWNTIME	57
FIGURA 5-16: 3G CALL SETUP FAIL RATE	59
FIGURA 5-17: 3G PACKET SWITCHED FAIL RATE	60
FIGURA 5-18: 3G CALL DROP RATE CS.....	60
FIGURA 5-19: 3G PACKET SWITCHED DROP RATE PS	61
FIGURA 5-20: 2G -> 2G, 3G -> 3G O 3G -> 2G SHO/HHO FAIL RATE	61
FIGURA 5-21: CELL AVAILABILITY ON ANY HOUR.....	62
FIGURA 5-22: CSSR CS VOICE BLOCK RATE	63

FIGURA 5-23: CSSR PS BLOCK RATE	64
FIGURA 5-24: VOICE DROP CALL RATE	64
FIGURA 5-25: PS DROP CALL RATE	65
FIGURA 5-26: VOICE TRAFFIC VOLUME (IN ERLANG)	65
FIGURA 5-27: HSxPA DATA VOLUME (IN KBYTE):	66
FIGURA 5-28: VOICE IRAT HO FAILURE RATE	66
FIGURA 5-29: RSSI WEEKLY <-96DBM	67
FIGURA 5-30: CELL AVAILABILITY	67
FIGURA 5-31: 3G CALL SETUP FAIL RATE	69
FIGURA 5-32: 3G PACKET SWITCHED FAIL RATE	70
FIGURA 5-33: 3G CALL DROP RATE CS:	70
FIGURA 5-34: 3G PACKET SWITCHED DROP RATE PS	71
FIGURA 5-35: 2G -> 2G, 3G -> 3G o 3G -> 2G SHO/HHO FAIL RATE	71
FIGURA 5-36: CELL AVAILABILITY ON ANY HOUR	72
FIGURA 5-37: CSSR CS VOICE BLOCK RATE	73
FIGURA 5-38: CSSR PS BLOCK RATE	74
FIGURA 5-39: VOICE DROP CALL RATE	74
FIGURA 5-40: PS DROP CALL RATE	75
FIGURA 5-41: VOICE TRAFFIC VOLUME (IN ERLANG):	75
FIGURA 5-42: HSxPA DATA VOLUME (IN KBYTE)	76
FIGURA 5-43: VOICE IRAT HO FAILURE RATE.....	76
FIGURA 5-44: RSSI WEEKLY <-96DBM	77
FIGURA 5-45: CELL AVAILABILITY	77
FIGURA 5-46: RUTA DEL DRIVE TEST (EMPLAZAMIENTO EN AZUL)	80

INDICE DE TABLAS

TABLA 3-1: ZONAS ERICSSON [9].....	28
TABLA 4-1: CARACTERÍSTICAS DEL EMPLAZAMIENTO	32
TABLA 4-2: VALORES OBJETIVO KPI GSM (<i>FIRST TUNING</i>)	36
TABLA 4-3: VALORES OBJETIVO KPI UMTS (<i>FIRST TUNING</i>).....	37
TABLA 4-4: VALORES OBJETIVO KPI GSM (OPTIMIZACIÓN)	39
TABLA 4-5: VALORES OBJETIVO KPI UMTS (OPTIMIZACIÓN).....	41
TABLA 4-6: VALORES OBJETIVO KPI LTE (MEDIDAS ESTÁTICAS).....	45
TABLA 4-7: VALORES OBJETIVO KPI LTE (MEDIDAS ESTÁTICAS).....	46
TABLA 5-1: VALOR OBJETIVO KPI GSM900 (<i>FIRST TUNING</i>)	49
TABLA 5-2: VALORES FINALES KPIS GSM900 (<i>FIRST TUNING</i>)	52
TABLA 5-3: VALOR OBJETIVO KPIS GSM900 (OPTIMIZACIÓN)	53
TABLA 5-4: VALORES FINALES KPIS GSM900 (OPTIMIZACIÓN).....	58
TABLA 5-5: VALORES OBJETIVO KPIS U900 (<i>FIRST TUNING</i>)	59
TABLA 5-6: VALORES FINALES KPIS U900 (<i>FIRST TUNING</i>).....	62
TABLA 5-7: VALORES OBJETIVO KPIS U900 (OPTIMIZACIÓN)	63
TABLA 5-8: VALORES FINALES KPIS U900 (OPTIMIZACIÓN)	68
TABLA 5-9: VALORES OBJETIVO KPIS U2100 (<i>FIRST TUNING</i>)	69
TABLA 5-10: VALORES FINALES KPIS U2100 (<i>FIRST TUNING</i>).....	72
TABLA 5-11: VALORES OBJETIVO KPIS U2100 (OPTIMIZACIÓN)	73
TABLA 5-12: VALORES FINALES KPIS U2100 (OPTIMIZACIÓN)	78
TABLA 5-13: VALORES OBJETIVO KPIS LTE1800 (MEDIDA ESTÁTICA).....	79
TABLA 5-14: VALORES FINALES KPIS LTE1800 (MEDIDA ESTÁTICA).....	79
TABLA 5-15: VALORES OBJETIVO KPIS LTE1800 (MEDIDA DINÁMICA).....	81
TABLA 5-16: VALORES FINALES KPIS LTE1800 (MEDIDA ESTÁTICA).....	81

1 Introducción

1.1 Motivación

El crecimiento de las comunicaciones móviles ha sido enorme en todos los países del mundo durante los últimos años. Esto se debe a que proporcionan a las personas la posibilidad de comunicarse desde cualquier lugar y en cualquier momento.

Todos los informes de operadores, fabricantes y cualquier otro agente de sector indican que el tráfico en las redes móviles va a seguir creciendo de forma vertiginosa en los años venideros.

Según un reciente informe de Ericsson, el número de abonados de telefonía móvil en el año 2020 estará en torno a 5.500 millones de los cuales un 90% serán de Banda Ancha Móvil. Esto implicará a su vez un incremento de tráfico de datos que llegará a 25 ExaBytes mensuales en esa fecha [1].

Por otra parte, los operadores se enfrentan al reto de conseguir que el negocio crezca al tiempo que los costes de despliegue e introducción de nuevas tecnología se reducen, y sobre todo, y muy importante, al de proteger las inversiones para el futuro.

Adicionalmente, los tiempos de adopción -para los operadores- de nuevas soluciones técnicas se acortan cada vez más y hacen que varias generaciones convivan en el tiempo.

Los retos mencionados anteriormente han hecho que los operadores tomen decisiones estratégicas enfocadas a la renovación y modernización de las redes de la infraestructura móvil.

Hasta ahora los operadores habían ido modernizando sus redes en función de la sucesión de las diferentes generaciones tecnológicas: Primero, GSM o 2G; luego UMTS o 3G y ahora, la LTE o 4G, que ofrece una velocidad de acceso a Internet hasta 10 veces más rápida que la 3G. Sin embargo, con la reciente disponibilidad de la tecnología denominada Single RAN, que es capaz de operar 2G/3G/4G, los operadores en la mayoría de los casos están acometiendo una renovación completa de la infraestructura de acceso existente.

Esta actualización de las redes, tienen como objeto además la simplificación de la arquitectura de la red así como la reducción de gastos operativos de mantener tres diferentes estándares.

1.2 Objetivo

El objetivo de este proyecto es el análisis en base a criterios técnicos de los KPIs de la red de acceso radio en una zona específica en la que se lleva a cabo la renovación y modernización del equipamiento. Explicando a su vez las distintas fases del proceso (diseño, *first tuning* y optimización) así como el análisis comparativo y presentación de los KPIs previos y posteriores a ejecución de la renovación de la infraestructura electrónica de acceso.

1.3 Metodología y plan de trabajo

Para el correcto desarrollo y consecución de los objetivos marcados en el Proyecto Fin de Carrera, se ha seguido un plan de trabajo que se explica a continuación.

Estudio del arte: Cualquier inicio de un proyecto pasa por una etapa de formación para tener los conocimientos necesarios para un posterior desarrollo. Concretamente para este proyecto se ha realizado un estudio de las diferentes tecnologías desde que surgieron hasta el momento actual.

Estudio del software: En la segunda etapa del proyecto el alumno se ha familiarizado con las herramientas y los programas de monitorización necesarios para la realización del mismo.

Estudio de los KPIs: Posteriormente, se ha realizado siguiendo los protocolos de Ericsson las evaluaciones pertinentes de los KPIs por proceso dependiendo de las tecnologías, con el objetivo de analizar y poder comparar los distintos KPIs para realizar la modernización de una manera adecuada.

Evaluación de resultados y elaboración de la memoria: Se ha realizado un análisis de los resultados obtenidos de la monitorización del nodo. Estos análisis, junto con el estudio del estado del arte realizado y la ejecución de las diferentes fases del proyecto, han servido y utilizado para elaborar la memoria del proyecto fin de carrera.

1.4 Organización de la memoria

El proyecto fin de carrera se estructura en seis puntos:

Capítulo 1: Introducción: En este capítulo se presenta la motivación para el desarrollo del proyecto, así como, los objetos a cumplir y la estructura de la memoria.

Capítulo 2: Estado del arte: En este capítulo se describen las diferentes tecnologías desde su aparición. Se explica la evolución y arquitecturas. Se menciona la importancia y necesidad de los servicios de optimización como pieza clave para la ofrecer la calidad de servicio esperada por el usuario final. Por último, describen de forma breve la solución de Ericsson para Single RAN y los beneficios que aporta.

Capítulo 3: Contexto del proyecto: En este capítulo se realiza una introducción al contexto en el que se desarrolla el proyecto: la contribución de Ericsson, el valor para el operador y para los usuarios de la red.

Capítulo 4: Desarrollo. En este capítulo se explica el alcance del proyecto del alumno junto con los objetivos y KPIs que se analizarán durante el proceso de modernización. Además se describe el emplazamiento y el plan de tiempos. Para finalizar se explican los distintos procesos de monitorización del nodo, *first tuning* y optimización.

Capítulo 5: Monitorización, pruebas y resultados. En este capítulo se presentan los resultados obtenidos de la monitorización de las tecnologías. Se realiza el análisis de los KPIs, se comentan y razonan los problemas que se presentan durante los procesos de la monitorización y se recomiendan soluciones. Por último, se explica el proceso de aceptación de las tecnologías desplegadas.

Capítulo 6: Conclusiones y trabajo futuro: En este capítulo se presentan las conclusiones extraídas del proyecto realizado, así como las líneas a seguir en proyectos con objetivos similares.

2 Estado del arte

En este capítulo se hace un recorrido por las diferentes tecnologías desplegadas en las redes móviles actuales, yendo desde una breve descripción de cómo funciona una red móvil hasta la evolución, estándares y arquitecturas.

También se hace mención de forma breve a la solución que Ericsson ofrece al mercado para entornos multi-estándar capaz de dar servicio a todas las generaciones de redes móviles.

2.1 Funcionamiento de una red móvil

En principio, las redes móviles tienen como objetivo fundamental el conectar dos usuarios de la red para que establezcan una comunicación. La diferencia respecto a la telefonía fija es que no se utilizan cables para el tramo de final de comunicación (red de acceso).

La red móvil, a alto nivel, tiene dos componentes principales:

- La red de comunicaciones que está compuesta por los elementos (nodos) de la red de acceso radio y de núcleo central. La red de acceso está compuesta de estaciones de radio repartidas por la superficie terrestre.
- Los terminales móviles que permiten el acceso a la red.

Tanto las estaciones de radio como los terminales son emisores-receptores de ondas electromagnéticas que facilitan la comunicación.

El terminal móvil se comunica a través del aire con las antenas de la estación de radio, y ésta, a su vez con el núcleo central del operador. Por lo tanto, el usuario de telefonía móvil tiene que estar en el área de cobertura de una estación base (antena), como se puede observar en la Figura 2-1.

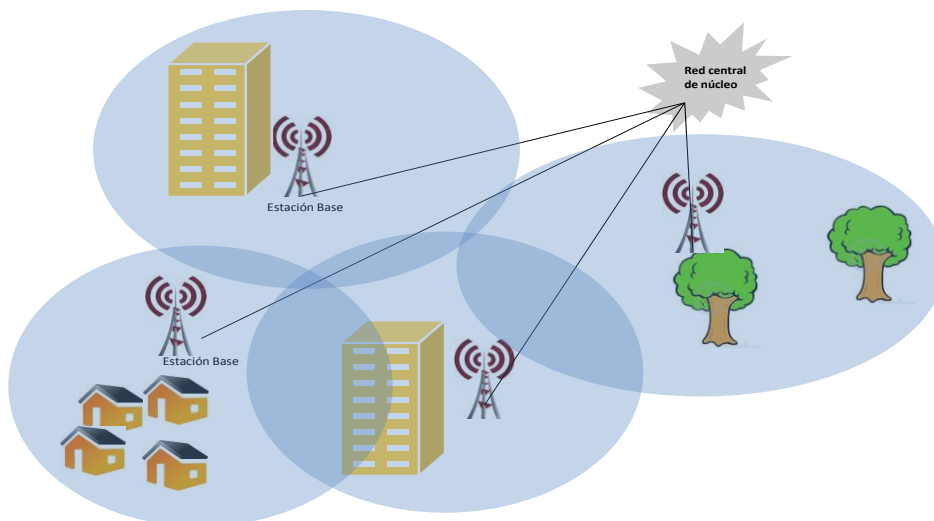


Figura 2-1: Cobertura de Estaciones Base

Actualmente, las redes de telefonía móvil están basadas en sistemas celulares. En una red celular, el operador divide el territorio en celdas (células) hexagonales que tienen el alcance limitado a un área próxima a la antena. Cada una de ellas tiene su propio transmisor (conocido como estación base, nodo B, etc. dependiendo de la tecnología).

Para cubrir la máxima superficie posible y garantizar la continuidad del servicio al usuario, los operadores despliegan una cantidad muy elevada de celdas equipadas con una estación base (Como se puede observar en la Figura 2-2). Si el número de usuarios de una célula crece, es posible subdividir esa célula en otras más pequeñas (simplemente instalando más BTS dentro de ella).

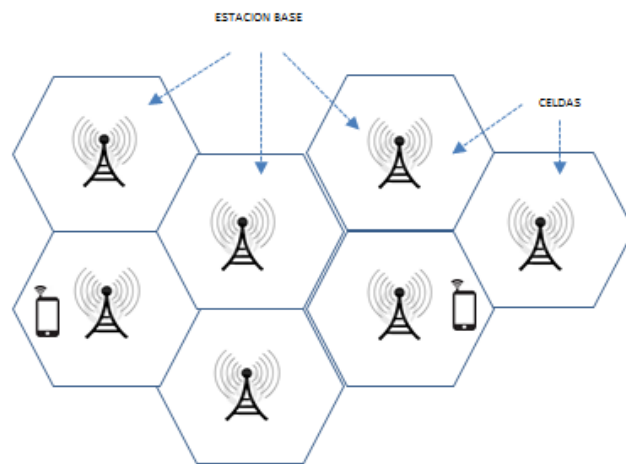


Figura 2-2: Sistema Celular Hexagonal

La razón fundamental de la topología celular que observamos en la Figura 2-2 es la posibilidad que ofrece de reutilización de las frecuencias. Celdas separadas a determinada distancia pueden utilizar la misma frecuencia lo que permite un uso más eficiente de los recursos de radio, y por lo tanto, del espectro radioeléctrico.

El tamaño de las celdas puede variar en función de muchos parámetros que pasan desde el tipo de antenas a utilizar, a orografía (llanuras, montañas, valles, etc.), localización de la estación base (área rural, urbana, etc.), población, etc. Por ello, en las zonas urbanas, con alta densidad de población las celdas tienden a ser numerosas y pequeñas mientras que en las zonas rurales, con menor densidad de población, el tamaño de las celdas es mucho mayor, a veces, hasta varios kilómetros.

Una llamada se emite por un canal de la célula a una frecuencia concreta. Cuando una persona se mueve de una célula a otra, pasa a utilizar una de las frecuencias de la nueva célula (se engancha a un canal de la nueva célula), dejando libre el canal de la célula anterior para ser usada por otra persona.

El establecimiento de una “llamada” entre dos usuarios móviles se realiza mediante la red central de núcleo del operador que en todo momento es capaz de ubicar a ambos en la red de acceso móvil.

2.2 Evolución de las redes móviles

Según un reciente informe de Ericsson el número de abonados de telefonía móvil alcanzaron los 3.200 millones. De éstos, aproximadamente, 900 millones son abonados de GSM, 1.700 millones de UMTS y 500 millones de LTE. Todo apunta a que los tres estándares coexistirán todavía por un tiempo en las redes que los operadores han desplegado hasta ahora [1].

¿Cuáles son los antecedentes tecnológicos de las actuales redes móviles?

Se podría decir que los equipos de radio utilizados durante la Segunda Guerra Mundial fueron los antecedentes lejanos de los actuales teléfonos inteligentes (*Smart Phones*). La introducción de estos precursores de las redes móviles modernas, en Estados Unidos en la postguerra y en la década de los 50 en Europa, era restringida por la limitación de movilidad de los dispositivos (pesados y caros) y por el deficiente servicio ofrecido.

Durante los años 60 y 70 tuvieron lugar experiencias comerciales de telefonía móvil equipadas en coches. Los primeros terminales móviles pesaban entre 35-40 Kilogramos y los servicios se basaban en transmisiones de alta potencia. Aunque el desarrollo de la electrónica en estos años había avanzado suficientemente no estaba resuelto aún la transferencia de una celda a otra.

Pese a que el concepto de transmisión de baja potencia en células hexagonales se descubrió en 1947, no fue hasta década de 1970 que se introdujeron las redes móviles. Estos sistemas se conocen como la primera generación o 1G (no se denominaba así en aquella época). Las señales de telefonía celular se basaron en las transmisiones analógicas y los dispositivos 1G eran comparativamente menos pesados (3-4 Kilogramos) y caros que los dispositivos anteriores. Algunos de los estándares más populares desplegados para sistemas 1G eran: *Advanced Mobile Phone System (AMPS)*, *Total Access Communication Systems (TACS)* and *Nordic Mobile Telephone (NMT)*[2].

A principios de 1990, se comenzó el despliegue de la tecnología GSM (*Global System for Mobile communications*) que utiliza la modulación digital para mejorar la calidad de la voz. A este estándar se le llamó la Segunda Generación de telefonía móvil (2G). Con esta generación comienza el ascenso de la demanda de los servicios móviles por los usuarios y, por parte de los operadores, un esfuerzo continuo de mejora de la calidad de la transmisión y cobertura. También comienzan a aparecer servicios adicionales, tales como buscapersonas, faxes, mensajes de texto (SMS- *Short Message Service*) y correo de voz (Voice mail box). Los servicios de datos son aún limitados como WAP (*Wireless Application Protocol*), HSCSD (*High-Speed Circuit-Switched Data*).

Una fase intermedia, 2.5G se introdujo a finales de 1990. Utiliza el estándar GPRS (*General Packet Radio Service*), que mejora los servicios de datos ofreciendo la capacidad de conmutación de paquetes a las redes GSM existentes. La importancia de la conmutación de paquetes aumentó con el auge de Internet y el Protocolo de Internet, o IP (Internet Protocol). La red EDGE (*Enhanced Data Rates for GSM Evolution*) es un ejemplo de la tecnología móvil 2.5G.

A finales de los 90 y principio de 2000 aparece la Tercera Generación (3G) de telefonía móvil permite a los teléfonos alcanzar velocidades de transferencia de datos similares a la

de un ordenador conectado a una red de banda ancha, en definitiva, los usuarios van a poder realizar un uso intensivo de los servicios de datos. La pieza clave es el desarrollo de la conmutación de paquetes que incrementa de forma extraordinaria la capacidad de transmisión de datos a través de las redes, permitiendo la utilización de audio, gráficos, aplicaciones de vídeo (streaming de vídeo) y lo que se ha dado en llamar Internet móvil.

UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) es la tecnología utilizada en las redes 3G. Ya consolidado como la sucesora de GSM, ha contribuido de forma definitiva al crecimiento trepidante del desarrollo de los servicios de Banda Ancha Móvil (Multimedia, Aplicaciones en tiempo real, etc)

Posteriormente la llegada de HSPA (*High-Speed Packet Access*), tecnología complementaria a UMTS ha hecho que las velocidades de transmisión de datos en las redes hayan mejorado considerablemente. HSPA es considerada como la generación 3.5G.

En la actualidad, se encuentra en despliegue el estándar LTE (*Long Term Evolution*) que es la base de la Cuarta Generación (4G) de telefonía móvil. Ha sido desarrollada con el objeto de incrementar (10 veces) más las velocidades de transmisión de datos ofrecida por UMTS.

Sólo ahora estamos empezando a ver el potencial de las aplicaciones 4G. Se espera que incluya la transmisión de alto rendimiento de contenidos multimedia. Se prevé que las redes de 4G facilitarán el ancho de banda necesario para vehículos y dispositivos que se mueven a altas velocidades dentro del área de red [2].

En la Figura 2-3 podemos observar la evolución de los estándares a lo largo del tiempo.

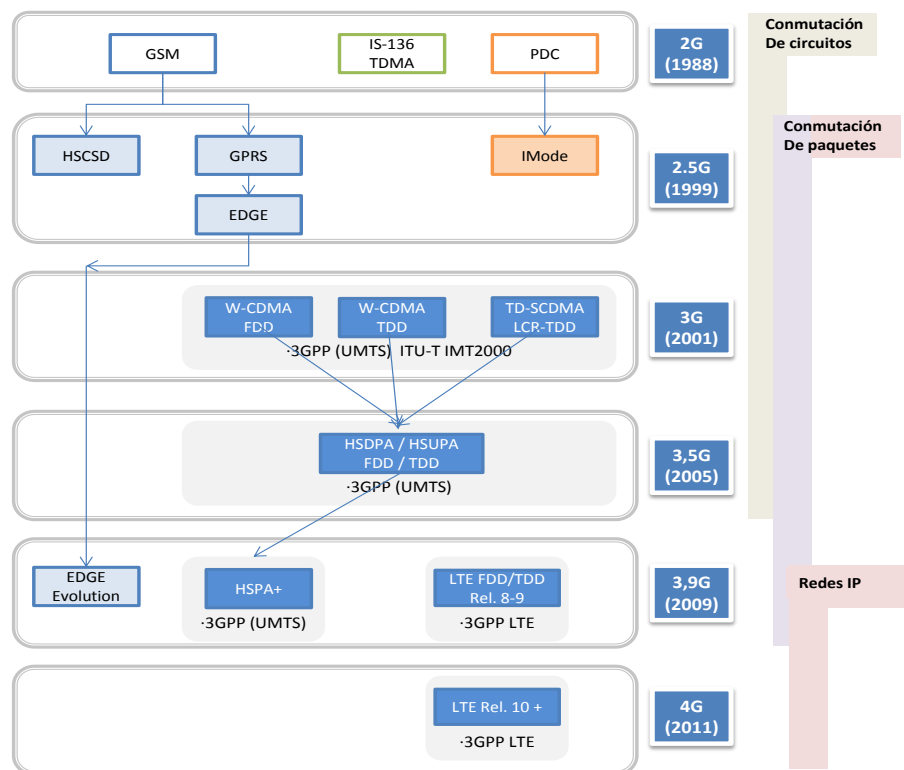


Figura 2-3: Evolución de la tecnología móvil digital 2G-2G-4G

2.3 Estándares de red de acceso móvil

2.3.1 GSM

GSM nace con la voluntad de desarrollar un estándar paneuropeo de telefonía móvil totalmente digital con el objetivo de utilizar el espectro radioeléctrico de 900 MHz que permitiese la itinerancia de servicios de voz y datos en toda Europa.

El estándar GSM se impuso como el sistema de telefonía en la mayoría (190) de los países del mundo de forma que un usuario pudiera hacer y recibir llamadas con el mismo terminal móvil desde cualquier país.

Aunque existe la posibilidad de que sistema GSM trabaje con varias frecuencias, el estándar GSM define bandas de frecuencia GSM para las diferentes asignaciones de espectro radioeléctrico que están en uso en todo el mundo. La mayor parte de las adjudicaciones de espectro radio-eléctrico corresponden a tres o cuatro bandas lo que hace que los usuarios de telefonía móvil dispongan de itinerancia global (*Global Roaming*).

Mientras que la mayoría de la actividad GSM cae en sólo unas pocas bandas, para algunas aplicaciones especiales, o en países donde los requisitos de asignación de espectro restringen el uso de las bandas estándar, se pueden requerir diferentes adjudicaciones. En consecuencia, la mayoría de los teléfonos móviles de banda dual, tri-banda o cuatri-banda operarán en la mayoría de los países, aunque en algunos casos, pocos, se requieran teléfonos que utilizan otras frecuencias que sean necesarios.

Hay un total de catorce bandas de frecuencia GSM diferentes. Estos se definen en 3GPP TS 45.005. En la Figura 2-4 se detallan:

Banda	Nombre	Canales	Uplink (MHz)	Downlink (MHz)	Notas
GSM 850	GSM 850	128 - 251	824,0 - 849,0	869,0 - 894,0	Usada en los EE.UU., Sudamérica y Asia.
	P-GSM 900	0-124	890,0 - 915,0	935,0 - 960,0	La banda con que nació GSM en Europa y la más extendida
GSM 900	E-GSM 900	974 - 1023	880,0 - 890,0	925,0 - 935,0	E-GSM, extensión de GSM 900
	R-GSM 900	n/a	876,0 - 880,0	921,0 - 925,0	GSM ferroviario (GSM-R).
GSM 1800	GSM 1800	512 - 885	1710,0 - 1785,0	1805,0 - 1880,0	
GSM 1900	GSM 1900	512 - 810	1850,0 - 1910,0	1930,0 - 1990,0	Usada en Norteamérica, incompatible con GSM-1800 por solapamiento de bandas.

Figura 2-4: Resumen frecuencias GSM [3]

La Figura 2-5 muestra de forma esquemática la arquitectura de una red GSM:

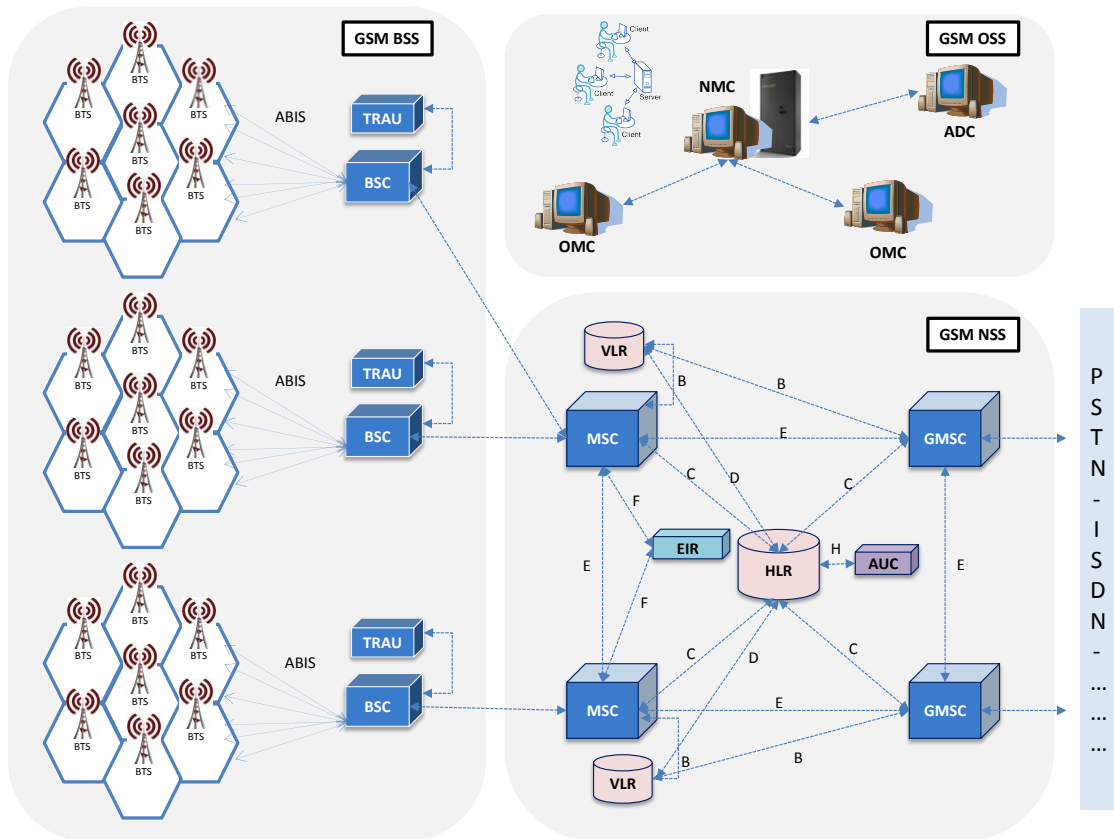


Figura 2-5: Arquitectura de red GSM

A continuación se describen brevemente los principales bloques representado en la figura anterior.

- **Subsistema de Estaciones Base. (Base Station Subsystem - BSS).** Está en la parte de radio y tiene los siguientes componentes:
 - Estación Móvil. (Mobile Station – MS). Incluye el Hardware y Software necesario para las interfaces de radio y humana.
 - Estación base de Transrecepción. (Base Station Transceiver – BTS). Dispone de los dispositivos de transmisión y recepción así como de las antenas. Procesa los canales de radio (Interfaz UM).

Cubre una unidad geográfica denominada celda, normalmente dividida en tres sectores de 120°.

La BTS normalmente contiene la unidad transcodificadora de tasa o *TRAU (Transcoding and Rate Adaptation Unit)*, que es donde se produce la codificación y decodificación de voz específica de GSM así como la adaptación de tasa de bit de los canales de datos.

- Controlador de Estación Bse. (*Base Station Controller – BSC*). Las BTS de un área geográfica están conectadas a una BSC vía la interfaz ABIS.

La BSC se encarga de todas las funciones centrales del BSS: conexión de radiofrecuencia, control de potencia, mapeo de canales, *Hand-over*, localización, autenticación, etc. para las BTS conectadas.

La BSC se comunica con los con los MSC a través del Interfaz A.

- **Subsistema de Conmutación de Red.** (*Network Switching Subsystem - NSS*). Las funciones principales que realiza son la conmutación, gestión de la movilidad, gestión de los perfiles de usuario. Tiene los siguientes componentes:

- Centro de Conmutación Móvil. (*Mobile Switching Center – MSC*). Es el elemento central de la conmutación de red. Los abonados GSM que estén dentro de la cobertura proporcionada por un grupo de BTS en un área específica, se encuentran bajo el servicio de una MSC y registrados en la base de datos de ésta (VLR). Todas las llamadas de estos abonados están controladas por la MSC en cuestión.

- Registro de Localización Visitante. (*Visitor Location Register - VLR*). Es una base de datos que contiene la información de usuario para los abonados registrados en una MSC (todo MSC contiene un VLR)

- Pasarela de centros de Conmutación Móvil. (*Gateway Mobile Switching Center – GMSC*). Es un centro de conmutación que sirve de pasarela de las llamadas entre la red PLMN (*Public Land Mobile network*) de los abonados y abonados de otras redes.

- Registro de Localización Base. (*Home Location Register - HLR*). Es una base de datos que contiene los registros de cada usuario de la red.

- Centro de Autenticación. (*Authentication Center – AUC*). Se encarga del cifrado de las señales y de la identificación de usuarios dentro del sistema.

- Registro de Identidad de Equipamiento. (*Equipment Identity Register – EIR*). ES un registro de listas de permiso de acceso al terminal, al que identifica unívocamente mediante su número de serie o IMEI (*International Mobile Equipment Identity*)

- **Subsistema de Operación y Soporte.** (*Operation and Support Subsystem - NSS*). Permite al operador supervisar, controlar, configurar, mantener y gestionar los elementos de la red. Tiene los siguientes componentes:

- Centro de Gestion de Red. (*Network Management Center – NMC*). Es el responsable de toda la gestión de la red: Supervisión, Control de tráfico, planificación, etc. Puede reemplazar a un NMC.

- Centro de Operación y Mantenimiento. (*Operation and Maintenance Center - OMC*). Está a cargo típicamente de un subsistema (BSS, NSS, etc). Supervisa el

estado de la red, gestiona alarmas, rendimiento, configuración, recogida de información, etc.

Cuando surge la necesidad de los usuarios de transmitir algo más que voz (datos), el GSM no es la solución al no ser una tecnología apropiada (Conmutación de circuitos, Baja velocidad de transmisión, etc.).

Se introduce el *General Packet Radio Service (GPRS)* que permite ofrecer servicios de transmisión de datos. Tiene las características siguientes:

- Se basa en conmutación de paquetes.
- Puede utilizar la infraestructura existente.
- Permite la tarificación por volumen de datos.
- Solo transmite cuando hay tráfico y disponibilidad de recursos.

La migración de GSM a GPRS conlleva:

- Terminales completamente nuevos para acceder a los servicios de datos y compatibles con GSM para las llamadas de voz.
- En BSS, se requiere actualizaciones de software en BTS y BSC así como nuevos componentes HW en BSC.
- En el núcleo de red se instalan nuevos nodos de red *Serving GPRS Support Node (SGSN)* y *Gateway GPRS Support Node (GGSN)*. Adicionalmente el resto de los nodos requerirán actualizaciones de Software:
 - ***SGSN Serving GPRS Support Node (SGSN)***. Se encarga de la conmutación de paquetes en la red GPRS, control de acceso y movilidad, retransmisión de datos entre terminal y GGSN y recogidas de datos para la tarificación. Se conecta con la red de acceso utilizando la interfaz Gb con la BSC.
 - ***Gateway GPRS Support Node (GGSN)***. Actúa como un enrutador con otras redes de datos (PDN). Recibe datos externos y los encamina hacia el SGSN correspondiente. Recoge información para facturación del uso de redes de datos externas mediante interfaces vía protocolos AAA como RADIUS o Diameter.

La Figura 2-6 muestra la arquitectura GSM/GPRS.

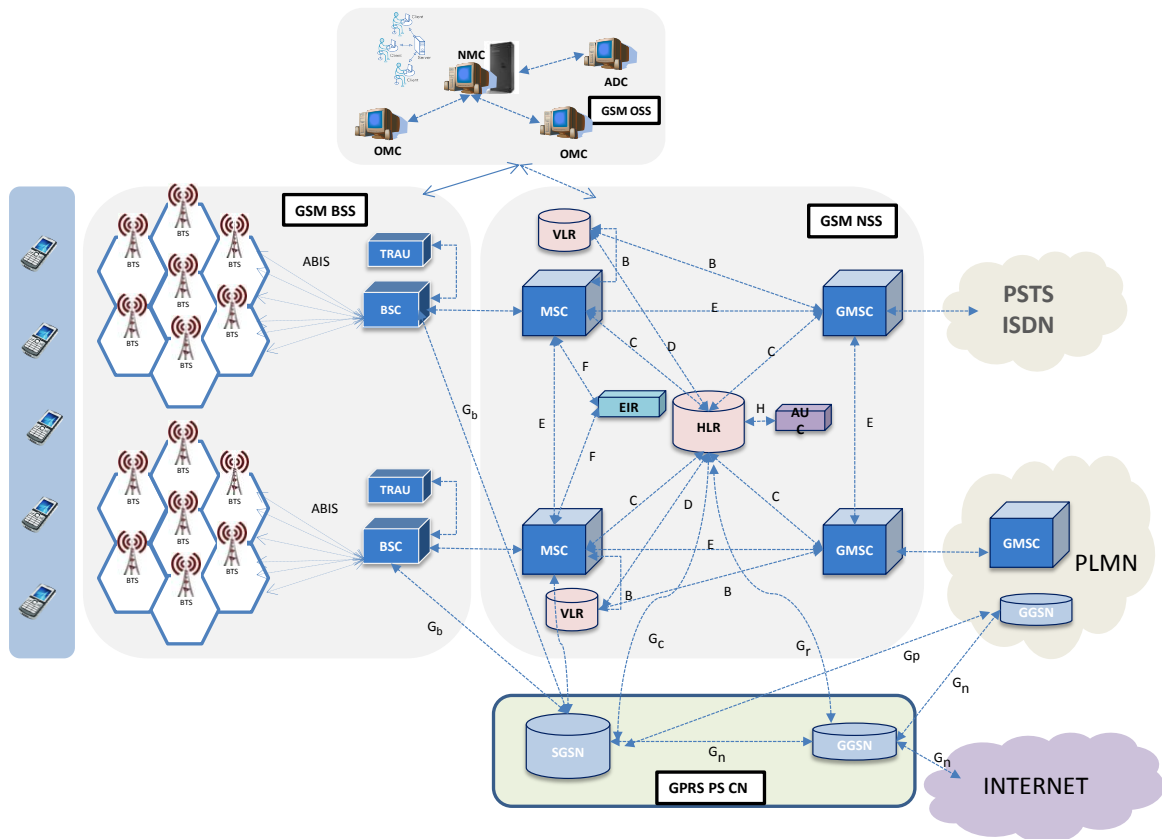


Figura 2-6: Arquitectura GPRS

Si bien GPRS se acercó a la movilidad del Protocolo de Internet (IP) e internet al usuario, no resultó ser la solución final. Se implementa, con posterioridad, la tecnología *EDGE (Enhanced Data for GSM Evolution)*, cuyo objetivo es mejorar la velocidad de transferencia de Datos. El BSS adopta del nombre de GERAN (*GSM EDGE Radio Access Network*).

2.3.2 UMTS

Aunque con GERAN se logró mejorar la velocidad de transferencia de datos respecto al inicial GSM/GPRS, aparece el inconveniente del aumento de costo por la cantidad de estaciones para proveer la calidad de servicio comprometida. Por otro la había la necesidad de:

- ✓ Encontrar una tecnología uniforme a escala mundial.
- ✓ Itinerancia (*roaming*) mundial.
- ✓ Capacidad para aplicaciones multimedia, servicios (video, Internet de alta velocidad, datos de alta velocidad, etc.) y terminales más sofisticados.

Los requisitos del nuevo estándar eran:

- Espectro global común 1.920-1980 MHz. Y 2.110-2.170 MHz.
- Orientación a datos y multimedia.
- Velocidades de datos de hasta 2Mbps.
- *Roaming* global transparente.
- Soporte a variedad de terminales.
- Uso intensivo de tecnologías de red inteligentes.

Se establecieron grupos de trabajos y surgió el sistema *Universal Mobile Telecommunications System – UMTS*) de acuerdo a las especificaciones 3GPP/3GPP2.

UMTS introduce una sensible mejora en la velocidad de transmisión de información mediante modificaciones en la tecnología de acceso y modulación de la señal, manteniendo la compatibilidad con elementos de red GSM. El sistema de acceso múltiple evoluciona hacia acceso múltiple por división de código de banda ancha (*Wideband Code Division Multiple Access*).

La Figura 2-7 muestra de forma esquemática la arquitectura de una red UMTS/GERAN:

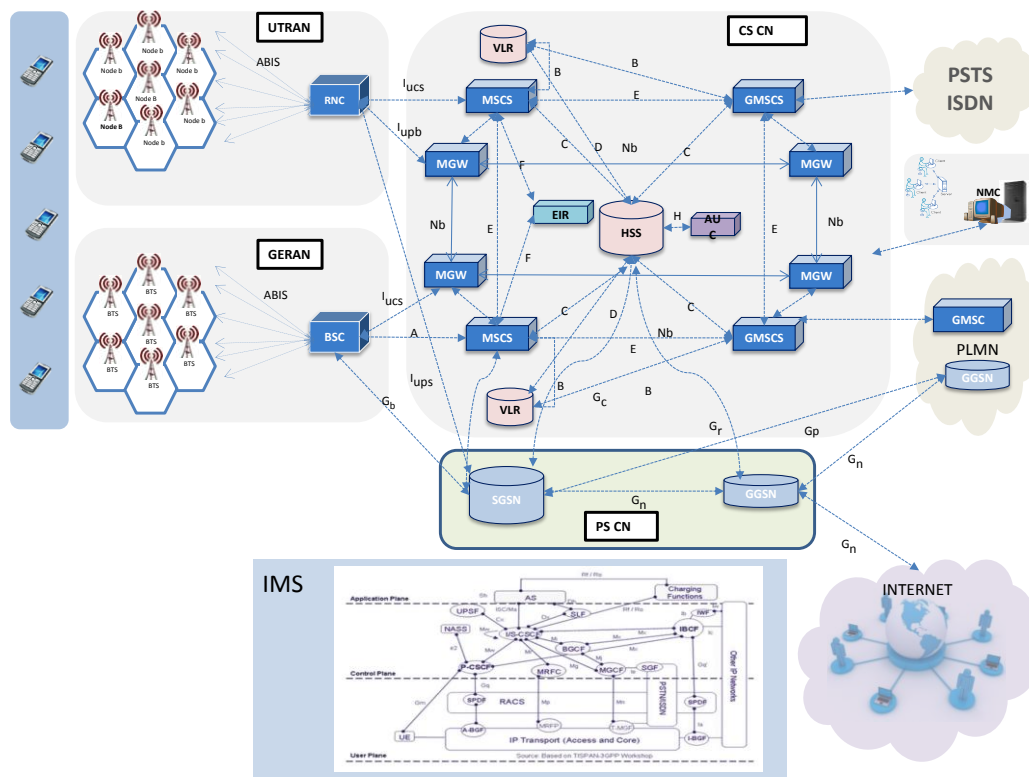


Figura 2-7: Arquitectura UMTS/GERAN

Aparece una nueva red de radio *UTRAN (UMTS Radio Access Network)*. El equipamiento de acceso de WCDMA y GSM es incompatible, por lo que aparecen dos nuevos elementos de red que aseguran la compatibilidad con la red GSM:

- **RNC (Radio Network Controller)**. Que reemplaza la BSC de GSM/GERAN. Su función básica es controlar los recursos de radio (asignar frecuencias, controlar los niveles de potencia, gestión de códigos).
- **Node B**. Que reemplaza la BSC de GSM/GERAN. Sirve a una celda específica y es controlado por un RNC.

En términos generales, el núcleo de red mantiene la estructura del NSS de GSM y GPRS. UMTS introduce la separación de la conexión, su control y servicios para el dominio de *CS CN (Circuit Switched Core Network)*. Los nodos de la antigua NSS de GSM, ahora CS CN tienen que evolucionar en esa línea y aparecen:

- **MSCS (MSC Server)**. Es responsable del control de movilidad y conmutación de llamadas entre terminales móviles. Del plano de usuario, controla el CS-MGW con el fin de establecer, mantener y liberar conexiones en uno o más CS-MGW. Del plano de control, termina la información de señalización entre usuario y la red de acceso.
- **CS-MGW (CS Multimedia Gateway)**. La Pasarela Multimedia de Circuitos Conmutados o CS-MGW recibe el tráfico de medios como voz/video de una BSC de acceso GSM/GERAN o del RNC de acceso UTRAN y lo encamina hacia una red de IP y/o sobre un backbone ATM/MPLS.

También se introduce el **IMS (IP Multimedia Subsystem)** es un marco que ofrece especificaciones para proveer servicios multimedia a través del protocolo IP. Esto hace posible incorporar todo tipo de servicios, como los de voz, multimedia y datos, en una plataforma accesible a través de cualquier medio con conexión a internet (fija o móvil).

La tecnología UMTS ha tenido continuas mejoras promovidas por 3GPP en diferentes publicaciones:

- Rel 5: HSDPA (High Speed Downlink Packet Access).
- Rel 6: EUL (Enhanced Uplink). También llamado HSUPA (High Speed Uplink Packet Access).
- Rel 7/8/9. Evolved HSPA (o HSPA +).

HSPA es una extensión de la interfaz radio WCDMA UMTS, que mejora las prestaciones de los servicios de paquete mediante:

- ✓ Aumento de los caudales de bajada y subida.
- ✓ Reducción de la latencia (<100ms).

- ✓ Mayor eficiencia: canales compartidos e incremento de usuarios por celda.

A continuación en la Figura 2-8 se describe la evolución de las velocidades con HSDPA:

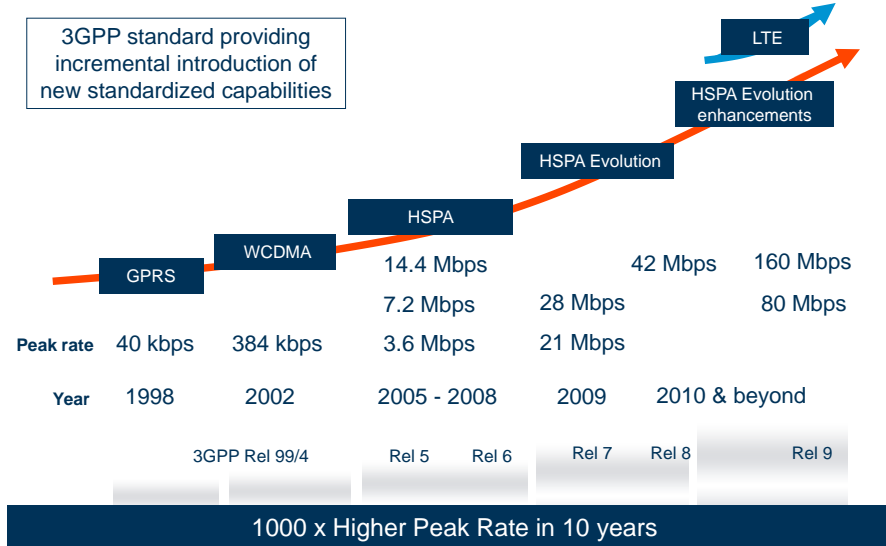


Figura 2-8: Evolución HSPA [4]

2.3.3 LTE

Con la evolución en los últimos años los servicios de voz de los operadores se han convertido en “comodity” y los ingresos, como consecuencia de ello, han bajado de forma dramática.

Cómo se puede ver en la Figura 2-9 los precios por de las llamadas de voz han descendido en porcentajes sustanciales cada año hasta 2010 (tarifas Planas).

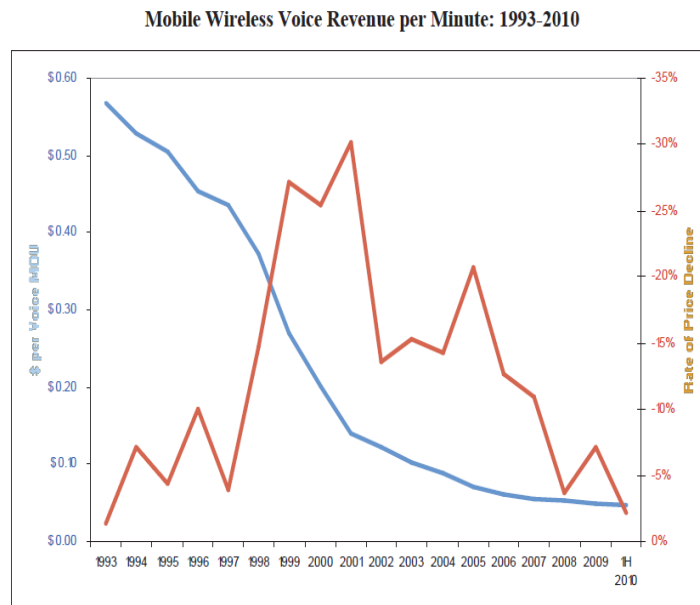


Figura 2-9: Evolución de ingresos por minuto (1993-2010) [5]

Por otra parte, de acuerdo a la Figura 2-10, el tiempo que cada abonado hace uso de los servicios de voz se ha estancado hace unos años.

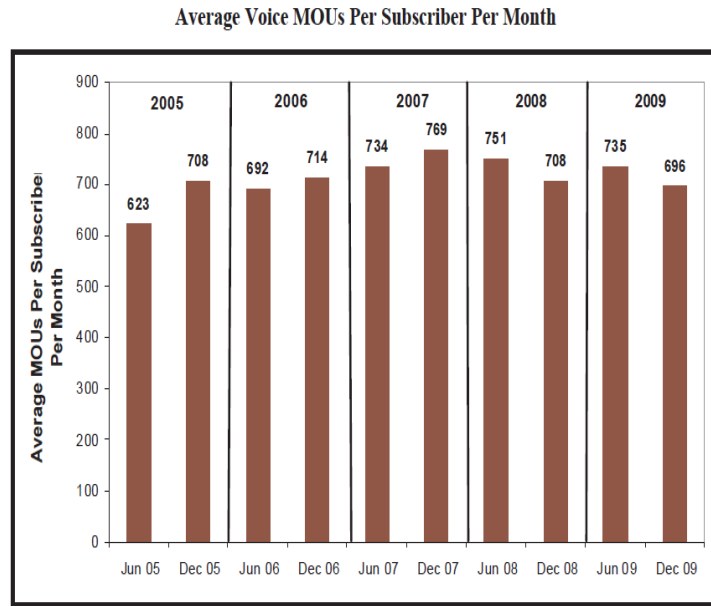


Figura 2-10: Promedio mensual de minutos de uso por abonado [5]

Sin embargo, los ingresos de los servicios de datos están creciendo, como puede verse en la Figura 2-11.

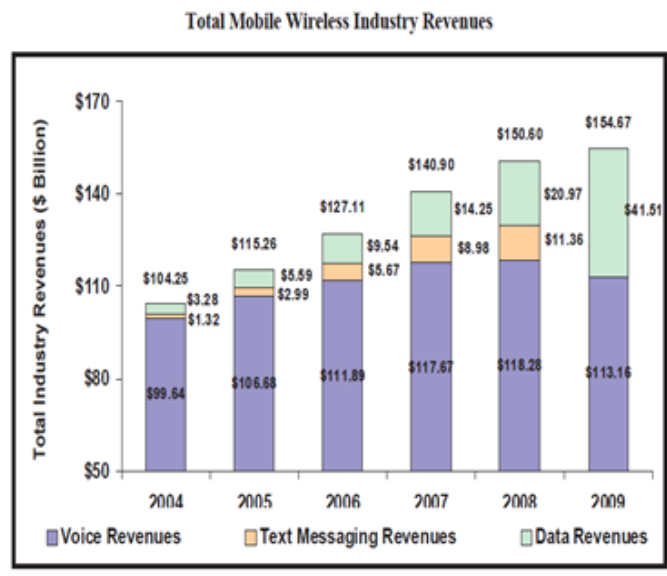


Figura 2-11: Distribución de Ingresos de servicios móviles [5]

La previsión de crecimiento del consumo de datos en el dispositivo móvil se espera que siga a ritmos extraordinarios (Figura 2-12 a continuación).

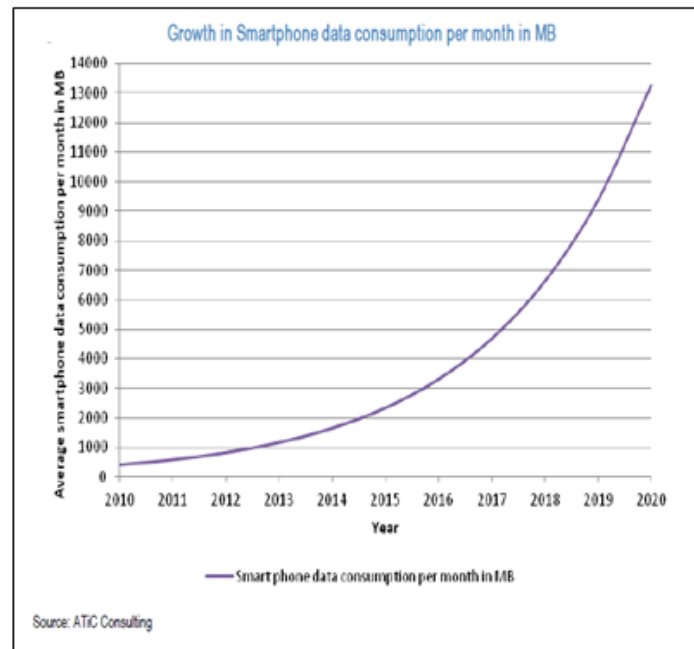


Figura 2-12: Crecimiento mensual de datos (MB) [5]

En la misma línea, los precios de los servicios de datos están sufriendo una erosión considerable cada año (precio por volumen).

Los dos factores, el incremento de uso de los servicios de Banda Ancha móvil y los precios asociados, hace que los operadores busquen la evolución a tecnologías de red que, por un lado, permitan incrementar la velocidad y capacidad, y por el otro, que sean redes más eficientes y sostenibles.

Los usuarios móviles cada día demandan mejor servicio, mayor cobertura, menor latencia, más velocidad y mayores volúmenes de tráfico.

Con esta necesidad, el 3GPP empezó a trabajar en LTE (*Long Term Evolution*) en 2004. Fue estandarizada a partir del *Release* (2008).

Las características principales son:

- Ancho de Banda variable por operador, para permitir optimizar costos y el uso de bandas asignadas.
- Arquitectura con soporte nativo de MIMO.
- Arquitectura de *Evolved-UTRAN (E-UTRAN)*.
- Capacidad de servicios VoIP sobre IMS, con calidad de servicio (*Quality of Service - QoS*).

- Desarrollo del servicio Voz sobre LTE: VoLTE.
- Nuevos terminales móviles optimizados para servicios de IP.
- Interoperabilidad con GERAN y UMTS y migración de estas hacia LTE.

Las frecuencias para LTE se muestran en la Figura 2-13.

Banda LTE	Uplink	Downlink	Modo Dúplex				
				9	1749.9 MHz – 1784.9 MHz	1844.9 MHz – 1879.9 MHz	FDD
1	1920 MHz – 1980 MHz	2110 MHz – 2170 MHz	FDD	10	1710 MHz – 1770 MHz	2110 MHz – 2170 MHz	FDD
2	1850 MHz – 1910 MHz	1930 MHz – 1990 MHz	FDD	11	1427.9 MHz – 1452.9 MHz	1475.9 MHz – 1500.9 MHz	FDD
3	1710 MHz – 1785 MHz	1805 MHz – 1880 MHz	FDD	12	698 MHz – 716 MHz	728 MHz – 746 MHz	FDD
4	1710 MHz – 1755 MHz	2110 MHz – 2155 MHz	FDD	13	777 MHz – 787 MHz	746 MHz – 756 MHz	FDD
5	824 MHz – 849 MHz	869 MHz – 894 MHz	FDD	14	788 MHz – 798 MHz	758 MHz – 768 MHz	FDD
6	830 MHz – 840 MHz	875 MHz – 885 MHz	FDD	17	704 MHz – 716 MHz	734 MHz – 746 MHz	FDD
7	2500 MHz – 2570 MHz	2620 MHz – 2690 MHz	FDD				

Figura 2-13: Frecuencias LTE [6]

En la Figura 2-14 se presentan las características de LTE:

Rango de Frecuencias	Bandas UMTS FDD y UMTS TDD					
BW de Canal 1 bloque de recurso (RB) = 180 KHz	1.4 MHz	3 MHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz
	6 RB	15 RB	25 RB	50 RB	75 RB	100 RB
Esquema de Modulación	Downlink	QPSK, 16QAM, 64QAM				
	Uplink	QPSK, 16QAM, 64QAM (opcional para el UE)				
Tecnología de Acceso Múltiple	Downlink	OFDMA (<i>Orthogonal Frequency Division Multiple Access</i>)				
	Uplink	SC-FDMA (<i>Single Carrier Frequency Division Multiple Access</i>)				
Tecnología MIMO (<i>Multiple Input - Multiple Output</i>)	Downlink	Amplia gama de opciones de configuración MIMO para diversidad de opción de transmisión, multiplex espacial y diversidad de retraso cíclico (máximo de 4 antenas en radiobase y equipo de usuario).				
	Uplink	MIMO multi-usuario colaborativo				
Tasa de Datos Pico	Downlink	150 Mbps (UE categoría 4, 2x2 MIMO, 20 MHz) 300 Mbps (UE categoría 5, 4x4 MIMO, 20 MHz)				
	Uplink	75 Mbps (20 MHz)				

Figura 2-14: Características LTE [6]

En cuanto a la arquitectura de red, la evolución de UMTS se da en dos ámbitos:

- En el **Núcleo de la red**. Coincide con el avance global hacia aplicaciones de datos (internet). *Evolved Packet Core – EPC* soporta la convergencia de los servicios actuales con los servicios que requieren tiempo real.
- En la **Red de Acceso**. Da respuesta a la demanda de un mayor ancho de banda. *Evolved UTRAN – E-UTRAN* ofrece alta velocidad, baja latencia y un acceso optimizado para paquetes.

A continuación la Figura 2-15 muestra de forma resumida la arquitectura de LTE.

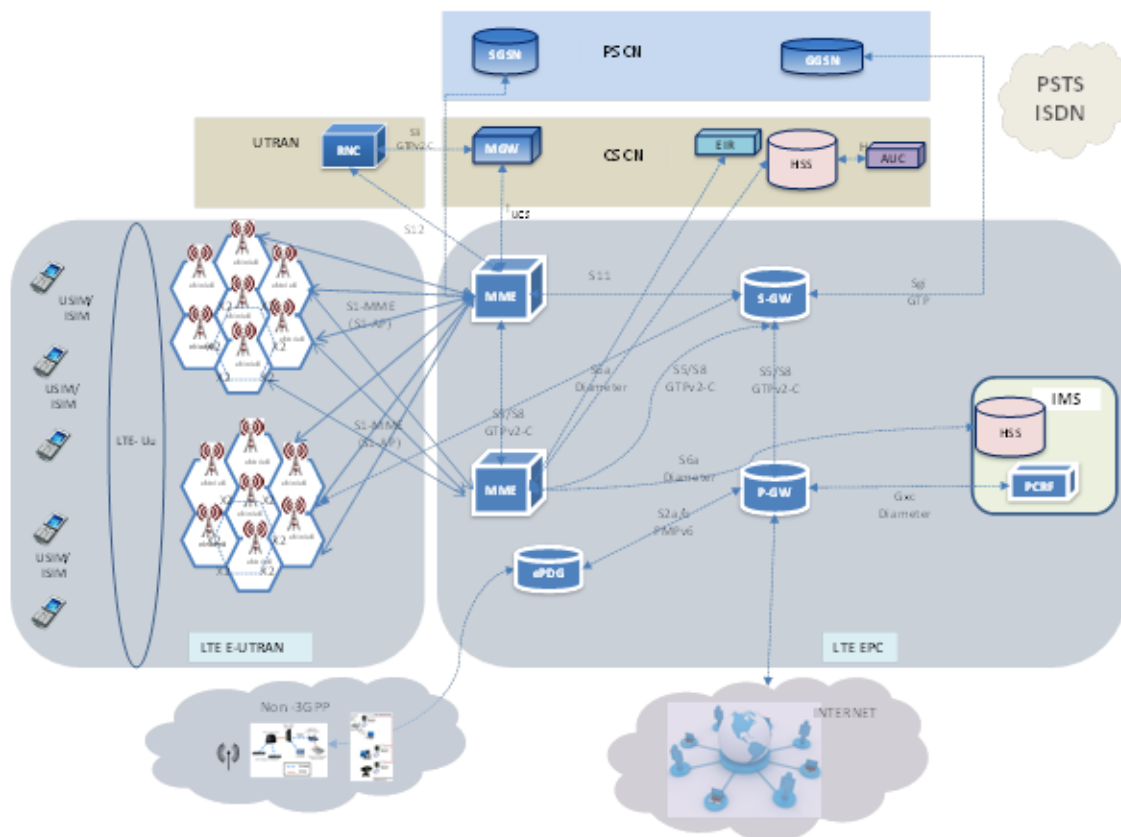


Figura 2-15: Arquitectura LTE

La arquitectura LTE está diseñada “desde cero” (no reutilización de previos sistemas) para servicios sobre redes de conmutación de paquetes. El objetivo es ofrecer una conectividad IP transparente entre el equipamiento de usuario (*User Equipment – UE*) y redes de paquetes de datos (Data Packet Data Network).

El término LTE aplica a la evolución de la red de acceso radio UMTS por medio de la *Evolved UTRAN (E-UTRAN)*. Incluye un único tipo de elemento el *enhanced Node B (e-NodeB)* que implementa todas las funciones relacionadas con el acceso radio (híbrido de estación base y controlador). Los eNodeB están interconectados al núcleo EPC mediante la red IP (*Backhaul* móvil). Sobre el *backhaul* se definen dos interfaces lógicas:

- Interfaz S1: Intercambio de tráfico entre eNodeBs y EPC.
- Interfaz X2, para facilitar traspaso entre eNodeBs.

En definitiva, el eNodeB es el único elemento funcional de E-UTRA

Por otra parte, en paralelo aparece, en el núcleo de red el *Evolved Packet Core (EPC)* cuyos elementos principales son:

- **Mobility Management Entity (MME)**. Es un servidor de señalización con responsabilidad de gestión de movilidad y sesiones. Nodo del plano del control del EPC.
- **Serving Gateway (SGW)**. Es el nodo del plano de usuario del EPC que conecta la EPC con la E-UTRAN. Transporta el tráfico de datos IP entre el equipo de usuario (UE) y las redes externas.
- **Packet Data Network Gateway (P-GW)**. Conecta a la EPC hacia otras redes de datos o PDN.
- **Policy Charging and Rules Function (PCRF)**. Gestión de políticas de calidad de servicio y de tarificación.

El foco actual de 3GPP está en *LTE-Advanced* centrado en obtener mayor capacidad y rendimiento como:

- ✓ Duplicar la eficiencia espectral.
- ✓ Agregado de portadoras.
- ✓ Soporte a movilidad hasta 350-500 Km/h según frecuencia.
- ✓ Aumento significativo del número de abonados por celda.
- ✓ Mejora del rendimiento sobre los bordes de las celdas.
- ✓ Optimización dinámica de todos los recursos de la red de acceso.

2.4 Optimización de Redes de acceso móvil

El proceso de optimización de una red de acceso móvil es muy importante para la creación de una nueva red o para modificar los recursos de una red existente. La optimización permite al operador modificar la calidad de la red y al mismo tiempo tener en cuenta el costo y los recursos disponibles en la implantación de red. Por eso el objetivo de este proceso será conseguir una mejora significativa de la calidad de la red con el mínimo incremento de costos e inversión en recursos de red.

En los últimos años ha habido un dramático crecimiento de la industria de redes *wireless* tanto en tecnología como en número de abonados. Tanto los operadores móviles como los fabricantes han destacado la importancia de las redes eficientes con diseño

eficiente. Por eso se ha reforzado el enfoque de las organizaciones en los servicios de planificación y optimización de red. Esto se acentúa con los avances tecnológicos y la coexistencia de 2G/2.5G/3G/4G y llegando ser un factor crítico si tenemos en cuenta la interoperabilidad de las redes.

En definitiva, la optimización es el proceso mediante el cual se mejora la operación de la red de forma que se haga un mejor uso de la infraestructura existente con el objeto de ofrecer la mejor calidad de servicio posible. Para ello se actúa en la configuración y parámetros de la red maximizando su rendimiento.

2.5 Tecnología Single RAN

Como se ha venido mencionando en los últimos años ha habido un enorme crecimiento de abonados móviles, ha llegado la revolución del internet móvil así como la necesidad de mantener el negocio y la operación de las redes de forma sostenible. Esto ha obligado a los operadores de telecomunicación a plantearse la modernización de la red de forma que los permita el crecimiento del negocio a la vez que el costo de la implantación y operación se reduce y, muy importante, con una inversión de futuro. Esta solución, que se conoce como *Single RAN* (SRAN) permite que una misma estación base pueda operar con distintas tecnologías de forma dinámica: 2G, 3G y 4G, siempre en la misma banda de frecuencias. SRAN supone una simplificación y facilita de forma extraordinaria el despliegue de LTE. Por otra parte, conlleva ahorros de energía de hasta un 30% con respecto a la arquitectura tradicional [7].

En el caso de este proyecto, la tecnología SRAN que se utiliza es la solución Evo RAN de Ericsson. A continuación se dan unos detalles a alto nivel de la solución que Ericsson está desplegando con éxito para afrontar los retos que la explosión de la banda ancha móvil y la coexistencia de tecnologías supone para los operadores.

Evo RAN combina GSM/EDGE, WCDMA/HSPA, LTE, Sistema de transporte basado en IP y un Sistema común OSS (*Operational Support System*). Los componentes son:

- La plataforma RBS 6000 es una estación base multi-estándar que soporta LTE en modo FDD y TDD así como GSM/EDGE and WCDMA/HSPA en un módulo (se muestra en la Figura 2-16).

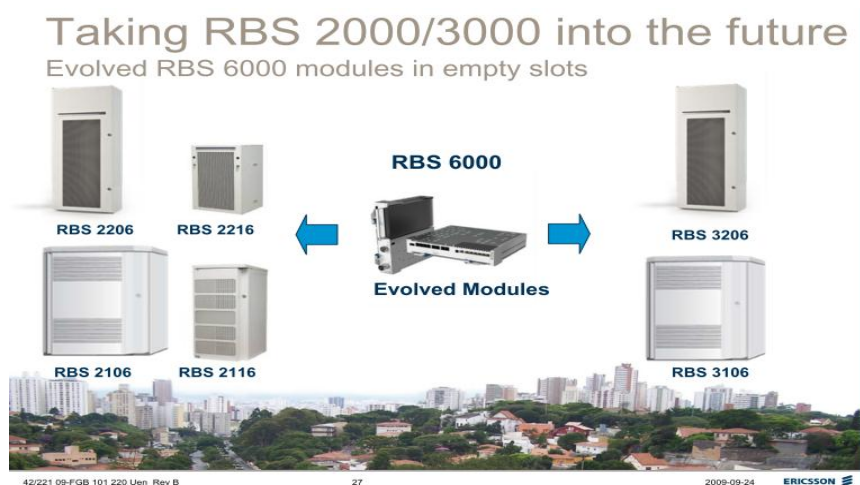


Figura 2-16: Módulos RBS 6000 [8]

- El Evo Controller 8000, es un controlador que combina una BSC (*Base Station Controller*) y un RNC (*Radio Network Controller*) en una unidad. (se muestra en la Figura 2-17).



Figura 2-17: Evo Controllers [8]

A continuación se enumeran los beneficios y ventajas que se obtienen con la implementación del Evo-RAN:

- Reutilización de la infraestructura existente y máximo aprovechamiento del espacio disponible en el emplazamiento (Figura 2-18).

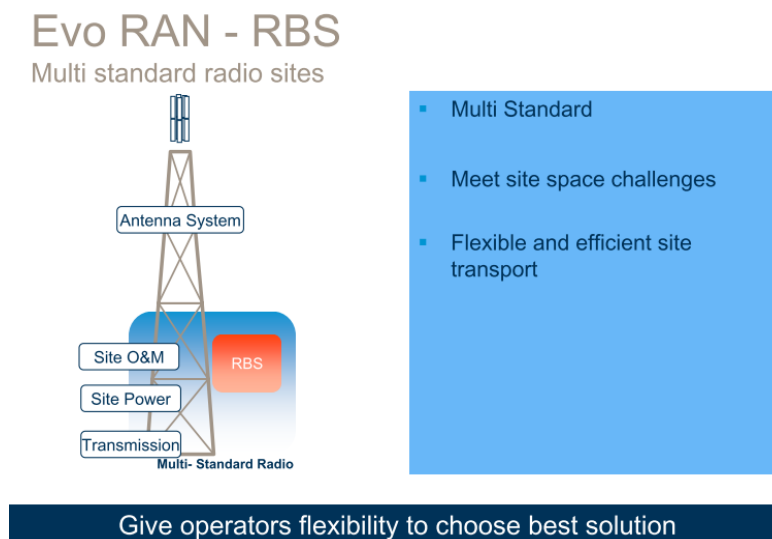
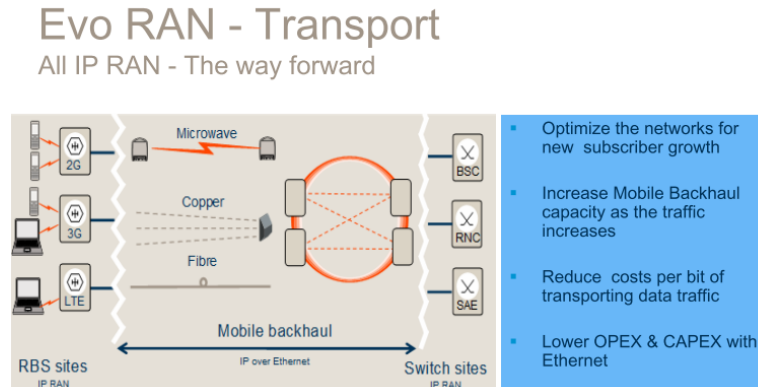


Figura 2-18: Infraestructura compartida con Evo RAN [8]

- Incremento de la capacidad de transporte con la introducción del IP RAN (Figura 2-19).



RAN evolve towards IP - Backhaul becomes Ethernet based

Figura 2-19: Capacidad de transporte (IP RAN) [8]

- Un sistema de soporte a la operación común (Figura 2-20).



Future holds new challenges

Figura 2-20: Sistema de soporte a Operación común [8]

- Un emplazamiento con la tecnología integrada en un solo armario (Figura 2-21).

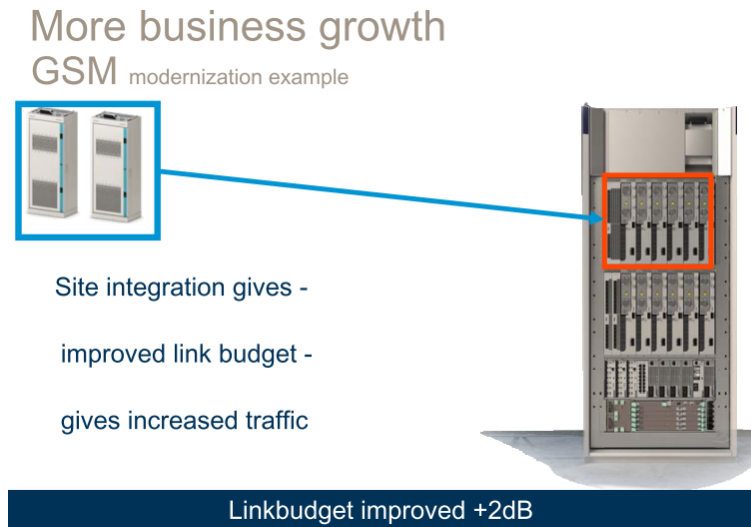


Figura 2-21: Ejemplo de modernización RBS para tecnología GSM [8]

- Una reducción sustancial del consumo energético (Figura 2-22).

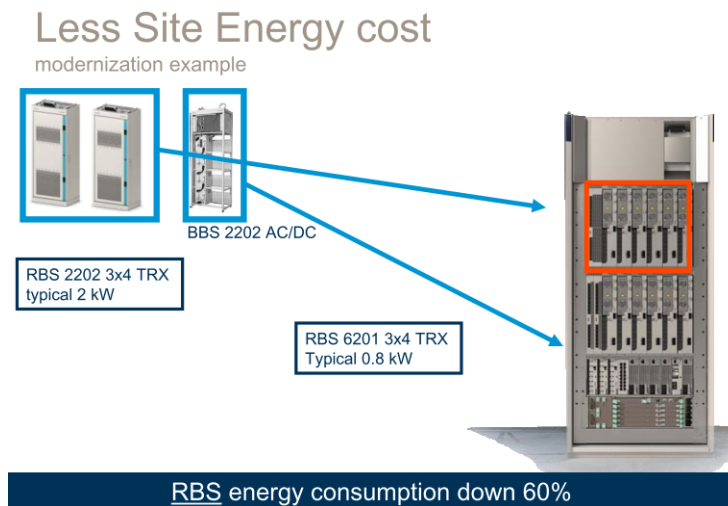


Figura 2-22: Ahorro energético con RBS6000 [8]

El equipamiento descrito en este capítulo es el que se integrará tanto para el swap de GSM900 como para la nueva cobertura de UMTS9000, UMTS2100 y LTE1800.

2.6 Conclusiones

A lo largo de este capítulo se ha establecido la base teórica del proyecto en diferentes puntos:

- El crecimiento espectacular del consumo de las aplicaciones que requieren un mayor volumen de datos y ancho de banda móviles.
- La necesidad por parte de los operadores de modernizar las redes para hacer convivir de forma eficiente y sostenible los diferentes estándares.
- Funcionamiento de las redes móviles, sus estándares, evolución y arquitecturas.
- Solución Ericsson para entornos multi-estándar.

Estos son aspectos claves para entender la realización del proyecto.

Los siguientes capítulos se centran en la ejecución del proyecto comenzando por escribir el entorno donde se desarrolla.

3 Contexto del proyecto

Como continuación a la parte teórica, en este capítulo se pone en contexto el proyecto. El desarrollo del mismo se encuadra dentro de un proyecto llave en mano de modernización de redes móviles. No obstante, de forma simple podría considerarse que el proyecto global es la acumulación o suma de actuaciones individuales similares a la este proyecto.

3.1 Introducción

El proyecto se enmarca dentro de un proyecto de mayor alcance en el que se lleva a cabo la modernización de la red de un operador móvil. Supone la modernización del 35% del total del equipamiento de la red de acceso radio de un operador en España desplegado por Ericsson. Los equipos que se sustituyen corresponden a tecnologías antiguas tanto de Ericsson como de otros fabricantes.

Esto permite al operador:

- Renovar la tecnología de las redes 2G / 3G.
- Aumentar la capacidad del nodo para habilitarla posible expansión del HSPA + 42 Mbps y HSUPA 5.7 Mbps a un mayor ancho de banda. Este mayor ancho de banda será introducido, durante los años siguientes, con el fin de soportar la introducción en HSPA + Downlink a evoluciones de tasas máximas de 42/84/168 Mbps y HSUPA 11 Mbps.
- Introducir UMTS900 para aprovechar la frecuencia de 900 MHz una vez que el regulador haya autorizado la neutralizad tecnológica.
- Introducir LTE, en las áreas seleccionadas por dicho operador (principalmente en zonas urbanas).
- La introducción de nuevos equipos y frecuencias radio sin que implique un aumento del espacio utilizado en los emplazamientos. Para esto se desplegará soluciones basadas en el concepto Single RAN que soporta de forma simultánea el despliegue de 2G/3G/LTE.
- La reutilización de la infraestructura.

En la Figura 3-1 se muestra el mapa de España con la división en 5 zonas que ha definido el operador para poder llevar a cabo un control más eficiente de los emplazamientos a modernizar.

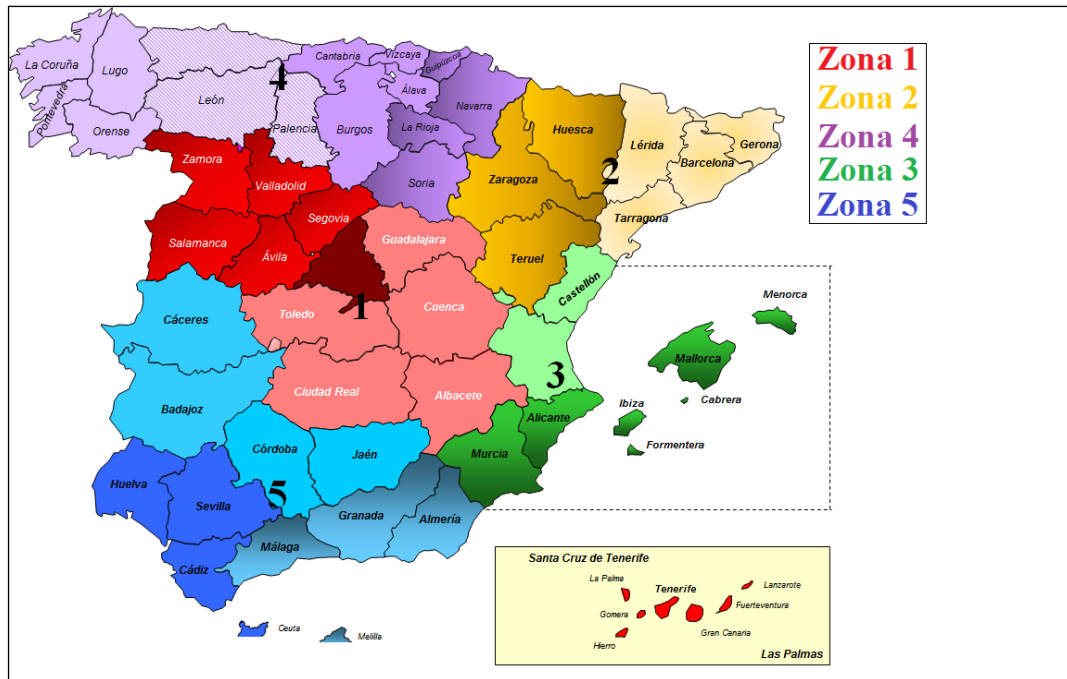


Figura 3-1: Mapa de distribución regional del operador [9]

Dentro de las zonas, Ericsson desarrollará actividades (parcial o totalmente) en un número determinado de provincias. A continuación la Tabla 3-1 detalla las provincias:

Zona	Provincias
Zona 1	Zamora, Valladolid, Segovia, Salamanca , Ávila y Las Islas Canarias
Zona 2	Tarragona, Lérida y Gerona
Zona 3	No aplica
Zona 4	La Coruña, Pontevedra, Lugo, Orense, León Palencia, Burgos Y Soria
Zona 5	Cádiz, Huelva, Sevilla, Córdoba, Málaga, Granada, Jaén, Granada y Almería

Tabla 3-1: Zonas Ericsson [9]

Con el objeto de realizar una gestión eficaz y eficiente del proyecto, Ericsson establece sedes que gestionarán las operaciones de forma encajen con las zonas mencionadas. En la Figura 3-2 muestra la ubicación de las mencionadas sedes.

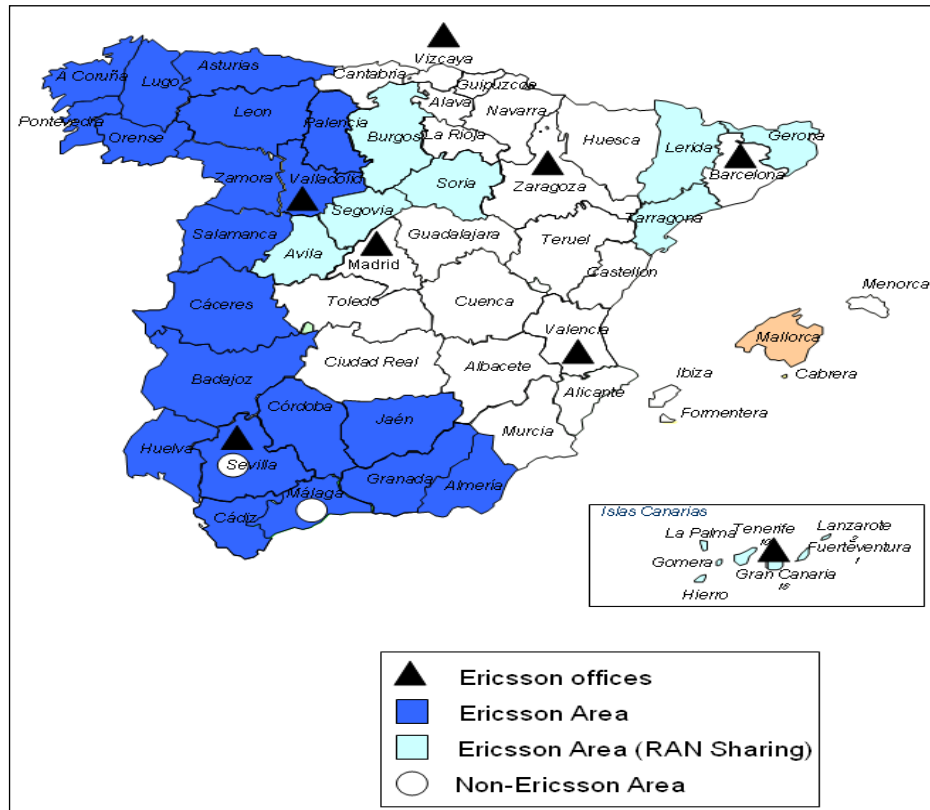


Figura 3-2: Mapa de ubicación geográfica de las oficinas de Ericsson [9]

Los servicios estarán bajo la coordinación directa del responsable de proyecto de Ericsson en cada zona, y última del responsable de Ericsson en central.

3.2 Valor para el Operador

Como es lógico, el operador se plantea objetivos de valor para el negocio que se obtendrán de la modernización de la red móvil.

Con esta base, este proyecto permitirá que al cliente lo siguiente:

- Aumentar la capacidad y ancho de banda en la red, que ahora es crítica debido al aumento del uso de los teléfonos inteligentes, tablets, etc.
- Mantener la estrategia de la compañía de "Mejor Operador Conectado en España". Actualmente todos los operadores (competidores) están acometiendo proyectos similares.
- Homogeneizar de la red completando aquellos emplazamientos que tengan una única tecnología, 2G o 3G, con la faltante.

- Mejora de cobertura con la introducción de UMTS900.
- Renovación del hardware de los equipamientos que están cercanos a la fecha de fin de soporte.
- Reducir el espacio requerido en los emplazamientos (footprint) y consumos energéticos.
- Unificar el proveedor de cada región. Ahora tecnologías 2G y 3G en la misma región pertenecían a diferentes proveedores. Con esta estrategia los gastos de operación y mantenimiento se minimizan.
- Adicionalmente, con esta modernización se consiguen beneficios para el usuario.

3.3 Valor para el usuario final

Los usuarios finales de dicho operador se beneficiaran de la renovación de la red mediante:

- Incremento de ancho de Banda e introducción de LTE que permite disfrutar de una auténtica "red móvil de banda ancha".
- Mejora de las tecnologías de ya existentes, 2G y 3G, con la introducción de nuevas funcionalidades redundará en una mejora de la calidad de servicio.
- Despliegue de nuevos emplazamientos que mejorará la cobertura de forma notable.
- Introducción de UMTS900 que implicará la mejora de cobertura, en general, y de interiores, en particular.

3.4 Conclusiones

En este capítulo se ha contextualizado la ejecución del proyecto dentro el programa de modernización del operador proporcionando detalles del despliegue geográfico, así como los beneficios que la renovación tecnológica supone tanto para el operador como para los usuarios de la red.

También se ha mencionado de forma breve la estructura regional que tanto el operador como el suministrador de servicios tienen para dotar de capilaridad y cercanía a los recursos para llevar a cabo el proyecto con éxito.

A continuación, se procede a describir el desarrollo del proyecto.

4 Desarrollo

En este capítulo se describe el alcance del proyecto: emplazamiento, procesos de *first tuning*, optimización y los respectivos KPIs requeridos por el operador para todas las tecnologías.

4.1 Introducción

El alcance del proyecto es el siguiente:

- Estudio del emplazamiento: Donde se va a realizar la modernización y ampliación de la red.
- Proceso de *first tuning*: *First tuning* de las tecnologías 2G, 3G y LTE.
- Proceso de optimización: Optimización de 2G y 3G.
- Análisis de resultados.

4.2 Emplazamiento

La elección del emplazamiento se ha hecho buscando una configuración que sea representativa del nivel de complejidad de la red. Partiendo de un emplazamiento que sólo tiene cobertura GSM de 900 se pasa a una configuración final donde, adicionalmente a la renovación del GSM900, se introducen nuevas coberturas de LTE1800, U900 y U2100.

Para la llevar a cabo de la modernización hay que analizar los siguientes puntos:

- Características del emplazamiento donde se realizará la modernización.
- Configuración final de tecnologías y frecuencias.

El emplazamiento seleccionado está ubicado en un entorno urbano como muestra la Figura 4-1.



Figura 4-1: Ubicación del emplazamiento (punto azul)

Para la colocación, la altura sobre el edificio y para la orientación de la antena se tiene siempre en cuenta la ubicación.

En la Figura 4-2 se puede observar la cobertura de partida (GSM900) del emplazamiento en cuestión.

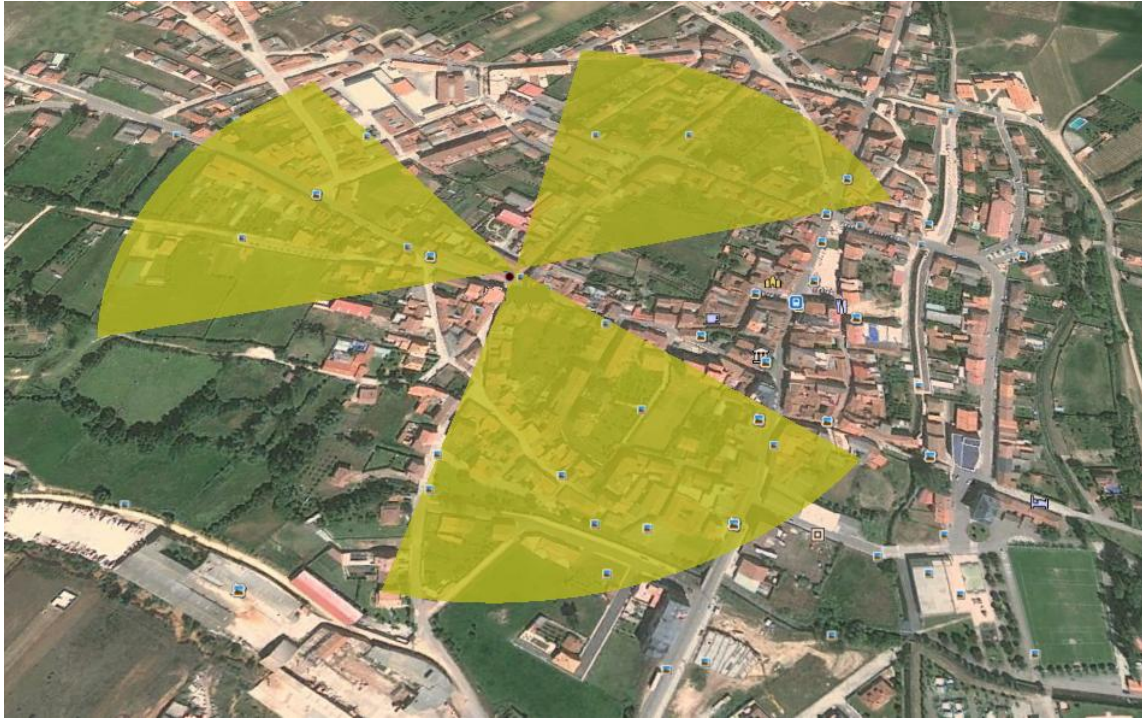


Figura 4-2: Cobertura GSM900 previa.

Como conclusión del análisis, el equipo de diseño con el objetivo de alcanzar un nivel de cobertura óptimo hizo las siguientes recomendaciones que muestra la Tabla 4-1:

SECTOR	TECNOLOGÍA	ALTURA DEL EDIFICIO	ALTURA BASE ANTENA	ORIENTACIÓN
SECTOR1	LTE1800	20.5 m	1.15 m	0°
	GSM/U900			
	U2100			
SECTOR2	LTE1800	20.5 m	1.15 m	120°
	GSM/U900			
	U2100			
SECTOR3	LTE1800	20.5 m	1.15 m	240°
	GSM/U900			
	U2100			

Tabla 4-1: Características del emplazamiento

En este caso las alturas y orientaciones coincidían con las ya existentes.

En la Figura 4-3 se aprecia las coberturas como resultado de la simulación teniendo en cuenta las características de diseño (rojo LTE1800, azul U900, verde U2100 y en amarillo el GSM900).

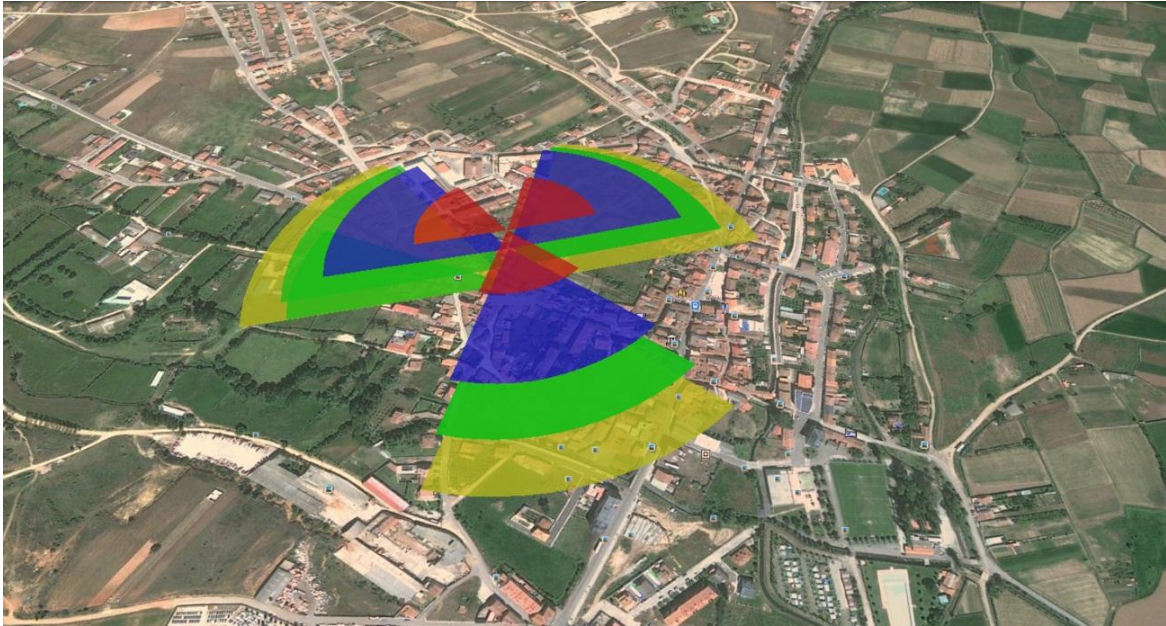


Figura 4-3: Simulación de la situación final.

Una vez comprobados y aceptados como satisfactorias las coberturas (simulación) se procede a los trabajos de instalación e integración de los equipamientos correspondientes.

4.3 Descripción de KPIs

Los Indicadores Clave de Rendimiento (KPI, Key Performance Indicator) auxilian al operador para que conozca el progreso del trabajo efectuado comparando sus valores con el valor objetivo del cliente. De esta manera, un KPI facilita la información más importante sobre el rendimiento del nodo que permite conocer si el proyecto va por la dirección correcta.

Estos indicadores se obtienen a partir de los colectores de la red. Los colectores de la red de la RNC y KPIs se utilizan generalmente para lanzar los procesos de mejora de calidad de un nodo. El operador debe recolectar y analizar estos datos de forma periódica, preferentemente de forma horaria, ya que ofrece una mayor capacidad de reacción a la hora de ofrecer soluciones a las incidencias puntuales o cambiar parámetros del nodo para un mejor funcionamiento. Los KPIs deben servir para controlar cuando nos estamos acercando a la calidad deseada, anticipándonos a la aparición de problemas, y deben de estar definidos para cuantificar todos los aspectos relacionados con la capacidad.

Los objetivos impuestos para cada KPI dependerán, primero, de la tecnología del nodo (GSM900/1800, UMTS900/2100 o LTE) y segundo, de la fase en la que se encuentre el mismo (*first tuning* u optimización).

4.4 Herramientas

En este apartado se describen las herramientas utilizadas en los procesos de *first tuning* y optimización.

- **ITK: ISP (In Service Performance) Tool Kit.** Es una herramienta desarrollada por Ericsson para asistir en las operaciones y soporte de las redes de móvil. Es una plataforma para monitorizar el rendimiento de las redes móviles de Ericsson. Consiste en servidores (*ITK servers*) que recogen, almacenan y analizan datos de red. Tiene dos elementos:
 - NITS (*Network ITK Server*): Esta implantado en la red del operador móvil para recoger datos de los nodos de la red de acceso (RNC, BSC y OSS).
 - EITS (*Ericsson ITK Server*): Está implantando en la red corporativa de Ericsson y recibe los datos de la red del operador a través de acceso remoto.

Los datos y eventos son almacenados en una base de datos y proporciona información histórica y actual de la red objeto de estudio. Adicionalmente, gestiona datos agregados basados en diferentes filtros (nodo, tecnología, celdas, grupo de nodos, etc.), procesa datos aplicando formulas establecidas por el usuario y genera informes para la gestión de proyecto.

Por último, recoge y almacena eventos de la red que son claves para el soporte y la optimización: Reinicios, alarmas, caídas del sistema, excepciones, etc.

- **NIMS-PrOptima:** Es una herramienta comercial de aseguramiento de servicio desarrollada por Mycom. Es un sistema de gestión de información de red, específico para redes móviles que el operador utiliza para manejar y correlacionar volúmenes altos de datos dinámicos y heterogéneos que incluyen alarma de *Hardware*, datos de rendimiento, información de cobertura, medidas de campo y configuración del equipamiento desplegado en las redes de acceso.

Otras funcionalidades son la planificación y análisis de las redes así como un sistema integrado de presentación geográfica de la red. Esta implantado en la red del operador móvil para recoger datos de los nodos de la red de acceso (RNC, BSC y OSS).

La funcionalidad de ITK y NIMS es similar en lo relacionado con optimización siendo la única diferencia que NIMS soporta todos los nodos de la red y es propiedad del operador e ITK es solo para nodos de Ericsson.

- **TEMS investigation:** Es una herramienta que comercializa ASCOM para solución de problemas, verificación, optimización y mantenimiento de redes de acceso móvil. Permite la monitorización de voz, video-llamada y servicios de datos sobre conmutación de paquetes y variables.

Esta herramienta se utiliza para la ejecución del *drive test*. Y se divide en dos módulos:

- *Data collection:* Es la parte que trabaja con los terminales telefónicos y demás dispositivos. Recoge los datos de funcionamiento de la red y los graba en ficheros.
- *Route Analysis:* Es el módulo que analiza los ficheros arriba mencionados.

La conexión del dispositivo utilizado en el *drive test* es a través de un Puerto USB. El procedimiento de utilización de TEMS consiste en la recogida de información con un dispositivo del *drive test*, que a su vez son volcados en la herramienta. Con posterioridad y después del procesado de la información se generan informes que pueden ser personalizados por el técnico.

4.5 First tuning y optimización GSM/UMTS

4.5.1 First Tuning

Consiste en la monitorización del nodo durante un periodo de 24 horas tras el swap o la incorporación de la nueva tecnología. El objetivo es intentar asegurar los KPI's mínimos de aceptación. Los KPIs se deben garantizar a nivel de tecnología. Al final se elabora un informe que se envía al operador.

Los datos de partida son:

- KPI's del nodo previos a la migración (en caso de que haya tecnología *pre-swap*).
- Información de red (volcados de WEBMAP con la información del nodo: celdas, sectores, azimut, tecnologías, etc.).
- Datos recogidos con NIMS-PrOptima. Se utiliza esta herramienta para obtener un volcado de KPI's en el Excel de nodos que no sean de Ericsson. Estos datos se extraen de los colectores de la red que se guardan directamente en el OSS del operador.
- Datos recogidos con ITK. Se utiliza esta herramienta para obtener los KPI's en el Excel de nodos que sean de Ericsson. Estos datos se extraen de los colectores de la red que se guardan directamente en el OSS de Ericsson.

Durante la monitorización hay un análisis periódico (cada 4 horas) de los KPIs. Dependiendo del resultado de los diferentes análisis se tomaran medidas correctivas en caso de que la evolución de los KPIs no sea favorable y se prevea que no se van a alcanzar los valores deseables. Por ejemplo, se puede identificar una definición incorrecta de

vecinas. En este caso se lanzaría una orden de trabajo (Work Order) para que se corrija la configuración con la expectativa de que en la siguiente medida el valor del KPI mejore.

Una vez analizados el conjunto de los KPI's el cliente puede considerarlo OK o NOK:

- Si es OK se procede al proceso de optimización.
- Si es NOK se abre una prórroga (3 días) en el proceso de *first tuning* con el objetivo de llevar el valor del conjunto de los KPIs a niveles aceptables para, más tarde, alcanzar los KPIs definitivos en el proceso de optimización.

4.5.1.1 KPIs GSM

En esta fase están identificados los siguientes KPIs [10]

- **2G Call setup fail rate:** Tasa de fallos obtenida al realizar la conexión de manera incorrecta en las llamadas.
- **2G Call drop rate CS.** Tasa de caída de llamadas que se pueden producir durante una llamada o simplemente cuando no llega hacer la conexión de manera correcta.
- **Cell availability on any hour:** Disponibilidad que tiene la celda durante las 24 horas del día.
- **2G Assignment failure ratio (SDCCH).** Es definida como la probabilidad de fallo de acceso al canal dedicado únicamente al control del canal durante el establecimiento de llamada.
- **Voice traffic volume (in Erlang).** El volumen del tráfico que hay en el nodo en Erlangs.
- **GPRS/EDGE data volume (in Kbyte):** Mide el volumen de datos en una conexión GPRS/EDGE.

En el caso de modernización (*swap*) de un nodo 2G el objetivo es que el impacto sobre la red remplazada sea el mínimo, por lo que los KPIs tendrán que ser iguales o mejores a los anteriores, esto depende del nodo *pre-swap*.

Los valores objetivos de los KPIs para nodos nuevos se muestran en la Tabla 4-2:

KPI 2G	Target
2G Call setup fail rate	<5%
2G Call drop rate CS	<5%
2G Assignment failure ratio (SDCCH)	<5%
Voice traffic volume (in Erlang)	-
GPRS/EDGE data volume (in Kbyte)	-
Cell availability on any hour	>98%

Tabla 4-2: Valores objetivo KPI GSM (First Tuning)

4.5.1.2 KPIs UMTS

En esta fase están identificados los siguientes KPIs [11][11]:

- **3G Call setup fail Rate:** Tasa de fallos obtenida al realizar la conexión de manera incorrecta en las llamadas.
- **3G Call drop rate CS:** Tasa de caída de llamadas que se pueden producir durante una llamada o, simplemente, cuando no llega hacer la conexión de manera correcta.
- **Cell availability on any hour:** Mide la disponibilidad que tiene la celda durante las 24 horas del día.
- **3G Packet switched fail rate:** Tasa de fallos obtenida al realizar la conexión por paquetes de datos de manera incorrecta.
- **3G Packet switched drop rate PS.** Tasa de caídas de paquetes de datos que se producen en un nodo al realizar la conexión por datos.
- **3G -> 3G o 3G -> 2G SHO/HHO Fail Rate.** Tasa de fallos que se producen cuando el usuario se está moviendo dentro del área de cobertura de una celda a otra celda, la llamada es transferida a la segunda celda con la finalidad de evitar que la llamada se caiga cuando el usuario salga de la zona de cobertura de la primera celda.

En el caso de modernización (*swap*) de un nodo 3G el objetivo es que el impacto sobre la red remplazada sea el mínimo, por lo que los KPIs tendrán que ser iguales o mejores a los anteriores, esto depende del nodo *pre-swap*.

Los valores objetivos de los KPIs para nodos nuevos se muestran en la Tabla 4-3:

KPI 3G	Target
3G Call Setup Fail Rate	<5%
3G Packet Switched Fail Rate	<5%
3G Call Drop rate CS	<3%
2G or 3G Packet Switched Drop rate PS	<5%
3G -> 3G o 3G -> 2G SHO/HHO Fail Rate (solo 3G)	<20%
Cell availability on any hour	>98%

Tabla 4-3: Valores objetivo KPI UMTS (First Tuning)

4.5.2 Optimización

La optimización es un proceso continuo que se realiza en un periodo de 7 a 21 días. La duración depende de los valores obtenidos en el *first tuning*. El objetivo es intentar asegurar los KPI's mínimos de aceptación. Los KPIs se deben garantizar a nivel de tecnología durante un periodo de estabilidad de cómo mínimo 7 días. Al final se elabora un informe que se envía al operador.

Los datos de partida son:

- KPI's del nodo previos a la migración (en caso de que haya tecnología *pre-swap*).
- Información de red (volcados con la información del nodo: celdas, sectores, azimut, tecnologías, etc.).
- Datos recogidos con NIMS-PrOptima. Se utiliza esta herramienta para obtener un volcado KPI's en el Excel de nodos que no sean de Ericsson. Estos datos se extraen de los colectores de la red que se guardan directamente en el OSS del operador.
- Datos recogidos con ITK. Se utiliza esta herramienta para obtener los KPI's en el Excel de nodos que sean de Ericsson. Estos datos se extraen de los colectores de la red que se guardan directamente en el OSS de Ericsson.
- Los que figuran en el informe de *first tuning*.

En la optimización se añaden y se analizan nuevos KPIs que dependerá de las tecnologías. Es importante matizar que los valores que el operador establece en la optimización son sustancialmente más exigentes que en el *first tuning*.

Durante la monitorización hay un análisis diario de los KPIs. Dependiendo del resultado de los diferentes análisis, se tomaran medidas correctivas en caso de que la evolución de los KPIs no sea favorable y se prevea que no se van a alcanzar los valores deseables. Por ejemplo, se puede identificar una definición incorrecta de la inclinación del sistema radiante (tilt). En este caso se lanzaría una *Work Order*, en la cual se proponga un cambio de tilt con la expectativa de que en la siguiente medida el valor del KPI mejore.

Una vez analizados los KPI's se elaborará y enviará un informe (FAR) donde se incluyen los valores de los KPI's justificando resultados y comportamiento. El proceso termina después de un periodo de 7 días donde el operador no comunique ninguna incidencia ni discrepancia sobre el FAR, dando la tecnología como aceptada.

4.5.2.1 KPIs GSM

En esta fase están identificados los siguientes KPIs [10]:

- **2G Assignment failure ratio (TCH):** Probabilidad de fallo de acceso dedicado al tráfico del canal durante el establecimiento de llamada.

- **2G Assignment failure ratio (SDCCH).** Probabilidad de fallo de acceso dedicado únicamente al control del canal durante el establecimiento de llamada.
- **2G Voice drop call rate:** Probabilidad de fallo una vez establecida la llamada.
- **Voice traffic volume (in Erlang).** El volumen del tráfico que hay en el nodo. Se mide en Erlangs.
- **Bad quality uplink samples (RX Qual 5-7 from total).** La calidad de las muestras de subida una vez establecida la llamada (dispositivo móvil -> BTS).
- **Bad quality downlink samples (RX Qual 5-7 from total).** La calidad de las muestras de subida una vez establecida la llamada (BTS-> dispositivo móvil).
- **GPRS/EDGE data volume (in Kbyte):** Volumen de datos en una conexión GPRS/EDGE.
- **% Traffic AMR.** Mide el aprovechamiento del canal. Cuanto más comprimido mejor será la calidad.
- **% Cell downtime.** Tiempo que la celda esta caída durante las 24 horas del día.

En el caso de modernización (*swap*) de un nodo 2G el objetivo es que el impacto sobre la red remplazada sea el mínimo, por lo que los KPIs tendrán que ser iguales o mejores a los anteriores, esto depende del nodo *pre-swap*.

Si se está añadiendo un nodo nuevo los objetivos establecidos por el operador y dependerá de si el nodo está en un entorno urbano o rural. Los valores objetivos de los KPIs para estos nodos nuevos se muestran en la Tabla 4-4:

2G KPI	Rural	Urbano
2G Assignment failure ratio (TCH)	<1.50%	<0.50%
2G Assignment failure ratio (SDCCH)	<0.50%	<0.50%
2G Voice drop call rate	<3.00%	<1.50%
Voice traffic volume (in Erlang)	-	-
Bad quality uplink samples (RX Qual 5-7 from total)	<7.00%	<7.00%
Bad quality downlink samples (RX Qual 5-7 from total)	<7.00%	<7.00%
GPRS/EDGE data volume (in Kbyte)	-	-
% Traffic AMR	-	-
2G -2G HO succes rate	>95.00%	>95.00%
% Cell downtime	<0.05%	<0.05%

Tabla 4-4: Valores objetivo KPI GSM (Optimización)

4.5.2.2 KPIs UMTS

Esta fase están identificados los siguientes KPIs [11]:

- **CSSR CS voice block rate.** Tasa de bloqueos que se producen en el establecimiento de llamadas.
- **CSSR PS block rate:** Se define como la cantidad de bloqueos de paquetes de datos que se producen en una conexión por datos.
- **Voice drop call rate:** Tasa de caída de llamadas que se pueden producir durante una llamada o establecimiento de la misma de manera correcta.
- **PS drop call rate:** Tasa de caídas de paquetes de datos que se producen en un nodo al intentar realizar la conexión por datos.
- **Voice traffic volume (in Erlang).** Volumen del tráfico que hay en el nodo. Se mide en Erlangs.
- **HSxPA data volume (in Kbyte):** Volumen de datos en Kilobytes que se produce durante una conexión HSXPa.
- **Voice IRAT HO failure rate:** Tasa de fallos que se producen cuando el usuario se está moviendo del área de cobertura de una celda a otra celda, la llamada es transferida a la segunda celda con la finalidad de evitar que la llamada se caiga cuando el usuario salga de la zona de cobertura de la primera celda.
- **% traffic 3G vs 2G+3G:** Porcentaje del tráfico total del nodo (2G/3G) lo que se aprovecha para el 3G.
- **RSSI Weekly <-96dBm:** Se mide la potencia radiada por la antena de forma semanal.
- **Cell availability:** Es la disponibilidad que tiene la celda durante las 24 horas del día.

En el caso de modernización (*swap*) de un nodo 3G el objetivo es que el impacto sobre la red remplazada sea el mínimo, por lo que los KPIs tendrán que ser iguales o mejores a los anteriores, esto depende del nodo *pre-swap*.

Si se está añadiendo un nodo nuevo, los objetivos establecidos por el operador y dependerán de si el nodo está en un entorno urbano o rural. Los valores objetivos de los KPIs para estos nodos nuevos se muestran en la Tabla 4-5:

3G KPIs	Rural	Urbano
CSSR CS Voice block rate	<1.00%	<0.80%
CSSR PS block rate	<1.50%	<1.00%
Voice Drop Call Rate	<1.00%	U2100 :<0,50% U900 :<0,80%
PS Drop Call rate	<2.00%	<2.00%
Voice Traffic volume (in Erlang)	-	-
HSxPA Data volume (in Kbyte)	-	-
Voice IRAT HO Failure Rate	<5.00%	<5.00%
% traffic 3G vs 2G+3G	-	-
RSSI Weekly <-96dBm	-	-
Cell availability	>99.95%	>99.95%

Tabla 4-5: Valores objetivo KPI UMTS (Optimización)

4.5.3 Plan de tiempos

El proceso total de modernización de un emplazamiento tiene cinco fases:

1. Una fase de diseño radio de tres días de duración. En el proceso, laborioso, se tienen en cuenta varios factores con el objeto de garantizar la correcta implantación del nodo tanto a nivel hardware como software. Entre los factores, como ya han sido mencionados previamente, están la tecnología (2G/3G), frecuencias y ubicación (rural, urbana, etc) del emplazamiento.
2. A continuación se procede a la preparación del emplazamiento para la instalación de nuevos equipamientos. En el caso de GSM900 se prepara el nuevo HW para proceder a la sustitución (*swap*) del equipo actual en periodo de bajo impacto en el servicio. Una vez instalados e integrados (en servicio) los nodos, se inician los trabajos asociados a la optimización.
3. La actividad que se realiza en esta fase se denomina "*first tuning*". El objetivo es asegurar los KPI's mínimos de aceptación del nodo integrado durante las primeras 24 horas de vida de la tecnología.
4. Existe un periodo de transición entre la fase *post-swap (first tuning)* y la aceptación final del nodo. Se llama proceso de optimización y puede durar de siete a veintiún días, dependiendo de la exigencia del nodo y de si se logran los KPIs establecidos por el operador. El nodo debe cumplir un periodo de estabilidad de siete días de KPI's aceptables. Una vez conseguido se envía un

informe llamado FAR (Final Acceptance Radio), que deberá incluir una descripción en la que se indiquen los valores de estabilidad de los KPIs.

5. Para obtener la aceptación se abre un periodo de siete días, tras el cual la tecnología se dará como auto-aceptada siempre que el operador no comunique ninguna incidencia ni discrepancia sobre el FAR.

Como ejemplo, a continuación mostramos en la Figura 4-4 el proceso de un nodo genérico 2G/3G:

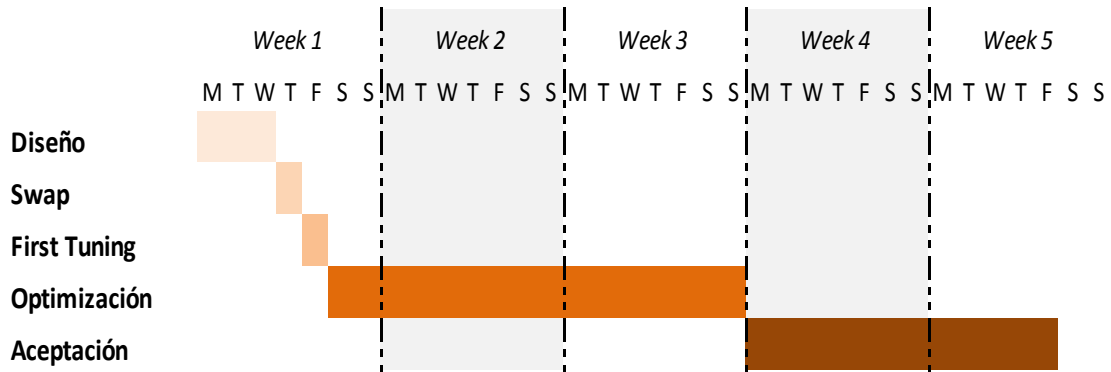


Figura 4-4: Plan de tiempos genérico nodos GSM/UMTS

Es importante comentar que el plan de tiempos descrito anteriormente no siempre se cumple debido a que la actividad tiene dependencias de factores que pueden retrasar la optimización de un nodo, por ejemplo, una mala instalación hardware, integración de varias tecnologías simultáneamente y que haya KPIs comunes, etc.

4.6 First tuning LTE

El proceso de *first tuning* consiste en la realización de medidas en diferentes modos del nodo. Las medidas se harán con los siguientes dispositivos:

- Ordenador con un dongle (elemento hardware que se conecta al ordenador para medidas radio) para comprobar los parámetros de la celda.
- Móvil LTE para realizar las llamadas.
- Un escáner radio.
- La herramienta oficial para la aceptación es el “TEMS INVESTIGATION”.

Los nodos LTE no están “en servicio” durante las pruebas. El modo de operación es mantener el nodo en “OFF air” después de la integración. Para efectuar las pruebas se pone en “ON air” el sector seleccionado. Como se explicó anteriormente, hay dos tipos de medidas:

- Estáticas. El optimizador permanece en la misma ubicación y junto al nodo.
- Dinámicas. Se realiza un “*drive test*” en la proximidades del nodo.

4.6.1 Medida estática

El *first tuning* de un nodo empieza siempre con esta medida. Durante la ejecución de esta prueba el personal técnico de radio puede de forma óptima identificar incidencias en la parametrización del nodo.

Una vez que el nodo es validado e integrado en el emplazamiento se deja en modo *OFF air*. Estas medidas se realizan sector a sector, es decir, se bloquean los dos sectores que no se estén midiendo y se realiza la medida poniendo en ON air el sector que se quiera medir. Una vez realizadas las pruebas, los datos adquiridos con los terminales se vuelcan a la herramienta TEMS, está a su vez nos mostrará en formato Excel el valor obtenido en cada KPI.

El periodo de pruebas es de tres días desde la fecha de la integración y validación del nodo. Con posterioridad se elabora y se entrega (dentro de los cuatro días siguientes) un informe al operador. El operador evalúa durante los siguientes siete días si el informe con las medidas correspondientes son correctas y procede a la aceptación de la tecnología. En caso de que el operador rechazase la aceptación, se solicita al grupo de optimización una revisión de las pruebas identificando que KPIs deben de ser mejorados.

4.6.2 Medida dinámica

A diferencia de la medida estática, las pruebas se llevan a cabo con todos los sectores *ON air* y en paralelo con la aceptación de la medida estática.

La duración del *drive test* es de dos horas aproximadamente y, en el, se deben incluir muestras de todas las celdas. La ruta es propuesta por el grupo de optimización en base a la cobertura esperada como consecuencia de la simulación durante los trabajos de preparación. El operador tiene siempre la opción de solicitar un itinerario alternativo al propuesto notificándolo previamente. Se realizan al menos dos pasadas por recorridos idénticos. Una vez finalizadas las pruebas el nodo se deja apagado.

El tiempo de entrega del informe de resultados es de seis días desde la finalización del *drive test*. Dejando el nodo *OFF air* una vez comprobado por el operador, y si es aceptado, se procede al encendido del nodo y la consiguiente puesta en servicio.

4.6.3 KPIs LTE

Los KPIs de LTE sólo se miden durante el proceso de *first tuning* y están diferenciados entre los que se obtienen en “modo estáticos” y en “modo dinámico”.

4.6.3.1 Informe de medidas en modo estático.

Los KPIs que se valoran en el informe son los siguientes [12]:

- ***Attach success rate***: Se hacen 20 pruebas conexión/desconexión por sector del enodoB mostrando las tasas de éxito en 3 niveles de información: solicitar conexión, conexión establecida y conexión no realizada.
- ***FTP throughput (DL/UL)***: Se hace una carga y una descarga de un archivo en buenas condiciones radio. Se evalúan los valores máximos y medios de velocidad (el archivo para la descarga será de 500MB y para la carga de 200MB).
- ***CS fallback MOC (Mobile Originated Call)***: Se realiza una llamada desde el terminal de medidas hacia el terminal de llamadas durante 10 segundos para probar el *handover* entre 4G y 3G. Se sabe que ha habido éxito si se recibe un mensaje de que ha sucedido ese *handover* antes de 7 segundos.
- ***CS fallback MTC (Mobile Terminated Call)***: Se realiza una llamada desde el terminal de llamadas hacia terminal de medidas durante 10 segundos para probar el *handover* entre 3G y 4G. Se sabe que ha habido éxito si se recibe un mensaje de que ha sucedido ese *handover* antes de 7 segundos.
- ***Round trip time***: Se llevan a cabo diez comprobaciones de la disponibilidad de recursos (32 bytes) de red mediante el lanzamiento de paquetes de datos (el tamaño de los paquetes será de 32 bytes). Se evalúa el tiempo que tardan los paquetes desde que son lanzados hasta que llegan a la red.
- ***HTTP web page download***: Se usa *Google Chrome* como explorador oficial para esta prueba. El resultado de este test es el tiempo que tarda en cargar una página web buscada desde este explorador.

Los valores objetivos de los KPIs por frecuencia para nodos nuevos se muestran en la Tabla 4-6:

KPIs LTE	LTE800	LTE 1800	LTE2100
Attach success rate	<95%	<95%	<95%
Round trip time	<50ms	<50ms	<50ms
FTP throughput DL MAX	<45 Mbps	<60 Mbps	<75 Mbps
FTP throughput DL MED	<35 Mbps	<52 Mbps	<70 Mbps
FTP throughput UL MAX	<17 Mbps	<28 Mbps	<40 Mbps
FTP throughput UL MED	<14 Mbps	<24 Mbps	<35 Mbps
CS fallback MOC	<7s	<7s	<7s
CS fallback MTC	<7s	<7s	<7s
HTTP web page download	<2.5s	<2.5s	<2.5s

Tabla 4-6: Valores objetivo KPI LTE (Medidas estáticas)

4.6.3.2 Informe de medidas en modo dinámico.

Los KPIs que se valoran en el informe son compuestos por cuatro tipos de calidad de servicio [12]:

Accesibility: Se realizan medidas que determinan la tasa de éxito que se obtiene en el acceso a la red LTE mediante tres tipos distintos de estudios.

- **RRC connection request:** Mensajes de señalización a partir de los archivos de registro que se pueden utilizar para identificar cada intento y el éxito (o fracaso) de conexión con la RRC.
- **CSFB call attempt:** Mensajes de señalización y eventos de los archivos de registro que se utilizan para identificar cada intento y el éxito (o el fracaso) de llamada.
- **CSFB call setup time:** Tiempo descrito entre mensajes de los KPIs anteriores.

Retainability: Se comprueba la tasa de caída de paquetes que se producen al cargar/descargar un archivo proporcionado por dicho operador.

- **FTP upload:** Se realiza una secuencia de TEMS en bucle, cargando cuatro ficheros de 80 MB en paralelo.
- **FTP download:** Se realiza una secuencia de TEMS en bucle, descargando cuatro ficheros de 200 MB en paralelo.

Traffic: Se tienen en cuenta los valores de rendimiento de velocidad de carga/descarga que se obtuvieron después de post-procesamiento de los archivos de registro de TEMS. Los resultados a obtener después del post-procesado de archivos de registro son:

- **Application layer throughput downlink:** Se realiza con una secuencia de TEMS en bucle, descargando 4 ficheros de 200 MB en paralelo.
- **Application layer throughput uplink:** Se realiza con una secuencia de TEMS en bucle, subiendo 4 ficheros de 80 MB en paralelo.

Mobility: Se valora el rendimiento de los sectores a la hora de realizar una llamada en toda el área de cobertura.

- **Intra-frequency HO success rate:** Tasa de éxito que se obtiene al realizar mediciones en canales físicos del enlace descendente en la misma frecuencia que el conjunto activo.
- **Inter-frequency HO success rate:** Tasa de éxito que se obtiene al realizar mediciones en canales físicos de enlace descendente a frecuencias que difieren de la frecuencia del conjunto activo.
- **4G->3G Redirection success rate:** Tasa de éxito que se obtiene al pasar de 4G a 3G.

Los valores objetivos de los KPIs por frecuencia para nodos nuevos se muestran en la Tabla 4-7:

Servicio	KPI LTE	LTE800	LTEU1800	LTEU2100
Accessibility	RRC connection success rate	> 97 %	> 97 %	> 97 %
	CSFB success rate	> 97 %	> 97 %	> 97 %
	CSFB call setup time (CSFB 4G -> 3G)	< 7 s	< 7 s	< 7 s
Retainability	Data drop rate (DL)	< 2 %	< 2 %	< 2 %
	Data drop rate (UL)	< 2 %	< 2 %	< 2 %
Traffic	Application layer throughput - DL	> 18 Mbps	> 25 Mbps	> 32 Mbps
	Application layer throughput - UL	> 8 Mbps	> 12 Mbps	> 16 Mbps
Mobility	Intra-frequency HO success rate	> 97 %	> 97 %	> 97 %
	Inter-frequency HO success rate	> 97 %	> 97 %	> 97 %
	4G->3G Redirection success rate	> 98 %	> 98 %	> 98 %

Tabla 4-7: Valores objetivo KPI LTE (Medidas estáticas)

4.6.4 Plan de tiempos

El proceso total de modernización de un emplazamiento tiene cinco fases:

1. Una fase de diseño radio de tres días de duración. En el proceso, laborioso, se tienen en cuenta varios factores con el objeto de garantizar la correcta implantación del nodo tanto el hardware como el software. Entre los ellos, como ya han sido mencionados, la tecnología, frecuencias y ubicación (rural, urbana, etc) del emplazamiento.
2. A continuación se procede a la preparación del emplazamiento para la instalación de nuevos equipamientos. Una vez instalados e integrados (en servicio) los nodos, se inician los trabajos asociados al *first tuning*.
3. Las medidas estáticas se realizan en tres días, durante los cuales los KPIs tienen que estar por encima de los objetivos establecidos por el operador. Una vez efectuadas las medidas se realiza un informe (plazo de cuatro días) que se envía al operador. Para obtener la aceptación se abre un periodo de siete días, tras el cual la medida se dará como auto-aceptada siempre que el operador no comunique ninguna incidencia ni discrepancia sobre el informe.
4. En paralelo a la aceptación de la medida estática se lleva a cabo la medida dinámica. Esta consiste en un *drive test* en el que se recogen datos estadísticos del nodo durante aproximadamente dos horas. Si los KPIs están en los valores establecidos como objetivo se realiza un informe (plazo de seis días) que se envía al operador. Para obtener la aceptación se abre un periodo de siete días, tras el cual la medida se da como auto-aceptada siempre que el operador no comunique ninguna incidencia ni discrepancia sobre el informe.
5. Una vez que las medidas estén auto-aceptadas se comunica al operador que el nodo está disponible para pasar a estado *ON air*. El operador decidirá cuándo poner el nodo a servicio de los usuarios.

Como ejemplo, a continuación mostramos (Figura 4-5) el proceso de un nodo genérico LTE:

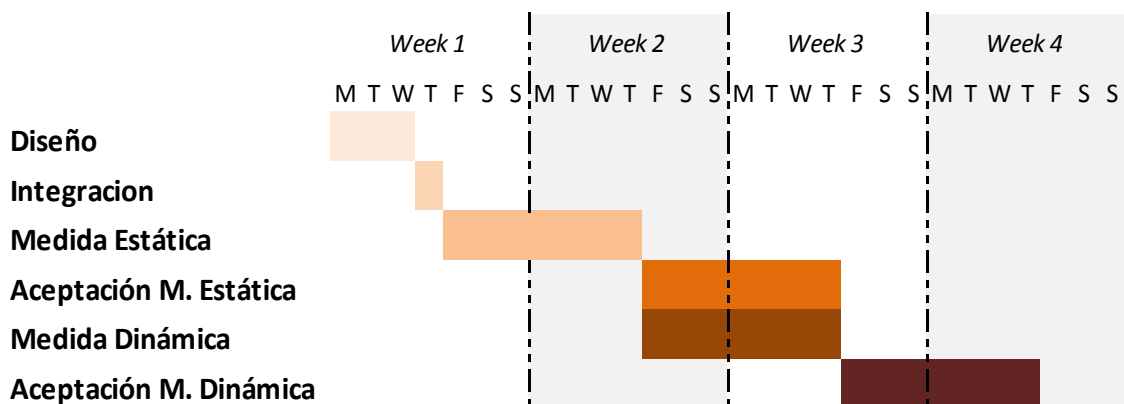


Figura 4-5: Plan de tiempos genérico nodos LTE

Como ya se ha comentado, el plan de tiempos mostrado es el objetivo, sin embargo hay factores que pueden demorar los plazos.

4.7 Conclusiones

Este capítulo, que tiene carácter de preparación, evidencia la necesidad de abordar ciertas actividades con anterioridad a la ejecución del proyecto como son:

- Definición del alcance de las actividades.
- Realizar el replanteo del emplazamiento (*site survey*) objeto del proyecto.
- Estudio de la cobertura previa y una simulación de cómo quedaría el emplazamiento (*site*) una vez realizada la modernización.
- Descripción de los procesos de optimización tanto en el contenido como añadido en el plan de tiempos de ejecución.
- Definición de valores objetivo de los KPIs.
- Herramientas *software* que se utilizarán en la optimización.

El siguiente capítulo se centra en la monitorización y análisis para cada una de las tecnologías.

5 Monitorización, pruebas y resultados

A continuación se presentan por tecnologías los resultados de las pruebas efectuadas en campo y las monitorizaciones llevadas a cabo por el personal técnico. Adicionalmente se recomiendan acciones correctoras con el fin de conseguir los objetivos del proyecto.

5.1 GSM900

En este apartado se realiza un análisis detallado de la tecnología GSM en frecuencia 900MHz tanto en *first tuning* como en optimización. La operativa consiste en hacer volcados de las herramientas (ITK y NIMS-PrOptima) para obtener los KPIs. Una vez obtenidos se analizan, se justifican, comentan los resultados y en los casos requeridos se recomiendan acciones correctoras.

5.1.1 First tuning

El objetivo que hay que cumplir satisfactoriamente es superar los KPIs del nodo *pre-swap*. En caso de que algún KPI *pre-swap* sea peor que el objetivo, prevalece el objetivo. En el caso del nodo objeto del proyecto, como se puede observar en la Tabla 5-1, los datos de la celda *pre-swap* eran mejor que el objetivo que tiene impuesto el operador para nodos de 2G.

KPI	Objetivo	Pre-swap
2G Call setup fail rate	<5%	<0,09%
2G Call drop rate CS	<5%	<3,74%
2G Assignment failure ratio (SDCCH)	<5%	<1,38%
Voice traffic volume (in Erlang)	-	1,58
GPRS/EDGE data volume (in Kbyte)	-	23668,53
Cell availability on any hour	>98%	>98,98%

Tabla 5-1: Valor objetivo KPI GSM900 (*First tuning*)

A continuación se presenta y analiza la evolución de los KPIs una vez procesados los volcados. En las gráficas mostradas se podrá ver el comportamiento del nodo sustituido y el nodo nuevo.

2G Call setup fail rate. La Figura 5-1 presenta la evolución del KPI durante el periodo requerido por el operador.

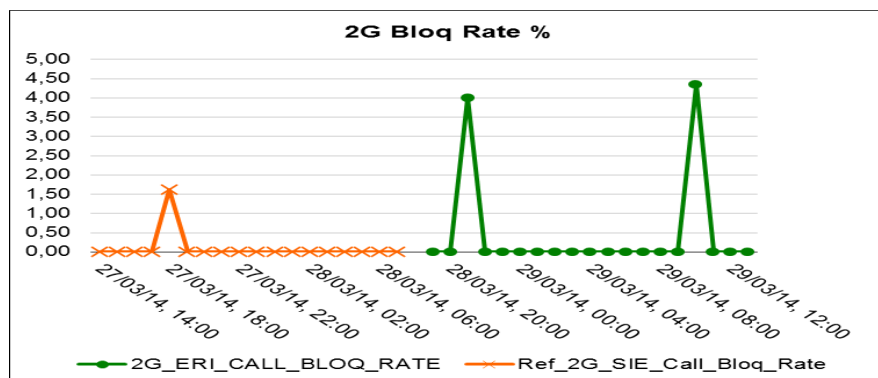


Figura 5-1: 2G Call setup fail rate

Durante el periodo se observaron dos picos puntuales. Siendo valores peores que el nodo *pre-swap* aunque estaban dentro de los objetivo, por lo que no afectaban notablemente al KPI.

2G Call drop rate CS: La Figura 5-2 presenta la evolución del KPI durante el periodo requerido por el operador.

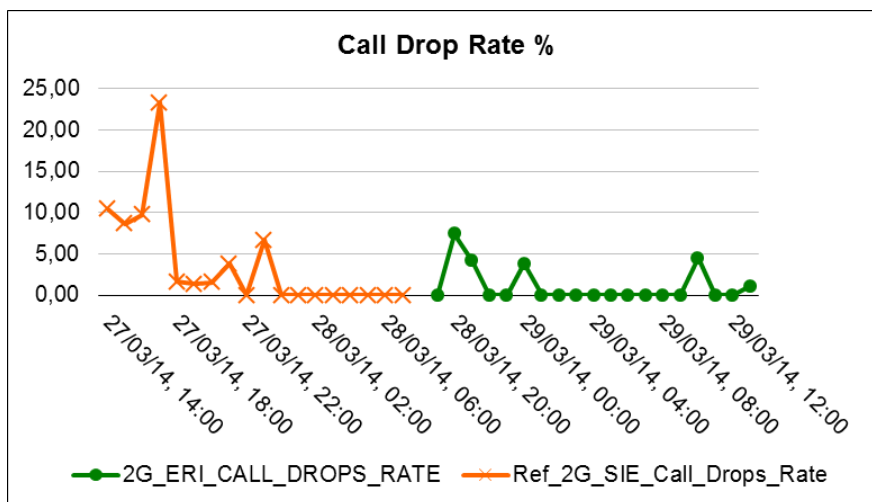


Figura 5-2: 2G Call drop rate CS

En esta gráfica se observa que el KPI mejora notablemente al nodo *pre-swap* después de realizar la integración del mismo.

2G Assignment failure ratio (SDCCH): La Figura 5-3 presenta la evolución del KPI durante el periodo requerido por el operador.

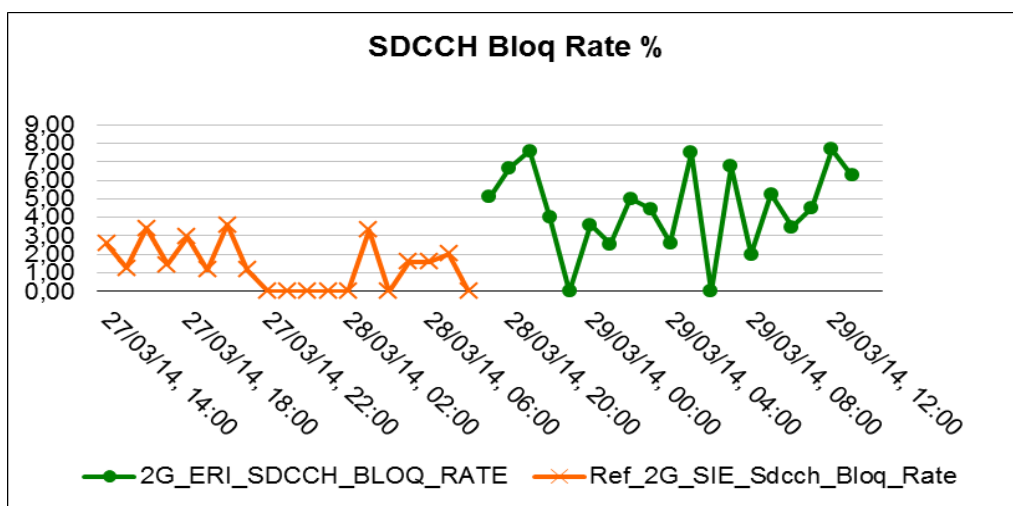


Figura 5-3: 2G Assignment failure ratio (SDCCH)

La tasa es tan alta debido a un fallo de software en el canal de acceso aleatorio (RACH), que envía peticiones de acceso no válidas a la BTS para el canal SDCCH y éste las rechaza subiendo la tasa de fallos. Esto no afecta a los usuarios.

Voice traffic volume (in Erlang): La Figura 5-4 presenta la evolución del tráfico en Erlang.

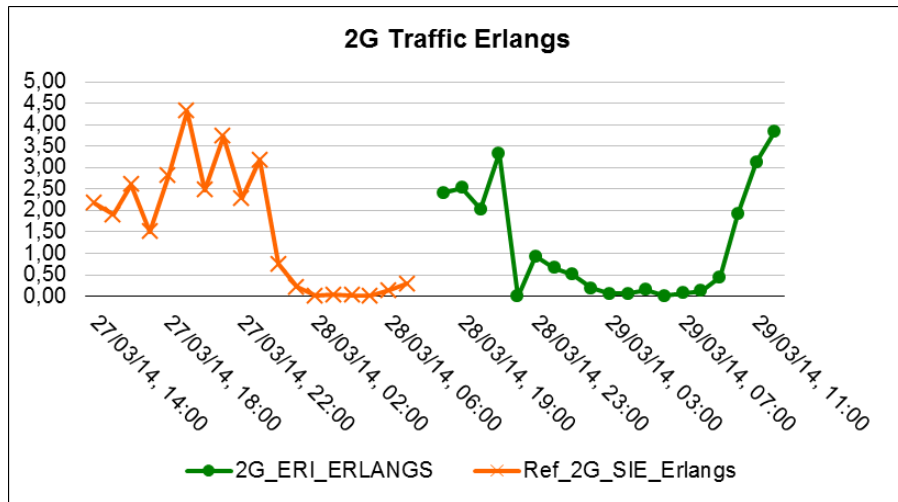


Figura 5-4: Voice traffic volume (in Erlang)

El tráfico en el nodo *pre* y *post-swap* es similar.

GPRS/EDGE data volume (in Kbyte): La Figura 5-5 presenta la evolución del KPI durante el periodo requerido por el operador.

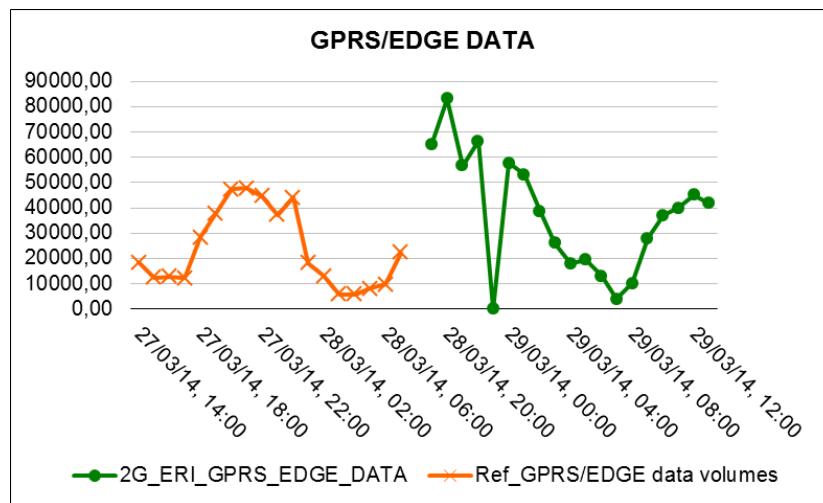


Figura 5-5: GPRS/EDGE data volume (in Kbyte)

Se observa que el tráfico de datos ha mejorado un tercio sobre el nodo *pre-swap*.

Cell availability on any hour: La Figura 5-6 muestra la disponibilidad del nodo en el periodo requerido.

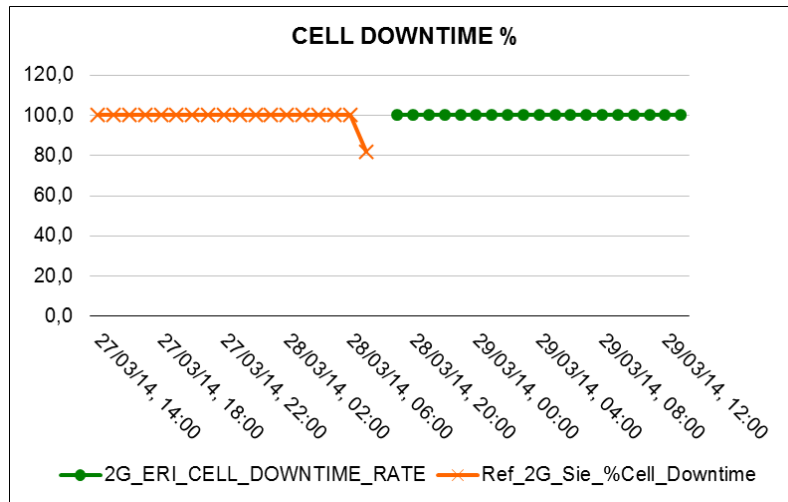


Figura 5-6: Cell availability on any hour

Este KPI tiene un comportamiento parecido al *pre-swap* pero con una mejora mínima, estando el nodo disponible todo el tiempo desde la integración.

La Tabla 5-2 es un resumen comparativo de todos los KPIs que se entregan al operador para su posterior valoración:

KPI	Objetivo	Pre-swap	Swap	Mejora
2G Call setup fail rate	<5%	<0,09%	0,44%	-0,35%
2G or 3G Call drop rate CS	<5%	<3,74%	1,11%	2,62%
2G Assignment failure ratio (SDCCH)	<5%	<1,38%	4,48%	-3,10%
Voice traffic volume (in Erlang)	-	1,58	1,18	-0,40%
GPRS/EDGE data volume (in Kbyte)	-	23668,5	37013,08	13344,55
Cell availability on any hour	>98%	>98,98 %	100,00%	1,02%

Tabla 5-2: Valores finales KPIs GSM900 (First tuning)

La conclusión es, que si bien el nodo tendría un comportamiento muy bueno teniendo como referencia los valores objetivo (tendría muy buenos KPIs), comparando con la situación *pre-swap* los resultados no son los esperados y requiere acciones para lograr que el nodo mejore (KPIs *pre-swap*). Entonces se pasará al proceso de optimización para lograr el objetivo final.

Como conclusión adicional se puede comentar que todas las celdas se encuentran radiando y cursando tráfico. Se observa un comportamiento similar previo al *swap* salvo un aumento del tráfico en GPRS. Se comprueban los parámetros no detectando inconsistencias. También se realiza la revisión de vecinas, encontrando faltantes, por lo tanto serán enviadas para que sean cargadas durante el proceso de optimización.

5.1.2 Optimización

El objetivo en nodos que se sustituyen (*swap*) es siempre superar o igualar los KPIs que se alcanzaban en el nodo en la tecnología anteriormente instalada. En caso de que algún KPI *pre-swap* sea peor que el objetivo, prevalece el objetivo. En el caso del nodo objeto del proyecto, como se puede observar en la Tabla 5-3, algunos datos de la celda *pre-swap* eran peores que el objetivo.

2G KPIs	Pre-swap	Objetivo
2G Assignment failure ratio (TCH)	0,42%	<0.50%
2G Assignment failure ratio (SDCCH)	2,19%	<0.50%
2G Voice drop call Rate	2,67%	<1.50%
Voice Traffic volume (in Erlang)	204,54	-
Bad quality uplink samples (RX Qual 5-7 from total)	3,59%	<7.00%
Bad quality downlink samples (RX Qual 5-7 from total)	6,47%	<7.00%
GPRS/EDGE data volume (in Kbyte)	2.184.082,0	-
% Traffic AMR	-	-
% Cell downtime	0,00%	>95.00%

Tabla 5-3: Valor objetivo KPIs GSM900 (Optimización)

En la tabla anterior podemos observar la comparativa de los KPIs objetivos y los obtenidos antes del *swap*. El objetivo será llevar los KPIs a cumplir los valores requeridos.

2G Assignment failure ratio (TCH): La Figura 5-7 presenta la evolución del KPI durante el periodo requerido por el operador.

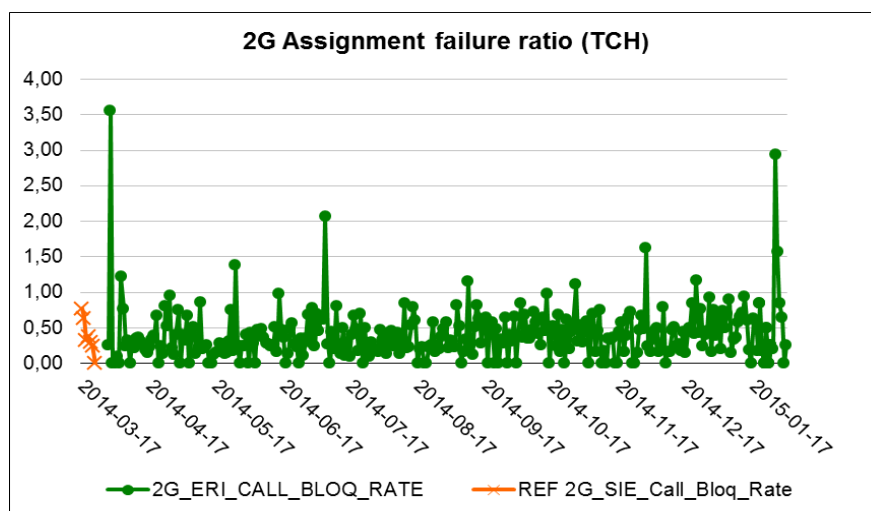


Figura 5-7: 2G Assignment failure ratio (TCH)

En los primeros análisis se observan continuos picos en los bloqueos TCH. Como consecuencia se procedió a revisar (04/04/2014) la parametrización mejorando los bloqueos. Seguidamente (13/06/2014) se trabajó en la corrección de la BA LIST (BCCH Allocation List: es una lista de frecuencias soportadas por las celdas vecinas). Durante los últimos 7 días se detectó un pico elevado (27/01/2014) pero se considera puntual y debido a causas externas.

2G Assignment failure ratio (SDCCH): La Figura 5-8 presenta la evolución del KPI durante el periodo requerido por el operador.

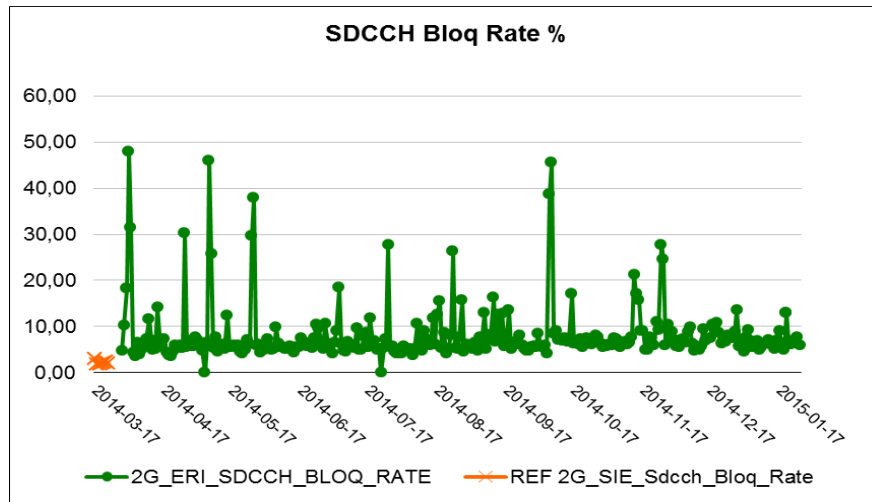


Figura 5-8: 2G Assignment failure ratio (SDCCH)

Este KPI tiene grandes picos continuos de bloqueo alcanzando valores cercanos al 50%. La decisión fue modificar los parámetros SDCCH y los bloqueos bajan drásticamente (02/12/2014). Durante los últimos 7 días hubo otro pequeño pico (27/01/2015) relacionado con el KPI anterior.

2G Voice drop call rate: La Figura 5-9 presenta la evolución del KPI durante el periodo requerido por el operador.

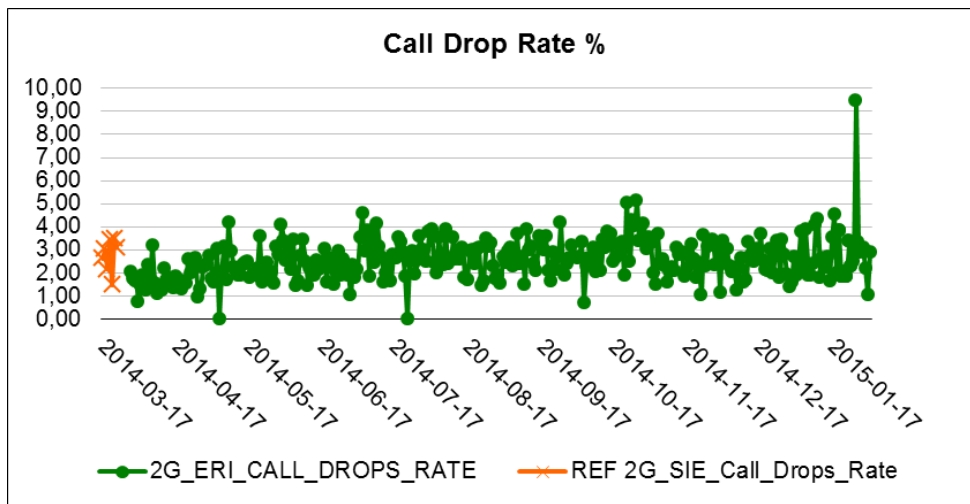


Figura 5-9: 2G Voice drop call rate

Se optimizaron los parámetros y se añadieron las relaciones de vecinas para mejorar el objetivo del KPI (18/10/2014), entonces las caídas empezaron a mejorar, como se ha comentado anteriormente, el pico que encontramos al final fue puntual.

GPRS/EDGE data volume (in Kbyte): La Figura 5-10 presenta la evolución del KPI durante el periodo requerido por el operador.

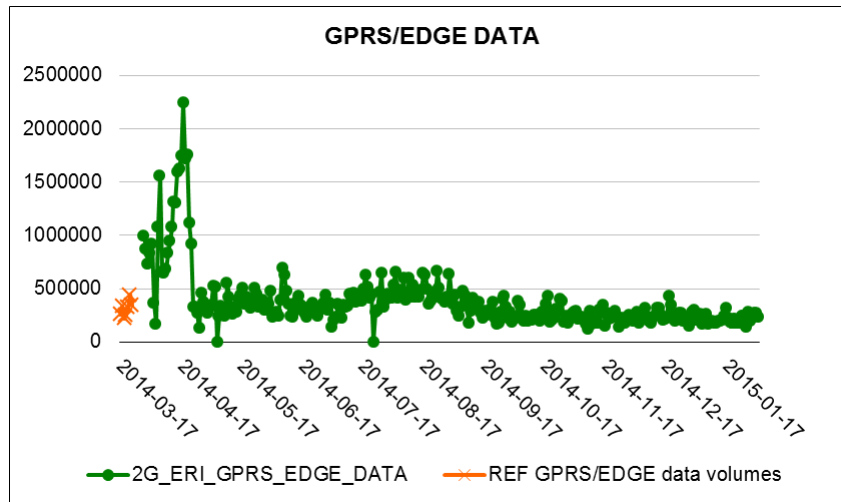


Figura 5-10: GPRS/EDGE data volume (in Kbyte)

Este nodo procesaba un volumen alto de datos. Se reduce drásticamente con la entrada en servicio (04/09/2014) del nodo U900 (co-localizado) y una reducción mayor cuando se activó posteriormente (25/11/2014) el U2100. En gráfica se observa claramente la reducción del volumen de datos procesado por el nodo a lo largo del tiempo.

Bad quality uplink samples (RX Qual 5-7 from total): La Figura 5-11 presenta la evolución del KPI durante el periodo requerido por el operador.

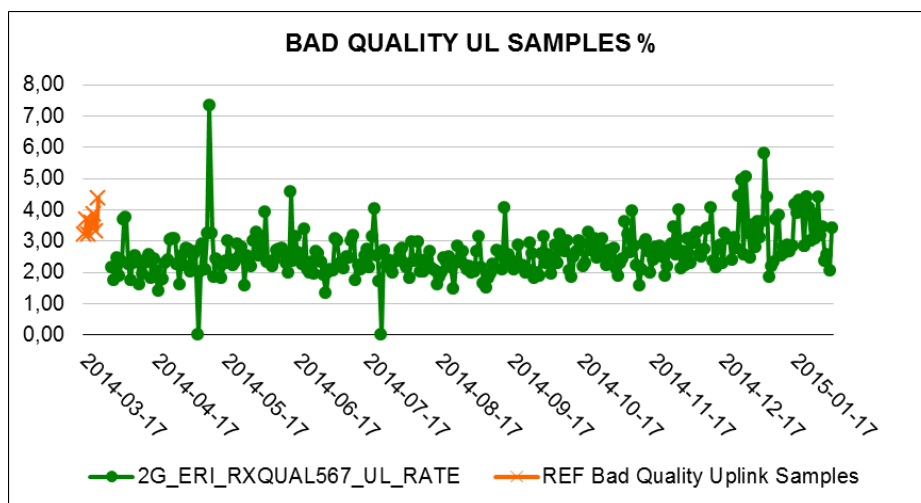


Figura 5-11: Bad quality uplink samples (RX Qual 5-7 from total)

Durante todo el periodo de optimización estuvo dentro del rango del objetivo deseado salvo por algún pico, que al no tener alarmas, no se han considerado relevantes.

Bad quality downlink samples (RX Qual 5-7 from total): La Figura 5-12 presenta la evolución del KPI durante el periodo requerido por el operador.

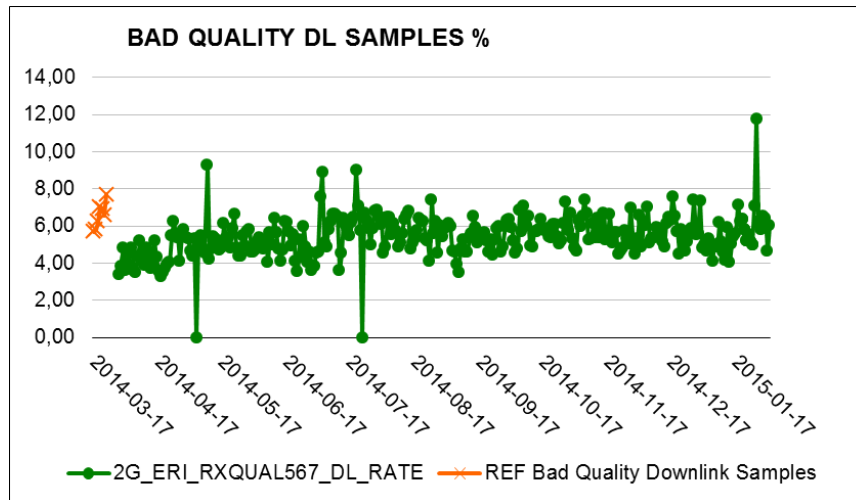


Figura 5-12: Bad quality downlink samples (RX Qual 5-7 from total)

Similar comportamiento al del KPI anterior, valores dentro de objetivo con picos no relevantes (sin alarmas asociadas).

Voice Traffic volume (in Erlang): La Figura 5-13 presenta la evolución del tráfico en Erlang.

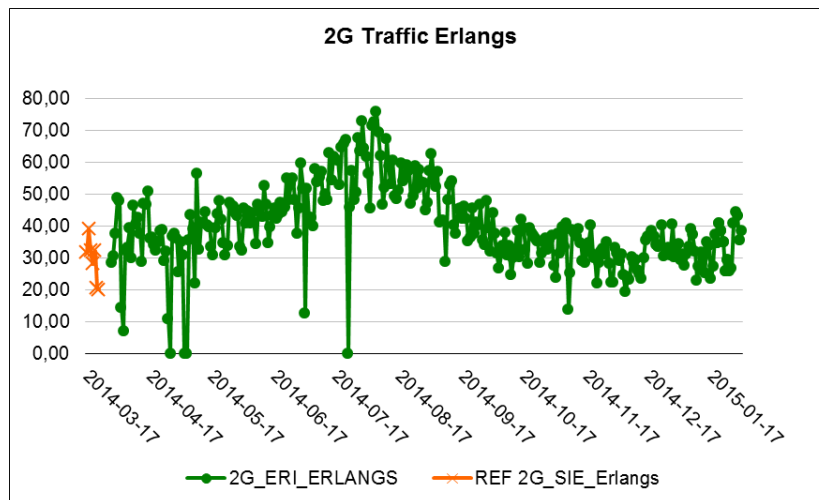


Figura 5-13: Voice Traffic volume (in Erlang)

El volumen de tráfico sufre una evolución negativa debido a, como se mencionó anteriormente, la activación de las tecnologías U2100/U900 (igual que el volumen de tráfico GPRS/EDGE).

% of AMR Traffic: La Figura 5-14 presenta la evolución del KPI durante el periodo requerido por el operador.

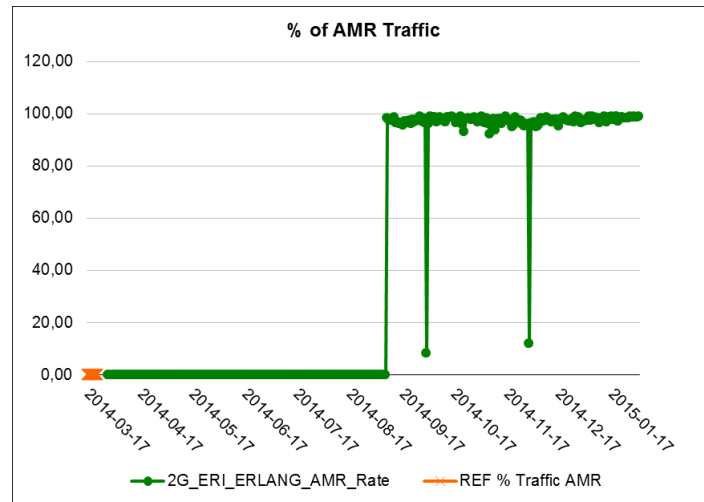


Figura 5-14: % of AMR Traffic

No se ha dispuesto de información debido a un problema dispositivos. Finalmente la incidencia se solucionó (08/09/2014) y se identificó una mejora relevante en rendimiento del tráfico AMR.

% Cell downtime: La Figura 5-15 la disponibilidad del nodo en el periodo requerido.

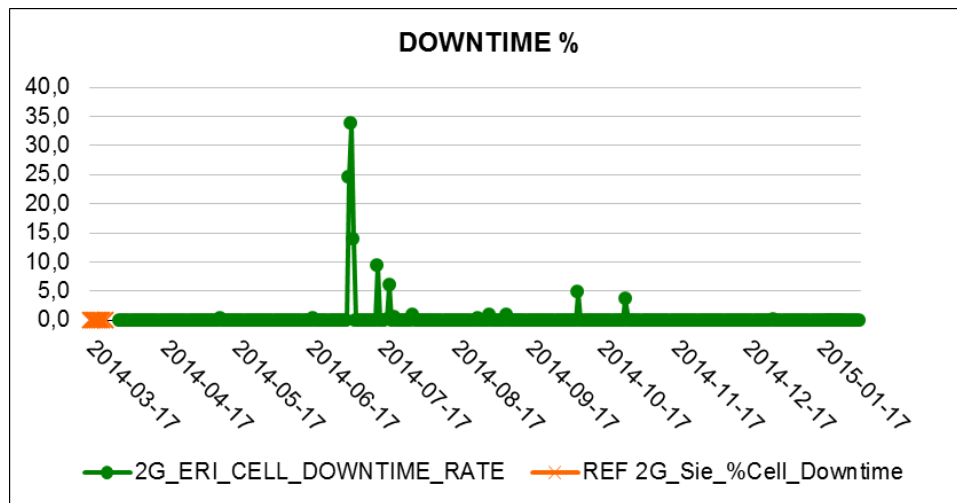


Figura 5-15: % Cell downtime

El comportamiento es dentro del valor objetivo (caídas puntuales sin relevancia).

La Tabla 5-4 es un resumen comparativo de todos los KPIs que se entregan al operador para su posterior valoración. Estos valores son los resultados obtenidos en el periodo de estabilización de siete días acordado con el operador y muestran que el comportamiento de los indicadores es estable.

2G KPI	<i>Pre-swap</i>	<i>Swap</i>	Objetivo	Mejora
2G Assignment failure ratio (TCH)	0,42%	1,08%	<0.50%	0,66%
2G Assignment failure ratio (SDCCH)	2,19%	7,62%	<0.50%	7,12%
2G Voice Drop Call Rate	2,67%	3,68%	<1.50%	2,18%
Voice Traffic volume (in Erlang)	204,54	270,0	-	12,05%
Bad Quality Uplink Samples (RX Qual 5-7 from total)	3,59%	3,00%	<7.00%	-0,59%
Bad Quality Downlink Samples (RX Qual 5-7 from total)	6,47%	6,49%	<7.00%	0,02%
GPRS/EDGE data volume (in Kbyte)	2.184.082	1.611.271	-	-26,23%
% Traffic AMR	-	98,81%	>95.00%	98,81%
% Cell Downtime	0,00%	0,00%	<0.05%	0,00%

Tabla 5-4: Valores finales KPIs GSM900 (Optimización)

Como se puede observar no se han logrado “cumplir” todos los objetivos establecidos en este nodo, no obstante, el operador aceptó este nodo basándose en las argumentaciones expuestas el FAR.

KPIS fuera de valores objetivo:

- 2G Assignment failure ratio (TCH): Una vez solucionado el origen del pico que tuvo lugar e hizo que la media durante los 7 días de KPIs del periodo de estabilización subiera de forma puntual, se consideró que el nodo tenía un comportamiento normal (no hubo reiteración del pico).
- 2G Assignment failure ratio (SDCCH): Este KPI se aceptó con esa tasa ya que lo que ha producido ese número ha sido el canal de acceso aleatorio (RACH), que envía peticiones de acceso no validas a la BTS para el SDCCH y esta las rechaza subiendo la tasa de fallos. Esto no es preocupante porque no afecta a los usuarios de la red.
- 2G Voice Drop Call Rate: Misma explicación que bloqueos TCH.
- GPRS/EDGE data volumen (in Kbyte): Ha bajado más de un 25% debido a la activación las tecnologías 3G (U2100/U900), esto hace que compartan las 3 tecnologías los datos móviles.

KPIS dentro de valores objetivo:

- El volumen de llamadas procesadas por el nodo aumentó de forma considerable.

- La calidad del nodo aumento debido al aumento del 100% del tráfico AMR provocado por la resolución el problema con escáneres que también tenía el nodo *pre-swap*.

5.2 UMTS U900

En este apartado se realiza un análisis detallado de la tecnología UMTS en frecuencia 900MHz tanto en *first tuning* como en optimización. La operativa consiste en hacer volcados de las herramientas (ITK y NIMS-PrOptima) para obtener los KPIs. Una vez obtenidos se analizan, se justifican, comentan los resultados y en los casos requeridos se recomiendan acciones correctoras.

5.2.1 First tuning

Los objetivos para cumplir satisfactoriamente el first tuning del nodo para la tecnología U900 será superar los marcados por el operador. A diferencia de la tecnología G900, no es una *swap*, es una modernización añadiendo la tecnología U900 al emplazamiento. Los objetivos a cumplir se muestran en la Tabla 5-5:

KPI 3G	Objetivo
3G Call setup fail rate	<5%
3G Packet switched fail rate	<5%
3G Call drop rate CS	<3%
3G Packet switched drop rate PS	<5%
3G -> 3G o 3G -> 2G SHO/HHO Fail rate	<20%
Cell availability on any hour	>98%

Tabla 5-5: Valores objetivo KPIs U900 (*First tuning*)

A continuación se presenta gráficamente la evolución de los KPIs una vez procesados los volcados.

3G Call setup fail rate: La Figura 5-16 presenta la evolución del KPI durante el periodo requerido por el operador.

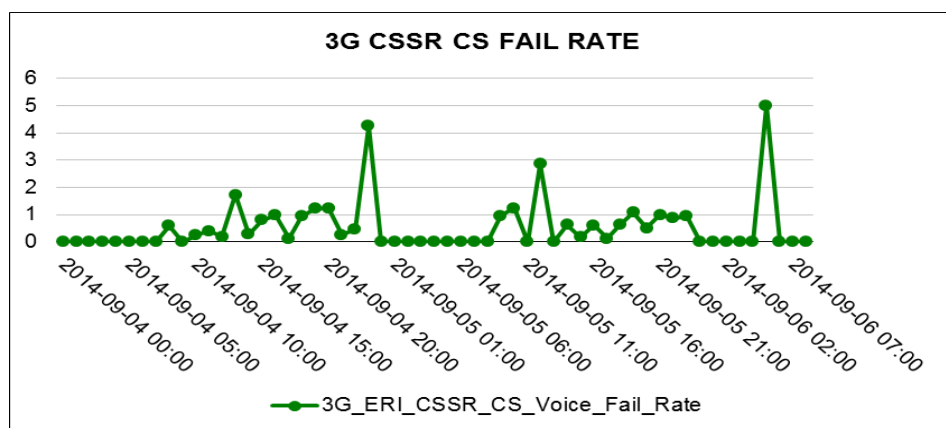


Figura 5-16: 3G Call setup fail rate

Se detectan unos picos relacionados con la disponibilidad de la celda. Excluyendo estos picos, el KPI tiene un comportamiento con valores en un rango razonable.

3G Packet switched fail rate: La Figura 5-17 presenta la evolución del KPI durante el periodo requerido por el operador.

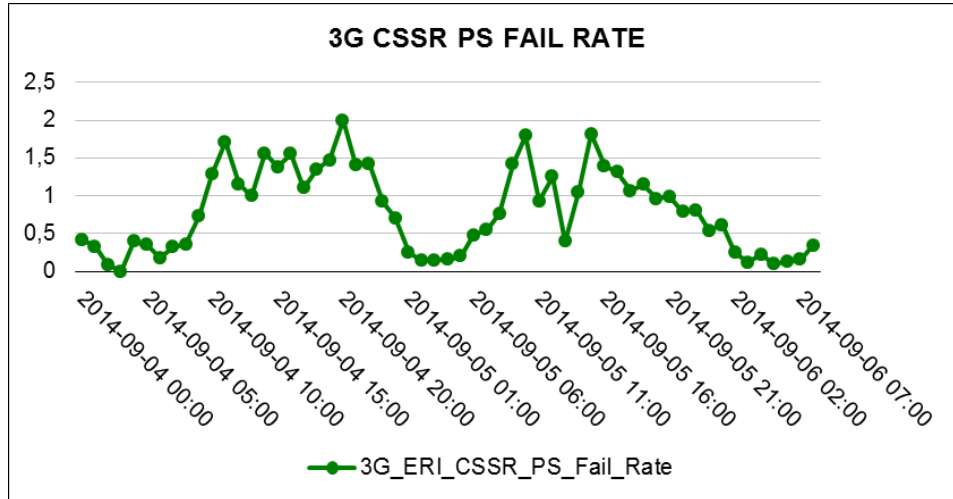


Figura 5-17: 3G Packet switched fail rate

Valores muy buenos dentro del marco de exigencia. Como se puede observar no hay una gran caída de paquete de datos (menos de 2%).

3G Call drop rate CS: La Figura 5-18 presenta la evolución del KPI durante el periodo requerido por el operador.

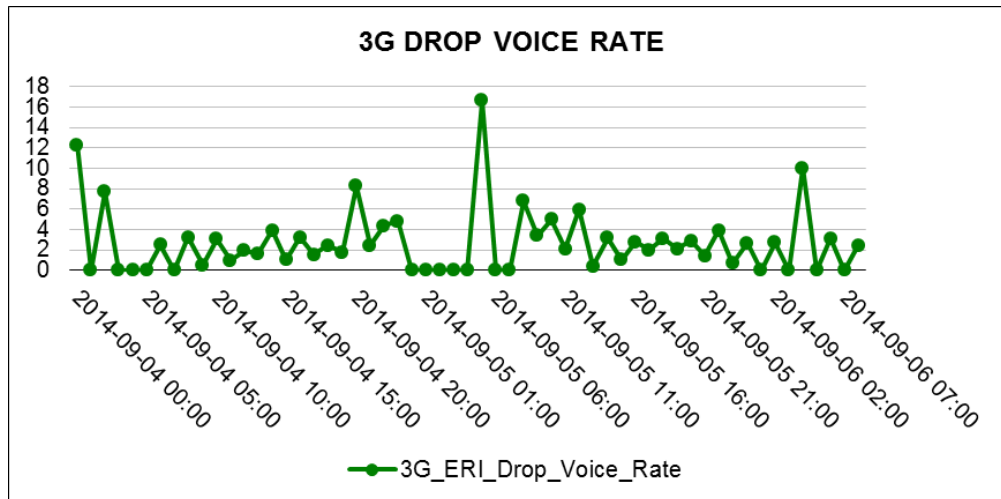


Figura 5-18: 3G Call drop rate CS

Se puede apreciar unos valores muy altos. Esto es principalmente debido a la indisponibilidad que se produjo en el nodo y, además, a que no se habían cargado las celdas vecinas de dos nodos colindantes.

3G Packet Switched drop rate PS: La Figura 5-19 presenta la evolución del KPI durante el periodo requerido por el operador.

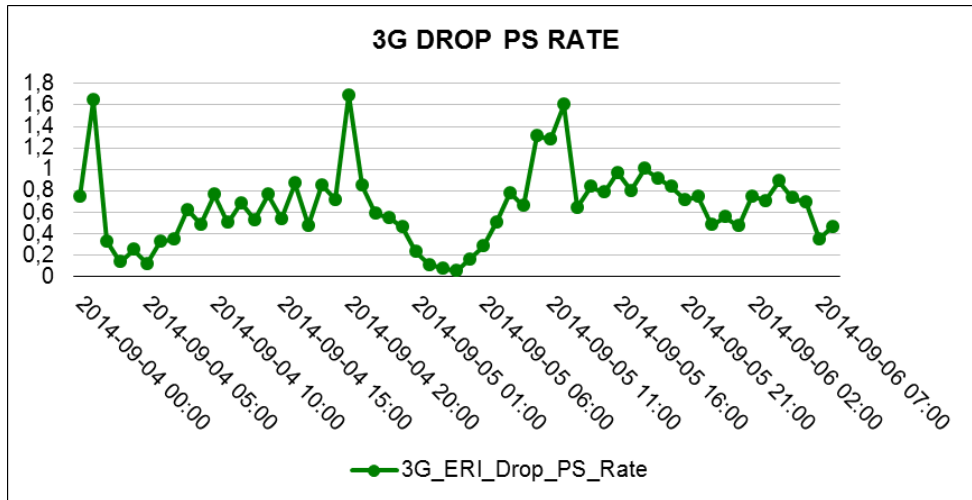


Figura 5-19: 3G Packet Switched drop rate PS

Tiene 3 picos significativos pero ninguno supera el 1.8% de caídas. El comportamiento del nodo es el adecuado.

2G -> 2G, 3G -> 3G o 3G -> 2G SHO/HHO Fail rate: La Figura 5-20 presenta la evolución del KPI durante el periodo requerido por el operador.

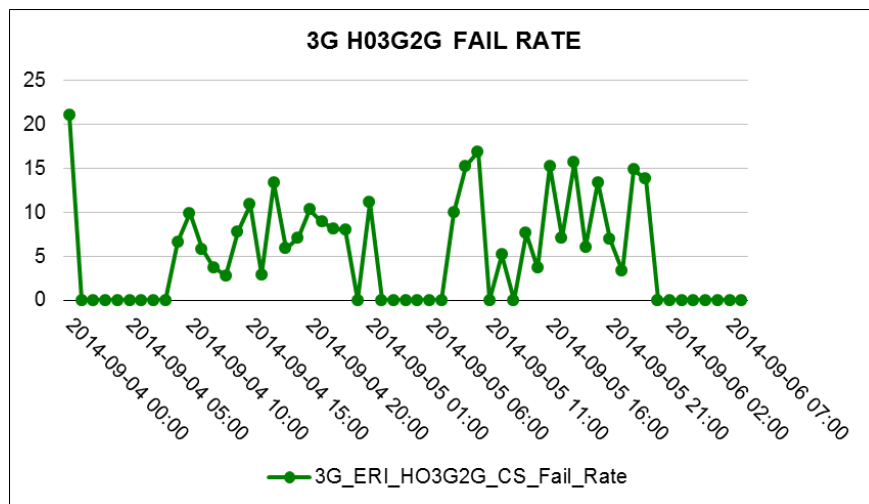


Figura 5-20: 2G -> 2G, 3G -> 3G o 3G -> 2G SHO/HHO Fail rate

El comportamiento es correcto, sin embargo se vio afectado por las indisponibilidades del nodo y la falta de definición de las celdas de dos nodos colindantes que se incluirían durante el proceso de optimización.

Cell availability on any hour: La Figura 5-21 presenta la evolución del KPI durante el periodo requerido por el operador.

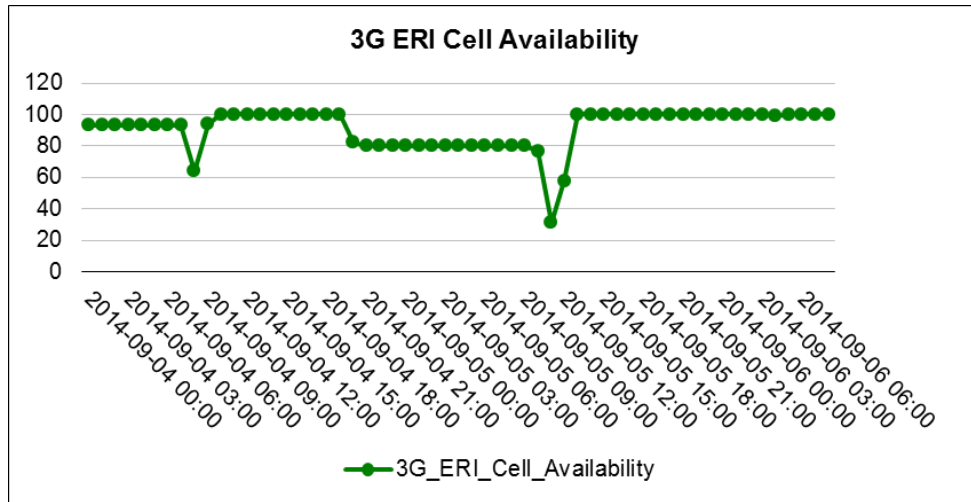


Figura 5-21: Cell availability on any hour

Se pueden observar una baja disponibilidad en las celdas del nodo. El origen está en varias incidencias que produjeron al principio de la entrada en servicio del nodo que provocó la indisponibilidad (dos de ellas bastante significativas). Este impacto no impidió que cumplieran los objetivos.

La Tabla 5-6 un resumen comparativo de todos los KPIs que es parte del informe que se entrega al operador para su posterior valoración.

KPI	Objetivo	Nueva tecnología	Mejora
3G Call Setup Fail Rate	<5%	0.53 %	4.47%
3G Packet Switched Fail Rate	<5%	0.80 %	4.20%
3G Call Drop rate CS	<3%	2.67 %	0.33%
3G Packet Switched Drop rate PS	<55	0.65 %	4.35%
2G -> 2G, 3G -> 3G o 3G -> 2G SHO/HHO Fail Rate	<20%	5.26 %	14.74 %
Cell availability on any hour	>98%	91.08 %	-6.92%

Tabla 5-6: Valores finales KPIs U900 (First tuning)

Una vez analizado el nodo podemos sacar las siguientes conclusiones:

- Para el proceso de optimización será necesario mitigar el problema de la indisponibilidad.

- Todos los KPIs se vieron afectados por la indisponibilidad del nodo producida en las primeras 12 horas de “vida” del nodo.
- Los picos puntuales volvieron a su estado normal después de esas 12 horas. Todos los sectores están funcionando correctamente y la carga de vecinas se produjo satisfactoriamente salvo por dos nodos. El resultado del *first tuning* es bueno cumpliendo todos los KPIs marcados por el operador salvo el de disponibilidad por las incidencias ya mencionadas.

5.2.2 Optimización

Los objetivos que se aplican para este nodo son los correspondientes a la tecnología 3G (U900) en una zona urbana. Se muestran en la Tabla 5-7:

3G KPIs	Urbano
CSSR CS Voice block rate	<0.80%
CSSR PS block rate	<1.00%
Voice drop call rate	<0,80%
PS drop call rate	<2.00%
Voice traffic volume (in Erlang)	-
HSxPA Data volume (in Kbyte)	-
Voice IRAT HO failure rate	<5.00%
% traffic 3G vs 2G+3G	-
RSSI Weekly <-96dBm	-
Cell availability	>99.95%

Tabla 5-7: Valores objetivo KPIs U900 (Optimización)

A continuación se presenta y analiza la evolución de los KPIs una vez procesados los volcados. En las gráficas se podrá ver la evolución del comportamiento de la nueva tecnología.

CSSR CS Voice block rate. La Figura 5-22 presenta la evolución del KPI durante el periodo requerido por el operador.

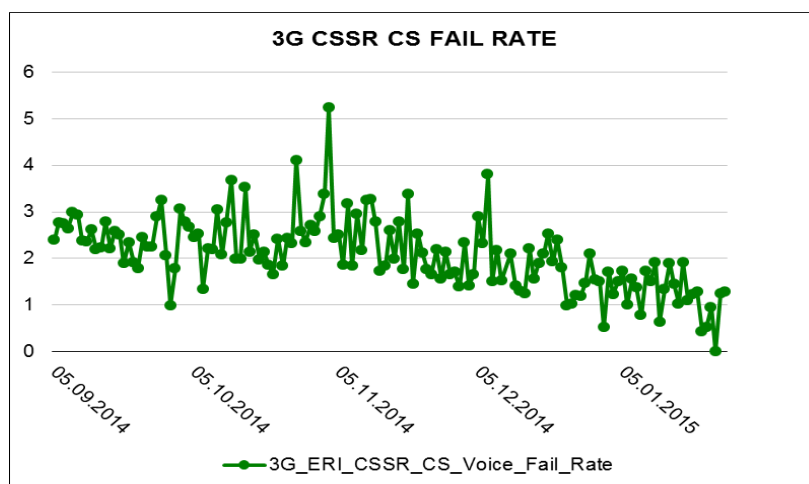


Figura 5-22: CSSR CS Voice block rate

Se comprueba una pequeña desviación (no afecta al usuario de la red) respecto del objetivo del KPI hasta que mejora notablemente (31/10/2014) al finalizar el proceso de optimización. Una de las causas que produce estas caídas y bloqueos es el “sobre-alcance”. Se recomendó modificar la inclinación para que la antena no apuntara tan lejos. Esto se tradujo en una mejora sustancial de la calidad de la cobertura.

CSSR PS block rate: La Figura 5-23 presenta la evolución del KPI durante el periodo requerido por el operador.

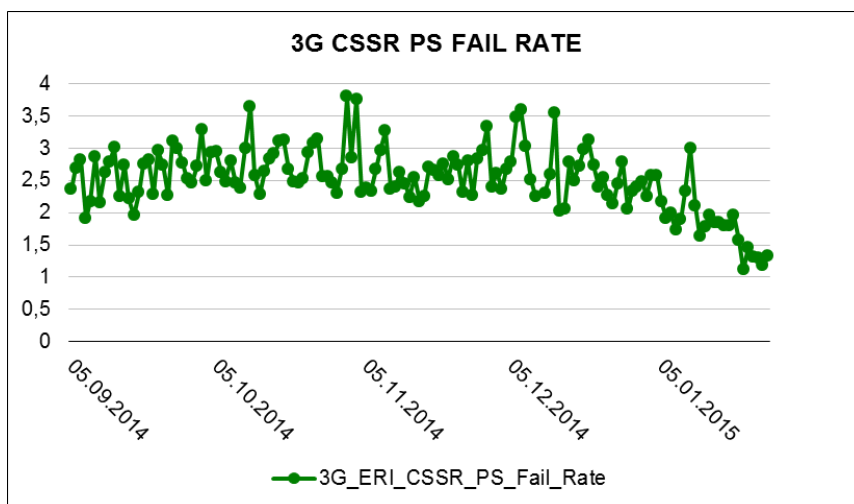


Figura 5-23: CSSR PS block rate

Con el objeto de mejorar el valor, se hace necesario modificar la inclinación de la antena 3 grados, bajando la inclinación (21/01/2015). El hecho de realizar este cambio mejoró también el resto de los KPIS.

Voice drop call rate: La Figura 5-24 presenta la evolución del KPI durante el periodo requerido por el operador.

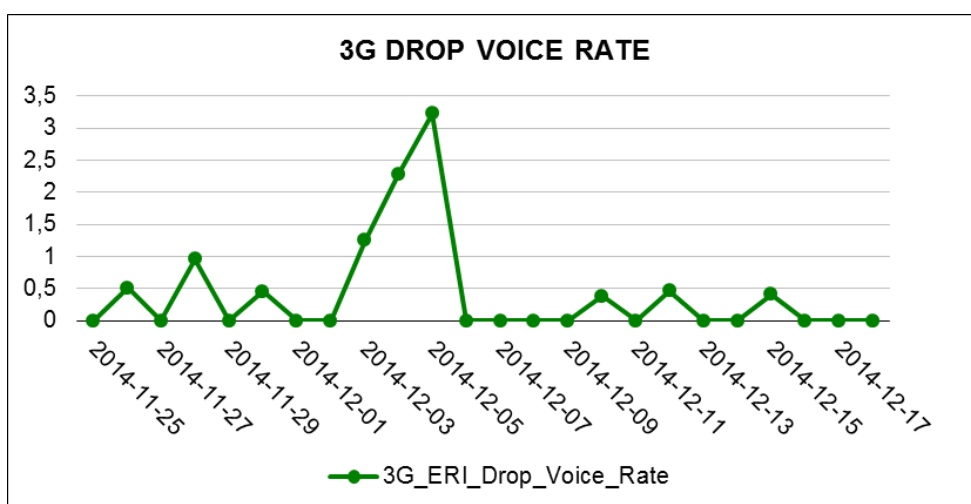


Figura 5-24: Voice drop call rate

Una vez realizada la introducción de la tecnología, aparece un nivel de caída más alto por el impacto a la red, se puede observar un pico (03/12/2014) que no se tiene en cuenta al comprobar que no tiene alarmas. A medida que se optimizan y mejoran los demás KPIs, éste mejora también sustancialmente.

PS Drop call rate: La Figura 5-25 presenta la evolución del KPI durante el periodo requerido por el operador.

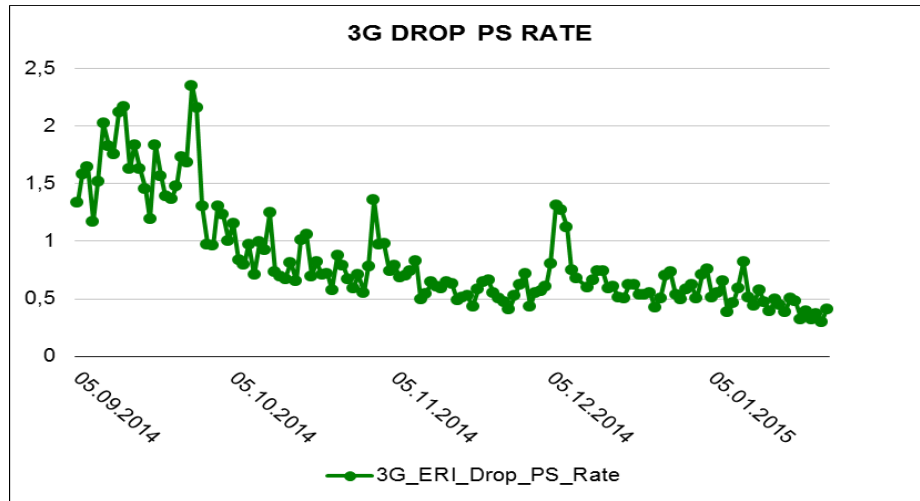


Figura 5-25: PS Drop call rate

Se produce una pequeña desviación en el primer mes de optimización por el impacto producido por la fase de integración aunque no afectara al servicio.

Voice traffic volume (in Erlang): La Figura 5-26 presenta la evolución del KPI durante el periodo requerido por el operador.

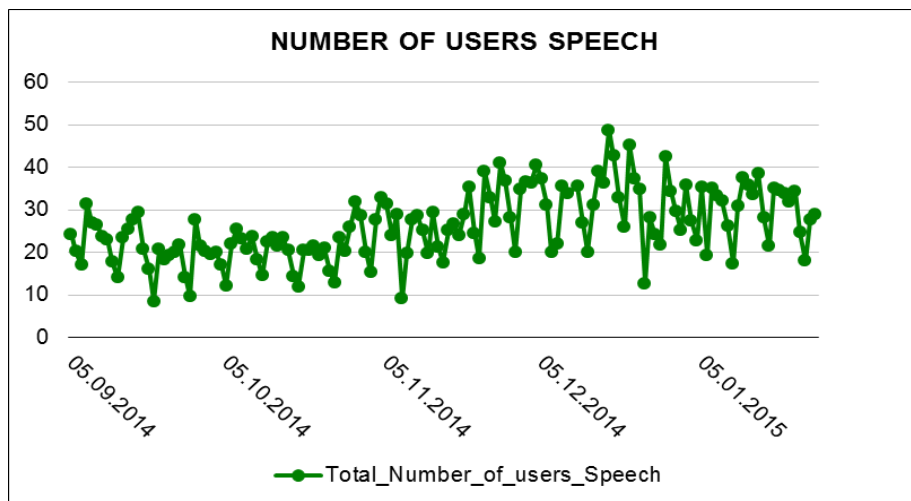


Figura 5-26: Voice traffic volume (in Erlang)

El volumen de tráfico acumulado que tiene el nodo durante el periodo de optimización va creciendo de manera exponencial, ya que es la tecnología que más volumen deberá procesar por configuración de red.

% traffic 3G vs 2G+3G: Este KPI no tiene gráfica. Es una media del tráfico de la tecnología 3G frente a 2G. Se observa que al final de la optimización esta tecnología transmite más de un tercio del tráfico total del nodo (37,86%).

RSSI Weekly <-96dBm: La Figura 5-29 presenta la evolución del KPI durante el periodo requerido por el operador.

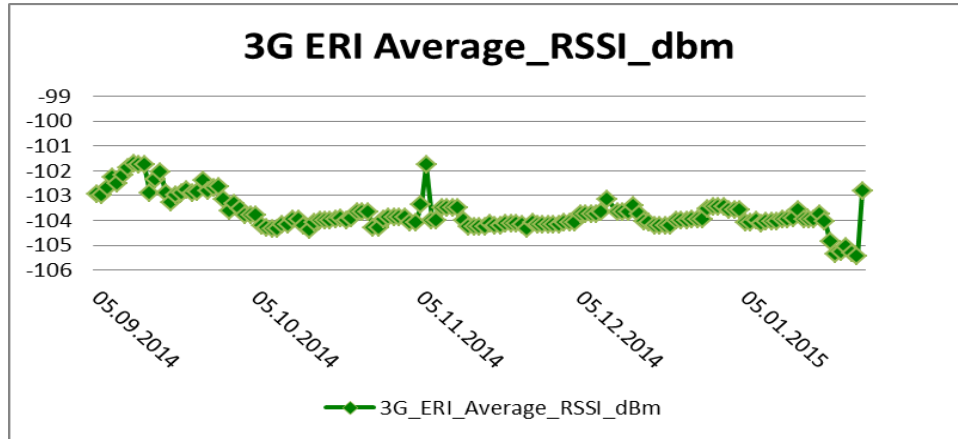


Figura 5-29: RSSI Weekly <-96dBm

Se puede observar que la potencia ha sido siempre por debajo del valor objetivo.

Cell availability: La Figura 5-30 presenta la evolución del KPI durante el periodo requerido por el operador.

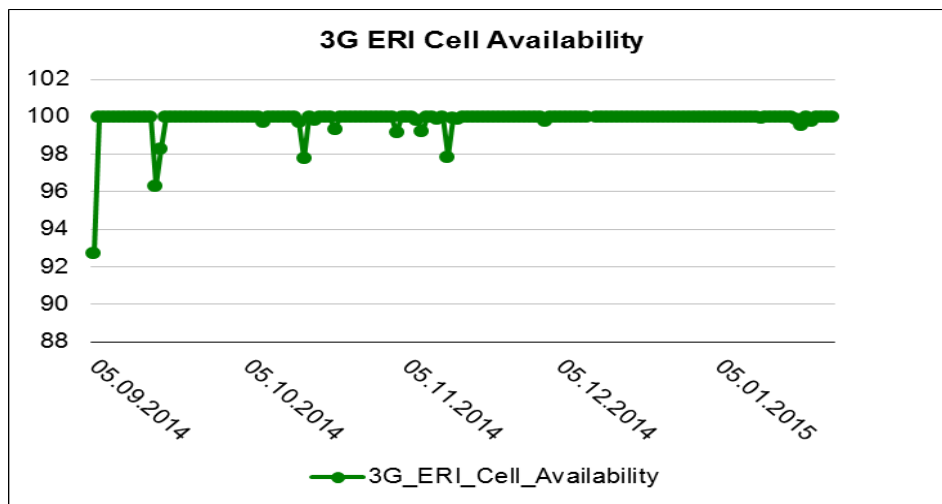


Figura 5-30: Cell availability

Hubo picos significativos al principio del proceso y, además, la última semana hubo un pico puntual (21/01/2015) debido al cambio de inclinación mencionado anteriormente, con objeto de resolver el problema del sobre-alcance.

La Tabla 5-8 es un resumen comparativo de todos los KPIs que se entrega al operador para su posterior valoración. Estos valores son los resultados obtenidos en el periodo de estabilización de siete días durante el periodo de optimización acordado con el operador. En este periodo el comportamiento de los indicadores es estable.

KPI 3G	Objetivo	Nueva tecnología	Mejora
CSSR CS Voice block rate	0,80%	0,87%	0,07%
CSSR PS block rate	1,00%	1,34%	0,34%
Voice drop call Rate	0,80%	0,73%	-0,07%
PS Drop call rate	2,00%	0,37%	-1,63%
Voice traffic volume (in Erlang)		199,6	
HSxPA Data volume (in Kbyte)		37512352,1	
Voice IRAT HO failure rate	5,00%	9,46%	4,46%
% traffic 3G vs 2G+3G		37,86%	37,86%
RSSI Weekly <-96dBm	-96,0	-104,81	-8,81
Cell availability	99,95%	99,91%	-0,04%

Tabla 5-8: Valores finales KPIs U900 (Optimización)

Como se puede observar no se han logrado “cumplir” todos los valores objetivo establecidos para este nodo no obstante el operador aceptó este nodo basándose en las argumentaciones expuestas el FAR.

KPIS fuera de valores objetivo:

- CSSR CS Voice black rate: Tuvo un pico muy alto que distorsionó de forma puntual la media durante los siete días del periodo de estabilización. Una vez solucionado el problema de la inclinación de la antena, el nodo no ha vuelto mostrar un comportamiento anómalo y con una desviación aceptable por lo que el operador confirmó como correcto el valor.
- CSSR PS block rate: Este KPI se aceptó con esa tasa superior a la exigida, ya que una vez corregida la inclinación de la antena la cantidad de paquetes bloqueados se redujo notablemente hasta estabilizarse.
- Voice IRAT HO failure rate: Este fue un KPI que se corrigió modificando, por un lado, la definición de vecinas colindantes que tenían errores en la configuración y, por otro, la inclinación de la antena. Se aceptó con una tasa tan alta de los últimos 7 días por que la evolución era en sentido decreciente y se estimó una reducción mayor en el futuro.

KPIS dentro de valores objetivo:

- Se puede observar que tiene ha tenido muy buen rendimiento en la potencia radiada, medida semanalmente, mejorando el KPI en más de un 8% evitando el choque de frecuencias.
- De igual forma lo KPIS que indican caídas han salido con un saldo positivo contribuyendo a un buen servicio para el usuario.

5.3 UMTS U2100

En este apartado se realiza un análisis detallado de la tecnología UMTS en frecuencia U2100 MHz tanto en *first tuning* como en optimización. La operativa consiste en hacer volcados de las herramientas (ITK y NIMS-PrOptima) para obtener los KPIS. Una vez obtenidos se analizan, se justifican y comentan los resultados y en los casos requeridos se recomiendan acciones requeridas.

5.3.1 First tuning

Como se ha realizado con la tecnología U900, el nodo debe igualar o superar los objetivos impuestos por el operador ya que no es un *swap*. Estos objetivos son los de la Tabla 5-9:

KPI 3G	Objetivo
3G Call Setup fail rate	<5%
3G Packet switched fail rate	<5%
3G Call drop rate CS	<3%
3G Packet switched drop rate PS	<5%
3G -> 3G o 3G -> 2G SHO/HHO Fail rate	<20%
Cell availability on any hour	>98%

Tabla 5-9: Valores objetivo KPIS U2100 (*First tuning*)

A continuación se presenta y analizan la evolución de los KPIS una vez procesados los volcados. En las gráficas mostradas se podrá ver el comportamiento de la nueva tecnología.

3G Call setup fail rate: La Figura 5-31 presenta la evolución del KPI durante el periodo requerido por el operador.

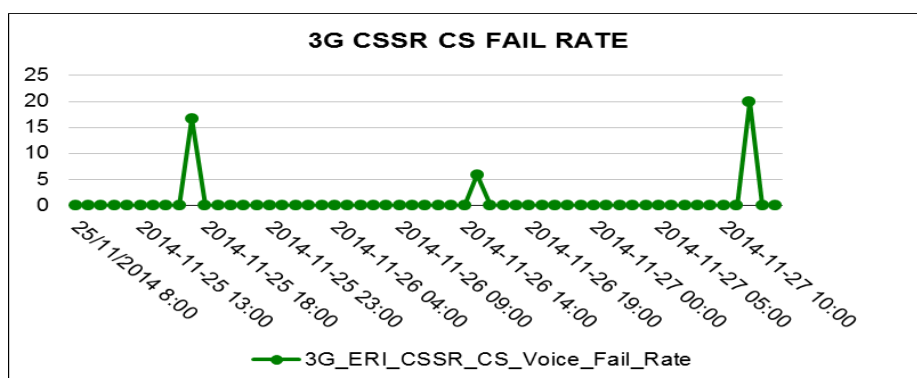


Figura 5-31: 3G Call setup fail rate

A las 24 horas de la activación el KPI se comporta correctamente (0% de caídas de llamadas), con la excepción que hay 3 picos, por encima del 5%, que no se tiene en cuenta porque no afectan a la valoración final del KPI.

3G Packet switched fail rate: La Figura 5-32 presenta la evolución del KPI durante el periodo requerido por el operador.

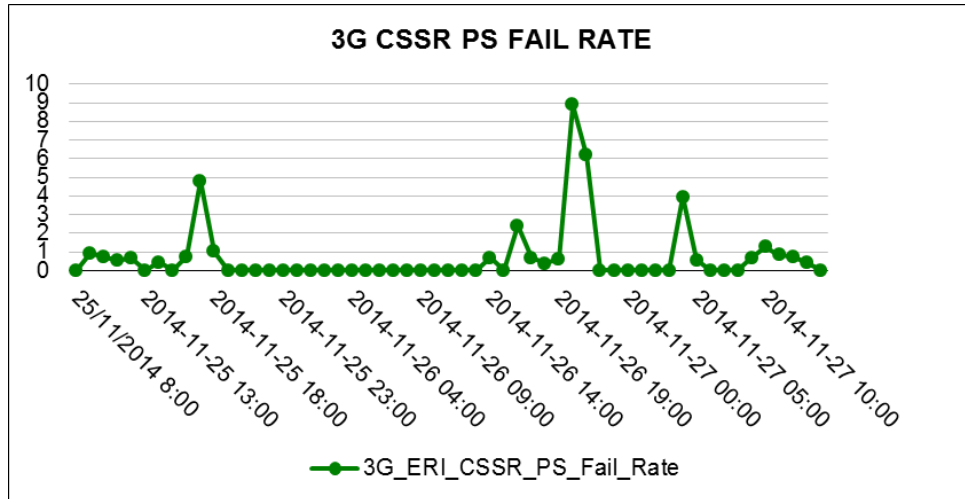


Figura 5-32: 3G Packet switched fail rate

Se puede observar un pico cercano al 9%. Se tuvieron que optimizar los valores relacionados con las tramas de paquetes. Se hizo por prevención para que mejorase aunque estaba dentro de los valores de referencia.

3G Call drop rate CS: La Figura 5-33 presenta la evolución del KPI durante el periodo requerido por el operador.

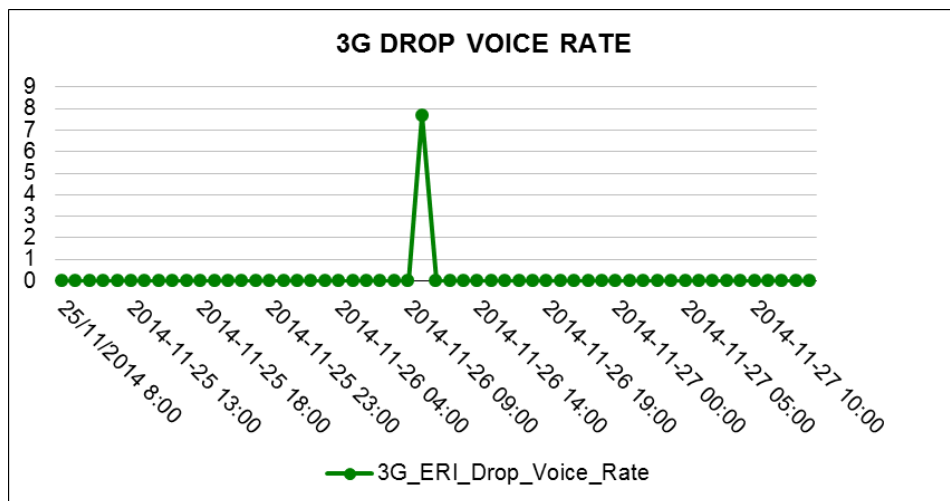


Figura 5-33: 3G Call drop rate CS:

Se puede observar un pico del 8% que no tiene relevancia alguna porque es un hecho que sucede de manera aislada. El comportamiento del KPI es muy bueno, prácticamente ideal.

3G Packet switched drop rate PS: La Figura 5-34 presenta la evolución del KPI durante el periodo requerido por el operador.

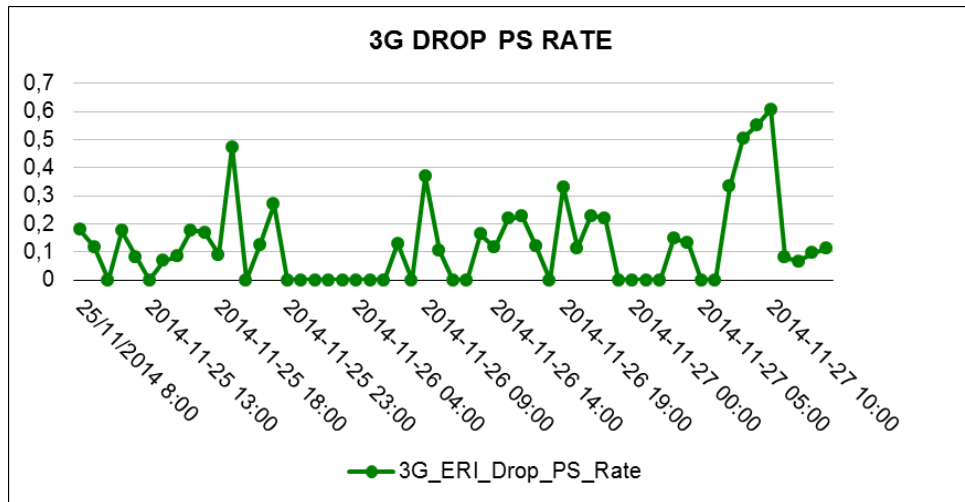


Figura 5-34: 3G Packet switched drop rate PS

Se tuvieron que optimizar los valores relacionados con las tramas de paquetes como se comentó en el KPI *3G Packet Switched Fail Rate* para obtener valores mejores. Se hizo teniendo en cuenta que el proceso de optimización es más largo y que esto podría llegar a causar problemas en el periodo de estabilidad.

2G -> 2G, 3G -> 3G o 3G -> 2G SHO/HHO Fail rate: La Figura 5-35 presenta la evolución del KPI durante el periodo requerido por el operador.

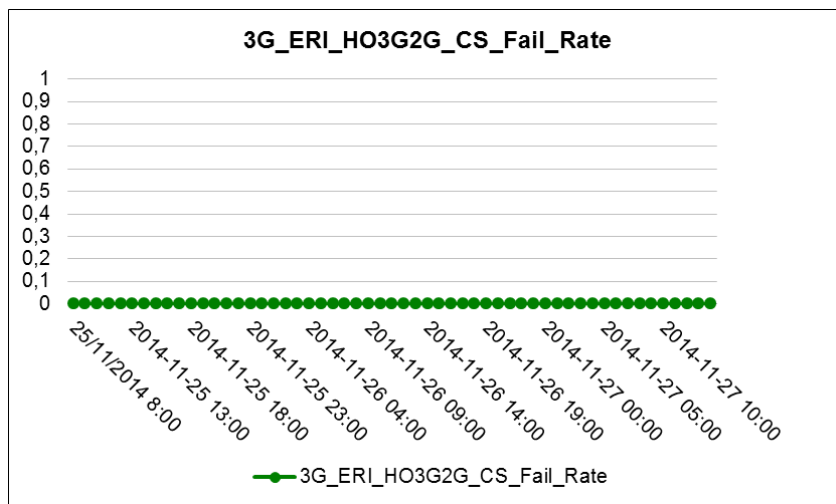


Figura 5-35: 2G -> 2G, 3G -> 3G o 3G -> 2G SHO/HHO Fail rate

El dato del *handover* es ideal (se cargaron las vecinas correctamente y no hay error de diseño) situándose en una tasa de fallo de 0%.

Cell availability on any hour: La Figura 5-36 presenta la evolución del KPI durante el periodo requerido por el operador.

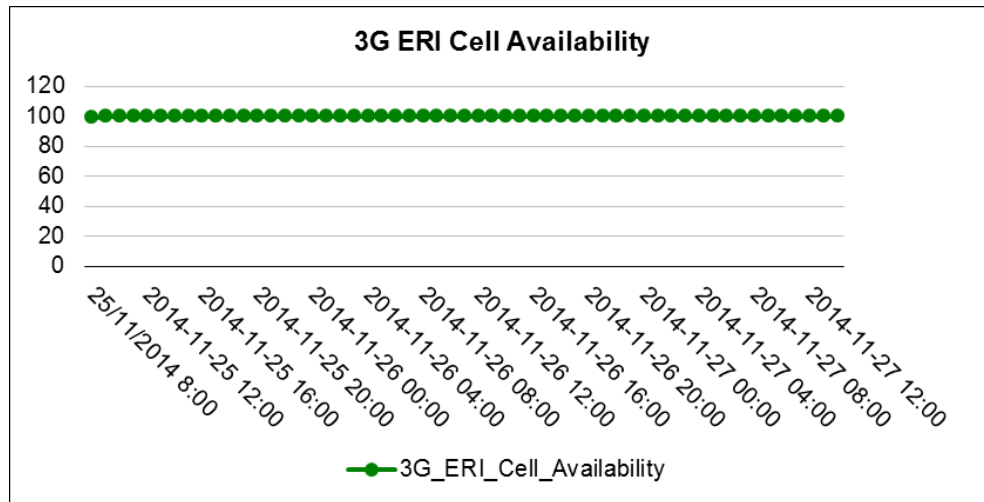


Figura 5-36: Cell availability on any hour

La celda estuvo disponible desde el momento en que se terminó la integración de la tecnología.

La Tabla 5-10 un resumen comparativo de todos los KPIs objetivo y conseguidos que se entrega al operador para su posterior valoración.

KPI	Objetivo	Nueva tecnología	Mejora
3G Call Setup Fail Rate	<5%	1.15%	3.85%
3G Packet Switched Fail Rate	<5%	0.69%	4.31%
3G Call Drop rate CS	<3%	0.17%	2.83%
3G Packet Switched Drop rate PS	<5%	0.13%	4.87%
2G -> 2G, 3G -> 3G o 3G -> 2G SHO/HHO Fail Rate	<20%	0.00%	20.00%
Cell availability on any hour	>98%	99.98%	1.98%

Tabla 5-10: Valores finales KPIs U2100 (First tuning)

Una vez analizado el nodo podemos sacar las siguientes conclusiones:

- No se encontraron alarmas mayores. Los picos puntuales volvieron a su estado normal, todos los sectores están funcionando correctamente, la carga de vecinas se produjo satisfactoriamente y no faltó ningún nodo. Además, los parámetros relacionados con la parte de paquetes de datos se actualizaron para lograr una mejora que será evidente en el proceso de optimización.
- El nodo cumplió un *first tuning* óptimo cumpliendo todos los KPIs impuestos por el operador. Observando estos resultados, el proceso de optimización del nodo no parece que revestirá dificultad.

5.3.2 Optimización

Los objetivos que se aplican para este nodo son los correspondientes a la tecnología 3G (U2100) en una zona urbana. Se muestran en la Tabla 5-11:

3G KPIs	Urbano
CSSR CS Voice block rate	<0.80%
CSSR PS block rate	<1.00%
Voice drop call rate	<0,50%
PS Drop call rate	<2.00%
Voice traffic volume (in Erlang)	-
HSxPA Data volume (in Kbyte)	-
Voice IRAT HO Failure Rate	<5.00%
% traffic 3G vs 2G+3G	-
RSSI Weekly <-96dBm	-
Cell availability	>99.95%

Tabla 5-11: Valores objetivo KPIs U2100 (Optimización)

A continuación se presenta y analiza la evolución de los KPIs una vez procesados los volcados. En las gráficas mostradas se podrá ver el comportamiento de la nueva tecnología.

CSSR CS Voice block rate. La Figura 5-37 presenta la evolución del KPI durante el periodo requerido por el operador.

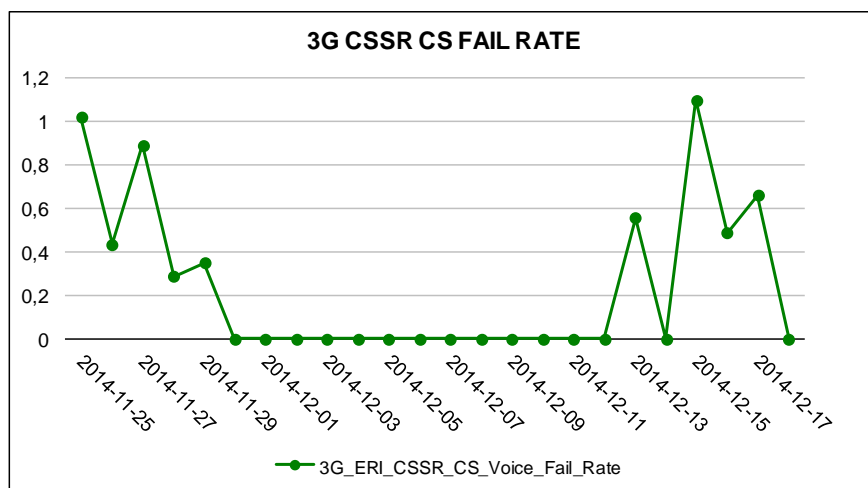


Figura 5-37: CSSR CS Voice block rate

Se puede observar que los valores del nodo son muy buenos con una tasa muy baja de bloqueos. El valor más alto es del día 15/12/2014 con poco más de 1%.

CSSR PS block rate: La Figura 5-38 presenta la evolución del KPI durante el periodo requerido por el operador.

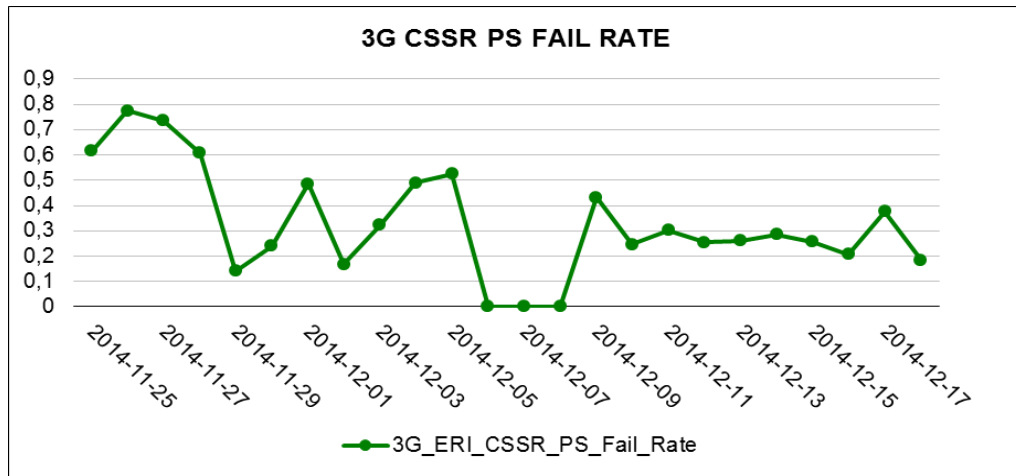


Figura 5-38: CSSR PS block rate

La tasa de caída de paquetes es inferior al 1% durante todo el proceso de optimización. Se observa que no hay datos (0%) durante un periodo de no disponibilidad del nodo (5-7/12/2014).

Voice drop call rate: La Figura 5-39 presenta la evolución del KPI durante el periodo requerido por el operador.

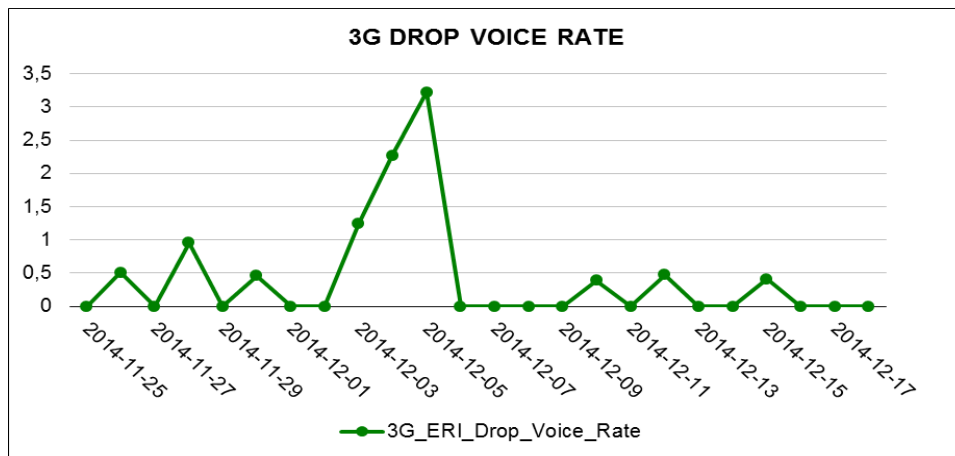


Figura 5-39: Voice drop call rate

Se puede observar que los valores del nodo son muy buenos con una tasa muy baja de bloqueos. El valor más alto es del día 03/12/2014 con poco más del 3%. Se realizó una comprobación de vecinas y de alarmas y estaba todo correcto, se anotó que fue puntual.

PS Drop call rate: La Figura 5-40 presenta la evolución del KPI durante el periodo requerido por el operador.

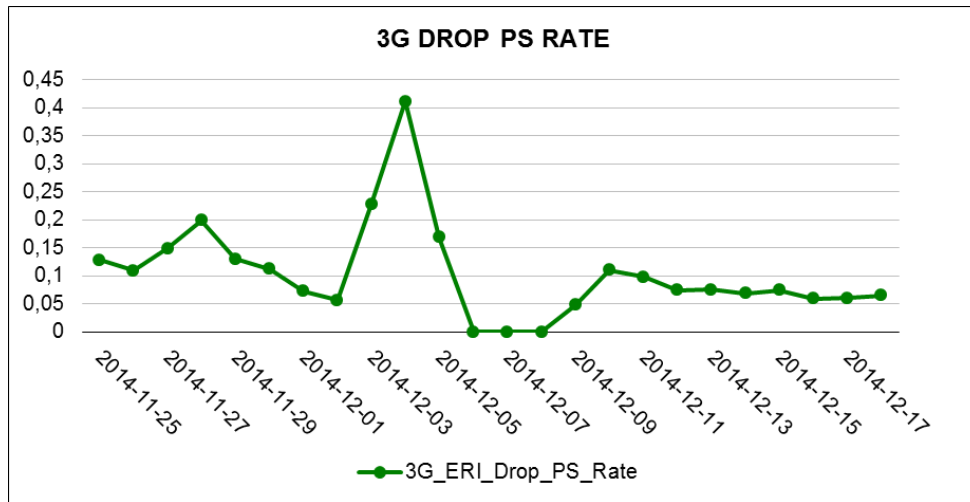


Figura 5-40: PS Drop call rate

La tasa de caída de paquetes es inferior al 0.5% durante todo el proceso de optimización. Se observa que no hay datos (0%) durante un periodo de no disponibilidad del nodo del 5-7/12/2014.

Voice traffic volume (in Erlang): La Figura 5-41 presenta la evolución del KPI durante el periodo requerido por el operador.

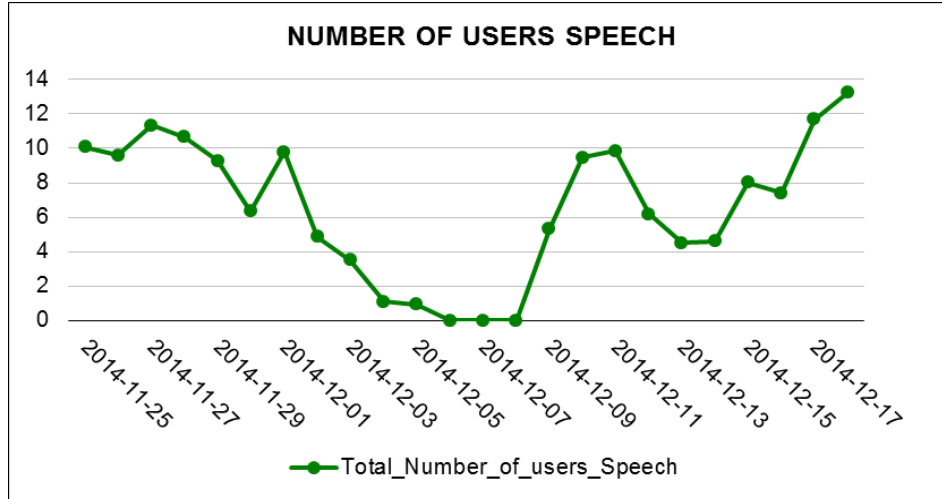


Figura 5-41: Voice traffic volume (in Erlang):

Se puede observar que el volumen de tráfico acumulado que tiene el nodo durante los últimos 7 días es ligeramente inestable, debido a que se ha procedido a cambios en la optimización de las tecnologías previamente analizadas (GSM900 y U900) provocando que se reparta entre todas. Además se puede observar el periodo de indisponibilidad del nodo explicado en los KPIs anteriormente (05-07/12/2015).

HSxPA Data volume (in Kbyte): La Figura 5-42 presenta la evolución del KPI durante el periodo requerido por el operador.

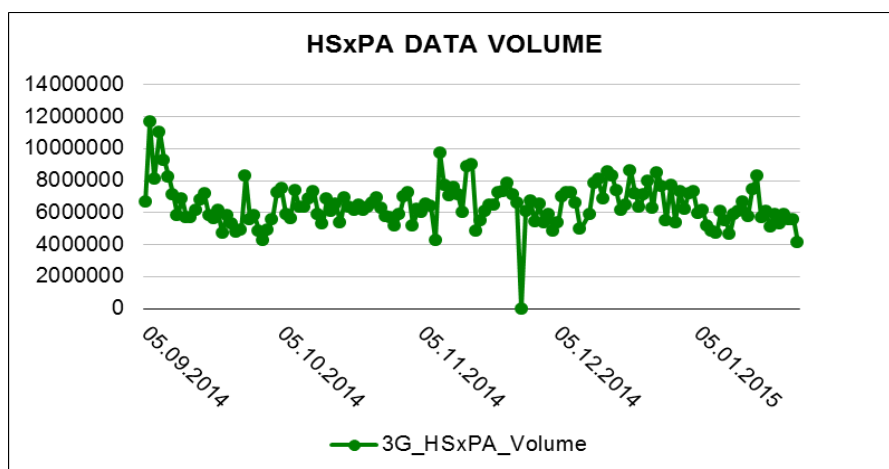


Figura 5-42: HSxPA Data volume (in Kbyte)

El volumen del tráfico del nodo es normal. Tuvo un pico puntual el (28/11/2014) por un problema de disponibilidad del nodo 3G.

Voice IRAT HO Failure rate: La Figura 5-43 presenta la evolución del KPI durante el periodo requerido por el operador.

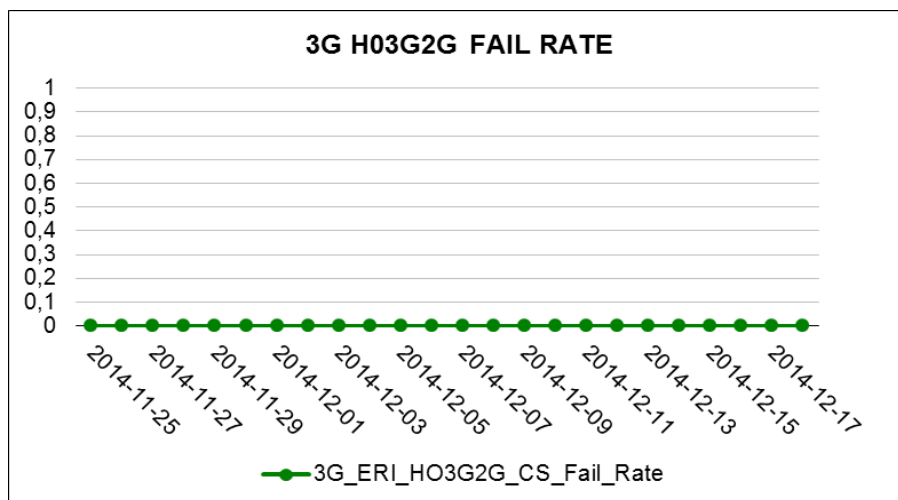


Figura 5-43: Voice IRAT HO Failure rate

Al estar bien configuradas las celdas vecinas y los parámetros bien optimizados de esta tecnología se alcanza un nivel de *handover* ideal.

% traffic 3G vs 2G+3G: No existe gráfica. Se observa que al final de la optimización esta tecnología transmite más de la mitad del tráfico total del nodo (54.65%).

RSSI Weekly <-96dBm: La Figura 5-44 presenta la evolución del KPI durante el periodo requerido por el operador.

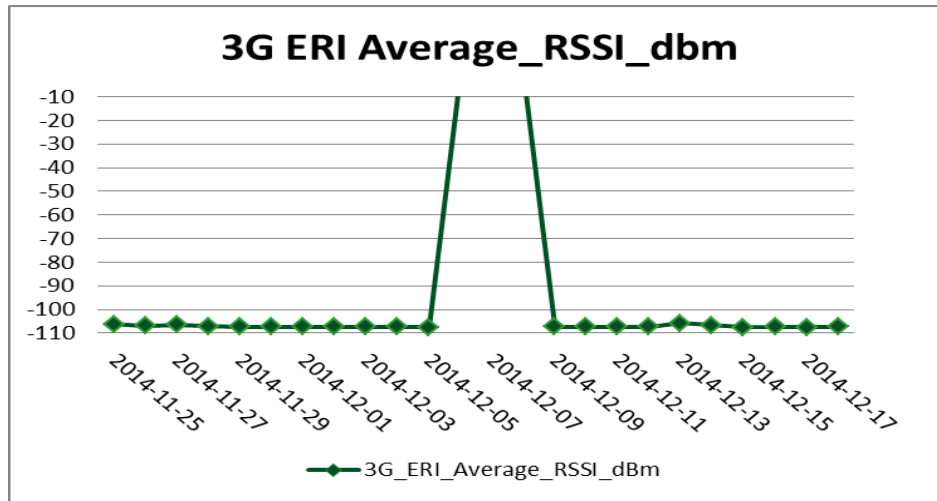


Figura 5-44: RSSI Weekly <-96dBm

Se puede observar que el valor de la potencia ha estado siempre por debajo de la establecida menos cuando se produjo la caída del nodo que es 0 dBM (no transmite potencia).

Cell availability: La Figura 5-45 presenta la evolución del KPI durante el periodo requerido por el operador.

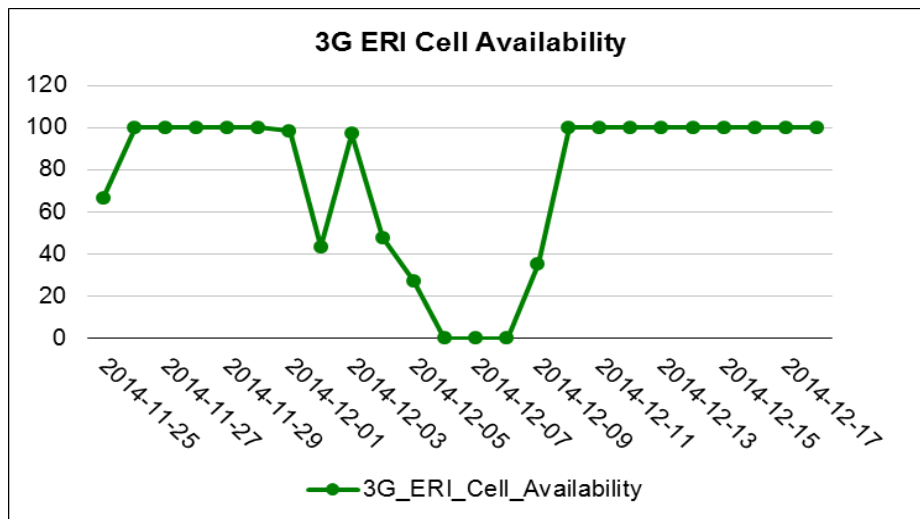


Figura 5-45: Cell availability

Hubo un periodo significativo cuando se produjo la caída del nodo (5-7/12/2014), siendo la disponibilidad nula como se explicó previamente. Los últimos siete días (como en la mayoría del proceso de optimización) tuvo un comportamiento mejor que lo esperado.

La Tabla 5-12 es un resumen comparativo de todos los KPIs (obtenidos vs objetivos) que se entrega al operador para su posterior valoración. Estos valores son los resultados obtenidos en el periodo de estabilización de siete días durante el periodo de optimización acordado con el operador. En este periodo el comportamiento de los indicadores es estable:

KPI 3G	Objetivo	Nueva tecnología	Mejora
CSSR CS Voice block rate	0,80%	0,41%	-0,39%
CSSR PS block rate	1,00%	0,26%	-0,74%
Voice Drop Call Rate	0,50%	0,13%	-0,37%
PS Drop Call rate	2,00%	0,07%	-1,93%
Voice Traffic volume (in Erlang)		55,6	
HSxPA Data volume (in Kbyte)		11973605,3	
Voice IRAT HO Failure Rate	5,00%	0,00%	-5,00%
% traffic 3G vs 2G+3G		54,65%	54,65%
Average Reported CQI		23,07	23,07
RSSI Weekly <-96dBm	-96,0	-107,05	-11,05
Cell availability	99,95%	100,00%	0,05%

Tabla 5-12: Valores finales KPIs U2100 (Optimización)

Como se puede observar se ha logrado cumplir absolutamente todos los objetivos establecidos para este nodo. Como se pudo observar durante en el proceso de first tuning el comportamiento del nodo era adecuado. Además, se mencionó que se iba a optimizar los parámetros relacionados con los paquetes de datos, observándose que mejora notablemente durante el proceso de optimización.

Este es un ejemplo de un nodo que se optimizó de una forma perfecta y que tuvo un comportamiento casi ideal, como así se puede observar en los valores alcanzados de los KPIs, que están prácticamente siempre mejorando el objetivo durante el periodo de vida del nodo. Únicamente se observa que hubo un tiempo en el que el nodo estuvo caído (5-8/12/2014). En este tiempo no se pudo obtener KPIs de ningún tipo y en las gráficas los valores son cero.

Durante el periodo de estabilidad los valores de los KPIs mejoraron los requisitos exigidos por el operador:

- La tasa de *handover* supero con éxito el valor impuesto por el operador, logrando un 0% de fallos durante la vida total del nodo.
- De la misma manera, también cabe resaltar la disponibilidad del nodo ya que después de que se produjera una caída de 3 días no volvió a suceder nada al nodo, cumpliendo una tasa del 100% en el periodo de estabilidad.
- La potencia radiada por semana también es muy buena mejorando en 11.05 dbm la propuesta por el operador y así evitando el choque de frecuencias con otros nodos.
- Como hemos mencionado anteriormente los KPIs relacionado con las tramas de paquetes mejoran notablemente respecto al *first tuning*.

5.4 LTE1800

En este apartado se realiza un análisis detallado de la tecnología LTE en frecuencia 1800MHz en *first tuning*, tanto para la medida estática como en la medida dinámica. La operativa consiste en hacer volcados de las herramienta TEMS, recolectado por el equipo radio utilizado, para obtener los KPIs. Una vez obtenidos se analizan, se justifican y comentan los resultados y en los casos requeridos se recomiendan acciones requeridas.

5.4.1 Medida estática

Para la aceptación de la medida estática se necesitan cumplir los siguientes requisitos de la Tabla 5-13 para una frecuencia de LTE 1800MHz:

KPIs LTE	LTE 1800
Attach success rate	<95%
Round trip time	<50ms
FTP throughput DL MAX	<60 Mbps
FTP throughput DL MED	<52 Mbps
FTP throughput UL MAX	<28 Mbps
FTP throughput UL MED	<24 Mbps
CS fallback MOC	<7s
CS fallback MTC	<7s
HTTP web page download	<2.5s

Tabla 5-13: Valores objetivo KPIs LTE1800 (Medida estática)

Una vez realizado el volcado de los datos de la herramienta TEMS se obtuvieron los resultados de la Tabla 5-14:

KPI	Objetivo	Sector 1	Sector 2	Sector 3
Attach Success Rate (20 tests)	0,95	100%	100%	100%
Round Trip Time (Active 32 bytes) (10 pings to Kepler)	50ms	65ms	65ms	64ms
FTP TPUT DL (500MB) MAX	60 Mbps	30,22813416 Mbps	30,532547 Mbps	30,42842293 Mbps
FTP TPUT DL (500MB) AVG	52 Mbps	28,161 Mbps	28,2106 Mbps	26,2844 Mbps
FTP TPUT UL (200MB) MAX	28 Mbps	34,3447113 Mbps	34,33188629 Mbps	32,46225739 Mbps
FTP TPUT UL (200MB) AVG	24 Mbps	28,3129 Mbps	28,2462 Mbps	28,2095 Mbps
CS fallback MOC	7s	6,7s	6,68s	5,93s
CS fallback MTC	7s	6,2s	5,94s	5,93s
HTTP web page download	2.5s	1,1s	1,3s	1,2s

Tabla 5-14: Valores finales KPIs LTE1800 (Medida estática)

Attach Success Rate: Una vez realizadas las 20 pruebas conexión/desconexión por sector del enodoB se mostraron las tasas de éxito en los 3 sectores con un 100%.

Round trip time: Tras las 10 comprobaciones de la disponibilidad de recursos de red lanzando paquetes de datos (32 bytes) se comprobó que en los 3 sectores se obtiene un tiempo por debajo del objetivo. Esta desviación es debida a, como mencionaremos posteriormente, la transmisión del nodo, ya que hay un efecto llamado “cuello de botella” y el nodo no puede transmitir todo lo que se necesita.

FTP Throughput (DL/UL): Se realizaron una carga y una descarga de un archivo en buenas condiciones radio para los tres sectores. EN el *FTP KPI Throughput DL* no se lograron las medidas deseadas en ninguno de los 3 sectores, sin embargo, el *KPI FTP Throughput UL* cumple mejor de lo esperado.

CS fallback MOC y CS fallback MTC: Se logró un valor que mejoraba el exigido por el operador por lo que se produjo un *handover* perfecto, todas las vecinas estaban bien cargadas y no sufría ningún problema de sobre-alcance.

HTTP web page download: El tiempo de descarga de la página se redujo a más de la mitad de lo esperado en 2 sectores y en el sector 3 casi la mitad.

Una vez analizados los KPIs se observó que los resultados obtenidos en el *Round Trip Time* y el *FTP throughput DL* no alcanzaron el objetivo exigido. Esto fue debido a que el equipo de transmisión tiene una capacidad infra-dimensionada generando un cuello de botella e impidiendo el envío de todos los datos requeridos. Por lo tanto, se aceptaron los KPIs puesto que el origen de la desviación estaba en dimensionamiento de la transmisión ajeno a la responsabilidad de Ericsson.

5.4.2 Medida dinámica

Una vez terminada la aceptación estática, se continúa con la siguiente fase del proceso, que consiste en la realización de la medida dinámica mediante un drive test. Esta vez la ruta la propuso Ericsson. La Figura 5-46 muestra el recorrido que se realizó.



Figura 5-46: Ruta del Drive Test (emplazamiento en azul)

Para la aceptación de la medida dinámica se necesitan cumplir los requisitos de la Tabla 5-15 para una frecuencia de LTE 1800MHz:

Servicio	KPI LTE	LTEU1800
Accessibility	RRC connection success rate	> 97 %
	CSFB success rate	> 97 %
	CSFB call setup time (CSFB 4G -> 3G)	< 7 s
Retainability	Data drop rate (DL)	< 2 %
	Data drop rate (UL)	< 2 %
Traffic	Application layer throughput – DL	> 25 Mbps
	Application layer throughput – UL	> 12 Mbps
Mobility	Intra-frequency HO success rate	> 97 %
	Inter-frequency HO success rate	> 97 %
	4G->3G Redirection success rate	> 98 %

Tabla 5-15: Valores objetivo KPIs LTE1800 (Medida dinámica)

A continuación la Tabla 5-16 refleja una comparativa entre los resultados del drive test y los valores objetivos:

Service	KPI LTE	Objetivo	Resultado
Accessibility	RRC connection success rate	> 97 %	100%
	CSFB success rate	> 97 %	100%
	CSFB call setup time (CSFB 4G -> 3G)	< 7 s	5,33s
Retainability	Data drop rate (DL)	< 2 %	0%
	Data drop rate (UL)	< 2 %	0%
Traffic	Physical layer throughput - DL	> 25 Mbps	20,85
	Physical layer throughput - UL	> 12 Mbps	20,74
Mobility	Intra-frequency HO success rate	> 97 %	100%
	Inter-frequency HO success rate	> 97 %	NA
	4G->3G Redirection success rate	> 98 %	NA

Tabla 5-16: Valores finales KPIs LTE1800 (Medida estática)

Accessibility:

- **RRC connection request:** Se realizó con éxito el envío de los mensajes de señalización para la conexión con la RRC.
- **CSFB Call attempt:** Se realizó con éxito el envío de los mensajes de señalización para los intentos de llamada.
- **CSFB Call setup Time:** El tiempo descrito entre mensajes fue mejor que el requerido por el operador.

Retainability:

- **FTP upload y FTP download:** Los dos KPIs superaron con éxito la tasa a la que se exponían. Ninguno presentó caídas de paquetes en ningún sentido de la conexión ni UL ni DL.

Traffic:

- **Application layer throughput downlink:** La velocidad de bajada del archivo estuvo por debajo del objetivo.
- **Application layer throughput uplink:** En este caso la velocidad de subida supero con éxito la velocidad de subida requerida.

Mobility:

- **Intra-frequency HO success rate:** Se consiguió que el traspaso de cobertura entre sectores en la misma frecuencia fuera con éxito.
- **Inter-frequency HO success rate:** No se realizó medida de este KPI.
- **4G->3G Redirection success rate:** No se realizó medida de este KPI.

Como podemos observar en los resultados de *Mobility* se encuentran dos KPIs que no se ha realizado medidas:

- EL primer caso, Inter-Frequency HO Success Rate, fue porque en el momento en que se realizó el drive test no había ninguna tecnología LTE instalada a parte de la que se está instalando (un nodo LTE aislado).
- EL segundo caso es 4G->3G Redirection Success Rate, esta medida no se realizó tampoco porque en este momento no había ninguna tecnología 3G instalada y activa, ya que la única tecnología existente antes de la modernización era GSM900.

Por otro lado dentro del grupo de *Traffic*, el KPI “*Physical Layer Throughput- DL*” no cumple las expectativas necesarias, esto es debido, como se dijo en el reporte estático a los recursos de transmisión (infra-dimensionados) que impiden llegar al valor objetivo.

Una vez realizada las dos medidas requeridas se procede a enviar los informes al operador de acuerdo al procedimiento. Una vez se pasó del tiempo estipulado de una semana y que no se recibiera ninguna reclamación, se dio como aceptado y el operador cambió su estado a ON AIR para ofrecer servicios a los usuarios.

5.5 Conclusiones

En este capítulo se han reflejado las actividades propias de optimización, pasando por la recomendación de medidas para mejorar el valor de los KPIs y terminando con la consecución de aceptación de los valores por el personal de operador.

En el desarrollo hemos podido observar la importancia de los primeros trabajos de preparación y de configuración inicial para hacer más eficaz la optimización. Y por otra parte, la necesidad de tener una visión de KPIs “global” de todas las tecnologías para obtener un mayor rendimiento del nodo y una calidad de servicio mejor. En el capítulo siguiente, estas conclusiones se elaboran teniendo en cuenta todos los aspectos tratados en el proyecto.

6 Conclusiones y trabajo futuro

6.1 Conclusiones

El objeto principal de este proyecto era presentar y analizar los KPIs de la red de acceso radio de un Operador Móvil en el contexto de un programa modernización de tecnologías.

Por otra parte, y también parte del objetivo era conseguir unos KPIs de red que tuvieran un impacto positivo en el servicio proporcionado al usuario. Y, por supuesto, considerando la complejidad del proceso donde, por un lado, se moderniza una tecnología existente, y por el lado, se introducen tecnologías y frecuencias nuevas.

La forma de medir el éxito en los KPIs era alcanzar tanto en los procesos de *first tuning* como optimización los valores marcados por el operador para todas las tecnologías. Atendiendo, a los resultados obtenidos y considerando que el operador confirmó la aceptación de los mismos, el resultado del proyecto ha sido un éxito.

Durante el desarrollo del proyecto se han ido encontrando dificultades, siendo la principal de ellas el hecho de que eran cuatro tecnologías diferentes las que se ponían en servicio en un mismo emplazamiento y, por lo tanto, cualquier acción correctiva encaminada a optimizar una tecnología afectaba a los valores alcanzados en la otra. Pero por otra parte, este mismo hecho, mejoraba la capacidad de la red de procesar más tráfico, compartiendo de recursos, y mejorando la calidad del servicio de los usuarios.

Es relevante comentar que algunos valores objetivos no se alcanzaron durante los meses que duró la fase de optimización y después de varias acciones correctivas. Sin embargo, con la argumentación oportuna del porqué de las desviaciones el operador considero razonable poner los nodos en servicio.

Durante el desarrollo del proyecto, se han ido encontrando dificultades en cuanto a la accesibilidad de la información de la red, debido a las restricciones internas del operador, en lo que se refiere a la confidencialidad de datos.

Los programas utilizados para la monitorización de las tecnologías 2G/3G han sido “NIMS-PrOptima” e “ITK” con el objetivo de mejorar los KPIs del nodo a modernizar, o a su vez, los objetivos del operador en el caso de una tecnología nueva.

El programa que se ha utilizado en la monitorización de LTE ha sido “TEMS” con el objetivo de lograr los objetivos de incorporar esta tecnología nueva.

De los análisis y monitorización llevados a cabo durante el proyecto podemos extraer las siguientes conclusiones generales:

- Si los parámetros están inicialmente bien definidos en la *baseline*, el proceso de *first tuning* será más sencillo y, a su vez, facilitará el proceso de optimización de forma sustancial.

- El proceso de integración del nodo es clave para la consecución de los KPIs y la continuidad del servicio.
- La optimización de un *swap* es más complicado que la incorporación de una tecnología nueva.
- La introducción de nuevas tecnologías, tanto LTE como UMTS2100/UMTS900, tiene un impacto importante en la capacidad que el nodo tiene de manejo de volúmenes altos de tráfico de datos.
- De la misma forma, un nodo que tenga disponible tecnología single RAN permite la utilización óptima de las frecuencias y tecnologías dependiendo del perfil de tráfico de los usuarios.

6.2 Trabajo futuro

Como consecuencia del trabajo realizado durante el Proyecto Fin de Carrera, existen varios aspectos que deben ser estudiados y que se proponen como diferentes líneas de trabajo futuro que puede ayudar a mejorar las actividades del proyecto. Entre ellos:

- Auditoría en el proceso de preparación de datos de configuración de radio iniciales. La mayoría de las incidencias que surgen son consecuencia de errores de definición. La responsabilidad debería estar en un solo punto de coordinación (extremo a extremo), ahora está fragmentada: Ericsson, Operador, Departamento regional vs central.
- La realización de un estudio de mayor profundidad sobre las técnicas de optimización teniendo en cuenta los siguientes puntos:
 - ✓ Homogeneización de los procesos con independencia de tecnología y/o sí, es una modernización o una introducción de nueva tecnología.
 - ✓ Inclusión de aplicaciones en los dispositivos de usuario que permitan la optimización constante de la red. Cabría la posibilidad de desarrollar una aplicación (instalada en un grupo representativo de usuarios-abonados) que estuviera enviando datos de calidad de red y servicio a las herramientas de optimización.
- Explorar con el operador la posibilidad de incorporar nuevo equipamiento capaz de trabajar en otras frecuencias en los diferentes estándares con el objeto de soportar un incremento de los usuarios y servicios. Esto podría mejorar de forma sustancial la calidad de la red de acceso móvil.
- Adicionalmente, Ericsson impulsa la estandarización de la tecnología que suceda a LTE, 5G. En pruebas de prototipos se ha conseguido alcanzar velocidades de 5 Gbps reales. Esto implica la necesidad de iniciar trabajos de pre-estudio para motivar y abordar una nueva fase de modernización aproximadamente para el 2020 [1].

Referencias y bibliografía

- [1] “Ericsson Mobility Report MWC Edition”-interim. Febrero 2015.
- [2] “GSM/WCDMA/LTE RAN Fundamentals”. Ericsson Academy.
- [3] “Cómo funciona la red GSM”. Pablo Alejandro Fain, Portal. www.pablofain.com.
- [4] HSPA Evolution 2009. Ericsson Internal
- [5] “FCC 2011 Mobile Wireless Competiton Report”
- [6] William Cuzco; Jorge Escobar; Jean Carlo Macancela; Víctor Pulla. “Estándar de comunicaciones LTE (Long Term Evolution)”
- [7] “RAN Evolution”. Ericsson Academy
- [8] Hans Beijner “RAN Evolution - An introduction to Evo RAN”. 2003
- [9] Project Category RAN Refresh. Ericsson Internal
- [10] “GSM KPIs and Acceptance”. Ericsson Academy.
- [11] “WCDMA KPIs and Acceptance”. Ericsson Academy
- [12] “LTE KPIs and Acceptance”. Ericsson Academy
- [13] Erik Dahlman, Stefan Parkvall, Johan Skold. “4G: LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband”, 2nd Edition
- [14] Ralf Kreher. “UMTS signaling UMTS interfaces, protocols, message flows and procedures analyzed and explained”.
- [15] Ralf Kreher. “UMTS Performance Measurement, A practical guide to KPIs for the UTRAN Environment”.
- [16] International Telecommunication Union, Portal. <http://www.itu.int>
- [17] GSM/WCDMA/LTE RAN Fundamentals. Ericsson Academy
- [18] Radio Base Station & Site Solution Fundamentals. Ericsson Academy

Términos

Smart phones: Se denomina smartphone a la familia de teléfonos móviles que disponen de un hardware y un sistema operativo propio capaz de realizar tareas y funciones similares a las realizadas por los ordenadores fijos o portátiles, añadiéndole al teléfono funcionalidades extras a la realización y recepción de llamadas y mensajes telefónicos. Conocidos también como teléfonos inteligentes (*smart* es inteligente y *phone* es teléfono en inglés) son considerados como la evolución tecnológica a los clásicos teléfonos móviles.

Streaming: Hace referencia al hecho de escuchar música o ver vídeos sin necesidad de descargarlos, sino que se hace por fragmentos enviados secuencialmente a través de la red (como lo es Internet). Se emplea en el medio de Internet para referirse a *streaming media*, que es el término completo para la transmisión de vídeo o audio. Cuando la transmisión es en vivo, se le conoce como *live streaming*.

Roaming (“itinerancia”): En redes inalámbricas, se refiere a la capacidad de cambiar de un área de cobertura a otra sin interrupción en el servicio o pérdida en conectividad. Permite a los usuarios seguir utilizando sus servicios de red inalámbrica cuando viajan fuera de la zona geográfica en la que contrataron el servicio, por ejemplo, permite a los usuarios de teléfonos móviles de España seguir utilizando su móvil cuando viajan a otro país.

Swap: Es un término de la lengua inglesa que puede traducirse como “*intercambio*”. El concepto suele emplearse en nuestro **idioma** para referirse a **trueques, canjes o conmutaciones** que se desarrollan en diferentes ámbitos. En el caso del proyecto es el intercambio de una estación base antigua por una nueva.

Glosario

A

API	Application Programming Interface
AMPS	Advanced Mobile Phone System
AMR	Adaptive Multi-Rate
AUC	Authentication Center.

B

BA LIST	BCCH Allocation List
BCCH	Broadcast Control Channel
B	
SC	Base Station Controller
BSS	Base Station Subsystem
BTS	Base Station Transceiver

C

CDR	Call Drop Rate
CN	Core Network
CS	Circuit Switched
CS-MGW	CS Multimedia Gateway
CSFB	Circuit Switched FallBack
CSSR	Call Setup Success Rate

D

DT	Drive Test
DL/UL	DownLink/ UpLink

E

EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
EIR	Equipment Identity Register
EPC	Evolved Packet Core
EUL	Enhanced Uplink
E-UTRAN	Evolved-UTRAN

F

FTP	File Transfer Protocol
-----	------------------------

G

GERAN	GSM EDGE Radio Access Network
GGSN	Gateway GPRS Support Node
GMSC	Gateway Mobile Switching
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile communications
3GPP/3GPP2	3rd Generation Partnership Project/2

H

HLR	Home Location Register
HO	Hand-Over
HSCDS	High-Speed Circuit-Switched Data
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
HSPA	High-Speed Packet Access
HSUPA	High Speed Uplink Packet Access
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
HW	Hardware

I

IP	Internet Protocol
IMEI	International Mobile Equipment Identity
IMS	IP Multimedia Subsystem
IRAT	Individual Readiness Assurance Test
ISP	In Service Performance
ITK	ISP Tool Kit

K

KPI	Key Performance Indicator
-----	---------------------------

L

LTE	Long Term Evolution
-----	---------------------

M

MME	Mobility Management Entity
MOC	Mobile Originated Call
MTC	Mobile Terminated Call
MS	Mobile Station
MSC	Mobile Switching
MSCS	MSC Server

N

NMC	Network Management Center – NMC
NMT	Nordic Mobile Telephone
NSS	Network Switching Subsystem

O

OSS	Operation and Support Subsystem
OMC	Operation and Maintenance Center

P

PCRF	Policy Charging and Rules Function
PDN	Packet Data Network
P-GW	Packet Data Network Gateway
PS	Packet switched

Q

QoS	Quality of Service
-----	--------------------

R

RACH	Random Access Channel
RBS	Radio Base Station
RNC	Radio Network Controller
RRC	Radio Resource Control
RSSI	Received Signal Strength Indication

S

SDCCH	Standalone Dedicated Control Channel
SGSN	Serving GPRS Support Node
SGW	Serving Gateway
SMS	Short Message Service
SHO/HHO	Soft/ Hard Hand-Over

T

TCH	Traffic Channel
TACS	Total Access Communication Systems
TRAU	Transcoding and Rate Adaptation Unit
TX/RX	Transmission/Reception

U

UE	User Equipment
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UTRAN	UMTS Radio Access Network

V

VLR	Visitor Location Register
-----	---------------------------

W

WAP	Wireless Application Protocol
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access).

Anexo

A. PRESUPUESTO

A continuación se desglosan las tareas para un mejor entendimiento de los costes incurridos en la realización del proyecto. Es relevante aclarar que el alcance del proyecto sólo incluye los servicios de planificación, optimización y gestión de proyecto, estando excluidos los costes de equipamiento, misceláneos así como los servicios de instalación e integración asociados.

Los recursos utilizados en el proyecto son los siguientes:

- Ingeniero superior. Corresponde a personal técnico especializado en diseño y optimización de redes de acceso móvil.
- Operador (Formación Profesional). Personal de back-office que opera los sistemas de OSS del operador.
- Personal de campo (Formación Profesional). Personal técnico que efectúa labores de mantenimiento de campo en las red del operador.
- Personal de administración

A.1 Descripción de tareas

El proyecto consta de las siguientes tareas:

Tarea 1. Gestión de Proyecto. Tareas de planificación, coordinación, etc. de los diferentes recursos implicados.

Duración: 6 meses.

Esfuerzo: Ingeniero superior, 0,10 personas-mes.

Tarea 2: Formación en herramientas de optimización: ITK, NIMS-Optima y TEMS Investigation. Aprendizaje del manejo de las herramientas de optimización necesarias para la ejecución del proyecto.

Duración: 1 meses.

Esfuerzo: Ingeniero superior, 0,5 personas-mes.

Tarea 3. Recogida y volcado de información datos. Labor que desempeñan los usuarios de las herramientas desde los diferentes sistemas de recogida de datos de la red.

Duración: 6 meses.

Esfuerzo: Operador de red, 0,10 personas-mes.

Tarea 4: Drive test: un recorrido de prueba. Medios para recoger datos en un recorrido de prueba en campo.

Duración: 1 meses.

Esfuerzo: Personal de campo, 0,20 personas-mes.

Tarea 5. First Tunning. Análisis de los datos estadísticos recogidos al día siguiente de la puesta en servicio de los nuevos equipamientos de las diferentes tecnologías: GSM900, U900, U2100 y LTE1800,

Duración: 1 meses.

Esfuerzo: Ingeniero superior, 0,2 personas-mes.

Tarea 6. Optimización. Monitorización continua, análisis de datos y recomendación de acciones correctoras de las diferentes tecnologías: GSM900, U900, U2100 y LTE1800). Elaboraciones de FAR e informes de aceptación.

Duración: 6 meses.

Esfuerzo: Ingeniero superior, 0,25 personas-mes.

Tarea 7: Mantenimiento de campo. Personal de mantenimiento de campo ejecuta las acciones correctoras planificadas como tareas programadas.

Duración: 6 meses.

Esfuerzo: Personal de campo, 0,05 personas-mes.

Tarea 8: Gestión Documental. Entrega de aceptaciones e informes, cumplimentación de sistemas de seguimiento del operador, documentación de emplazamiento, etc.

Duración: 1 meses.

Esfuerzo: administrativo, 0,10 personas-mes.

A.2 Coste de mano de obra

Con los datos anteriores el coste de mano de obra es:

TAREAS	Duración (Meses)	Dedicación (jornadas)	Coste Jornada (€)				Total
			Ing Superior	Operador	Técnico campo	Administrativo	
Gestión de Proyecto	6	13,2	640				8.448 €
Formación en herramientas de optimización	1	11	640				7.040 €
Recogida y volcado de información datos	6	13,2		360			4.752 €
Drive test	1	4,4			240		1.056 €
First Tunning	1	4,4	640				2.816 €
Optimización	6	33	640				21.120 €
Mantenimiento de campo	6	6,6			240		1.584 €
Gestión Documental	1	2,2				200	440 €
						Coste Total	47.256 €

A.3 Costes de recursos materiales

Los costes derivados de uso de herramientas así como material fungible y recursos informáticos están incluidos en el coste de jornada de los diferentes perfiles.

A.4 Gastos generales y Beneficio Industrial

Los gastos generales están incluidos en el coste de jornada.

El beneficio industrial se valora en un 6% de la suma del presupuesto de ejecución más los honorarios.

A.5 Honorarios de por redacción y dirección del proyecto

Los Honorarios que recomienda aplicar el Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación, tanto para la redacción como para la dirección del proyecto son los asociados a Trabajos tarifados por tiempo empleado, con un valor de un 6%.

A.6 Presupuesto Total

El presupuesto, aplicando el 21% de IVA, es el siguiente:

Presupuesto Final	
Concepto	Coste
Presupuesto de Ejecución	47.256 €
Hororarios de Proyecto (6%)	2.835 €
Beneficio Industrial (6%)	2.835 €
Subtotal	52.927 €
IVA (21%)	11.115 €
Prespuestro Total	64.041 €

El presupuesto total del proyecto asciende a SESENTA Y CUATRO MIL CUARENTA Y UN Euros.

Madrid, Septiembre de 2015

Fdo.: Víctor Sánchez Bernaldo de Quirós
Ingeniero de Telecomunicación

B. PLIEGO DE CONDICIONES

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

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

Condiciones generales

1. La modalidad de contratación será el concurso. La adjudicación se hará, por tanto, a la proposición más favorable sin atender exclusivamente al valor económico, dependiendo de las mayores garantías ofrecidas. La empresa que somete el proyecto a concurso se reserva el derecho a declararlo desierto.

2. El montaje y mecanización completa de los equipos que intervengan será realizado totalmente por la empresa licitadora.

3. En la oferta, se hará constar el precio total por el que se compromete a realizar la obra y el tanto por ciento de baja que supone este precio en relación con un importe límite si este se hubiera fijado.

4. La obra se realizará bajo la dirección técnica de un Ingeniero Superior de Telecomunicación, auxiliado por el número de Ingenieros Técnicos y Programadores que se estime preciso para el desarrollo de la misma.

5. Aparte del Ingeniero Director, el contratista tendrá derecho a contratar al resto del personal, pudiendo ceder esta prerrogativa a favor del Ingeniero Director, quien no estará obligado a aceptarla.

6. El contratista tiene derecho a sacar copias a su costa de los planos, pliego de condiciones y presupuestos. El Ingeniero autor del proyecto autorizará con su firma las copias solicitadas por el contratista después de confrontarlas.

7. Se abonará al contratista la obra que realmente ejecute con sujeción al proyecto que sirvió de base para la contratación, a las modificaciones autorizadas por la superioridad o a las órdenes que con arreglo a sus facultades le hayan comunicado por escrito al Ingeniero Director de obras siempre que dicha obra se haya ajustado a los preceptos de los pliegos de condiciones, con arreglo a los cuales, se harán las modificaciones y la valoración de las diversas unidades sin que el importe total pueda exceder de los presupuestos aprobados. Por consiguiente, el número de unidades que se consignan en el proyecto o en el presupuesto, no podrá servirle de fundamento para entablar reclamaciones de ninguna clase, salvo en los casos de rescisión.

8. Tanto en las certificaciones de obras como en la liquidación final, se abonarán los trabajos realizados por el contratista a los precios de ejecución material que figuran en el presupuesto para cada unidad de la obra.

9. Si excepcionalmente se hubiera ejecutado algún trabajo que no se ajustase a las condiciones de la contrata pero que sin embargo es admisible a juicio del Ingeniero Director de obras, se dará conocimiento a la Dirección, proponiendo a la vez la rebaja de precios que el Ingeniero estime justa y si la Dirección resolviera aceptar la obra, quedará el contratista obligado a conformarse con la rebaja acordada.

10. Cuando se juzgue necesario emplear materiales o ejecutar obras que no figuren en el presupuesto de la contrata, se evaluará su importe a los precios asignados a otras obras o materiales análogos si los hubiere y cuando no, se discutirán entre el Ingeniero Director y el contratista, sometiéndolos a la aprobación de la Dirección. Los nuevos precios convenidos por uno u otro procedimiento, se sujetarán siempre al establecido en el punto anterior.

11. Cuando el contratista, con autorización del Ingeniero Director de obras, emplee materiales de calidad más elevada o de mayores dimensiones de lo estipulado en el proyecto, o sustituya una clase de fabricación por otra que tenga asignado mayor precio o ejecute con mayores dimensiones cualquier otra parte de las obras, o en general, introduzca en ellas cualquier modificación que sea beneficiosa a juicio del Ingeniero Director de obras, no tendrá derecho sin embargo, sino a lo que le correspondería si hubiera realizado la obra con estricta sujeción a lo proyectado y contratado.

12. Las cantidades calculadas para obras accesorias, aunque figuren por partidaalzada en el presupuesto final (general), no serán abonadas sino a los precios de la contrata, según las condiciones de la misma y los proyectos particulares que para ellas se formen, o en su defecto, por lo que resulte de su medición final.

13. El contratista queda obligado a abonar al Ingeniero autor del proyecto y director de obras así como a los Ingenieros Técnicos, el importe de sus respectivos honorarios facultativos por formación del proyecto, dirección técnica y administración en su caso, con arreglo a las tarifas y honorarios vigentes.

14. Concluida la ejecución de la obra, será reconocida por el Ingeniero Director que a tal efecto designe la empresa.

15. La garantía definitiva será del 4% del presupuesto y la provisional del 2%.

16. La forma de pago será por certificaciones mensuales de la obra ejecutada, de acuerdo con los precios del presupuesto, deducida la baja si la hubiera.

17. La fecha de comienzo de las obras será a partir de los 15 días naturales del replanteo oficial de las mismas y la definitiva, al año de haber ejecutado la provisional, procediéndose si no existe reclamación alguna, a la reclamación de la fianza.

18. Si el contratista al efectuar el replanteo, observase algún error en el proyecto, deberá comunicarlo en el plazo de quince días al Ingeniero Director de obras, pues transcurrido ese plazo será responsable de la exactitud del proyecto.

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

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

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

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

Condiciones particulares

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

1. La propiedad intelectual de los procesos descritos y analizados en el presente trabajo, pertenece por entero a la empresa consultora representada por el Ingeniero Director del Proyecto.
2. La empresa consultora se reserva el derecho a la utilización total o parcial de los resultados de la investigación realizada para desarrollar el siguiente proyecto, bien para su publicación o bien para su uso en trabajos o proyectos posteriores, para la misma empresa cliente o para otra.
3. Cualquier tipo de reproducción aparte de las reseñadas en las condiciones generales, bien sea para uso particular de la empresa cliente, o para cualquier otra aplicación, contará con autorización expresa y por escrito del Ingeniero Director del Proyecto, que actuará en representación de la empresa consultora.
4. En la autorización se ha de hacer constar la aplicación a que se destinan sus reproducciones así como su cantidad.
5. En todas las reproducciones se indicará su procedencia, explicitando el nombre del proyecto, nombre del Ingeniero Director y de la empresa consultora.
6. Si el proyecto pasa la etapa de desarrollo, cualquier modificación que se realice sobre él, deberá ser notificada al Ingeniero Director del Proyecto y a criterio de éste, la empresa consultora decidirá aceptar o no la modificación propuesta.
7. Si la modificación se acepta, la empresa consultora se hará responsable al mismo nivel que el proyecto inicial del que resulta el añadirla.

8. Si la modificación no es aceptada, por el contrario, la empresa consultora declinará toda responsabilidad que se derive de la aplicación o influencia de la misma.

9. Si la empresa cliente decide desarrollar industrialmente uno o varios productos en los que resulte parcial o totalmente aplicable el estudio de este proyecto, deberá comunicarlo a la empresa consultora.

10. La empresa consultora no se responsabiliza de los efectos laterales que se puedan producir en el momento en que se utilice la herramienta objeto del presente proyecto para la realización de otras aplicaciones.

11. La empresa consultora tendrá prioridad respecto a otras en la elaboración de los proyectos auxiliares que fuese necesario desarrollar para dicha aplicación industrial, siempre que no haga explícita renuncia a este hecho. En este caso, deberá autorizar expresamente los proyectos presentados por otros.

12. El Ingeniero Director del presente proyecto, será el responsable de la dirección de la aplicación industrial siempre que la empresa consultora lo estime oportuno. En caso contrario, la persona designada deberá contar con la autorización del mismo, quien delegará en él las responsabilidades que ostente.