

ANÁLISIS DE KPIS DE LA RED Y AUTOMATIZACIÓN DE RESOLUCIÓN DE INCIDENCIAS



Ana Patricia González Morón

Máster Universitario en Ingeniería de
Telecomunicación

Área Tecnología de Antenas

Tutor: Dr. Jaume Anguera/Dra. Aurora
Andújar

Universitat Oberta
de Catalunya

Fecha:28/06/2023

Contenido

ÍNDICE DE FIGURAS	4
ÍNDICE DE TABLAS	6
FICHA DEL TRABAJO FINAL	7
INTRODUCCIÓN	8
HISTORIA Y ASPECTOS TEÓRICOS DE LAS COMUNICACIONES MÓVILES	10
ORIGEN Y EVOLUCIÓN DE LAS COMUNICACIONES MÓVILES	10
TEORÍA DE ANTENAS	14
MODELO DE ANTENAS	16
ARQUITECTURA DE LA RED MÓVIL	19
ÁREA DE COBERTURA DE CELDA	22
TILT ELÉCTRICO Y MECÁNICO DE CELDA	24
KPIS DE RED	27
RUIDO/INTERFERENCIA.....	27
PROBLEMAS DE HARDWARE	28
TRANSMISIÓN	29
INDISPONIBILIDADES.....	31
CSSR.....	32
DCR.....	33
HO y vecindades.....	33
THROUGHPUT	35
PRBS	37
MIMO	37
ESCENARIOS DE DEGRADACIONES DE RED E IMPACTO EN CLIENTE	39
CAPÍTULO 1: INDISPONIBILIDADES EN ENTORNOS URBANOS Y RURALES	39
CAPÍTULO 2: INDISPONIBILIDADES POR PROBLEMAS DE TRANSMISIÓN	43
CAPÍTULO 3: CORTES POR ALIMENTACIÓN/TEMPERATURA	45
CAPÍTULO 4: IMPACTO EN THROUGHPUT Y CONGESTIÓN POR CONCENTRACIÓN DE USUARIOS.....	46
CAPÍTULOS: INCIDENCIA QUE OCASIONA DEGRADACIÓN DE TPUT Y DE MIMO	48
CAPÍTULO 6: IMPACTO EN THROUGHPUT POR PROBLEMAS DE RSSI	49
CAPÍTULO 7: CONGESTIÓN EN LA TRANSMISIÓN	50
CAPÍTULO 8: DEGRADACIÓN DE ACCESIBILIDAD POR INCIDENCIA TRAS CORTES.....	53
CAPÍTULO 9: IMPACTO POR TRABAJOS EN ESTACIONES VECINAS	54
CAPÍTULO 10: IMPACTO POR AMPLIACIÓN DE HUELLA	55
CAPÍTULO 11: IMPACTO POR REDUCCIÓN DE HUELLA.....	56

CAPÍTULO 12: AUMENTO DE TRÁFICO OCASIONADO POR AUMENTO DE POTENCIA EN CELDA	58
CAPÍTULO 13: PÉRDIDA DE TRÁFICO POR CELDA SORDA	59
CAPÍTULO 14: CAMBIO DE TRÁFICO ASOCIADO A AJUSTE DE PARAMETRIZACIÓN	61
CAPÍTULO 15: INCONSISTENCIA DE TAC/LAC.....	62
CAPÍTULO 16: INCIDENCIA EN CELDA 5G	64
CONCLUSIONES Y DESARROLLO DE SOLUCIONES Y PASOS A SEGUIR PARA VERIFICAR EL ESTADO DE LA RED Y POSIBLE IMPACTO EN EL USUARIO.....	65
CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	68
BIBLIOGRAFÍA:.....	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Arquitectura 2G	14
Figura 2. Arquitectura 3G	15
Figura 3. Arquitectura 4G	16
Figura 4. Arquitectura 5G	17
Figura 5. Frecuencias asignadas a operadores españoles	19
Figura 6. Movimiento de tilt en antena	19
Figura 7. Descripción de tilt eléctrico y mecánico	20
Figura 8. Efecto de tilt eléctrico y mecánico	20
Figura 9. Ángulo de tilt para área de cobertura	21
Figura 10. RSSI e impacto	23
Figura 11. Kpis de transmisión	25
Figura 12. Comunicación por CSFB y SRVCC	30
Figura 13. Realización de handover	30
Figura 14. Throughput en función de tecnologías	32
Figura 15. Arquitectura de MIMO y MULTI-MIMO	33
Figura 16. Nodos área urbana	35
Figura 17. Indisponibilidades y tráfico del nodo caído	35
Figura 18. Drop Call Rate y Accesibilidad del nodo caído	36
Figura 19. Tráfico y congestión del nodo vecino del nodo caído	36
Figura 20. Accesibilidad y fallos del nodo vecino del nodo caído	37
Figura 21. Nodos área rural	37
Figura 22. Indisponibilidades y tráfico de nodo afectado	38
Figura 23. Handovers e intentos del nodo desplegado en la población vecina	38
Figura 24. Fallos y drops del nodo desplegado en la población vecina	38
Figura 25. Tráfico del nodo desplegado en la población vecina	39
Figura 26. Kpis de transmisión del nodo afectado con presencia de pérdida de paquetes	39
Figura 27. Accesibilidad y fallos del nodo afectado	40
Figura 28. Indisponibilidades del nodo afectado	40
Figura 29. Alarmas del nodo afectado	40
Figura 30. Indisponibilidades y Drop Call Rate del nodo afectado	41
Figura 31. Accesibilidad y fallos del nodo afectado	41
Figura 32. Zona afectada por afluencia de tráfico en Semana Santa	41
Figura 33. Tráfico de datos y voz 3G del nodo del nodo impactado por el evento	42
Figura 34. Accesibilidad de voz (CS) y de datos (PS) 3G del nodo del nodo impactado por el evento	42
Figura 35. Patrón de fallos de voz (CS) y de datos (PS) 3G del nodo del nodo impactado por el evento	42
Figura 36. Congestión y RSSI 3G del nodo del nodo impactado por el evento	42
Figura 37. Tráfico de datos y fallos 4G del nodo del nodo impactado por el evento	43
Figura 38. Accesibilidad y Drop Call Rate 4G del nodo del nodo impactado por el evento	43
Figura 39. Throughput y cargar de PRBs 4G del nodo del nodo impactado por el evento	43
Figura 40. Indisponibilidades y tráfico de nodo afectado tras cortes	44
Figura 41. Throughput y MIMO de nodo afectado tras cortes	44
Figura 42. RSSI de nodo con afectación de RSSI	44

Figura 43. Tráfico y throughput de nodo con afectación de RSSI	45
Figura 44. Accesibilidad y fallos de nodo con afectación de RSSI	45
Figura 45. Conexión de la transmisión de los nodos involucrados en la incidencia	46
Figura 46. KPIs de transmisión del nodo A	46
Figura 47. KPIs de transmisión del nodo B	47
Figura 48. KPIs de transmisión del nodo C	47
Figura 49. Saturación de la ruta secundaria	47
Figura 50. Accesibilidad y fallos del nodo afectado tras corte	48
Figura 51. Fallos e indisponibilidades del nodo afectado tras corte	48
Figura 52. Registro de trabajos realizados en nodo	48
Figura 53. Drop Call Rate y drops del nodo afectado desde trabajos realizados	49
Figura 54. Accesibilidad e intentos del nodo afectado desde trabajos realizados	49
Figura 55. Registros de valores de tilt y porcentaje de muestras en función de la distancia de nodo estudiado	50
Figura 56. Tráfico y throughput del nodo con cambio de tilt	50
Figura 57. Carga de PRBs y fallos del nodo con cambio de tilt	51
Figura 58. Accesibilidad del nodo con cambio de tilt	51
Figura 59. Evolución de huella tras ajuste en celda	51
Figura 60. Tráfico y fallos de la celda con ajuste de tilt	52
Figura 61. Throughput de la celda con cambio de tilt	52
Figura 62. Valores de potencia en la celda modificada	52
Figura 63. Throughput y tráfico de celda con aumento de potencia	53
Figura 64. Fallos y carga de PRBs de celda con aumento de potencia	53
Figura 65. Accesibilidad de la celda con aumento de potencia	53
Figura 66. Área de cobertura donde se encuentra el nodo sordo	54
Figura 67. Tráfico e intentos de la celda sorda	54
Figura 68. Accesibilidad y Drop Call Rate de la celda sorda	54
Figura 69. Fallos de la celda sorda	55
Figura 70. Tráfico de voz del nodo vecino al que ha quedado sordo	55
Figura 71. Tráfico y accesibilidad de la celda 2G del nodo con ajuste de parametrización CSFB	56
Figura 72. Fallos de la celda 2G del nodo con ajuste de parametrización de CSFB	56
Figura 73. Tráfico de voz y datos de las celdas 3G donde se ha ajustado la parametrización de CSFB	56
Figura 74. Configuración de TAC en la zona estudiada	57
Figura 75. Configuración de LAC en la zona estudiada	57
Figura 76. Registro de llamadas de los usuarios en la zona afectada	58
Figura 77. Afectación de accesibilidad y DCR en celda 5G	58
Figura 78. Uso de PRBs y usuarios conectados en celda 5G afectada	58
Figura 79. Diagrama de flujos de funcionamiento de automatismo	61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Velocidades de navegación que alcanza el 2G,2.5G y 2.75G	10
Tabla 2. Velocidades de navegación que alcanza el 3G, 3.5G y 3.75G	11
Tabla 3. Velocidades de navegación que alcanza la frecuencia de 800 MHz	11
Tabla 4. Velocidades de navegación que alcanza la frecuencia de 1500 MHz	11
Tabla 5. Velocidades de navegación que alcanza la frecuencia de 1800 MHz	12
Tabla 6. Velocidades de navegación que alcanza la frecuencia de 2100 MHz	12
Tabla 7. Velocidades de navegación que alcanza la frecuencia de 2600 MHz	12
Tabla 8. Reparto del espectro de 5G para los operadores	13
Tabla 9. Velocidades de navegación que alcanzan las frecuencias de 5G	13
Tabla 10. Valores óptimos de parámetros de transmisión es una estación base	25

FICHA DEL TRABAJO FINAL

Título del trabajo:	<i>Análisis y automatización de incidencias en la red móvil</i>
Nombre del autor:	<i>Ana Patricia González Morón</i>
Nombre del PRA:	<i>Dr. Germán Cobo</i>
Fecha de entrega (mm/aaaa):	<i>06/2023</i>
Titulación o programa:	Máster Universitario de Ingeniería de Telecomunicación
Área del Trabajo Final:	<i>Área Tecnologías de Antenas</i>
Idioma del trabajo:	<i>Castellano</i>
Palabras clave	<i>Estación base, KPI, Red</i>
Resumen del Trabajo	
<p>Para asegurar el correcto rendimiento de la red de cobertura móvil es necesario monitorizar los distintos parámetros y asegurar que se cumplen con los requisitos de la red, ofreciendo máxima calidad y mejor servicio para el usuario. Para ello, es necesario una monitorización continua de la red y una actuación de forma rápida, con la finalidad de que ante cualquier tipo de avería el cliente perciba mínimo impacto durante el menor tiempo posible.</p> <p>Este proyecto se va a analizar el comportamiento de la red y se van a proponer un modelo con cierta inteligencia aplicada que logre actuar ante los distintos cambios de comportamiento y posibles incidencias que puedan aparecer en la red.</p>	
Abstract	
<p>To be sure of the proper operation of the mobile coverage network, it is necessary to monitor the different parameters and guarantee the network requirements, Offering to the user the best quality and service possible.</p> <p>To achieve it, it is necessary to monitor constantly the network and when anything appears to be faulty, be as fast as possible working to repair it, so the client receives as less impact as possible.</p> <p>In this project it is going to be analyzed the behaviour of the network and there is going to be proposed a model with some intelligence applied on it, which will manage to act on the possible faults that can appear in the network.</p>	

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, seguramente a todos nos parezca impensable vivir ajenos a la telefonía móvil, pues el teléfono móvil es un dispositivo que usamos de manera cotidiana para comunicarnos, realizar compras o incluso trabajar. Sin embargo, este medio de comunicación no es tan antiguo como pensamos.

Fue en la década de los 40, cuando los pioneros en el ámbito de la telefonía móvil para uso civil comenzaron a emprender en este campo. En esta época, en Estados Unidos se empezaron a entrever las grandes ventajas que podía llegar a ofrecer el uso de este tipo de tecnología en la vida cotidiana de los ciudadanos y fue el estadounidense Martín Cooper, el pionero en diseñar el primer radio teléfono entre 1970 y 1973. Luego le siguió Japón en 1979, instalando los primeros sistemas fabricados por NTT en Tokio y por supuesto que Europa no podía quedarse atrás y en 1981 se introdujo un sistema similar a AMPS (Advanced Mobile Phone System).

Sin embargo, en aquellos principios de la telefonía móvil, la respuesta de los consumidores no fue del todo satisfactoria. Esto principalmente se debía al exagerado tamaño y peso de los primeros equipos de telefonía celular. Otra contra que tenían estos equipos era su elevado coste. Los precios de estos primeros equipos de comunicaciones móviles estaban más allá de las posibilidades económicas de la clase social media norteamericana.

La primera compañía en invertir en telefonía móvil en España fue Telefónica, en 1976 puso en servicio el llamado el TAV (Teléfono Automático de Vehículos), este sistema fue limitado en las ciudades de Barcelona y Madrid, trabajaba en la banda de 1600 MHz y posteriormente desplegó el 1G con teléfonos transportados en maletines gigantes y no fue hasta julio de 1995 cuando Telefónica lanzó la comercialización del servicio GSM (2G) mediante una licencia que el gobierno le había concedido, con ello se pasó de una tecnología analógica, la primera generación a una digital, la segunda generación.

Fue la empresa Airtel, quien unos meses más tarde en octubre de 1995 con otra licencia del gobierno entró en el mercado de las comunicaciones móviles, dando comienzo la liberación del mercado de las telecomunicaciones en España que en años previos era un monopolio controlado por Telefónica. En 1999 se concedió una nueva licencia a la empresa Amena, desapareciendo así el monopolio de comunicaciones móviles en España.

El 2G surge de en la CEPT (conferencia europea de Correos y Telecomunicaciones), en los inicios de la telefonía móvil en Europa, cada país tenía un estándar distinto y eran incompatibles entre sí y por lo tanto no se podían comunicar usuarios ubicados en distintos países mediante un teléfono móvil, esto junto a las necesidades de mejora con respecto a una metodología de comunicación analógica se resolvieron con el estándar mundial 2G o GSM (Global System for Mobile Communication).

Los trabajos para definir el estándar finalizaron en 1991, con un documento de acuerdo que fue firmado por los operadores de telecomunicaciones de 13 países en Copenhague, entre ellos España con Telefónica, con la finalidad de implantarlo en todos los países participantes.

Posterior a la aparición del 2G y con la necesidad de cubrir las necesidades de la telefonía móvil para cada vez más usuarios, fue necesario desarrollar tecnologías más potentes como son el 3G, 4G y actual tecnología en pleno desarrollo, el 5G.

El objetivo de este proyecto es analizar el comportamiento de la red de telefonía móvil para poder resolver las incidencias y degradaciones que presente la red en función del impacto y evitar con ello la menor afectación en los usuarios conectados a la red, para ello, en primer lugar, se va a describir la red y su evolución desde que surgió el 1G, su funcionamiento y prestaciones. Posteriormente se van a analizar las estaciones base desplegadas en la red de comunicaciones móviles y distintos comportamientos y afectaciones que puede presentar la red y, por último, se desarrollaran las conclusiones y metodologías óptimas de priorización de incidencias de red.

HISTORIA Y ASPECTOS TEÓRICOS DE LAS COMUNICACIONES MÓVILES

ORIGEN Y EVOLUCIÓN DE LAS COMUNICACIONES MÓVILES

A finales de los años 70 y principios de los años 80 nació la telefonía móvil, denominada **1G (Primera Generación) o TMA (Telefonía Móvil Automática)**, estaba basada en una tecnología analógica, mediante la cual se podían realizar llamadas, pero no se podía navegar, en esta época no había prácticamente antenas y las baterías de los terminales apenas duraban por lo que la movilidad era muy reducida y estaba al alcance de muy pocos usuarios.

A finales de los años 90 llegó la globalización digital y la aparición del **2G (Segunda Generación) o GSM (Global System for Mobile Communication)** y con ello se mejoró la calidad de la voz con posibilidad de manejar un mayor número de llamada debido al aumento de canales simultáneos y se produjo la aparición de los SMS, iniciándose la tecnología digital. Estas mejoras junto al abaratamiento de los dispositivos móviles aceleraron la popularidad de los terminales móviles entre la población. Esta segunda generación impulsó también los inicios de la navegación móvil.

Las frecuencias bajo las que trabaja la tecnología 2G son 900MHz (con 30 MHz de ancho de banda disponible) y la frecuencia 1800 MHz (ancho de banda disponible de 75 MHz).

Previo al paso a la tercera generación, las necesidades de un mayor ancho de banda con el uso de 2G, llevan a la aparición de la tecnología **GPRS (General Packet Radio Service) o 2.5G (2.5 Generación) y EDGE (Enhanced Data Rate for GSM Evolution)**, con estas nuevas tecnologías se consigue una mayor velocidad de transmisión ya que la conmutación de paquetes puede ser enviada a través de distintas rutas, cada una de ellas con un código identificativo.

		Teórica (max)	
		Download	Upload
2 G	GSM	9.6 Kbps	9.6 Kbps
2.5 G	GPRS	114 Kbps	20 Kbps
2.75 G	EDGE	384 Kbps	60 Kbps

Tabla 1. Velocidades de navegación que alcanza el 2G,2.5G y 2.75G

A principios del siglo XXI llega el internet móvil con la llegada del **3G (Tercera Generación) o UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)** y los recursos para el usuario aumentan de forma relevante, esta tecnología ya permitió realizar videollamadas, enviar correos, ver videos en YouTube y poder llevar las redes sociales en el terminal móvil. Otro avance relevante con la llegada del 3G, es que permite la globalidad mundial, es decir, no importaba donde estuviera el usuario que se podía navegar por internet. Debido a la alta demanda de conexiones de voz y datos en todo el mundo, fue necesario desplegar un mayor volumen de estaciones

bases para dar soporte a lo existente. El 3G trabaja en dos frecuencias, 2100 MHz (con un ancho de banda disponible de 60 MHz) y 900 MHz (con un ancho de banda disponible de 30 MHz).

Debido a la alta demanda de recursos de red, surge la 3.5G (3.5 Generación) o HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) orientada a satisfacer las necesidades de transmisión de datos y posteriormente surge el 3.75G (3.75 Generación) o HSUPA (High Speed Uplink Packet Access) con mayores capacidades que la primera mencionada, con estas dos nuevas tecnologías se logró mejorar la velocidad de navegación de subida y descarga del usuario.

		Teórica (max)	
		Download	Upload
3G	UMTS	384 Kbps	384 Kbps
3.5 G	HSDPA	7.2Mbps	
3.75 G	HSUPA		7.2Mbps

Tabla 2. Velocidades de navegación que alcanza el 3G, 3.5G y 3.75G

A finales del siglo XXI, con la convergencia entre las redes cableadas e inalámbricas apareció la red 4G (Cuarta Generación) o LTE (Long Term Evolution), basada completamente en un protocolo IP y logrando conexiones en cualquier lugar a grandes velocidades e incluso servicio de voz mediante VOLTE. Las frecuencias en las que trabaja el 4G son:

800 MHz, esta banda se empezó a usar para las telecomunicaciones móviles en 2015 y con 3 MHz de ancho de banda, esta frecuencia estará en uso para las telecomunicaciones hasta el año 2031.

Subida	Bajada	Operador	Concesión	Caducidad
832-837MHz	791-796MHz	Orange	01/04/2015	25/04/2031
837-842MHz	796-801MHz	Orange	01/04/2015	25/04/2031
842-847MHz	801-806MHz	Vodafone	01/04/2015	25/04/2031
847-852MHz	806-811MHz	Vodafone	01/04/2015	25/04/2031
852-857MHz	811-816MHz	Movistar	01/04/2015	25/04/2031
857-862MHz	816-821MHz	Movistar	01/04/2015	25/04/2031

Tabla 3. Velocidades de navegación que alcanza la frecuencia de 800 MHz

1500 MHz, esta banda permite mejorar las capacidades de las redes en descarga, dispone de un ancho de banda de 40 MHz. Se emplea una técnica de ampliación de capacidad de los enlaces descendentes mediante el uso del espectro no apareado de la banda 1500 MHz, utilizando el espectro como una portadora extra a las originales.

Frecuencias	Ancho	Uso
1452-1492 MHz	40 MHz	Descarga

Tabla 4. Velocidades de navegación que alcanza la frecuencia de 1500 MHz

1800MHz, esta frecuencia fue usada inicialmente para la frecuencia de GSM, pero desde 2011 se usa para el servicio de LTE. Dispone de un ancho de banda de 75 MHz.

Bloque	Subida	Bajada	Operador	Concesión	Caducidad
2x20 MHz	1710,1-1730,1 MHz	1805,1-1825,1 MHz	Movistar	24/07/1998	31/12/2030
2x20 MHz	1730,1-1750,1 MHz	1825,1-1845,1 MHz	Vodafone	24/07/1998	31/12/2030
2x5 MHz	1750,1-1755,1 MHz	1845,1-1850,1 MHz	Yoigo	15/06/2011	31/12/2030
2x5 MHz	1755,1-1760,1 MHz	1850,1-1855,1 MHz	Yoigo	15/06/2011	31/12/2030
2x4,8 MHz	1760,1-1764,9 MHz	1855,1-1859,9 MHz	Yoigo	15/06/2011	31/12/2030
2x20 MHz	1764,9-1784,9 MHz	1859,9-1879,9 MHz	Orange	24/07/1998	31/12/2030

Tabla 5. Velocidades de navegación que alcanza la frecuencia de 1800 MHz

2100 MHz, esta frecuencia en la actualidad es usada para la tecnología 3G y 4G. Dispone de un ancho de banda de 20MHz para el tipo de frecuencias por duplexación de tiempo y 60 MHz para frecuencia por duplexación de frecuencias.

Bloque	Subida	Bajada	Operador	Concesión	Caducidad
1 x 5 MHz	1900-1905 MHz		Orange	19/04/2000	18/04/2030
1 x 5 MHz	1905-1910 MHz		Vodafone	19/04/2000	18/04/2030
1 x 5 MHz	1910-1915 MHz		Movistar	19/04/2000	18/04/2030
1 x 5 MHz	1915-1920 MHz		Yoigo	19/04/2000	18/04/2030
2 x 15 MHz	1920-1935 MHz	2110-2125 MHz	Yoigo	19/04/2000	18/04/2030
2 x 15 MHz	1935-1950 MHz	2125-2140 MHz	Orange	19/04/2000	18/04/2030
2 x 15 MHz	1950-1965 MHz	2140-2155 MHz	Vodafone	19/04/2000	18/04/2030
2 x 15 MHz	1965-1980 MHz	2155-2170 MHz	Movistar	19/04/2000	18/04/2030

Tabla 6. Velocidades de navegación que alcanza la frecuencia de 2100 MHz

Por último, se encuentra la frecuencia de **2600 MHz** esta se utiliza exclusivamente en LTE y se suele desplegar en entornos donde la frecuencia de L1800 no es suficiente para satisfacer las necesidades de los usuarios de la zona. Dispone de 70 MHz de ancho de banda.

Bloque	Subida	Bajada	Operador	Concesión	Caducidad
2x10 MHz	2500-2510MHz	2620-2630MHz	Movistar	10/10/2011	31/12/2030
2x10 MHz	2510-2520MHz	2630-2640MHz	Movistar	10/10/2011	31/12/2030
2x10 MHz	2520-2530MHz	2640-2650MHz	Orange	10/10/2011	31/12/2030
2x10 MHz	2530-2540MHz	2650-2660MHz	Orange	10/10/2011	31/12/2030
2x5 MHz	2540-2545MHz	2660-2665MHz	Vodafone	10/10/2011	31/12/2030
2x5 MHz	2545-2550MHz	2665-2670MHz	Vodafone	10/10/2011	31/12/2030
2x5 MHz	2550-2555MHz	2670-2675MHz	Vodafone	10/10/2011	31/12/2030

Tabla 7. Velocidades de navegación que alcanza la frecuencia de 2600 MHz

Por último, a finales de 2018 comenzó a llegar al mercado el 5G, que hoy en día ya se encuentra desplegado en el 85% del territorio español. Más allá de mejorar sus prestaciones de velocidad de navegación, su finalidad está principalmente orientada a las Smart City y el internet de las cosas, entorno en el cual las redes podrán satisfacer las necesidades de millones de dispositivos conectados entre sí, asegurando una conexión y velocidad adecuada para ello, ofreciendo un máximo de 10 gigabits por segundo (Gbps).

El 5G es 10 x100 más rápido de lo que se puede obtener con la 4G gracias al uso de frecuencias elevadas donde algunas se encuentran en el rango de las ondas milimétricas (frecuencia de 3.5-30GHz)

A continuación, se muestra el espectro de 5G del que dispone cada operador en España y la velocidad máxima a la que se puede navegar en cada una de las frecuencias disponibles.

Operador	Espectro
MásMovil	80 MHz
Movistar	100 MHz
Orange	110 MHz
Vodafone	90 MHz

Tabla 8. Reparto del espectro de 5G para los operadores

Frecuencia	Velocidad max.	Zona
700 MHz-2100MHz	200 Mbps	Rural
3.5 GHz	2 Gbps	Urbana
26 GHz	5 Gbps	Con alta densidad de usuarios

Tabla 9. Velocidades de navegación que alcanzan las frecuencias de 5G

TEORÍA DE ANTENAS

La teoría de las antenas surgió entre 1854 a raíz de los estudios matemáticos realizados por James C. Maxwell, que años después, entre 1887 y 1897 fueron aprobados por los experimentos realizados por Heinrich R. Hertz y los primeros sistemas de radiocomunicación por Guglielmo Marconi y fue ya en 1907 cuando ya existieron los servicios comerciales de comunicaciones.

Hasta los años 40, las antenas se comunicaban mediante elementos radiantes de hilo hasta la tecnología UHF a través de frecuencias de transmisión de entre 10 y 100 kHz y antenas muy pequeñas en comparación de la longitud de onda. No fue hasta el descubrimiento del

triodo cuando se comenzó a dar uso a frecuencias de entre 100 KHz y algunos MHz, con un tamaño de antena equiparable a la longitud de onda.

Tras la segunda guerra mundial, surgieron nuevos elementos radiantes, como las guía ondas, bocinas y reflectores y con estos nuevos elementos se desarrollaron las microondas a frecuencias superiores de 1 GHz. Posteriormente entre 1960 y 1980 los avances en la arquitectura y la tecnología de antenas fueron de alto impacto y se desarrollaron los hoy conocidos como métodos asintóticos de baja frecuencia y de alta frecuencia.

En el pasado las antenas eran un elemento secundario en el diseño del sistema de comunicación, pero en la actualidad son el elemento clave para poder realizar comunicaciones móviles.

Las antenas también son denominadas estación base, se encuentran instaladas de forma fija en torres debido a que necesitan estar a cierta altura para poder tener amplia cobertura y son las partes de los sistemas de telecomunicaciones diseñadas para radiar/recibir las ondas electromagnéticas, el elemento radiante encargado de la transmisión transforma las corrientes eléctricas en ondas electromagnéticas y el elemento receptor se encarga de realizar la función inversa. También adaptan las ondas guiadas y estas se propagan por el espacio libre. La antena se encarga de convertir la potencia de radiofrecuencia en campos electromagnéticos o capta estos campos y los convierte en energía de radiofrecuencia.

Los terminales se encuentran conectados a las antenas mediante las ondas electromagnéticas de radio frecuencia y paralelamente las antenas se comunican con la central de la propia red.

A continuación, se van a detallar cuatro características principales que clasifican a las antenas: la frecuencia, la impedancia, la directividad y la polarización electromagnética.

Frecuencia y ancho de banda

Las ondas electromagnéticas emplean una amplia gama de frecuencias para las comunicaciones, su ancho de banda es, por tanto, el rango de frecuencias en las que puede trabajar una antena, estas frecuencias oscilan desde las extremadamente bajas en torno a 1 MHz hasta frecuencias extremadamente altas de 30 GHz sobre las que trabajan las distintas tecnologías de comunicación. Cuanto mayor sea el ancho de banda disponible, mayor cantidad de datos se podrá transmitir simultáneamente en la comunicación.

Impedancia

Todas las antenas y líneas de transmisión empleadas para la comunicación tienen una impedancia característica, esto es debido a que, el voltaje y la corriente pueden variar a lo largo de la línea si la longitud de los conductores es larga en comparación con la longitud de onda de la señal transmitida, y la energía puede almacenarse en la línea.

La impedancia se define como la relación entre el voltaje y corriente a lo largo de la línea y proporciona información sobre la capacidad de la línea de transmisión para almacenar energía en el campo eléctrico y magnético. Los valores típicos para la impedancia de las líneas de transmisión utilizadas para las comunicaciones son 50 o 75Ω.

La impedancia es importante porque para transmitir de manera eficiente una señal entre los circuitos de transmisión o recepción y una antena, la impedancia entre la antena y la línea de transmisión debe coincidir. En este caso, donde la impedancia característica de la línea y la antena son iguales, la energía fluye a lo largo de la línea de transmisión entre los circuitos y la antena. Las líneas de transmisión están hechas de conductores buenos, pero no son ideales y una pequeña cantidad de energía puede convertirse en calor debido a la resistencia en las líneas, sin embargo, si hay un desajuste de impedancia entre la antena y la línea de transmisión, las reflexiones se establecerán en la interfaz de la antena de la línea de transmisión.

Directividad

La directividad de una antena se define como la relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección, a una distancia concreta y la densidad de potencia que radiaría a la misma distancia una antena isotrópica a igualdad de potencia total radiada, es decir, la dirección de máxima radiación. La directividad se puede obtener a partir del diagrama de radiación de la antena.

Una antena que irradia por igual en todas las direcciones se llama isotrópica y una antena que irradia por igual en dos, pero no en la tercera, dirección se llama omnidireccional. Por ejemplo, una antena omnidireccional puede irradia por igual en todas las direcciones horizontales, pero no en la dirección vertical. Dependiendo del objetivo de cobertura, se pueden instalar distintos tipos de antenas según su directividad, por ejemplo, una estación de radio en el centro de un pueblo podría utilizar una antena isotrópica u omnidireccional para transmitir a todo el pueblo desde una única antena desplegada, este tipo de antenas no suele observarse en núcleos urbanos con mayor densidad de usuarios debido a que se necesitarían antenas más directivas teniendo en cuenta las condiciones del entorno como antenas de panel. Estas últimas antenas mencionadas son mucho más direccionales debido a que la mayoría de su potencia radia en una única dirección, además las antenas de panel pueden ser fabricadas en diferentes valores de ganancia de acuerdo con su construcción. Esto puede proveer excelente directividad y considerable ganancia.

Polarización electromagnética

Las antenas originan campos electromagnéticos radiados, de forma que la polarización electromagnética en una determinada dirección se define como el gráfico geomático que traza el extremo del vector campo eléctrico a una cierta distancia de la antena al variar el tiempo.

La polarización de una antena de comunicación móvil es lineal y puede tomar distintas orientaciones, vertical y horizontal ($+45^\circ$, -45°).

En el campo de antenas, también se define un coeficiente de desacoplo por polarización y este mide la cantidad de potencia que es capaz de recibir una antena polarizada de una forma con longitud efectiva de un campo eléctrico incidente con una determinada polarización.

Otras consideraciones de antena

Además del ancho de banda, impedancia, directividad y polarización electromagnética, otros factores, como el tamaño, la forma y la configuración, distinguen una antena de otra en función de las necesidades a cubrir. También se deben considerar factores mecánicos. También se considera que las antenas deben ser capaces de soportar condiciones climáticas extremas, que no pueden predecirse de forma teórica y para ello se tienen que emplear materiales de buena calidad para soportar altas y bajas temperaturas, sobre todo en las antenas de comunicación que son instaladas al aire libre.

MODELO DE ANTENAS

La evolución de las antenas ha tenido mucho que ver en la evolución de la telefonía móvil, ya que cada vez están dotadas de elementos más eficientes y optimizados. Las antenas han ido evolucionando a raíz que han ido evolucionando las necesidades de cobertura, para la telefonía móvil se emplean principalmente 3 tipos de modelos de antena, el monopolo, el dipolo y la antena panel.

La más sencilla de ellas es la antena monopolo, que también es conocida como antena Marconi, es la antena más sencilla y se suele emplear especialmente en las telecomunicaciones para las bajas frecuencias, se monta en dirección vertical y de aspecto es similar al de una varilla. Esta antena presenta un diagrama de patrón de radiación omnidireccional en el plano perpendicular al de la antena, que habitualmente es el horizontal, su ganancia y directividad dependen de la longitud de la antena, se instala perpendicular al suelo para que su ángulo de inclinación prácticamente nulo ayude a maximizar su longitud efectiva y su ganancia.

Con respecto las antenas dipolo, se trata de una antena con dos polos ubicados hacia sentidos contrarios, debido a que cada polo se comporta como si fuese un tramo de línea de transmisión de $\frac{1}{4}$ de onda, formando una longitud de $\frac{1}{2}$ de onda, este tipo de antena se utiliza para una sola frecuencia, presentando una buena relación entre el tamaño y las prestaciones que puede ofrecer, su radiación es omnidireccional en el plano horizontal y se emplea en comunicaciones móviles.

Comparando ambas antenas en términos de directividad, en una antena monopolo, la directividad está directamente relacionada con la de una antena dipolo. Si la directividad de un dipolo de longitud $2L$ tiene una directividad de D [dB], a continuación, la directividad de una antena monopolo de longitud L tendrá una directividad de $2D$ [decibelios]. Es decir, la directividad (en unidades lineales) de un monopolo es el doble de la directividad de una antena de dipolo del doble de la longitud. El motivo de esto es porque la radiación no se produce por debajo del plano del suelo, por lo que la antena es realmente el doble de "directiva". [19]

Con respecto a las antenas panel, consisten en un conjunto de dipolos en fase para obtener el patrón de radiación, se encuentran conectados horizontal o verticalmente a una estructura plana rectangular dentro de un panel de fibra de vidrio o material similar con características conductoras de ondas electromagnéticas y situados ligeramente encima de la superficie que se emplea como reflector. Se comenzaron a utilizar para la banda de 800 MHz en la tecnología móvil y en los últimos años se ha logrado emplear para multifrecuencia. Cabe mencionar que, a altas frecuencias, la longitud de onda de trabajo es muy pequeña, por lo que el efecto producido por la altura del elemento radiante no es despreciable.

Para radiar altas frecuencias en las antenas de panel, se suelen emplear elementos radiantes en forma de matriz, estos elementos están diseñados para radiar la energía en una dirección específica y la configuración exacta del array se determina teniendo en cuenta el patrón de radiación deseado y el ancho de banda requerido, también se suelen emplear técnicas de fase y diversidad de elementos para mejorar el rendimiento del array en cuanto a ganancia y directividad. [2]

Con respecto a la radiación de bajas frecuencias, el array suele estar compuesto por elementos radiantes de dimensiones mayores, como suelen ser relectores o placas metálicas, con la finalidad de aumentar la directividad de la antena. La configuración del array de antenas para bajas frecuencias suele estar basado en el principio de la formación de haces, donde la energía se concentra en una dirección específica mediante el uso de elementos direccionales y técnicas de alimentación de fase.

En la red de cobertura móvil, las antenas que más predominan son las antenas panel para altas y bajas frecuencias, por ello a continuación se van a detallar las características de cada una de ellas a lo largo de los últimos años.

Por un lado, el principal despliegue de las antenas surge con una serie denominada TwinLine, tuvieron su origen en 2011, e implicaron un punto de inflexión en la compartición de sistemas radiantes. En ese momento los operadores tenían el reto de compartir estaciones base con otros operadores, incluso en algunos casos compartiendo mástiles y antenas, usando para ello elementos pasivos externos que introducían pérdidas y eran fuentes potenciales de PIM.

Fue la empresa Amphenol-Jaybeam, uno de los fabricantes pioneros en ofrecer antenas dobles de triple banda, con una forma fácilmente manejable y una anchura de sólo 442 mm. A partir de aquella primera generación de antenas se ha tenido que seguir trabajando para ir

cubriendo las necesidades de la red y la aparición de nuevas frecuencias, primero fue la llegada de nuevas frecuencias para despliegues 4G, y en 2013 se añadió la banda LTE 800 MHz, manteniendo invariable la anchura de las antenas TwinLine. En 2015 se añadieron las bandas LTE 700 y 2600 MHz, consiguiendo además reducir la anchura de la antena a 432 mm. Este cambio supuso que las antenas TwinLine ofrecieran una carga al viento muy baja, gracias a un rediseño del recubrimiento de la antena y reduciendo también el peso total de la antena.

Por otro lado, en el año 2018, la empresa Amphenol Antenna Solutions, desarrolló las antenas MIMO 4x4 con la integración de la banda de 1400 MHz, manteniendo también el resto de las bandas que ya estaban contempladas en los modelos de antenas previos. Estas antenas 4X4 MIMO disponían de 4 antenas emisoras y 4 receptoras en forma de matriz y el número máximo de flujos espaciales está limitado por el menor elemento de la matriz, es decir, número de antenas emisoras o receptoras.

Con la evolución de las redes 4G, y las futuras redes 5G, demandan nuevas funcionalidades y capacidades en los equipos de red de acceso radio, así como nuevas frecuencias de uso con la liberación de la banda 700 MHz y la oferta de la banda de 1400 MHz, para dar capacidad al enlace descendente.

La empresa Amphenol-Jaybeam, atendiendo a la demanda de los operadores, ya había incluido la banda 700 MHz en todos sus nuevos diseños de antena y con ese nuevo modelo de antena, incorporando la banda de 1400 MHz, formada por arrays que cubren todo el espectro de bandas altas, desde 1400 MHz hasta 2700 MHz.

Por otro lado, otra de las empresas pioneras, en la evolución de las antenas de telefonía móvil ha sido Huawei. Retomando a 2013, fue esta empresa quien desarrolló la antena de red multimodo de cinco bandas, que fue la primera del mercado con 5 bandas y capaz de soportar frecuencias de banda ultra ancha y con ello facilitar el rápido despliegue de la red 4G, logrando una buena experiencia de banda ancha móvil para los usuarios.

El rápido desarrollo que tuvo la tecnología 4G, hizo necesario el soporte de un mayor número de frecuencias y la reducción de espacio disponible en las torres de antena y azoteas y esta antena de red multimodo desarrollada por Huawei estaba diseñada para soportar todas las frecuencias 4G existentes, logrando de esta forma realizar un despliegue más rápido sin necesidad de instalar nuevas torres o elementos de red adicionales. Hay que destacar también que se trata de una antena compacta, esta cuenta con las mismas dimensiones que las antenas de red estándares de 3 bandas y es altamente eficiente debido al diseño de transmisor en fila y configuraciones de MIMO. Esta antena fue la primera en soportar EasyRET, la solución puesta en marcha para realizar una inclinación remota en el panel de la antena, de forma que todos los componentes RET se encuentran integrados dentro de la antena de red y conectados a través de un cable a numerosos nodos de conexión reducida, lo que aumenta la fiabilidad.

En años posteriores, en 2022, se desarrollaron las antenas de MIMO masivo, para cubrir las necesidades del 5G, con este desarrollo se consigue enfocar la radiación de forma selectiva en la dirección del usuario, creando flujos paralelos que duplican la velocidad de navegación.

El MIMO masivo se ha conseguido instalando en torno a 64 antenas MIMO en el panel de antena, en forma de matriz de 8x8, esta cantidad de elementos radiantes permite enfocar con mucha más precisión el haz de radiación, de forma que puede ser mucho más selectivo y lograr llegar con el haz de radiación a una distancia mayor.

Un terminal móvil emplea solo 4 flujos, de forma, que un panel que ofrece 64 puede garantizar bajo la misma frecuencia, en un mismo instante, servicio a distintos usuarios ubicados en distintos lugares del entorno.

Los paneles con MIMO masivo suelen utilizar la banda 5G de 3,5 MHz, donde las operadoras disponen de aproximadamente 100 MHz. Con este ancho pueden ofrecer un caudal de unos 376 Mbps por flujo de antena MIMO, si se multiplica por 64 esta velocidad de navegación se concluye que el 5G ideal podría alcanzar los 24 Gbps.

ARQUITECTURA DE LA RED MÓVIL

En este apartado se va a analizar cómo se encuentra estructurada la arquitectura de la red en las distintas tecnologías.

Para 2G, existe la controladora de estación base (BSC), es el equipo más robusto del subsistema de la estación base, es el componente encargado del control de las estaciones base, denominadas BTS y se encarga de controlar las actividades de esta, también es el componente intermediario y enlace físico entre la estación base y el centro de conmutación móvil MSC (Mobile Services Switching Center).

El MSC asigna los canales radio e intercambia la señal con los terminales móviles y controla la conmutación entre las distintas estaciones bases y el establecimiento de las conexiones, es decir, se encarga de manejar los handovers.

La BSC también se encarga de almacenar los datos asociados a la frecuencia de la portadora, los saltos de frecuencia y el nivel de potencia, también gestiona la actividad de las estaciones base para así reducir la carga de trabajo del MSC que está orientada a controlar las tareas críticas de tráfico y gestión de bases de datos.

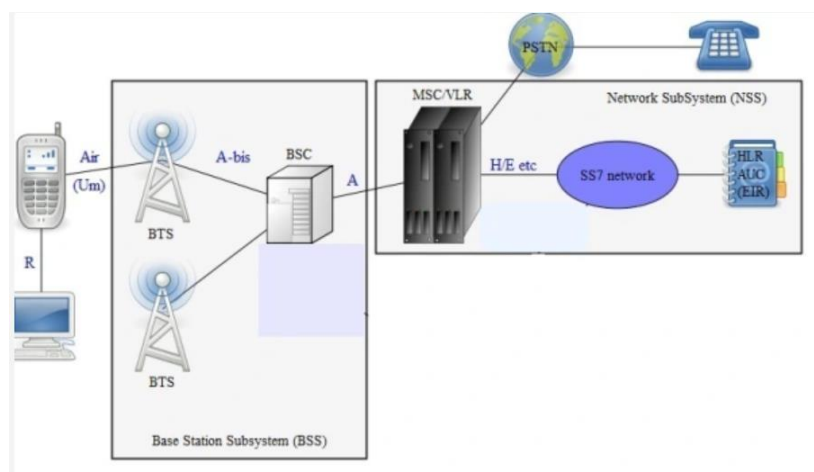


Figura 1. Arquitectura 2G (<https://movilfacil.wordpress.com/2011/03/11/18/>)

Con lo respecto a 3G, la arquitectura se planteó como una evolución de las redes GSM/GPRS con el fin de proporcionar las bases para el despliegue de los primeros sistemas UMTS, es por ello por lo que se definió una red de acceso (UTRAN) que fue más flexible y con mayor capacidad que la generación previa.

La arquitectura de red de acceso UTRAN está formada por NodosB y controladores radio, RNC (Radio Network Controllers), que equivale a las BTS y BSCs en 2G. Los terminales se comunican con los NodosB mediante una interfaz basada en WCDMA y a su vez se comunican con la controladora RNC mediante una interfaz Iub, sobre esta interfaz se transporta el tráfico del usuario y también la señalización entre el móvil y la red, gracias a esta interfaz se realizan handover entre estaciones base que pertenecen a la misma controladora RNC.

En el núcleo de red UMTS, se encuentran los equipos de conmutación y las bases de datos, estos elementos se reparten en dos dominios distintos, la conmutación de circuitos y la conmutación de paquetes, con esta distinción se divide la infraestructura del subsistema de conmutación de las redes. [7]

Por otro lado, la comunicación entre la red de acceso y el núcleo de red se hace mediante una interfaz Iu que conecta las RNC con su MSC y su SGSN (Serving GPRS Support Node), mediante esta interfaz se transmite la señalización a cada uno de los dominios de conmutación de circuitos o paquetes.

Otro punto importante de la arquitectura de 3G con respecto a GSM, es el uso de ATM (Asynchronous Transfer Mode) para el transporte en la red de acceso, con esta tecnología se impide que una RNC pueda conectarse a una MSC o a un SGSN convencional como en GSM, esto requiere de una parte de hardware adicional en la estación.

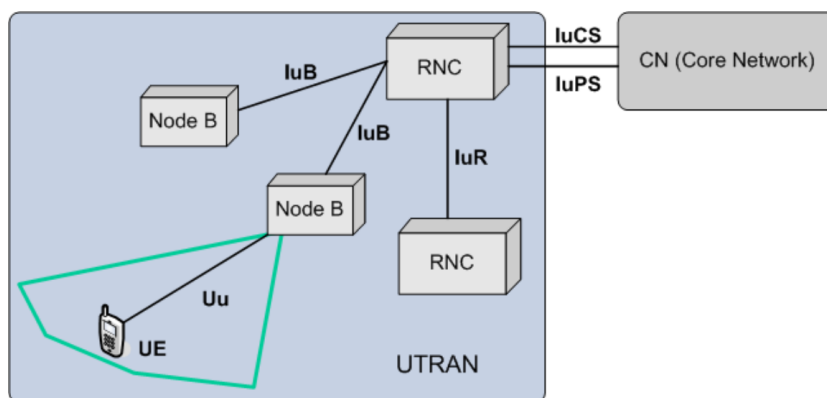


Figura 2. Arquitectura 3G. (<https://empresas.blogthinkbig.com/arquitectura>)

Con respecto a la arquitectura de red de 4G, se basa en una arquitectura plana buscando que solo exista el elemento de red enodoB y cumpla con las funciones del NodoB y RNC correspondientes a 3G. La arquitectura combina el E-UTRAN (Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network) y el EPC (Evolved Packet Core), cada una de estas capas de red se componen

de diversos elementos de red y su comunicación se realiza a través de interfaces abiertas hacia las distintas capas de la red y hacia otras redes como las de 2G o 3G. [8]

El E-UTRAN está formado exclusivamente por la radiobase, que a diferencia de la red 2G y 3G esta capa radio contine ningún elemento de control adicional.

Con respecto al EPC se compone de tres partes, el Mobility Management Entity (MME), el Serving Gateway (S-GW) y el Packet data network Gateway (P-GW). El elemento de red MME se encarga de gestionar el plano de control de la red y el S-GW y el P-GW gestionan el plano de usuario.

La arquitectura de la red LTE está basada en IP completamente. El EPC, por tanto, no se relaciona con comunicaciones asociadas a la conmutación de circuitos. En una red LTE, la voz como tal, se maneja como un servicio de Voz-sobre-IP (VoIP), o alternativamente se direcciona por medio de una red coexistente 2G/3G.

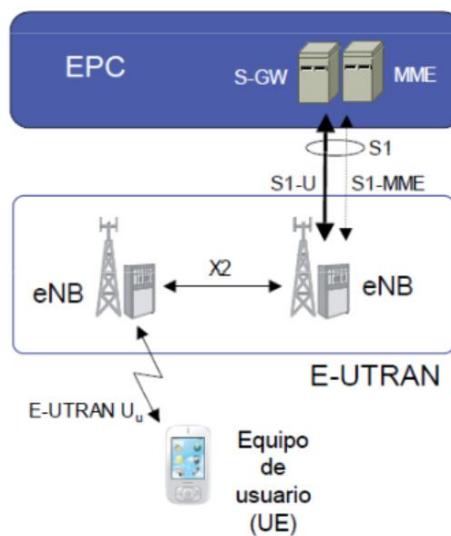


Figura 3. Arquitectura 4G. (<https://mastermoviles.gitbook.io/tecnologias2>)

Por último, se va a tratar la arquitectura del 5G, de acuerdo con el 3GPP se está realizando en dos fases, una fase inicial conocida como 5G NSA (5G Non Stand Alone) que ofrece un mayor aprovechamiento de la infraestructura existente de 4G y otra segunda fase denominada 5G SA (5G Stand Alone) cuyo núcleo de red NGCN (Next Generation Core Network) se basa en el software de red y la nube y se trata de un desarrollo independiente sin necesidad de adaptar otras tecnologías.

Las redes 5G dependerán en gran medida de tecnologías emergentes como SDN (Software Defined Networking), NFV (Network Function Virtualization), MEC (Mobile Edge Computing) y FC (Fog Computing).

La arquitectura se define para la comunicación del equipo de usuario con un punto final, como un servidor de aplicaciones (AS) en la red de datos y la comunicación entre ambas se realiza a través de la red de acceso y la red central. La red de acceso se denomina NG-RAN (Next Generation Radio Access Network), la red central conocida como 5GC (5G Core) y el terminal denominado como UE (User Equipment).

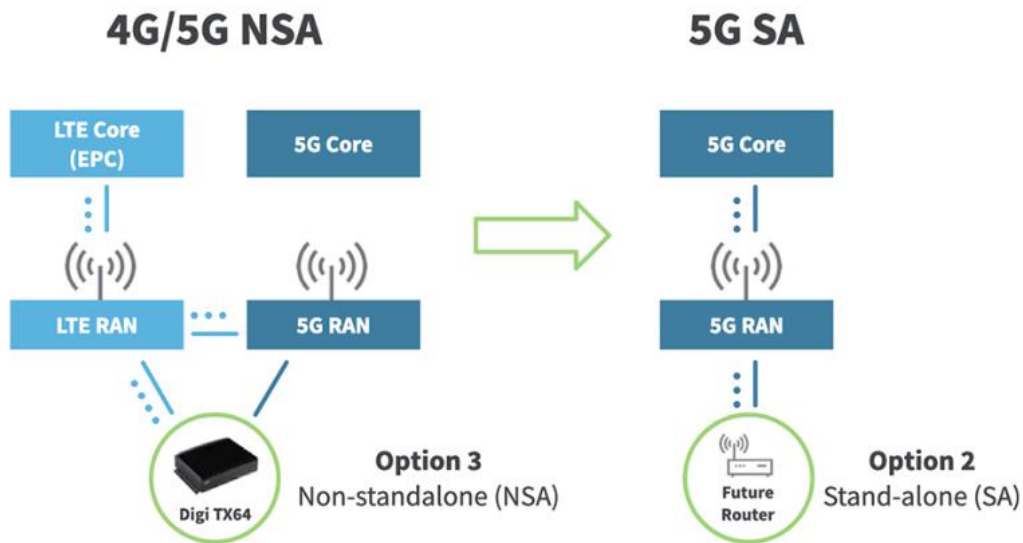


Figura 4. Arquitectura 5G (<https://es.digi.com/blog/post/5g-network-architecture>)

ÁREA DE COBERTURA DE CELDA

La red celular teóricamente hablando, las celdas pertenecen a áreas hexagonales, que están conectadas a centrales telefónicas que se conectan a la red, pero en la práctica el área de cobertura de una celda va a depender de diferentes factores como el perfil de elevación del terreno, la ubicación de la antena (sí está orientada a cubrir una zona exterior, interior o ambos), la altura de la antena, el área orientada a cubrir (urbano o rural) y las construcciones y obstáculos que puedan interferir.

A la hora de diseñar las antenas a desplegar hay que tener presente que, en las zonas urbanas, la propagación de señal se va a ver alterada por la reflexión, difracción y atenuación ocasionada por las construcciones del entorno, el terreno y demás obstáculos presentes en las ciudades, por estas razones el área de cobertura de los nodos de telefonía móvil en área urbana es mucho menor que en una zona rural donde no hay abundancia de edificios, ni densidad de construcciones en pequeñas áreas.

Por otro lado, una estación base puede soportar un número de conexiones/llamadas simultáneas, este número puede depender de las configuraciones físicas y lógicas de la estación, es decir, frecuencias desplegadas y capacidad de la estación, sin embargo, la limitación de las estaciones puede ser un factor crítico en zonas urbanas con alta densidad de población, por este motivo es necesario instalar un número mayor de estaciones base en áreas urbanas que en zonas rurales, desplegando simultáneamente un número mayor de frecuencias en las estaciones bases de las áreas urbanas para poder satisfacer la demanda de las necesidades de estas áreas.

Así mismo, también hay que diferenciar dos tipos de estaciones base dependiendo del entorno arquitectónico en el que se despliegan. Por un lado, encontramos los “emplazamientos urbanos”, estos son emplazamientos instalados en las azoteas de edificios debido a que deben ofrecer cobertura a zonas muy densas con altos edificios y para cubrir estas necesidades sería imposible instalar una torre de semejante altura. Por otro lado, se encuentran los “emplazamientos de entorno rural” los cuales se instalan en zonas donde no existen

construcciones de alta altura y para asegurar la cobertura en la zona es necesario instalarlos en torres.

A grandes rasgos las estaciones base instaladas por necesidad de alta capacidad, se encuentran habitualmente en núcleos de población de más de 50.000 habitantes y además de satisfacer las necesidades de capacidad ayudan a reforzar la cobertura de la zona, con esto también se logra mayor penetración en interiores al no ocasionar congestión y poder radiar a potencias mayores.

También es importante mencionar que existen un tipo de emplazamiento adicional denominados “emplazamiento macrocelular” que se suelen ubicar tanto en entornos urbanos como rurales y que se tratan de ubicar en lugares predominantes en el entorno como apoyo de cobertura y también se encuentran los “emplazamiento microcelulares”, estos orientados a garantizar la cobertura a un área muy reducida y delimitada como puede ser el interior de un edificio, centro comercial, etc.

Desde un punto de vista más técnico, a la hora de ubicar una estación base de telefonía móvil se deben tener en cuenta y cumplir una serie de requisitos, que se van a detallar a continuación:

- Se debe instalar en una ubicación dominante en la zona, es decir, que tenga la máxima visibilidad posible y sea dominante frente al resto del entorno para asegurar la máxima cobertura posible con la menor potencia requerida, por este motivo se suelen ubicar los edificios y estructuras altas en zonas urbanas y en zonas rurales, en ubicaciones donde el perfil de terreno sea más alto frente al área de cobertura que se quiera cubrir.
- En la ubicación que se estime instalar, se tiene que poder ubicar una caseta para la colocación de equipos y hardware necesario. En las zonas urbanas, estas casetas se suelen colocar en las azoteas de los edificios donde se instalan las antenas y en las zonas rurales, ubicadas en el entorno cercano a la torre.
- La estructura de la estación base debe permitir la instalación de mástiles y soportes para la colocación de los paneles radiantes (antenas) garantizando una alta seguridad en el entorno de la instalación y así evitar derrumbamientos por una mala instalación o en situaciones meteorológicas críticas.
- La antena debe estar lo más cerca posible de la zona a la cual se quiere dar cobertura. Ya que cuanto más cerca se encuentre de la zona objetivo de cubrir, la potencia requerida para transmitir será menor.

En función de todos los factores anteriormente mencionados, se debe realizar una correcta elección de las frecuencias utilizadas en la antena. Las frecuencias bajas, tienden a penetrar mejor ante obstáculos y las frecuencias altas están orientadas a dar cobertura a zonas donde la penetración no tenga que ser muy alta. Sin embargo, las frecuencias altas tienen una mayor capacidad y por lo tanto soportan un mayor número de usuarios sin congestionar que las frecuencias bajas.

En España se utilizan las frecuencias bajas de 900 MHz para el 2G y 3G, 800 MHz para 4G y la frecuencia de 700 MHz para el despliegue 5G, estas frecuencias se utilizan para cubrir zonas donde se necesite mayor penetración o zonas donde el área de cobertura de la antena deba ser muy amplia con la penalización de que estas frecuencias tienen una capacidad menor.

Para frecuencias altas se utilizan para 2G y 4G la frecuencia de 1800 MHz y para 3G y 4G la frecuencia de 2100 MHz, también se está utilizando actualmente la frecuencia de 2600 MHz

para 4G y la frecuencia de 3500 MHz para el despliegue 5G, estas últimas frecuencias disponen de una capacidad (ancho de banda) mucho mayor que las frecuencias bajas y normalmente se despliegan con la finalidad de dar cobertura a un alto número de usuarios en un área reducida.

	800 MHz 4G banda 20	900 MHz 2G/3G banda 8	1800 MHz 2G/4G banda 3	2100 MHz 3G banda 1	2600 MHz 4G banda 7	3500 MHz 5G banda 42
Movistar	10 MHz	14,8 MHz	20 MHz	15 MHz FDD 5 MHz TDD	20 MHz	90 MHz
Vodafone	10 MHz	10 MHz	20 MHz	15 MHz FDD 5 MHz TDD	20 MHz FDD 20 MHz TDD	90 MHz
Orange	10 MHz	10 MHz	20 MHz	15 MHz FDD 5 MHz TDD	20 MHz	100 MHz
MásMóvil			14,8 MHz	15 MHz FDD 5 MHz TDD	10 MHz TDD (autonómicos)	80 MHz

Figura 1. Frecuencias asignadas a operadores españoles.

TILT ELÉCTRICO Y MECÁNICO DE CELDA

Para que una red celular sea eficiente, depende directamente de una correcta configuración y adaptación del sistema radiante, es decir, sus antenas de transmisión y recepción. Un factor clave para la optimización de la cobertura que ofrece una estación base es un correcto ajuste de tilt en esta.

El tilt de una antena es la inclinación o ángulo de la antena con respecto al eje vertical, mediante el tilt se ajusta la radiación y se enfoca la potencia en el área de cobertura deseado. Cuando el panel de la antena se inclina hacia abajo, se llama 'downtilt' y si la inclinación se realiza hacia arriba se llama 'uptilt'. También hay que tener en cuenta el ángulo horizontal, conocido como azimut, este ángulo viene dado de diseño, pero también influye en el área de cobertura de la celda.

Existen dos tipos de tilt en las antenas, el tilt eléctrico y el tilt mecánico.

- **El tilt mecánico:** consiste en la inclinación directa de la antena, esto conlleva a modificar el tilt en todas las frecuencias instaladas en la antena. Mediante el tilt mecánico se modifica el diagrama y consecuentemente la dirección de propagación de la señal, sin cambiar la fase de la señal de entrada por lo que el área de cobertura se ve impactado en la dirección central pero el área de cobertura en las direcciones laterales es mayor.

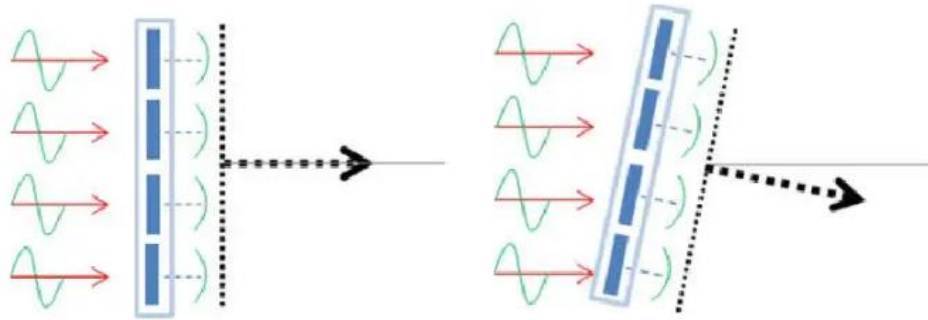


Figura 2. Movimiento de tilt en antena

- **El tilt eléctrico:** es el encargado de que el área de cobertura se vea modificada uniformemente en la dirección del azimut de la antena, es decir, la ganancia se ve modificada de manera uniforme al modificar las características de la fase de señal de cada elemento de la antena, en este caso la modificación del patrón de radiación de la antena varía notablemente. Mediante el tilt eléctrico, se puede modificar una o varias de las frecuencias de la antena. EL tilt eléctrico se modifica a través de una varilla en local en antena o de forma remota mediante un motor llamado RET (Remote Electrical Tilt), este motor se encuentra conectado al regulador de tornillo y hace la función de ajuste de tilt. Esta segunda opción mencionada es la más eficiente y flexible a la hora de optimizar la antena, puesto que, en cuestión de segundos sin necesidad de acudir un técnico en local, se puede modificar el tilt de la antena, sin embargo, es una solución más cara en cuanto a términos de diseño de antena.



Figura 3. Descripción de tilt eléctrico y mecánico

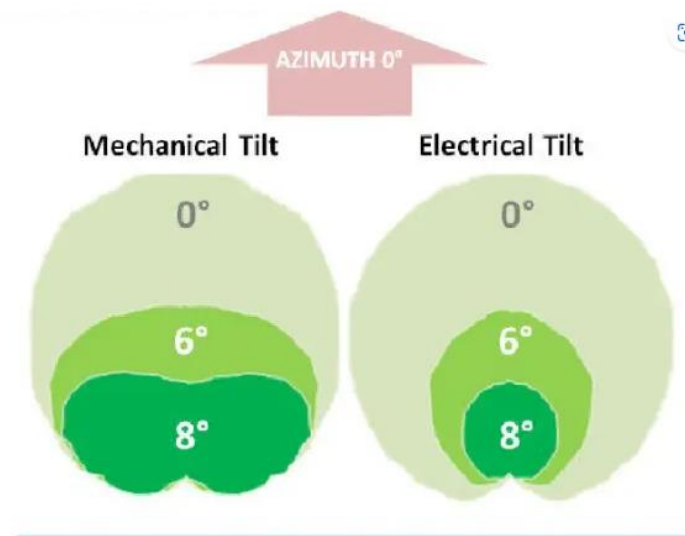


Figura 4. Efecto de tilt eléctrico y mecánico

Por último, se va a tratar en este apartado como obtener un valor adecuado de tilt en función del área de cobertura a cubrir, para ello se debe tener en cuenta la altura de la antena y la distancia a la que se quiere alcanzar a cubrir, mediante el arco tangente de ambas medidas se obtienen los grados de tilt a los que se debe configurar la antena, en la siguiente figura se puede ver de forma gráfica lo descrito:

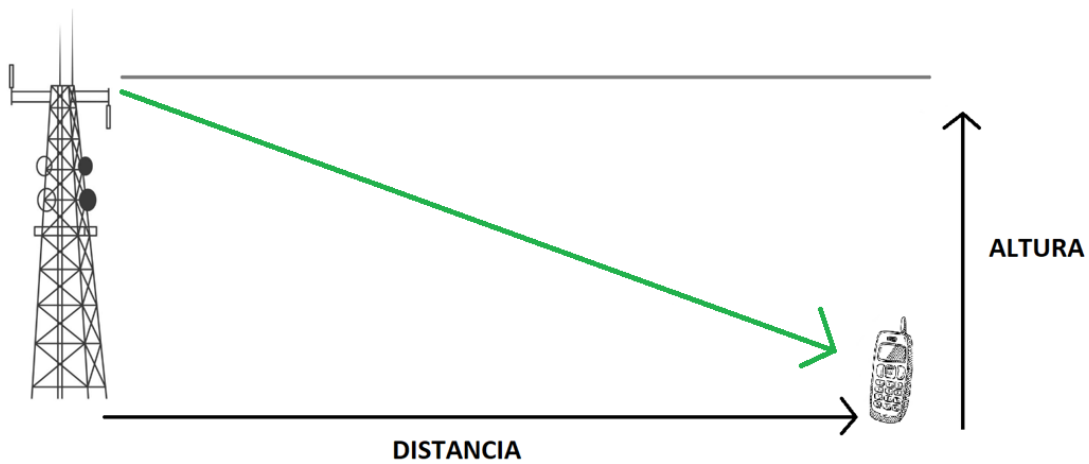


Figura 9. Ángulo de tilt para área de cobertura

$$\text{ÁNGULO (DE TILT)} = \text{ARCTAN} \left(\frac{\text{ALTURA}}{\text{DISTANCIA}} \right)$$

KPIS DE RED

En este apartado se van a analizar los distintos KPIs asociados al comportamiento de una estación base, visualizando distintos impactos en la red y usuarios conectados a ella.

RUIDO/INTERFERENCIA

Habitualmente las antenas se pueden ver afectadas por dos tipos de ruido, por un lado, el ruido interno que se puede generar en la propia antena debido a un problema de hardware (conectores estropeados, desviación de paneles, etc), fallas en la integración o incluso problemas en el sistema radiante de la antena y, por otro lado, el ruido externo, asociado a interferencias externas del entorno, que pueden ser ocasionados por otros dispositivos como amplificadores de señal, equiposexternos, etc. Aunque también hay que destacar que el ruido se puede ver incrementado por un exceso de tráfico en la celda.

Dependiendo del tipo de tecnología se mide un parámetro distinto:

- Para el 2G, el ruido se mide mediante el ICMBand (Idle Channel Measurement Band), este parámetro mide el porcentaje de ruido en cada una de las bandas, si el ruido se encuentra en la banda 1 o 2, es un ruido aceptable en la antena y no ocasionaría impacto en el servicio, sin embargo, si el ruido se encuentra en la banda 3 o superiores, sería necesario revisar el ruido para mitigarlo.
- Para el 3G, se mide mediante el parámetro RTWP (Received Total Wideband Power), los umbrales de afectación suelen ser estipulado por cada uno de los operadores, pero habitualmente ronda -95/-100 dBm, es decir, si el ruido es inferior a este valor, sería un valor de ruido aceptable, pero si es superior puede comenzar a impactar en el servicio del usuario.
- Para el 4G y 5G, el ruido se mide mediante el RSSI (Received Signal Strength Indicator), el umbral de afectación de este parámetro, al igual que en 3G, lo estipula el operador, pero suele establecerse en torno a -110 / -115 dBm, cuando valor de ruido es superior a este valor, el servicio que se ofrece y performance de la antena se puede ver afectado.

Finalmente se puede concluir, que un valor de interferencia alto puede ocasionar que el nivel de señal y calidad que ofrece una celda se vea degradado, rechazando nuevos establecimientos de conexiones/llamadas y ocasionando caídas de conexiones/llamadas en curso, un impacto habitual en usuarios que conectan a una celda con problemas de RSSI es escucha robótica de la voz en el destino.

La expresión de RSSI es la siguiente:

$$RSSI (dBm) = RSCP (dBm) - \frac{E_c}{I_o}$$

Siendo E_c/I_o (dB) la relación de energía por chip respecto al nivel de interferencia, que representa el nivel de cobertura de la celda.

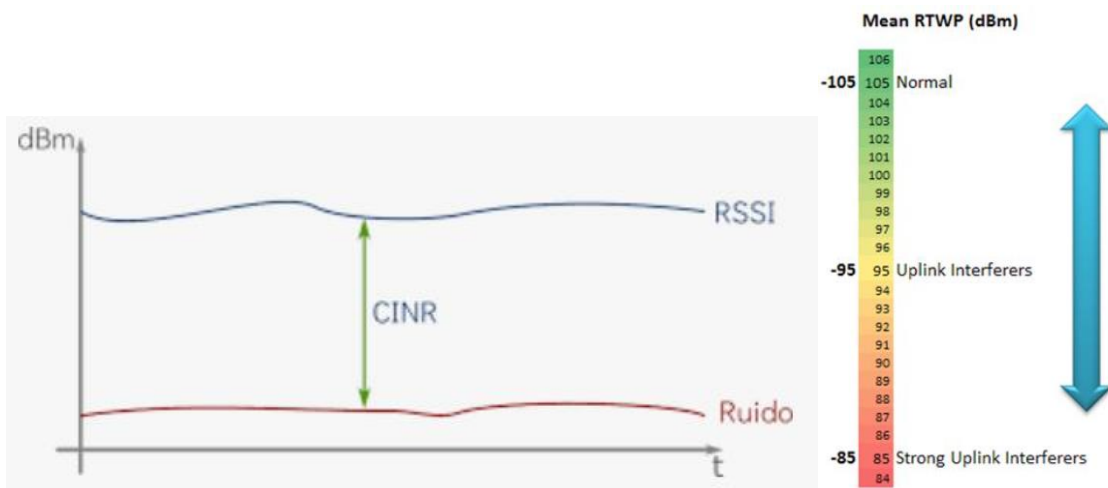


Figura 5. RSSI e impacto

PROBLEMAS DE HARDWARE

Las antenas pueden tener problemas de hardware que suelen afectar gravemente al performance y servicio que ofrece la antena. Los problemas de hardware más habituales se van a detallar a continuación:

-Problemas de alimentación: pueden ser ocasionados por problemas de baterías, conectores en mal estado, desconexión de cableado entre otros. Cuando una antena presenta problemas de alimentación suele quedar indisponible en su totalidad o presentar indisponibilidad de forma intermitente, en estos tramos de caídas, los dispositivos no podrán establecer conexiones a la antena afecta y las conexiones en curso en dicha antena se perderán.

-Problemas de temperatura: suelen ocasionarse por problemas en los equipos de ventilación instalados en la estación base y son más comunes en épocas de calor, cuando la temperatura de la estación supera los 63 grados, su rendimiento y funcionamiento se puede ver afectado e incluso la antena pueda llegar a quedar indisponible.

-Problemas en la radio (RRU, BBUS): La Unidad de Banda Base (BBU) constituye un eNodeB junto con una Unidad de Radio Remota (RRU). Realiza el servicio de procesamiento, así como la operación, mantenimiento y control del sistema. Cada RRU incluye un circuito independiente de transmisión y recepción. Cuando se recibe una señal de una antena cercana, se filtra, se amplifica y se convierte a un formato digital antes de enrutarse a la BBU a través de fibra óptica, de forma que si este módulo falla el impacto en la señal radiada es grave ocasionando problemas de calidad y caídas en el servicio del usuario.

- Relacionado con el punto anterior, se va a mencionar el **problema de ROE (Relación de Ondas Estacionarias)** además de la conexión por fibra óptica, para hacer la conversión a la señal a radio-frecuencia existe un cable coaxial que es el encargado de enviar la señal de radio hacia las antenas de la torre y su conexión se debe realizar de forma rigurosa ya que de ello depende el correcto funcionamiento del nodo y para ello se mide el ROE (Relación de Onda Estacionaria),

este parámetro relaciona la tensión máxima y mínima en la línea, midiendo la adaptación de impedancia relativa de una antena y de su línea de alimentación y definiendo así la calidad de una antena desde el punto de vista de la señal transmitida.

El umbral de ROE estipulado es 1.5, si el valor de ROE es mayor, esto nos indica que existe un problema en la conexión del cable coaxial y normalmente es necesario mandar un técnico en local para revisarlo.

-Problemas en el TMA: El amplificador montado en torre (TMA), se trata de un elemento que se instala con el fin de mejorar la sensibilidad del enlace ascendente y, por lo tanto, mejorar el rendimiento general de la antena. Generalmente se instala en la parte superior de la torre, lo más cerca posible de la antena receptora, intentando reducir la figura de ruido y el área de señal débil. Este elemento se estropea, descendiendo el nivel de calidad de señal que ofrecen las antenas y es habitual que las llamadas se escuchen con interferencia o se caigan cuando un cliente trate de conectar a la antena afecta.

TRANSMISIÓN

El medio de transmisión de señal es el camino físico entre el transmisor y el receptor. Cualquier medio físico que pueda transportar información en forma de señales electromagnéticas se puede utilizar en las redes de datos como un medio de transmisión. El medio físico se puede ver condicionado por distintos factores como son la distancia, velocidad de transferencia, topología y el método de acceso.

Para cobertura móvil existen dos escenarios habituales como medios de transmisión:

- Conexión de una o varias fibras ópticas como líneas dedicadas en la estación base cuando hay cobertura por dicho medio de transmisión hacia una central telefónica.
- En las zonas de baja densidad urbana o existen dificultades para instalar una línea dedicada, se suele llevar a cabo la utilización de radioenlaces, los cuales suministran los enlaces de transmisión necesarios para establecer la comunicación entre la estación base y la central de conmutación.

De forma habitual, cada estación base suele tener instalado un radioenlace, con como mínimo un enlace digital PDH de 2 Mbits/seg, desde este radioenlace se realiza la gestión y por otros enlaces adicionales se lleva el tráfico desde la estación base a otras estaciones base que a su vez van a transmitir mediante otros enlaces a otras estaciones base.

En un radioenlace de Transmisión, pueden existir diversos problemas que pueden ocasionar fallas en la transmisión de información a través de las líneas, como pueden ser:

-Pérdida de potencia en la línea: La pérdida total de potencia en una línea de transmisión se conoce como atenuación y se especifica en unidades de decibelio por metro o neperio por metro. La atenuación generalmente depende de la frecuencia de la señal. Los causantes de la atenuación son componentes de medios pasivos de hardware, como cables, empalmes de cable y conectores. Aunque la atenuación es mucho menor en la fibra óptica que en otros medios, igual se produce tanto en la transmisión de multimodo como en la de monomodo.

- **Congestión y latencia:** la principal causa de congestión en una línea es la limitación de capacidad, esto ocasiona demoras en el envío desde la emisión y el descifrado por el receptor, es decir, una función del tiempo que tarda en enviarse la señal y el tiempo de procesamiento en

los nodos de la información que atraviesa la línea. Existen otros factores que pueden ocasionar congestión y alta latencia en las líneas de transmisión como puede ser la caída de alguna línea principal o secundaria y la señal tenga que cambiar su ruta pasando por otra línea y ocasionando congestión en esta.

- **Jitter**: es la variación en el tiempo de llegada al receptor de la información transmitida por la línea.

- **Tasa de error**: es el número de bits que se transmiten corruptos y se expresa como la fracción del total enviado.

- **Pérdida de paquetes**: Cuando uno o más paquetes de datos no llegan a su destino, se denomina pérdida de paquetes. Este fenómeno ocurre principalmente debido a la congestión de la red, pero también puede desencadenarse por errores de transmisión de datos o hardware defectuoso.

Teniendo cuenta los factores anteriores, para que la cobertura recibida por los usuarios sea correcta es importante que no exista pérdida de paquetes y la latencia, tasa de error y Jitter sea lo menor posible, para ello hay que garantizar que las líneas no se encuentren saturadas y el hardware esté en correcto estado. En la tabla que se muestra a continuación se pueden ver los valores que deben tener cada uno de los parámetros anteriormente mencionados para que el funcionamiento de la red sea eficiente:

PARÁMETRO DE CALIDAD	VALOR ÓPTIMO
Latencia	Inferior a 150 ms
Jitter	Inferior a 100 ms
Pérdida de paquetes	Inferior al 1%

Tabla 10. Valores óptimos de parámetros de transmisión es una estación base

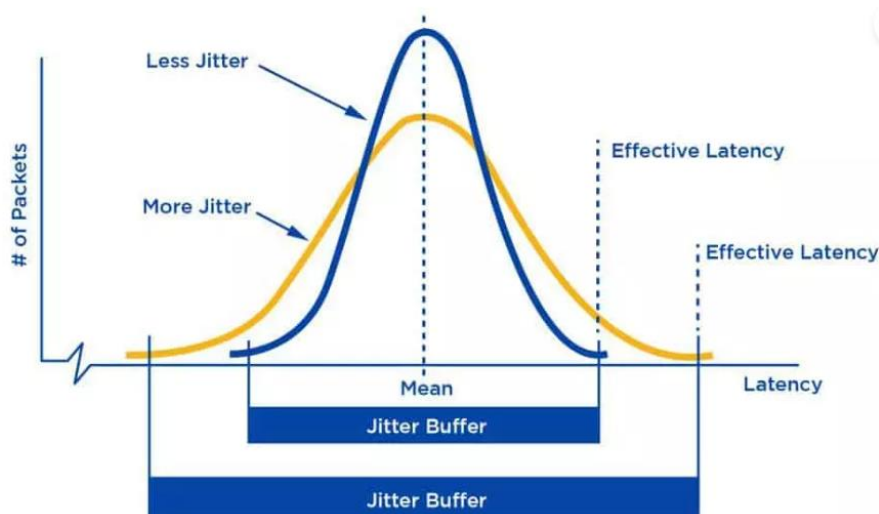


Figura 6. Kpis de transmisión

INDISPONIBILIDADES

La indisponibilidad mide el tiempo que una estación base se encuentra indisponible, puede quedar indisponible la estación base o alguna celda concreta de esta, de forma que cuando un usuario intente acceder a esta estación la conexión caerá ya que no logrará hacerlo con éxito.

La calidad de disponibilidad expresa la aptitud de un sistema para hacer uso de este cuando un usuario quiere acceder a la red. Las indisponibilidades pueden ser ocasionadas por diversas causas:

- Fallos o averías en equipos hardware: cualquiera de los factores comentados en el punto anterior de incidencias de hardware puede ocasionar problemas de indisponibilidades en el nodo, principalmente, fallos en el cableado, problemas en las radios y problemas de alimentación o temperatura en la estación. Se suele medir como el MTBF (tiempo medio entre fallos) y el MTTR (tiempo medio de reparación).
- Por meteorologías: la lluvia y el viento son dos factores que impactan en la comunicación inalámbrica por encima de los 5-10 GHz, esto es debido que la señal se propaga por el aire, este fenómeno también ocasiona atenuación de la señal en el radioenlace debido a los fenómenos de polarización, dispersión y absorción.
- Caídas asociadas a problemas de Transmisión: suelen identificarse mediante alarmas de pérdida de paquetes en la estación, se debe confirmar si se trata de un fallo de hardware en la transmisión o si existe congestión severa en la interfaz para valorar la solución y recuperación de la estación, en caso de tratarse de problemas de congestión, las acciones serían una ampliación de capacidad, pero este punto debe ser contemplado previamente en la fase de planificación de la integración.

Hay que destacar que en la banda de frecuencias de 3G 2100MHz, los fenómenos naturales repercuten en menor medida en la propagación, por lo que la componente de indisponibilidad que más repercusión puede ocasionar es la de fallos por hardware. La tecnología actual ofrece material con un tiempo medio entre fallos muy alto, es decir, la vida útil de los equipos es muy alta y la probabilidad de fallos muy baja, por lo que pueden garantizar valores de disponibilidad de estación base en torno al 99,95% o incluso mejores.

El problema de indisponibilidad es de mayor gravedad en zonas de áreas rurales que en áreas urbanas, habitualmente cuando un nodo de un entorno rural queda indisponible se pierde la cobertura por completo en la zona, sin embargo, cuando un nodo cae en un entorno urbano, es posible que las estaciones base vecinas comiencen a congestionar, pero no se va a perder la cobertura total al haber vecinas que puedan soportar las conexiones de los usuarios del entorno.

CSSR

El término CSSR hace referencia a las siglas “Call Setup Success Rate”, esto quiere decir, el porcentaje de éxito de establecimiento de una llamada y está ligado con bloqueos, el tráfico y la congestión de una celda principalmente, que se mide en fallos, aunque puede haber factores adicionales que impacten en este porcentaje de éxito como pueden ser indisponibilidades, problemas de Transmisión, entre otros.

En conclusión, se puede decir que este parámetro mide la accesibilidad a una celda tanto a nivel de voz como a nivel de datos, a nivel de voz (CSSR CS) correspondería a las llamadas establecidas con éxito y a nivel de datos (CSSR PS) a las conexiones establecidas con éxito, es decir:

$$CSSR\ CS\ (\%) = \frac{N^{\circ}\ de\ llamadas\ establecidas}{N^{\circ}\ de\ intentos\ de\ llamadas}$$

$$CSSR\ PS\ (\%) = \frac{N^{\circ}\ de\ conexiones\ establecidas}{N^{\circ}\ de\ intentos\ de\ conexiones}$$

El porcentaje de éxito de accesibilidad de voz y datos debe estar por encima de un 99.25 % o 99.5% para asegurar un funcionamiento correcto en la celda asociada, aunque debemos tener en cuenta que la accesibilidad de voz es más restrictiva porque afecta en mayor medida una pérdida de establecimiento de una llamada que una pérdida de un paquete de datos en cuanto a la percepción del usuario.

A continuación, se va a analizar qué tipo de fallos pueden ocasionar un problema de accesibilidad en una celda:

- **Fallos por tráfico:** un aumento de tráfico en una celda consecuentemente va a llevar asociado un aumento de fallos en esta, en este caso se debe verificar si el aumento de fallos conlleva una degradación de accesibilidad o simplemente es algo proporcional al tráfico cursado, para descartar con ello si está habiendo un impacto en el servicio de los usuarios.
- **Fallos por congestión:** en caso de que el aumento de tráfico sea muy relevante, puede ocasionar problemas de congestión en la celda. Existen dos principales causas de congestión en una celda, por potencia y por CE (Channel Elements), la primera de ellas nos informaría de que el hardware de la celda no puede dar más potencia y ha congestionado, en tal caso se podría valorar reducir la potencia para evitar la congestión y en caso de congestión por CE, sería un indicativo de un problema de congestión porque la celda no tiene más canales disponibles para ofrecer servicio debido a que está cursando un tráfico superior que para el que está dimensionada.
- **Fallos por hardware:** un problema en el hardware del nodo puede ocasionar un incremento de fallos que afecten a la accesibilidad, los principales problemas de hardware suelen estar en incidencias en las RRU, problemas de ROE en las bocas de antena y problemas de alarmas de TMA.

- **Fallos por interferencia:** un problema de ruido en la antena como ya se ha mencionado antes puede ocasionar que una celda quede “sorda” si la afectación es grave, en tal caso todos los intentos que se traten de realizar a la celda afectada resultaran vacíos y la accesibilidad será nula con un porcentaje de fallos igual al de intentos a dicha celda.
- **Por terminal:** en ocasiones, hay terminales que no funcionan correctamente e intentan realizar múltiples intentos a una celda que resultan fallidos por temas ajenos a la red. Para esta casuística, existen herramientas que, en caso de que no se encuentren incidencias en red asociadas a la degradación, se debe hacer uso de ellas para determinar si ese aumento de fallos lo ocasiona algún terminal concreto.

DCR

El termino DCR hace referencia a las siglas “Drop Call Rate”, este parámetro mide el número de caídas que se producen en una celda, a nivel de conexiones de datos o llamadas de voz, al igual que se ha comentado para el parámetro de CSSR, el DCR es mucho más determinante en las conexiones de voz que en las conexiones de datos, puesto que cada caída de voz implica una llamada de un usuario perdida. El DCR viene definido por la siguiente formula:

$$DCR\ CS\ (\%) = \frac{N^{\circ}\ de\ llamadas\ caídas}{N^{\circ}\ de\ llamadas\ establecidas}$$

$$DCR\ PS\ (\%) = \frac{N^{\circ}\ de\ conexiones\ caídas}{N^{\circ}\ de\ conexiones\ establecidas}$$

Un valor correcto de DCR, se estima por debajo de 0.8% en celda, es decir, un DCR por encima de este valor se considera un porcentaje de caídas muy elevado y sería necesario revisar el motivo de este incremento de caídas, existen múltiples casuísticas que pueden incrementar las caídas en un nodo, como pueden ser problemas de indisponibilidades, problemas de Transmisión, problemas de HO, vecindades degradadas, RSSI, problemas de hardware, etc.

HO y vecindades

Cuando un usuario/terminal se desplazan, es posible que durante el trascurso de la comunicación pasen de la zona de influencia de una estación a la de otra, es decir que cambie de celda, este traspaso de la conexión es lo que se llama handover.

El handover se mide en porcentaje de éxito, es decir un valor idealmente correcto sería 100% y los handover se pueden realizar entre distintas tecnologías, bandas de un mismo nodo o incluso

con nodos vecinos. Cuando se trata de conexiones de voz existen distinciones de HO en función del traspaso de la conexión entre tecnologías en el establecimiento o curso de la llamada.

Como ya se ha mencionado en puntos anteriores, en la actualidad existe el servicio VOLTE, pero hasta hace no mucho tiempo, los terminales solo disponían de 4G para datos y la voz se cursaba exclusivamente en 3G o 2G, es por ello, que los terminales cada vez que se deseaban establecer una conexión de voz, debían hacer un HO entre 4G y 3G o 2G, este HO se determina CSFB (Circuit Switched Fall Back) y consiste en un conjunto de procedimientos, definidos por normas tecnológicas que permiten a los EU conectados a la red LTE sin acceso al servicio VOLTE, acceder a servicios con conmutación de circuitos a través de un repliegue temporal del dominio de 4G hacia 3G y 2G con conmutación de circuitos, suponiendo cobertura simultánea en las tres tecnologías. Naturalmente, el CSFB sólo es posible cuando los usuarios tienen dispositivos de modo dual, es decir, que pueden funcionar tanto en redes LTS como UMTS o GSM.

En caso de que los dispositivos, dispongan de servicio VOLTE, si el curso de la llamada es correcto, se mantendrá en 4G pudiendo realizar un HO normal entre celdas 4G, pero en caso de que se pierda la señal 4G y el terminal pase a 3G esto se realizará mediante un HO SRVCC (Single Radio Voice Call Continuity), es un esquema que permite la tecnología de acceso interradieléctrico, la transferencia entre RAT y la transferencia de datos de paquetes a llamadas de voz de datos conmutadas por circuitos. Mediante el uso de SRVCC, los operadores pueden realizar las entregas manteniendo la calidad de servicio existente, QoS y también asegurando que la continuidad de la llamada cumpla con los requisitos críticos. Se requiere el traspaso de LTE a la red heredada cuando el usuario sale del área de cobertura LTE. Utilizando SRVCC, el traspaso se lleva a cabo en dos etapas.

- Acceso radioeléctrico Transferencia de tecnología: El traspaso para la red de acceso de radio y este es un protocolo bien establecido que está en uso para transferencias de 3G a 2G, por ejemplo.
- Transferencia de sesión: La transferencia de sesión es el nuevo elemento necesario para SRVCC. Es necesario mover el control de acceso y el anclaje de medios de voz del Evolved Packet Core, EPC de la red LTE con conmutación de paquetes a la red de conmutación de circuitos heredada.

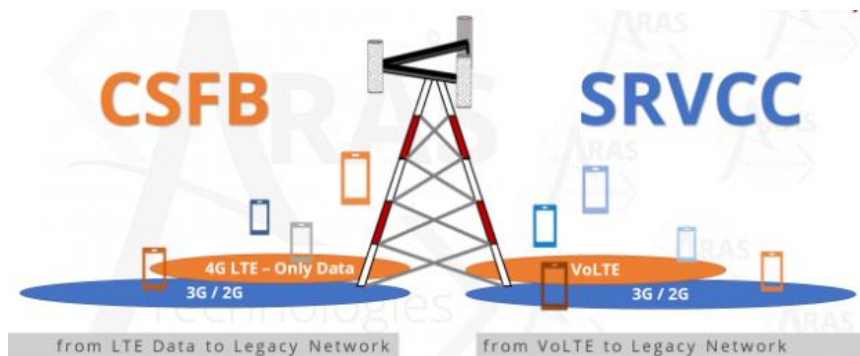


Figura 7. Comunicación por CSFB y SRVCC

Independientemente del HO que se realice entre las distintas tecnologías, existen dos tipos de handover dependiendo de la forma en la que se haga el traspaso entre celdas, los handover duros (hard-handover) y los blandos (soft-handover):

- Hard-Handover: se define como el salto de una celda a otra se realiza en un momento determinado sin que exista un periodo de transición en el que el terminal permanezca conectado a ambas celdas. Esto puede ocasionar inconvenientes de caída de conexión en el caso de que no se haya verificado la conexión y los parámetros de conexión antes de realizar el cambio.
- Soft-Handover: se produce cuando el móvil permanece conectado simultáneamente a la celda anterior y a la nueva hasta que la conexión ha avanzado lo suficiente dentro de la nueva celda como para que la señal adquirida por el terminal haya logrado la intensidad suficiente para mantener la conexión, entonces se procedería a la desconexión con celda inicial.

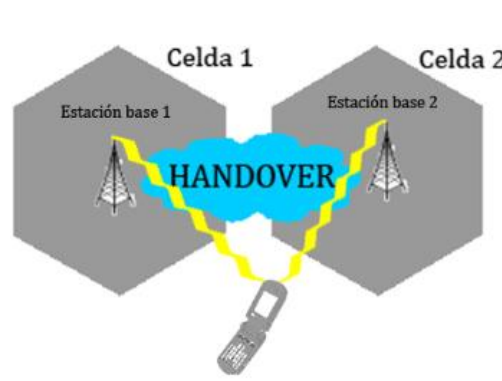


Figura 8. Realización de handover

Adicionalmente hay que destacar que el termino de handover está relacionado con las definiciones de vecindad en la red, es decir, si las relaciones de vecindad entre nodos son erróneas, en los intentos de HO se van a reproducir muchas caídas. Una celda debe tener definidas todas las celdas de su propio nodo y las celdas de nodos vecinos con los que tenga continuidad, es importante no definir vecindades lejanas ya que, si una celda trata de traspasarse a otra que está configurada erróneamente como vecindad, la conexión se perderá ocasionando un aumento de DCR en ambas celdas.

THROUGHPUT

El throughput o la tasa de transferencia efectiva, es la cantidad de datos que se pueden transmitir a través de una red en un momento específico, la forma habitual de medir esta tasa es mediante bits por segundo o paquetes de datos por segundo.

Mediante este parámetro se mide el rendimiento de la conexión a la red, existen algunos fenómenos que pueden reducir el rendimiento de la red, como pueden ser la pérdida de paquetes o errores durante la transmisión de los mensajes.

En las comunicaciones móviles, el espectro del que dispone cada una de las operadoras es limitada y se encuentra distribuido en diferentes bandas de frecuencia, esto conlleva a que solo permita a un número de usuarios conectados simultáneamente y en caso de superarlo se producirá congestión en la red, repercutiendo en velocidades de navegación muy bajas e incluso problemas de acceso a la red.

Un objetivo muy importante a la hora de analizar el throughput se encuentra relacionado con la calidad en la red, esta juega un papel muy importante a la hora de evaluar la eficiencia de red en instantes en los que se requiere de alta calidad de servicio como puede ser en una conexión Streaming, visualización de video, descarga de audio, etc.

Como se ha mencionado el throughput va ligado con el espectro del que se disponga, es decir, del ancho de banda. El ancho de banda mide la capacidad máxima de un enlace para transmitir datos a través de una conexión de red en un periodo de tiempo. Cabe destacar que cuanto mayor ancho de banda se disponga en una red, más alto será el throughput y mayor será el rendimiento de esta.

Los principales factores que pueden afectar al Throughput son los siguientes:

- Velocidad de transmisión, mide el tiempo que un terminal tarda en ubicar en paquete a enviar en la línea de transmisión. En este sentido, la velocidad de transferencia entonces se desglosa en dos conceptos: la Tasa de Bits Variable (VBR), en este caso, la medición no es uniforme sino que se realiza una diferencia entre las zonas de menor o mayor densidad, siendo entonces una cantidad mucho más precisa y Tasa de Bits Constante (CBR): La cantidad de datos enviados es uniforme, por lo que no se tienen en cuenta los factores anteriormente mencionados, ni la densidad de información que es enviada en uno u otro momento
- Latencia, el tiempo que tarda un paquete en ser transmitido por una red, es por ello por lo que la latencia es un factor crítico que afecta a la conexión ya que es lo que determina el tiempo que tarda en cargarse una página, en enviarse un correo electrónico, o en ejecutarse una acción en un videojuego en línea. Se mide mediante el “ping” que representa en milisegundos la demora en transmitir los paquetes de información a través de la red. Que la latencia sea mayor o menos depende de tres factores principales. El primero de ellos es la tecnología que usamos para acceder a Internet, la capacidad de la red para soportar usuarios y los obstáculos que se puedan presentar en la comunicación.
- Congestión: cuando la red cursa más tráfico del que puede soportar, los paquetes se demoran en la recepción, se puede perder paquetes e incluso se pueden bloquear nuevas conexiones a la red, impidiendo que el tráfico fluya con normalidad en esta, asociado a esto se produce un descenso de Throughput en los usuarios que sí permanezcan en la red.
- Errores en la transmisión y pérdida de paquetes, implican una reducción del throughput debido a que en consecuencia a los errores y pérdidas de paquetes es necesario retransmitir la información errada o perdida.

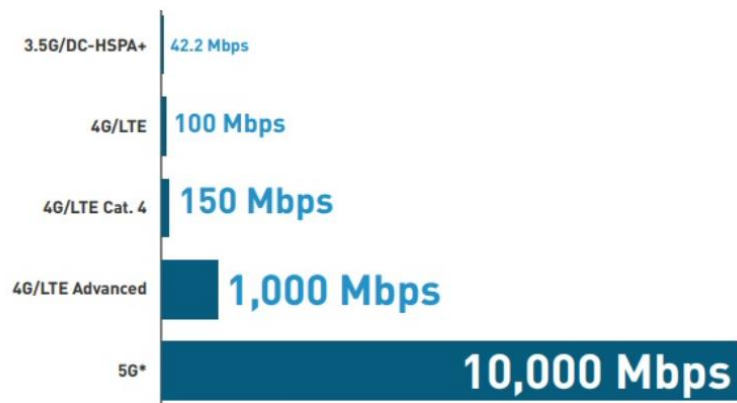


Figura 9. Throughput en función de tecnologías

PRBS

El PRB (*Physical Resource Block*) es la unidad mínima de recursos de radio que se le puede asignar a un usuario. La capacidad de PRB de una portadora LTE está relacionada directamente con el ancho de banda de esta y cuanto mayor es la capacidad de PRBs, mayor es la velocidad de datos que puede alcanzar usuario.

En las estaciones base es muy importante el balance del uso de PRBs cuando existe multi-portadora, la optimización de una red debe ser constante para sacar máximo partido a los recursos disponibles y existe una amplia variedad de ajustes mediante los cuales se puede conseguir mejorar la experiencia de usuario de una forma eficiente.

Una correcta optimización del uso de PRBs en multi-portadora puede favorecer a diferentes factores en la comunicación red-usuario como es el equilibrio entre el uso de los recursos físicos de la red y el uso de bandas, mejorar la experiencia de usuario, maximizar el uso de la investigación realizada en la red, optimizar el proceso de handover entre bandas y entre celdas de una misma estación base y lograr cubrir una mayor cantidad de usuarios sin desmejorar la calidad del servicio.

Los PRBs habitualmente se miden un porcentaje de 0% a 100%, en este baremo un 100% nos indica saturación extrema en la red y este KPI eleva su porcentaje si aumenta el tráfico cursado en la celda y se comporta de manera inversa al TPUT ofrecido por la celda, es decir, si la carga de PRBs aumenta es porque el nodo está soportando un número mayor de conexiones y por lo tanto el Throughput del que dispondrán los usuarios será menor.

MIMO

El KPI MIMO significa Multiple-Input Multiple-Output, se trata de una tecnología que ayuda a mejorar las redes inalámbricas ya que permite una mayor cobertura debido a que se emiten varias señales de forma simultánea sin ocupar recursos de espectro adicionales.

Las antenas MIMO permiten acceder a un mayor bando de ancha para obtener altas velocidades de conexión. Esta tecnología cuenta con la capacidad de orientar sus haces hacia una gran multitud de usuarios en movimiento gracias a la arquitectura multifocal que presenta, con la ventaja de dirigir mejor la señal hacia el usuario mejorando considerablemente la calidad de señal hacia el usuario.

Dos de los fundamentos del MIMO son la diversidad espacial, utilizada para realizar una optimización entre la señal y el ruido para hacer más fiable el sistema y la multiplexación espacial, que su función es aumentar la capacidad de envío de datos de forma simultánea desde varias antenas para llegar a un mismo destino, esto se logra mediante el desfase de señal. Además, no es necesario que la señal llegue al usuario de forma directa, sino que también puede recibirse tras rebotar en cualquier obstáculo del entorno, sin esta tecnología la señal podría rebotar y perderse sin llegar al terminal de destino.

Cuando se recibe por el receptor varias versiones de una misma señal, se reducen las posibilidades de fallos durante la transmisión y por ello tener cierta diversidad es importante para estabilizar los enlaces entre los emisores y los receptores al mismo tiempo que mejora el rendimiento y reduce las tasas de error.

Existen dos técnicas de MIMO,

- Single-user MIMO, en la que la comunicación se puede hacer con un terminal a la vez y todos los flujos de datos disponibles los recibe este.
- Multi-user MIMO, se trata de una tecnología multiusuario la cual cobra gran importancia en el ámbito de las comunicaciones inalámbricas, permite la comunicación con múltiples terminales de forma simultánea, empleando al máximo los recursos espaciales y mejorando el rendimiento inalámbrico. Sus principales ventajas son el aumento del rendimiento de una red y la utilización de espectro y el cumplimiento con los requisitos de las aplicaciones que consumen mucho ancho de banda.

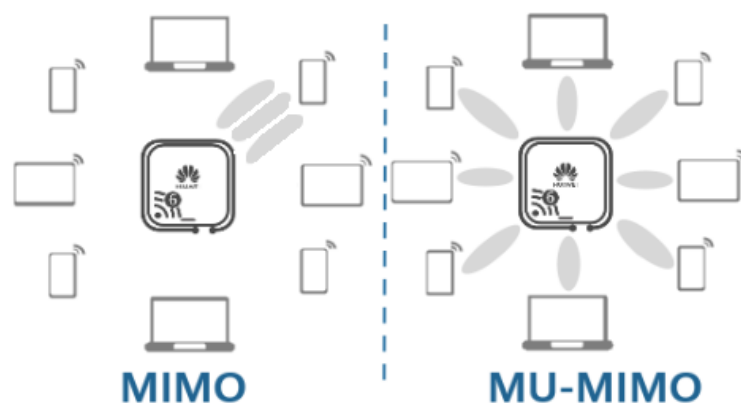


Figura 10. Arquitectura de MIMO y MULTI-MIMO

Esta tecnología MIMO surgió para ofrecer una mejora considerable en cuanto a la velocidad de transferencia y una cobertura y capacidad mayor de usuarios conectados con una mayor estabilidad, haciendo posible maximizar el Throughput por la multiplexación espacial y conseguir mejor nivel en borde de celda debido a la diversidad espacial. Para que el MIMO de una celda 4G sea aceptable, debe encontrarse por encima del 30%.

Se puede observar en la figura 17, como el nodo que queda totalmente indisponible desde el día 30/03, consecuentemente desde su indisponibilidad total, pierde todo el tráfico cursado y asociado a la caída deja de mostrar estadísticas de Accesibilidad y drop call rate como se puede ver en las imágenes de la figura 18, por lo tanto, cuando se puede concluir que cuando un nodo queda indisponible totalmente, ningún usuario podrá intentar conectar a este.

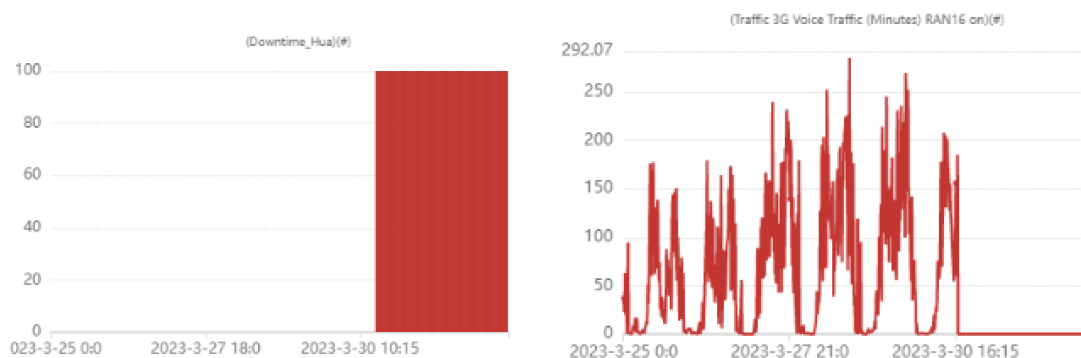


Figura 12. Indisponibilidades y tráfico del nodo caído.

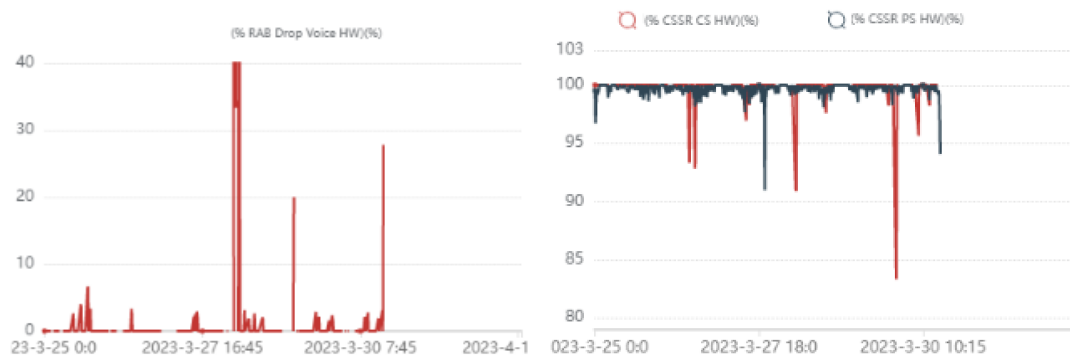


Figura 13. Drop Call Rate y Accesibilidad del nodo caído

En las estadísticas de la figura 18, se puede observar un indicativo de que este nodo ya presentaba problemas previos a la caída ya que como se puede ver en las imágenes indicadas el nodo presentaba picos de drop call rate de entre el 30% y 40%, es decir, en torno a este porcentaje de las llamadas o conexiones realizadas a la celda motrada se perdían en su curso, si observamos la accesibilidad mostrada en la figura 18 se puede ver un comportamiento similar, se observan picos de caídas de entre el 90% y 85% lo cual quiere decir, que entre el 10% y 15% de los usuarios que desean acceder a este nodo no podían hacerlo en los momentos de impacto.

A continuación, también se va a analizar el comportamiento que tienen los nodos del entorno a raíz de la caída del nodo afectado.

Como se puede ver en la figura 19, desde la caída del nodo analizado anteriormente el día 30/03, se observa un aumento de tráfico en los vecinos, esto ocasiona un aumento de congestión por potencia que a su vez ocasiona problemas de accesibilidad y aumento de fallos en estos como se puede ver en la figura 20.

Tras lo analizado se concluye que al tratar de una zona urbana con alta densidad de despliegue, aunque un nodo se caiga, existen nodos vecinos que pueden soportar el tráfico, pero las condiciones de cobertura empeoran al ocasionar congestión en la red, para solucionar el problema será necesario enviar un técnico en local para revisar y recuperar la estación base caída, en paralelo a la revisión se pueden valorar ajustes de potencia en el nodo para reducir la congestión y conseguir que un mayor número de usuarios accedan a estos nodos satisfactoriamente.

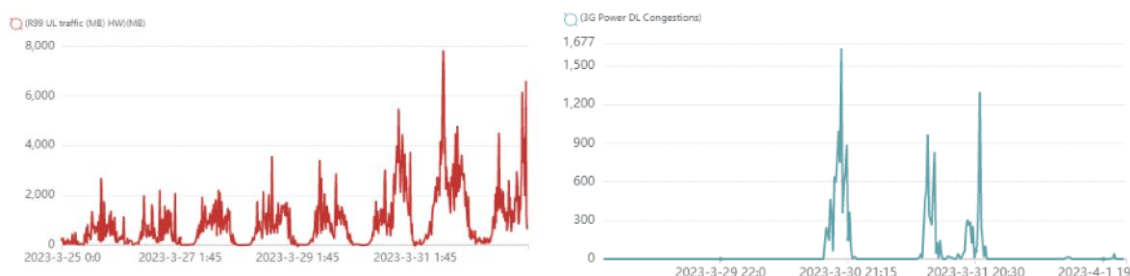


Figura 14. Tráfico y congestión del nodo vecino del nodo caído



Figura 15. Accesibilidad y fallos del nodo vecino del nodo caído

ÁREA RURAL:

Como se puede ver en la figura 21, en este segundo escenario se encuentran dos poblaciones pequeñas cada una de ellas con un solo nodo desplegado y separadas entre si una distancia de aproximadamente 5 km. La incidencia detectada en esta zona fue la caída del nodo que da cobertura a Beneixama ubicado en la imagen.

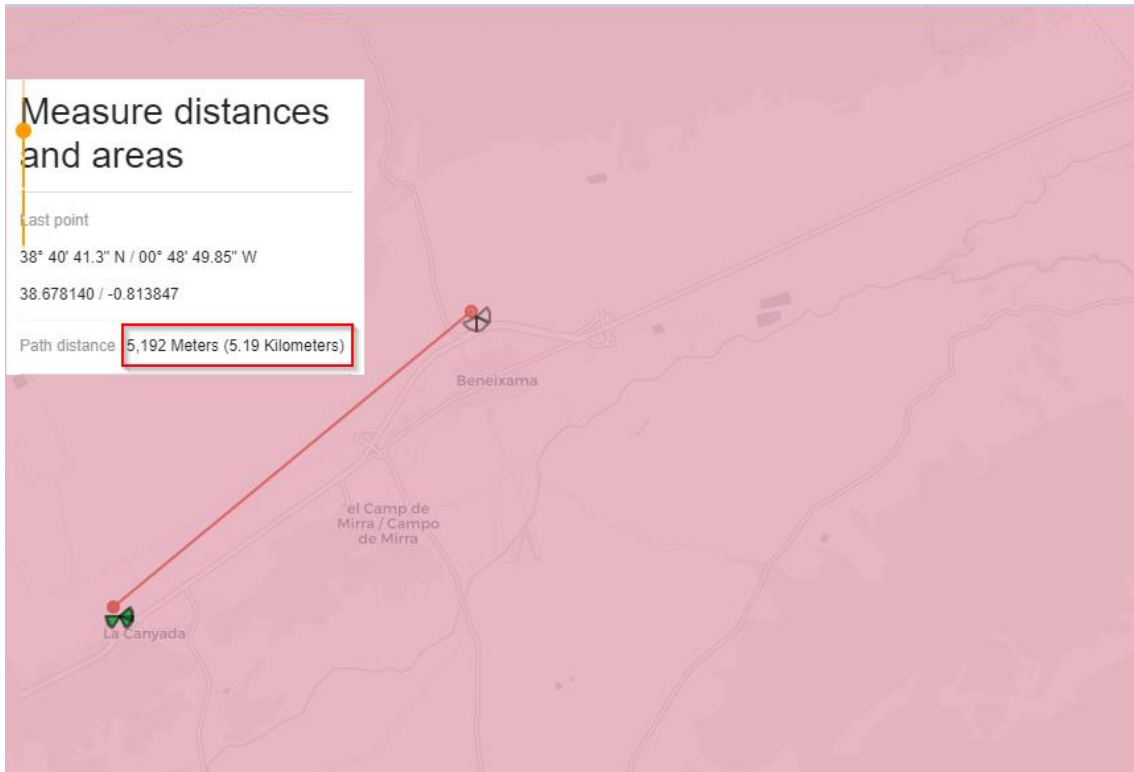


Figura 16. Nodos área rural

En los estadísticos se puede ver un comportamiento similar al mostrado en el escenario anterior, durante la caída del nodo, en este caso durante dos días, se puede ver que el tráfico cae a 0 durante este periodo de tiempo, tal y como se muestra en las imágenes de la figura 22.



Figura 17. Indisponibilidades y tráfico de nodo afectado

Si se analiza el comportamiento del nodo vecino en este periodo de tiempo se puede observar en las figuras 23 y 24 como este tiene un aumento de intentos de conexión y de HO que resultan en fallos y drops, esto es debido a que el nodo vecino está orientado a cubrir el pueblo donde se encuentra desplegado y no llega al pueblo donde se encuentra el nodo caído, si nos fijamos en figura 25, el tráfico de intentos en esta ocasión no se ha visto afectado porque la mayoría de intentos resultan en fallo o drop al no estar este nodo orientado a cubrir el pueblo vecino.

Para solucionar la problemática, sería necesario enviar lo antes posible a un técnico a campo para recuperar el nodo indisponible, en paralelo se podría valorar realizar un uptilt para tratar

de cubrir con el nodo vecino las dos poblaciones y que la población donde se encuentra caído el nodo no pierda el servicio total hasta la resolución de la incidencia.

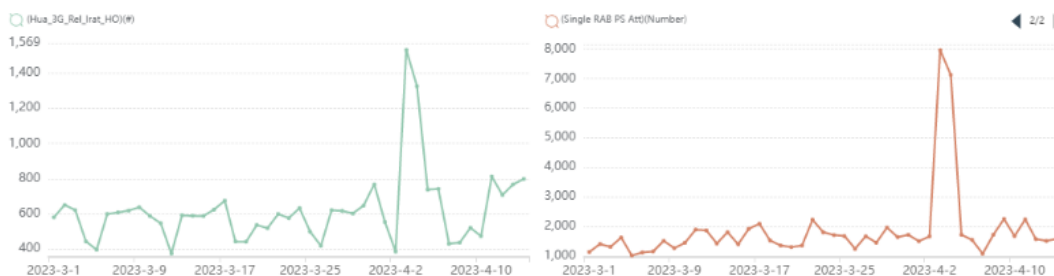


Figura 18. Handovers e intentos del nodo desplegado en la población vecina

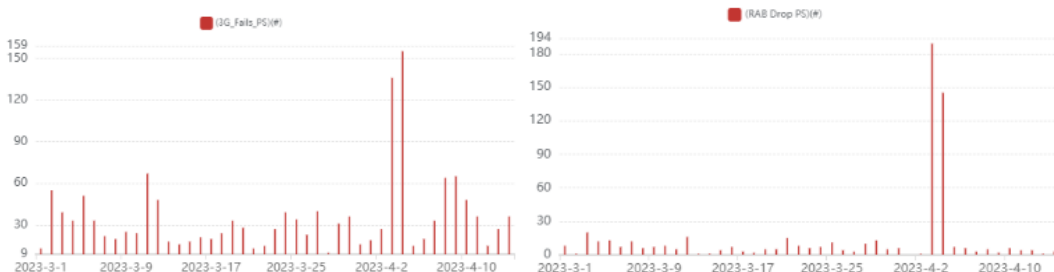


Figura 19. Fallos y drops del nodo desplegado en la población vecina

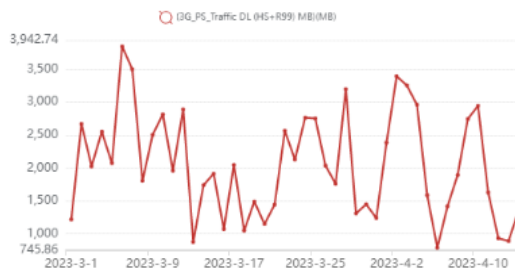


Figura 20. Tráfico del nodo desplegado en la población vecina

CAPÍTULO 2: INDISPONIBILIDADES POR PROBLEMAS DE TRANSMISIÓN

En este siguiente escenario se va a analizar un nodo con problemas de transmisión que ocasionan indisponibilidades y degradación.

Como se puede observar en la figura 26, el nodo mostrado lleva varias semanas presentando picos de PLR entre el 5% y 40% de pérdida, sin presentar problemas de latencia ni Jitter.

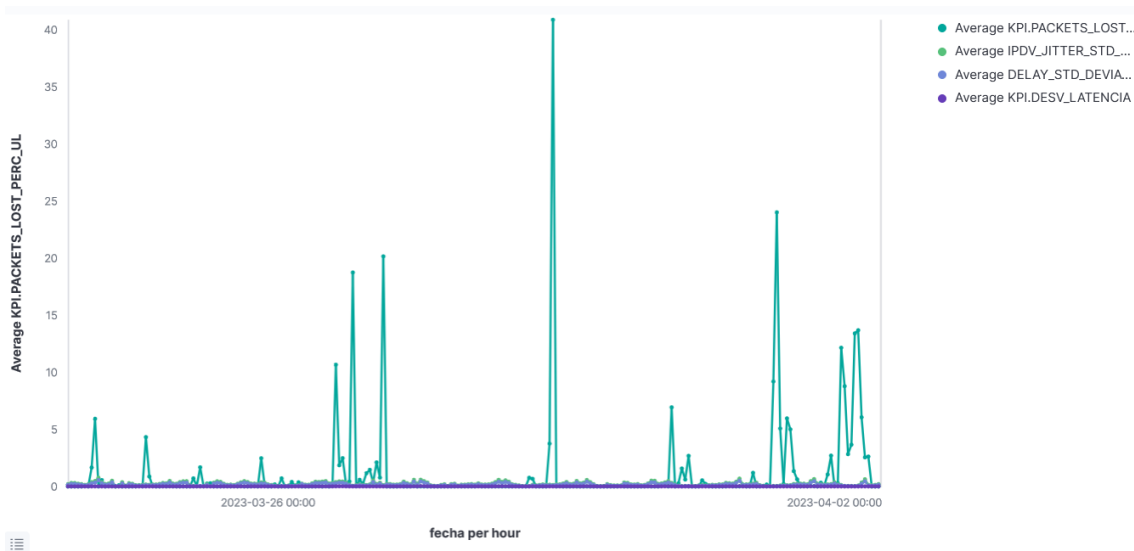


Figura 21. KPIs de transmisión del nodo afectado con presencia de pérdida de paquetes

Si analizamos el comportamiento del nodo durante este periodo de problemas de Transmisión, se puede observar que ha presentado un incremento principalmente de fallos S1 y fallos ERAB en menor medida, que ocasionan problemas de accesibilidad en el nodo, también se reflejan los problemas en micro cortes en el nodo de manera intermitente como se puede ver en las figuras 27 y 28.

Para solucionar el problema será necesario analizar por un técnico donde se encuentra el problema en la transmisión del nodo y acudir a repararlo. En este escenario los clientes no perderán el servicio total, pero presentarán caídas continuas asociadas a la pérdida de paquetes intermitente que presenta el nodo.



Figura 22. Accesibilidad y fallos del nodo afectado

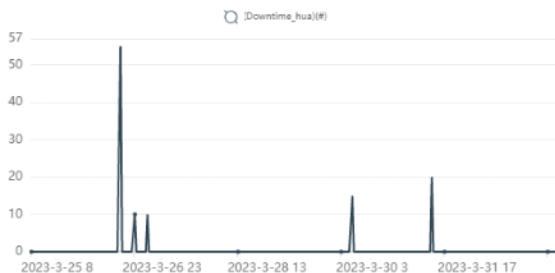


Figura 23. Indisponibilidades del nodo afectado

CAPÍTULO 3: CORTES POR ALIMENTACIÓN/TEMPERATURA

Como se puede ver en la figura 29, el nodo presenta múltiples alarmas de temperatura y alimentación, en este caso viendo las alarmas activas en el nodo, parece tratarse de un problema de temperatura por fallo en los equipos de ventilación de los equipos, además de un fallo de corriente de alimentación.

```

ALARM 939      Fault      Major      SRAN      65049      Environment
  Sync serial No. = 2248
  Alarm name      = Alarma De Fuego
  Alarm raised time = 2023-04-12 07:57:35 DST
  Location info   = Cabinet No.=1, Subrack No.=0, Slot No.=19, Port No.=6, Board Type=UPEU, Manager Cabinet No.=NULL, Manager Subrack No.=NULL
  Special info    = RAT_INFO=G-U-L-N, AFFECTED_RAT=G-U-L-N, DID=ee8f2216-a0ab-11e2-8000-002128a481a0_HINCC

ALARM 798      Fault      Critical    SRAN      65040      Environment
  Sync serial No. = 1912
  Alarm name      = Fallo Mayor DC A2
  Alarm raised time = 2023-04-11 02:15:00 DST
  Location info   = Cabinet No.=1, Subrack No.=0, Slot No.=18, Port No.=6, Board Type=UPEU, Manager Cabinet No.=NULL, Manager Subrack No.=NULL,
  Special info    = RAT_INFO=G-U-L-N, AFFECTED_RAT=G-U-L-N, DID=ee8f2216-a0ab-11e2-8000-002128a481a0_HINCC

ALARM 796      Fault      Major      SRAN      65035      Environment
  Sync serial No. = 1910
  Alarm name      = Ventilador De Emergencia
  Alarm raised time = 2023-04-11 02:15:00 DST
  Location info   = Cabinet No.=1, Subrack No.=0, Slot No.=18, Port No.=0, Board Type=UPEU, Manager Cabinet No.=NULL, Manager Subrack No.=NULL,
  Special info    = RAT_INFO=G-U-L-N, AFFECTED_RAT=G-U-L-N, DID=ee8f2216-a0ab-11e2-8000-002128a481a0_HINCC

ALARM 796      Fault      Major      SRAN      65035      Environment
  Sync serial No. = 1910
  Alarm name      = Ventilador De Emergencia
  Alarm raised time = 2023-04-11 02:15:00 DST
  Location info   = Cabinet No.=1, Subrack No.=0, Slot No.=18, Port No.=0, Board Type=UPEU, Manager Cabinet No.=NULL, Manager Subrack No.=NULL,
  Special info    = RAT_INFO=G-U-L-N, AFFECTED_RAT=G-U-L-N, DID=ee8f2216-a0ab-11e2-8000-002128a481a0_HINCC

ALARM 797      Fault      Major      SRAN      65036      Environment
  Sync serial No. = 1911
  Alarm name      = Fallo Eq Aire Acondicionado
  Alarm raised time = 2023-04-11 02:15:00 DST
  Location info   = Cabinet No.=1, Subrack No.=0, Slot No.=18, Port No.=1, Board Type=UPEU, Manager Cabinet No.=NULL, Manager Subrack No.=NULL,
  Special info    = RAT_INFO=G-U-L-N, AFFECTED_RAT=G-U-L-N, DID=ee8f2216-a0ab-11e2-8000-002128a481a0_HINCC
    
```

Figura 24. Alarmas del nodo afectado

Analizando el comportamiento del nodo observamos que los problemas de alimentación y temperatura están ocasionando cortes intermitentes y picos de alto drop y fallos como se puede ver en la figura 30. A nivel de accesibilidad, se puede ver en la figura 31, que el impacto ha sido menor y no presenta degradación asociada.



Figura 25. Indisponibilidades y Drop Call Rate del nodo afectado

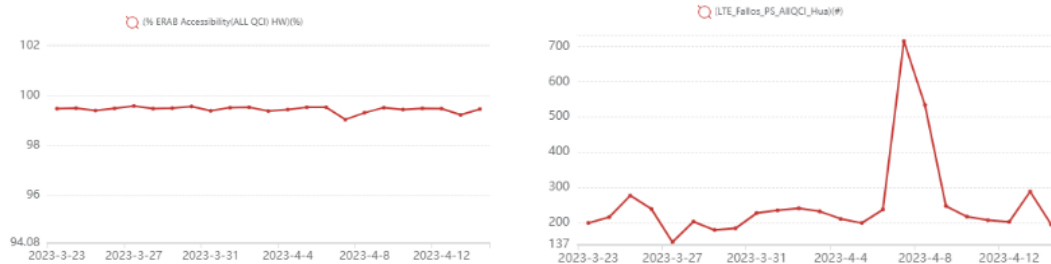


Figura 26. Accesibilidad y fallos del nodo afectado

CAPÍTULO 4: IMPACTO EN THROUGHPUT Y CONGESTIÓN POR CONCENTRACIÓN DE USUARIOS

En este escenario se va a analizar un nodo de Sevilla durante el periodo de Semana Santa, en el cual existe una afluencia de usuarios muy alta. Se analiza un nodo cercano a la zona de Triana donde suele haber además afluencia de procesiones.



Figura 27. Zona afectada por afluencia de tráfico en Semana Santa

Se va a analizar el comportamiento tanto en 3G como en 4G.

Con respecto al 3G, se observa principalmente impacto en los días de fin de semana por aumento de tráfico, observándose un descenso de la accesibilidad a valores de 90% y 85% en datos y voz debido a un incremento de fallos y congestión como se puede ver en las figuras 33 y 34. Asociado a aumento de tráfico aumenta ligeramente el RSSI en el nodo, al no existir interferencia a pesar del aumento, el RSSI se encuentra dentro de umbrales como se puede ver en la figura 36.



Figura 28. Tráfico de datos y voz 3G del nodo del nodo impactado por el evento



Figura 29. Accesibilidad de voz (CS) y de datos (PS) 3G del nodo del nodo impactado por el evento



Figura 30. Patrón de fallos de voz (CS) y de datos (PS) 3G del nodo del nodo impactado por el evento

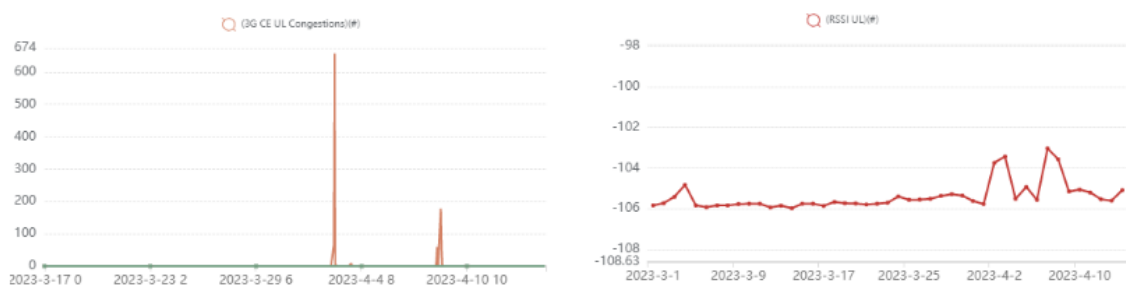


Figura 31. Congestión y RSSI 3G del nodo del nodo impactado por el evento

Con respecto al 4G, se observa un impacto mucho mayor, tanto a nivel de tráfico como en KPIs impactados. El nodo pasa de cursar menos de 20 GB a cursar picos de incluso 60 GB, esto ocasiona que la accesibilidad del nodo descienda hasta el 40% en los momentos de mayor tráfico y produciéndose una pérdida de TPUT que desciende a valores de 3M, ascendiendo su carga de PRBs al 100% y ocasionando saturación en el nodo. Esto se puede ver detallado las figuras 37, 38 y 39.

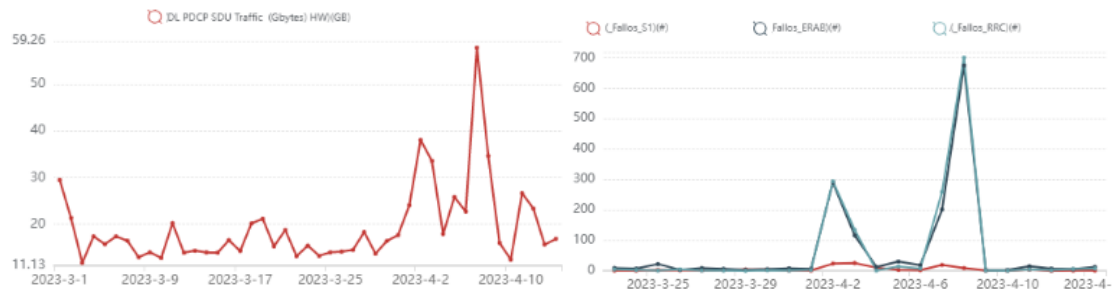


Figura 32. Tráfico de datos y fallos 4G del nodo del nodo impactado por el evento



Figura 33. Accesibilidad y Drop Call Rate 4G del nodo del nodo impactado por el evento

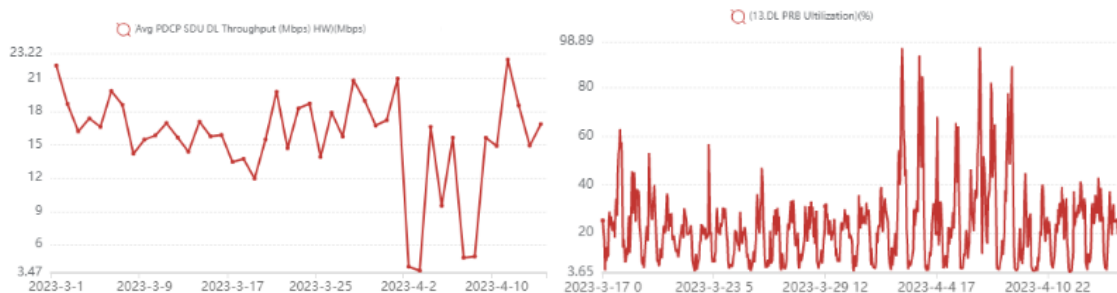


Figura 34. Throughput y cargar de PRBs 4G del nodo del nodo impactado por el evento

En estas ocasiones se deben aplicar ajustes de reducción de potencia, balanceo de tráfico con vecinas menos congestionadas, favorecer el paso por HO a vecinas con mejor nivel en la zona, etc, para tratar de mejorar el Throughput del nodo afectado por alta congestión.

CAPÍTULO 5: INCIDENCIA QUE OCASIONA DEGRADACIÓN DE TPUT Y DE MIMO

En este escenario se va a analizar como el throughput de un nodo puede verse afectado por otras circunstancias que no conllevan un aumento de usuarios, por ejemplo, el nodo mostrado en la figura 40 presenta caída durante el día 18/03 y a raíz de esto queda impactado perdiendo throughput y MIMO como se puede ver en la figura 41, pero su tráfico sin embargo no ha aumentado, en este caso se ve reflejado que el nodo presenta una incidencia.

En caso de no presentar alarmas ni haberse realizado trabajos en la estación base se podría aplicar un reset para tratar de recuperarlo, si no se consigue con esta primera acción será necesario enviar un técnico para revisar en campo.



Figura 35. Indisponibilidades y tráfico de nodo afectado tras cortes



Figura 36. Throughput y MIMO de nodo afectado tras cortes

CAPÍTULO 6: IMPACTO EN THROUGHPUT POR PROBLEMAS DE RSSI

En la figura 42 se puede ver como la estación base que se va a analizar presenta un incremento de RSSI desde principios de marzo, se va a revisar cómo cambia su performance a raíz de esta incidencia.



Figura 37. RSSI de nodo con afectación de RSSI

Como se puede observar en la figura 43, a raíz de la incidencia de RSSI el nodo ha perdido tráfico y su throughput también se ha visto degradado:



Figura 38. Tráfico y throughput de nodo con afectación de RSSI

Asociado a ello también se ha visto afectada su accesibilidad y se ha visto triplicado el volumen de fallos como se puede observar en la siguiente figura:



Figura 39. Accesibilidad y fallos de nodo con afectación de RSSI

En las figuras anteriores se puede ver como en los últimos días mostrados la tendencia del RSSI es positiva y con ello se reducen los fallos y se recupera el tráfico, throughput y accesibilidad de la celda afectada. Ante este tipo de incidencias es necesario enviar un técnico a realizar medidas de ruido en campo para determinar el origen del RSSI y solventarlo.

CAPÍTULO 7: CONGESTIÓN EN LA TRANSMISIÓN

En este escenario se encuentran tres nodos que pertenecen al mismo anillo, nodo A, nodo B y nodo C. El vano ha quedado caído y se va a analizar el comportamiento de la red.

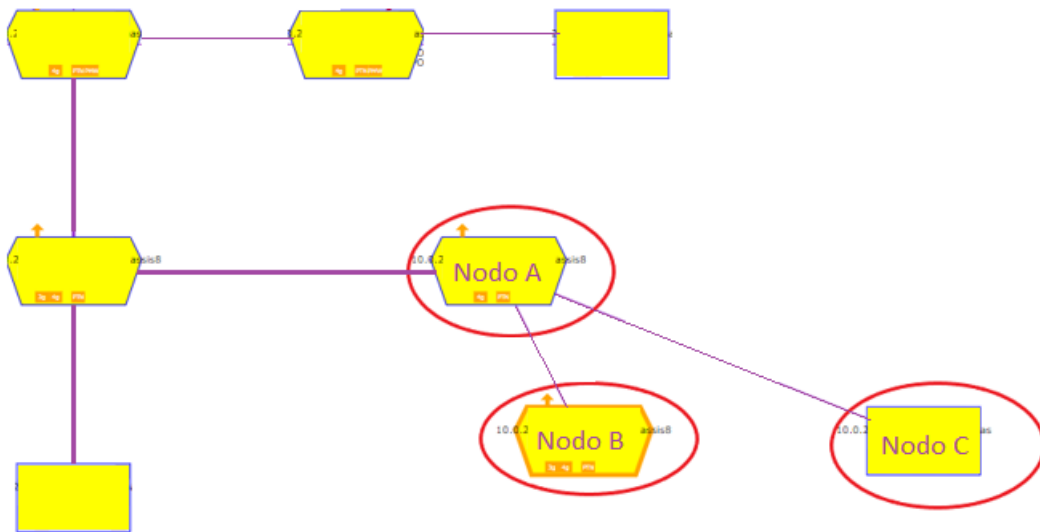


Figura 40. Conexión de la transmisión de los nodos involucrados en la incidencia

Desde la caída del vano se puede ver como todos los nodos han presentado un aumento de latencia, Jitter y pérdida de paquetes consecuente, todos ellos presentando el mismo comportamiento, como se puede ver en las figuras 46,47 y 48, la pérdida de paquetes y latencia no es del 100%, pero si se observa grave afectación en los nodos involucrados.

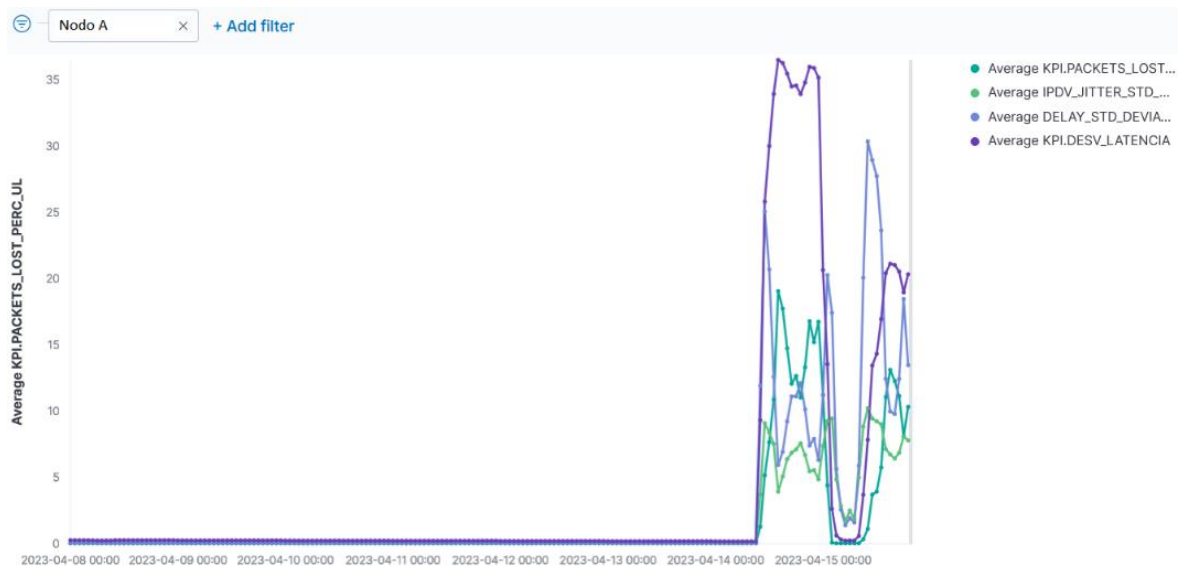


Figura 41. KPIs de transmisión del nodo A

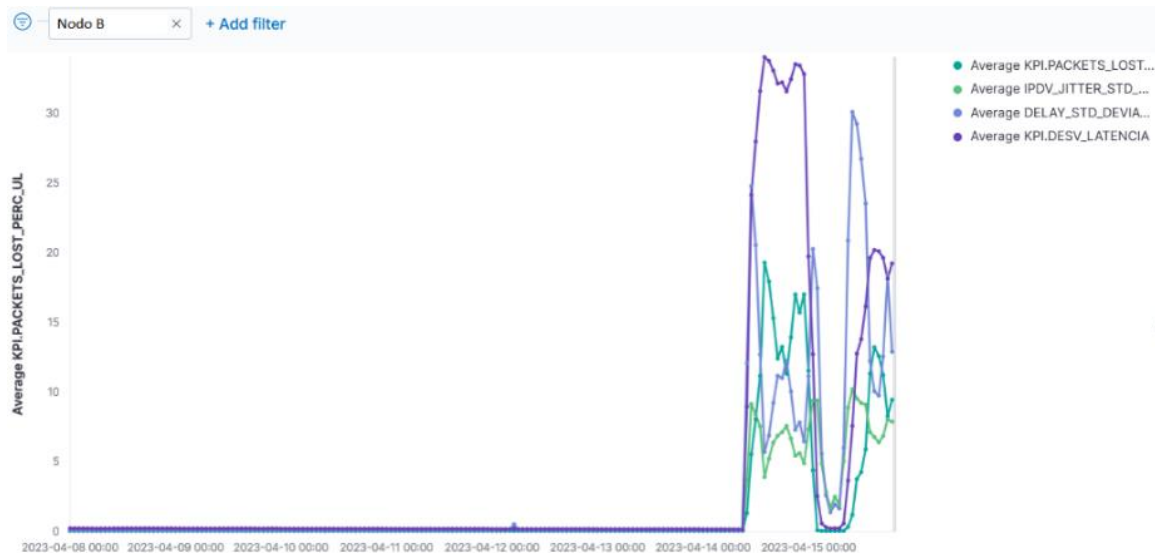


Figura 42. KPIs de transmissió del nodo B

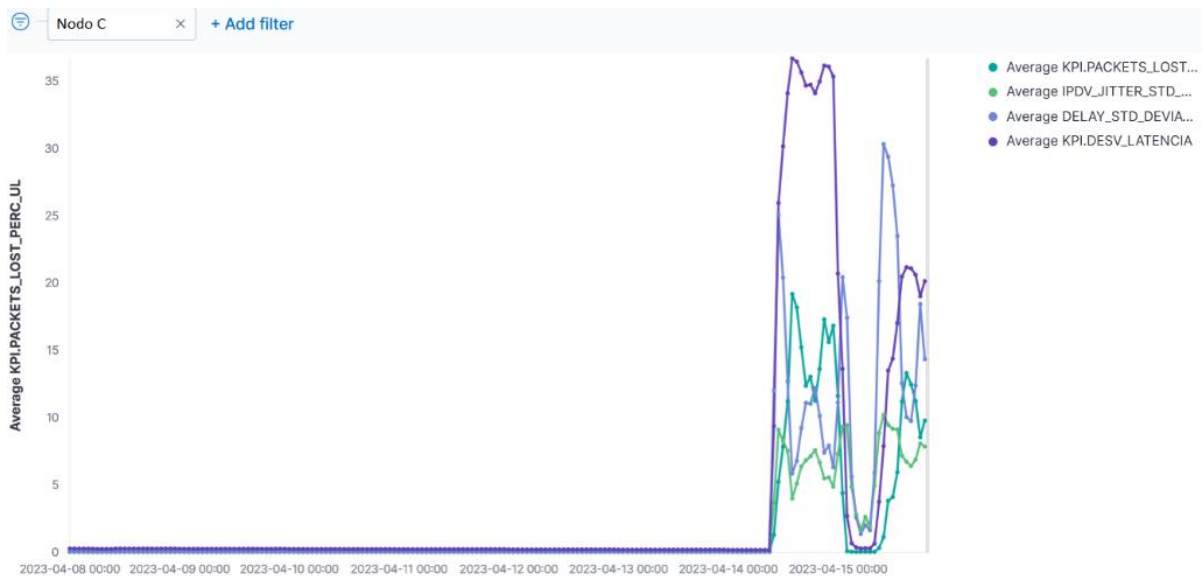


Figura 43. KPIs de transmissió del nodo C

Esto es debido a que el tráfico transmitido ha sido desviado a una ruta secundaria, se puede ver en su performance, en la figura 48, que esta segunda ruta ha pasado de no cursar nada de tráfico a presentar saturación al 100% desde la caída de la ruta principal, sin embargo, gracias a la disposición de la segunda ruta, no se ocasionado una pérdida total del servicio en la zona cubierta por los nodos afectados.

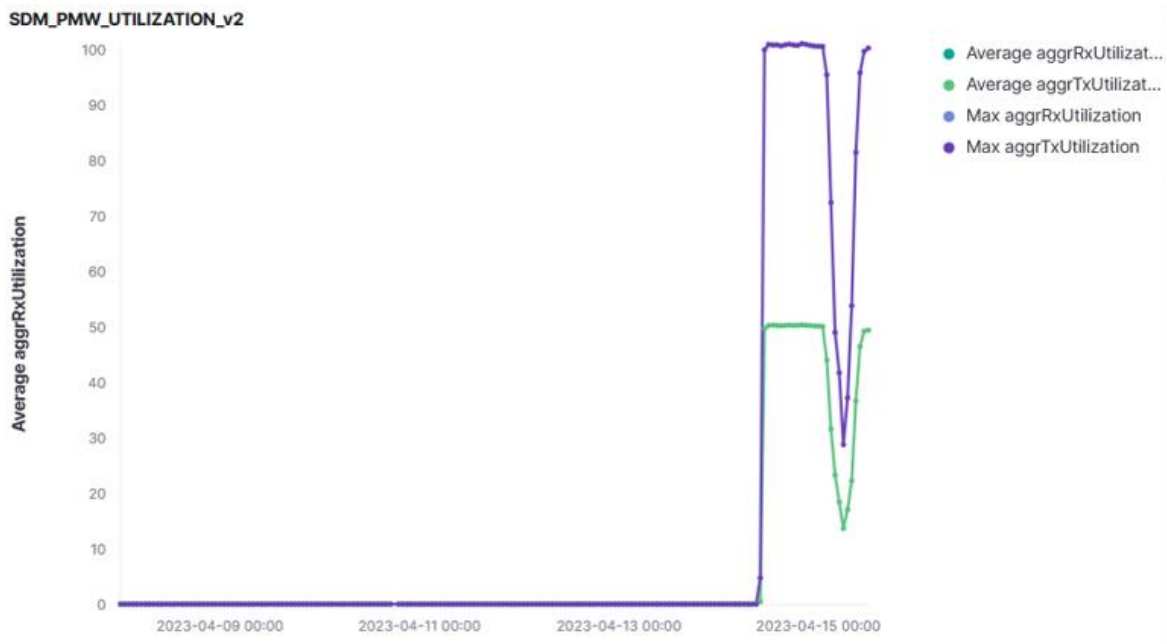


Figura 44. Saturación de la ruta secundaria

CAPÍTULO 8: DEGRADACIÓN DE ACCESIBILIDAD POR INCIDENCIA TRAS CORTES

Encontramos en el siguiente escenario un nodo que presenta un corte el día 11/04, a raíz de este corte se observa una grave degradación de accesibilidad y aumento de fallos asociado, mostrado en las figuras 50 y 51, sin embargo, no persisten en el tiempo los cortes en el nodo. Frente a este tipo de degradaciones en las que un nodo presenta un corte y a raíz de ello una degradación, es recomendable realizar un reset a la estación base en caso de no presentar alarmas puesto que habitualmente recupera con dicha intervención. En caso de no solucionarse con ello, sería necesario enviar un técnico para revisar en campo.

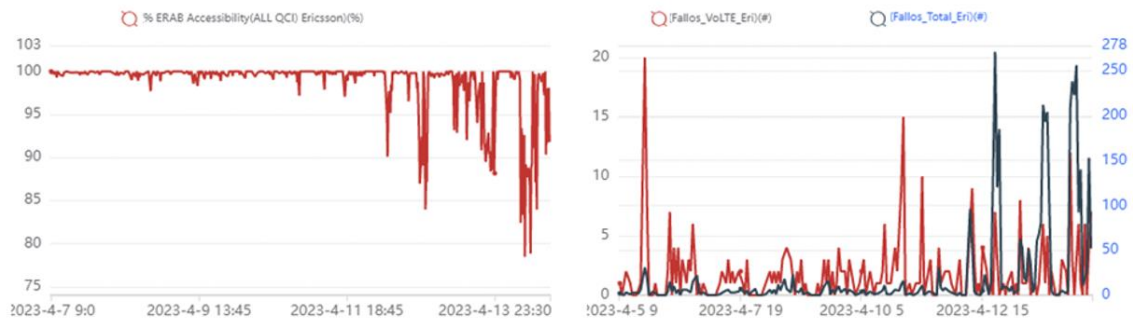


Figura 45. Accesibilidad y fallos del nodo afectado tras corte

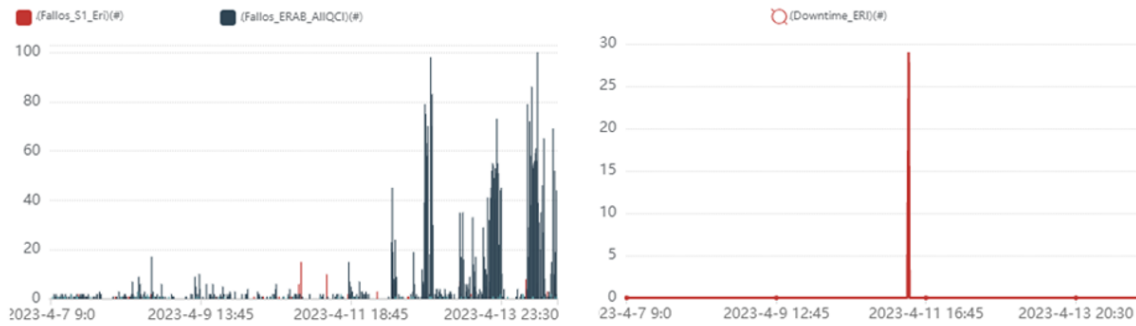


Figura 46. Fallos e indisponibilidades del nodo afectado tras corte

CAPÍTULO 9: IMPACTO POR TRABAJOS EN ESTACIONES VECINAS

En la actualidad, se está desplegando 5G en la red móvil, en ocasiones tras realizar una integración no toda la estación base queda radiando correctamente, en el nodo mostrado a continuación se puede ver como el día 05/04, se realiza un trabajo de despliegue 5G:

Estado	Impacto	Fecha_ini	Fecha_fin	
FINALIZADO	Yes	2023-04-05 11:00:00	2023-04-05 21:00:00	262390 DESPLIEGUE 5G ;
FINALIZADO	No	2023-04-03 08:00:00	2023-04-05 20:00:00	262390 DESPLIEGUE 5G ;

Figura 47. Registro de trabajos realizados en nodo

Analizando el performance de la estación desde la fecha de los trabajos, se puede ver en la figura 53 que el Drop Call Rate pasa de ser prácticamente 0% a superar el 10%, es decir, el 10% de las llamadas que se encuentran cursando en esta estación están perdiendo sus conexiones. En esta ocasión a nivel de accesibilidad no se aprecia impacto como se puede ver en la figura 54, los clientes podrán acceder a la celda, pero cabe la posibilidad de que sus conexiones y llamadas cursadas sobre esta estación puedan perderse en el curso de estas.

Además, se puede observar en la figura 54, que coincidiendo con los días de mayor impacto en drop, los intentos a esta celda son más bajos que en los últimos días, que desciende ligeramente el drop al 3% y se recupera el patrón de intentos.

Ante este tipo de incidencias, es necesario escalar el caso al grupo ejecutor del trabajo realizado para acudir a revisar el impacto.

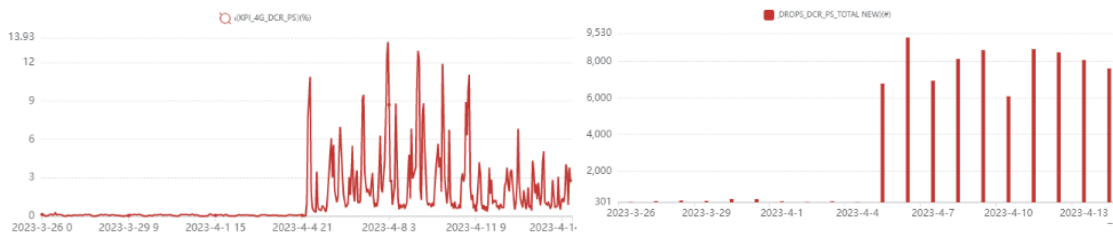


Figura 48. Drop Call Rate y drops del nodo afectado desde trabajos realizados

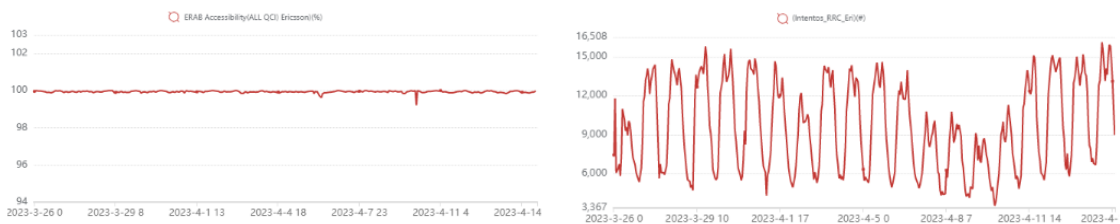


Figura 49. Accesibilidad e intentos del nodo afectado desde trabajos realizados

CAPÍTULO 10: IMPACTO POR AMPLIACIÓN DE HUELLA

En el escenario que se va a estudiar a continuación, se puede ver el efecto de una celda tras un cambio de tilt, con efecto uptilt, es decir, ampliación del área de cobertura.

Como se puede ver en la figura 55, el tilt de la celda se me modificado de 10º a 7º, se ha modificado 3 º su tilt eléctrico.

Como se puede ver en la figura 55, el efecto tras el cambio es que la celda, pasa de cursar el 60 % del tráfico áreas cercanas a la estación (TA1 y TA2) y pasa a cursar el 80% de su tráfico en áreas más lejanas (TA4, TA5 y TA6).

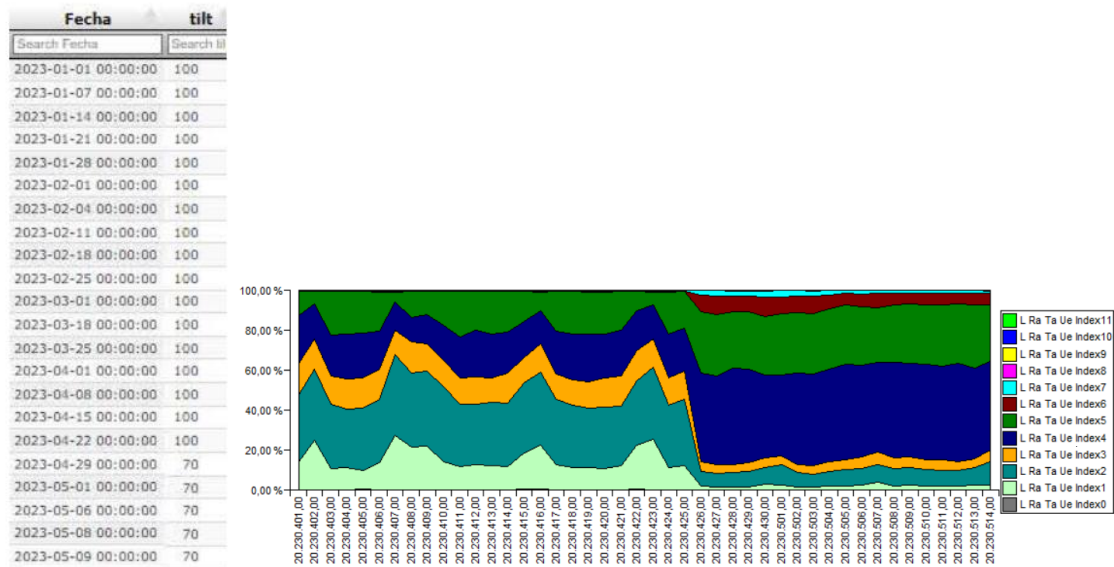


Figura 50. Registros de valores de tilt y porcentaje de muestras en función de la distancia de nodo estudiado

A raíz del cambio de tilt se analiza el comportamiento de la celda. Se puede ver en las figuras 56 y 57, como a raíz del cambio esta presenta un aumento de tráfico, asociado a ello la celda aumenta su carga de PRBs y desciende su TPOT.

Este aumento de tráfico ocasiona un aumento de fallos asociado, sin embargo, la accesibilidad no se ve afectada porque el porcentaje de fallos en la celda se mantiene.

Por lo tanto, se puede concluir que el mayor impacto ocasionado en la celda tras el cambio de alcance es la perdida de Throughput que ha presentado, esto impactará en el servicio de los clientes puesto que dispondrán de un Throughput para navegar.

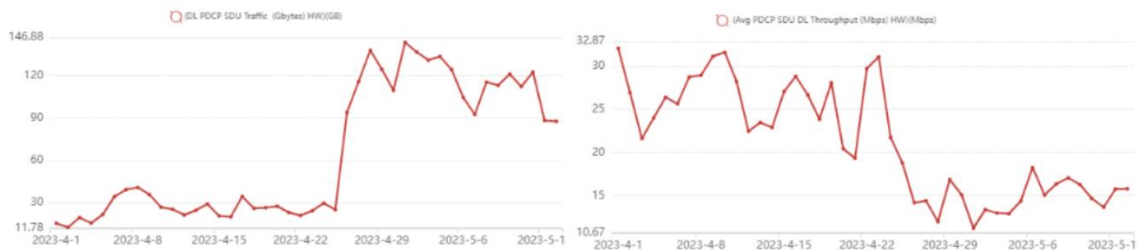


Figura 51. Tráfico y throughput del nodo con cambio de tilt

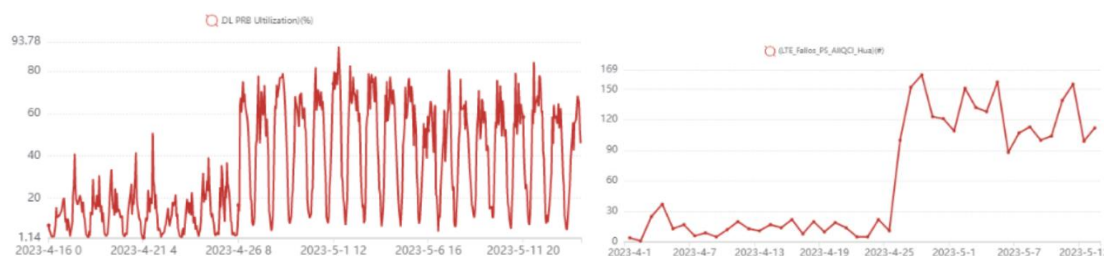


Figura 52. Carga de PRBs y fallos del nodo con cambio de tilt



Figura 53. Accesibilidad del nodo con cambio de tilt

CAPÍTULO 11: IMPACTO POR REDUCCIÓN DE HUELLA

En este apartado se va a analizar el comportamiento de una celda tras aplicarle un cambio de downtilt, es decir, reducción de huella.

Como se puede ver en la figura 59, a mediados de abril se observa un cambio de alcance en la celda mostrada. Tras este cambio se puede ver como la celda pasa de cursar el 20% de su tráfico, a una distancia de entre 600m y 1000m, a cursar el 90% del tráfico a estas distancias, de forma que queda reducido su tráfico en distancias superiores donde sí cursaba tráfico en fechas previas al cambio, es decir, la celda ha pasado a coger un mayor tráfico cercano a la antena. A raíz de

este cambio y teniendo en cuenta que se trata de un nodo que cubre el centro del pueblo, el cambio ha ocasionado que el tráfico global de la celda aumente en cierta medida a pesar de haber perdido tráfico lejano.

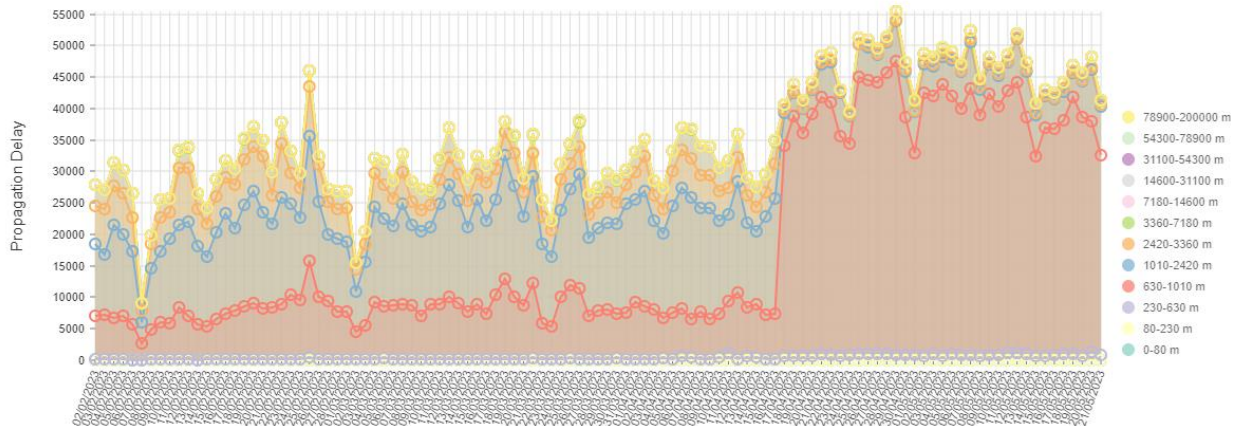


Figura 54. Evolución de huella tras ajuste en celda

A continuación, en la figura 60 podemos ver como a pesar de que ha aumentado ligeramente el tráfico, el número de fallos de mantiene y no se ha perdido throughput en la celda., es decir esta celda únicamente ha cambiado el área que cubre, cogiendo una cantidad de usuarios ligeramente mayor, pero sin perder throughput.

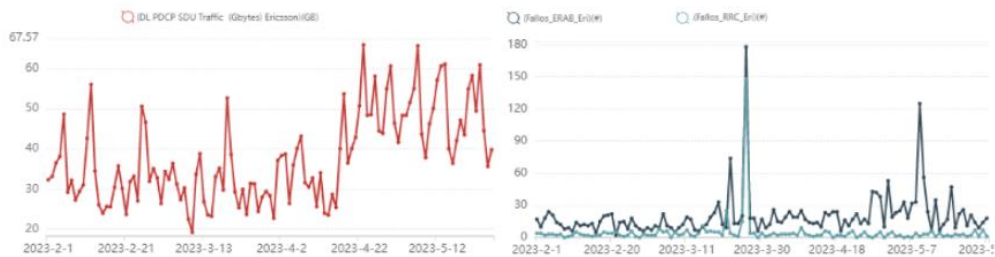


Figura 55. Tráfico y fallos de la celda con ajuste de tilt



Figura 56. Throughput de la celda con cambio de tilt

CAPÍTULO 12: AUMENTO DE TRÁFICO OCASIONADO POR AUMENTO DE POTENCIA EN CELDA

En este apartado se va a analizar el comportamiento de una celda en la que se ha realizado un ajuste de potencia, concretamente se ha aumentado su potencia. En la figura 62, se puede ver como el parámetro Reference Signal Power que hace referencia a la potencia de celda pasar de ser 152 a ser 182, este cambio de produce a finales de marzo.

Fecha	referencesignalpwr
2023-02-04 00:00:00	152
2023-02-11 00:00:00	152
2023-02-18 00:00:00	152
2023-02-25 00:00:00	152
2023-03-01 00:00:00	152
2023-03-04 00:00:00	152
2023-03-18 00:00:00	152
2023-03-25 00:00:00	152
2023-04-01 00:00:00	182
2023-04-08 00:00:00	182
2023-04-15 00:00:00	182
2023-04-22 00:00:00	182
2023-04-29 00:00:00	182
2023-05-01 00:00:00	182
2023-05-06 00:00:00	182
2023-05-13 00:00:00	182
2023-05-20 00:00:00	182
2023-05-21 00:00:00	182
2023-05-22 00:00:00	182
2023-05-23 00:00:00	182
2023-05-24 00:00:00	182
2023-05-25 00:00:00	182

Figura 57. Valores de potencia en la celda modificada

Si se analiza el comportamiento de la celda desde la fecha indicada, se puede ver como a raíz del ajuste se pierde throughput asociado a un aumento de tráfico, figura 63.



Figura 63. Throughput y tráfico de celda con aumento de potencia

Consecuentemente aumentan los fallos y la carga de PRBs en la celda:

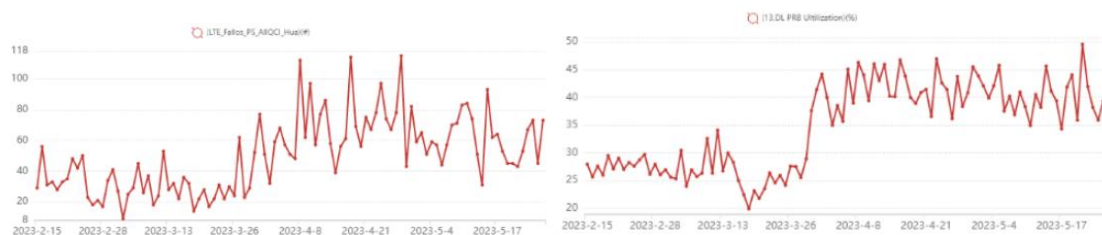


Figura 58. Fallos y carga de PRBs de celda con aumento de potencia

Sin embargo se puede ver como la accesibilidad de mantiene, por lo tanto, se puede concluir que el porcentaje de fallos de la celda se mantiene en función de los intentos ganados y el porcentaje de éxito de accesibilidad a dicha celda se mantiene muy cercano al 100%.



Figura 59. Accesibilidad de la celda con aumento de potencia

CAPÍTULO 13: PÉRDIDA DE TRÁFICO POR CELDA SORDA

En este escenario se va a analizar como impacta un nodo sordo en los nodos vecinos que dan cobertura a una misma zona. Encontramos en la figura 66, el nodo A y nodo B con los sectores marcados apuntando a la misma zona, en esta ocasión la celda sorda se ocasiona en la tecnología 2G del nodo exclusivamente.

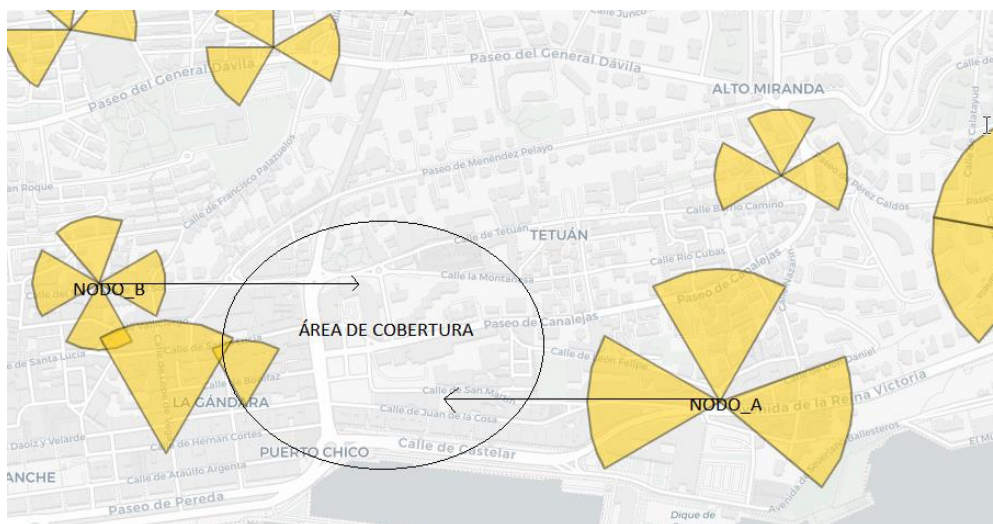


Figura 60. Área de cobertura donde se encuentra el nodo sordo

Analizando el comportamiento de los dos nodos detectamos que el nodo A, pierde todo su tráfico el día 21/03 y consecuentemente deja de recibir intentos, dejando de presentar fallos porque la celda no cursa, habitualmente cuando una celda queda sorda su accesibilidad y DCR pasan a ser 0%, esto se puede ver detallado en las figuras 67, 68 y 69.

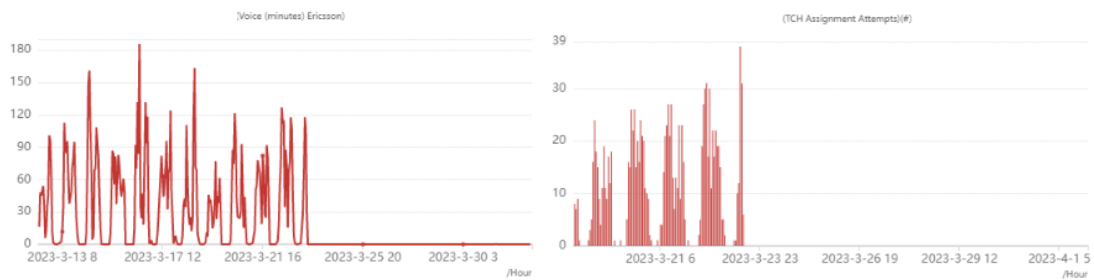


Figura 61. Tráfico e intentos de la celda sorda

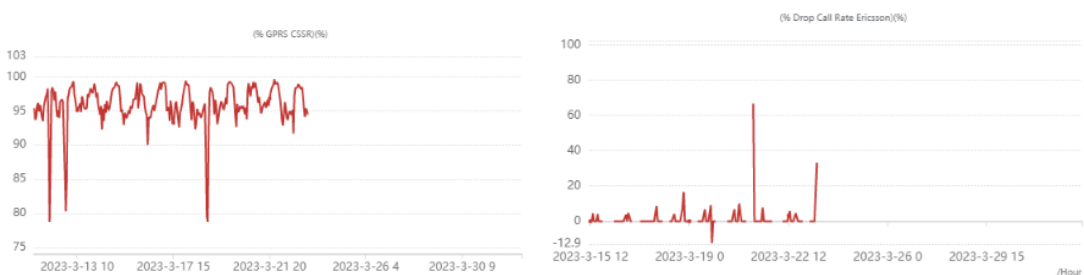


Figura 62. Accesibilidad y Drop Call Rate de la celda sorda

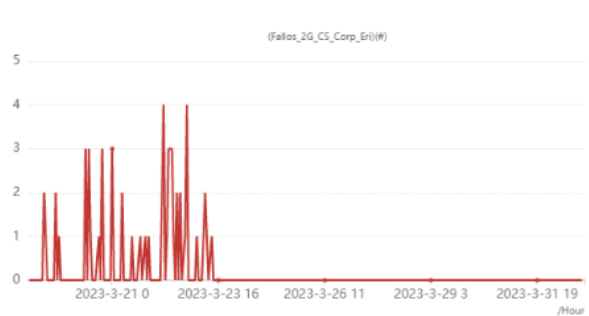


Figura 63. Fallos de la celda sorda

Consecuentemente, el nodo vecino B absorbe el tráfico perdido por el nodo A pasando a cursar el triple de tráfico previo a la incidencia, tal y como se muestra en la figura 70. Al encontrarse en un entorno urbano, se corre menos riesgo de perder servicio ante este tipo de incidencias al disponer de nodos vecinos que puedan soportar el tráfico perdido.

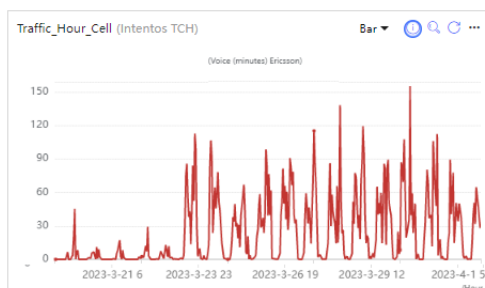


Figura 64. Tráfico de voz del nodo vecino al que ha quedado sord

CAPÍTULO 14: CAMBIO DE TRÁFICO ASOCIADO A AJUSTE DE PARAMETRIZACIÓN

Como se ha mencionado en apartados anteriores, los terminales que permiten conectar a 4G, pero no disponen de VOLTE habitualmente realizan el establecimiento de llamada en 4G y posteriormente cursan la llamada en 3G, esto es llamado CSFB.

La configuración de CSFB es necesario parametrizarla en la estación base y por norma general se configura para que el paso de las llamadas se realice desde 4G hacia 3G de forma prioritaria, y de forma de memos prioritaria, desde 4G hacia 2G. En el siguiente nodo analizado, se puede ver como en un inicio el tráfico estaba priorizado hacia 3G, pero desde finales de abril pasa a estar priorizado hacia 2G, si nos fijamos en las figuras 71 y 72, se puede ver como solo ha cambiado el tráfico de voz en las celdas, a nivel de tráfico de datos se mantiene el comportamiento previo al cambio.

Por otro lado, si nos fijamos en el performance, existe un aumento de fallos en la celda 2G, sin embargo, su accesibilidad no degrada, esto es debido a que el porcentaje de fallo se mantiene en el nodo y simplemente ha aumentado el número de usuarios conectados, descartando así incidencia en este.

2G:

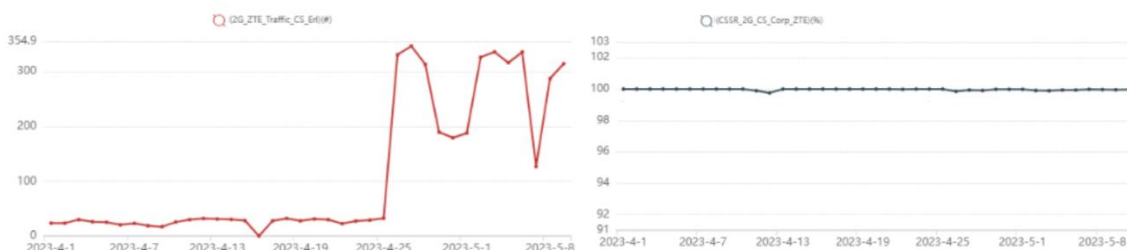


Figura 65. Tráfico y accesibilidad de la celda 2G del nodo con ajuste de parametrización CSFB



Figura 66. Fallos de la celda 2G del nodo con ajuste de parametrización de CSFB

3G:

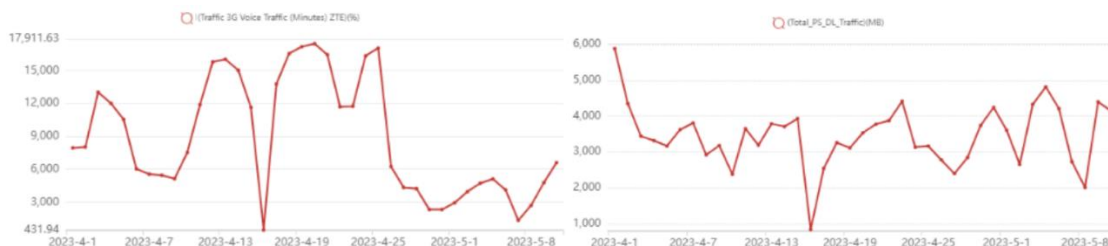


Figura 67. Tráfico de voz y datos de las celdas 3G donde se ha ajustado la parametrización de CSFB

CAPÍTULO 15: INCONSISTENCIA DE TAC/LAC

A continuación, se va a analizar el impacto en cliente que puede ocasionar una inconsistencia en la configuración de TAC (Tracking Area Code)/LAC (Local Area Code) en un nodo.

Por un lado, el LAC es un identificador de área, es decir, todas las celdas pertenecientes a una misma área deben tener asociado el mismo LAC, está representado por cuatro dígitos decimales que hacen referencia a un área de localización concreto, cuando entre una llamada en un terminal, los mensajes de paging llegaran al LAC.

Por otro lado, el TAC es el código de área que utiliza el EPC de seguimiento para asociar el área dentro del cual se intercambian los mensajes en la conexión.

Centrándonos en el escenario a estudiar. Los nodos que se encuentran cercanos en una zona y pertenecen al mismo operador y vendor, deben tener configurado el mismo TAC/LAC. Si nos fijamos en la zona adjunta en el mapa de la figura 74, todos los nodos se encuentran configurados en un TAC asociado a un color granate, pero uno de ellos se encuentra configurado en el TAC morado, esto ocasiona una inconsistencia en la red y no va a permitir que los usuarios puedan conectar correctamente a esta.

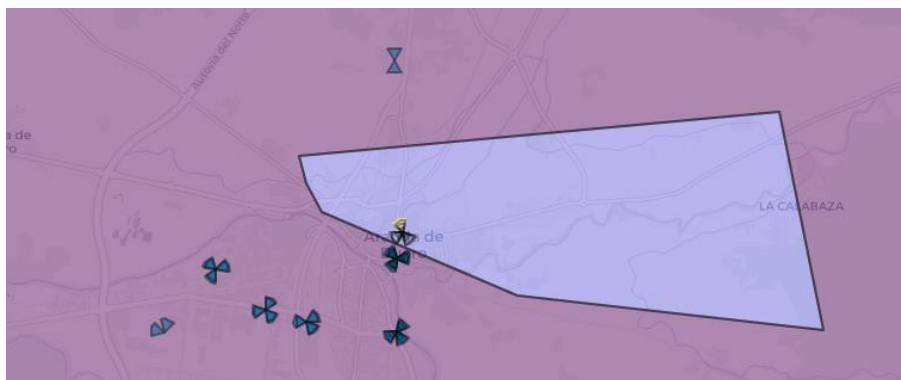


Figura 68. Configuración de TAC en la zona estudiada

Adicionalmente, si se analiza en LAC en 3G, comprobamos que, si está correctamente configurado en la misma zona, todos los nodos del entorno tienen configurado el mismo LAC.



Figura 69. Configuración de LAC en la zona estudiada

Esta incidencia fue detectada al recibir una queja de cliente, el cual reportaba que no podía recibir nunca llamadas en una zona concreta en su terminal, esto se verificó en conexiones, como se puede ver en la columna 1 y 2, este cliente en concreto cursa la voz y todas las llamadas recibidas (MTC) nunca se llegaban a cursar siendo fallidas, sin embargo, este si podría originar llamadas en este mismo nodo (MOC).

Transaction Type	RAT	Status
volte mtc	4G	FAILURE
volte mtc	4G	FAILURE
volte mtc	4G	FAILURE
volte mtc	4G	FAILURE
volte mtc	4G	FAILURE
volte moc	4G	SUCCESS
volte moc	4G	SUCCESS

Figura 70. Registro de llamadas de los usuarios en la zona afectada

Para solventar este tipo de incidencias basta con configurar correctamente el TAC o LAC adecuado y eliminar la inconsistencia.

CAPÍTULO 16: INCIDENCIA EN CELDA 5G

Por último, se va a analizar una incidencia que ocasiona perdida de tráfico en 5G. Como se puede ver en la figura 77, entre el 22/05 y el día 01/06, este nodo tiene un grave aumento de DCR y fallos que ocasionan que la accesibilidad a la celda sea nula, es decir, cualquier usuario que intente realizar una conexión a dicha celda resultará fallida.

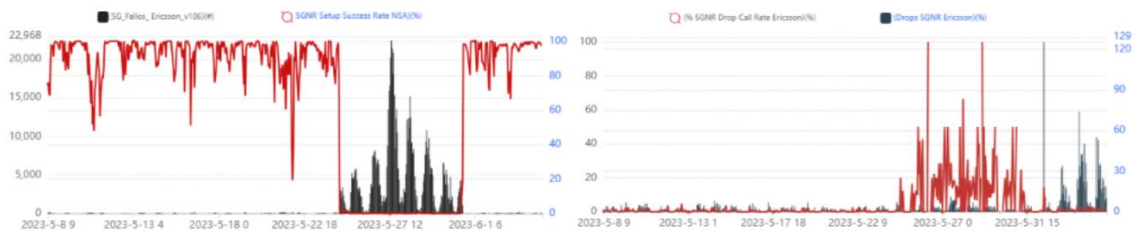


Figura 71. Afectación de accesibilidad y DCR en celda 5G

Esto justifica que la celda no curse tráfico, como se puede ver en la figura 78, debido a que los usuarios no pueden conectar a ella porque no se encuentra accesible, por otro lado, como se ha mostrado en la figura 77, un 60% de las conexiones que se realicen a la celda mediante HO también serán caídas, debido a la alta tasa de drop que presenta. Tras aplicar un reset el día 01/06 la celda recuperó su performance habitual, adquiriendo incluso un mayor tráfico que el cursado previamente a la incidencia.



Figura 72. Uso de PRBs y usuarios conectados en celda 5G afectada

CONCLUSIONES Y DESARROLLO DE SOLUCIONES Y PASOS A SEGUIR PARA VERIFICAR EL ESTADO DE LA RED Y POSIBLE IMPACTO EN EL USUARIO

Una vez estudiados los posibles comportamientos que se pueden presentar en la red, se puede concluir que, dependiendo de la incidencia presentada, puede existir un mayor o menor impacto en el servicio del usuario. Es evidente que en la red siempre habrá aspectos que se puedan optimizar, pero es necesario tener presente que el usuario suele ser altamente sensible a empeorar las expectativas sobre el servicio al percibir un problema a pesar de que pueda llegar a ser algo puntual, por ello se considera necesario resolver con mayor prioridad incidencias con mayor impacto en la red y el servicio del usuario.

Además, es necesario ser proactivos ante incidencias en la red y no esperar a que un usuario comunique un problema para proceder a su resolución. Para ello es necesario tener monitorizada la red y su comportamiento en todo momento y asegurar que su rendimiento es correcto.

Las operadoras en el territorio español tienen alrededor de 61.000 estaciones desplegadas y es complejo llevar un control de todas las degradaciones que pueden surgir en la red, a esto hay que sumarle que en las épocas de condiciones meteorológicas extremas, como pueden ser las luvias torrenciales, vientos fuertes, meses de verano con altas temperaturas o eventos similares, suelen hacer aumentar las incidencias, como pueden ser los problemas de transmisión que ocasionan caídas o desviación de vanos de transmisión, problemas de temperaturas en las estaciones, etc.

A pesar de que existen multitud de ingenieros realizando monitorizaciones continuas de la red, cada vez existen más tecnologías y estaciones a revisar y por ello se va a plantear un posible proceso de chequeo automático que ayude a gestionar las incidencias de red de una forma óptima a hacerlo de forma manual.

Para ello, en los apartados anteriores se han analizado distintos comportamientos de la red y el impacto que ocasionan en los usuarios de la red y tras lo analizado se puede concluir que la caída o bloqueo de un nodo, es una de las incidencias que ocasionan mayor impacto en usuarios, si eso ocurre en zonas rurales, donde el despliegue es escaso, la zona puede quedar sin cobertura total y los usuarios que se encuentre en esta no dispondrán de servicio de cobertura móvil. Si esto ocurre en un área urbana el impacto será algo menor, porque, aunque los nodos vecinos congestionen no se perderá el servicio total. Cuando un nodo se encuentra bloqueado es necesario chequear si existe algún trabajo en curso que lo justifique para reportarlo, en caso de que no haya trabajos en curso será necesario acceder al gestor para comprobar que usuario ha realizado el bloqueo y consultar el motivo, en ocasiones cuando un nodo presenta grave degradación y esta ocasiona alto impacto en usuarios se procede al bloqueo de celdas del nodo afectadas hasta su resolución. En caso de que el nodo tenga cortes o este caído será necesario enviar un técnico a campo para revisar y repararlo para que vuelva a radiar en correctas condiciones.

En caso de que el nodo se encuentre disponible, otro aspecto de alto impacto en el servicio es la pérdida de tráfico en una estación, se puede ocasionar una pérdida parcial de tráfico en alguna banda o tecnología puntual, o puede ocurrir en la totalidad de la estación, esto último

mencionado ocasionará un impacto similar a la caída de la estación, ya que al no cursar tráfico el nodo todas las conexiones serán fallidas o caídas sin llegar a establecerse. El primer paso ante este tipo de degradación será aplicar un reset en la estación y en caso de no lograr recuperarlo, será necesario enviar a un técnico in situ para revisión del hardware de la antena.

En caso de comprobar que la antena cursa tráfico, es necesario revisar si la estación presenta problemas de transmisión, habitualmente si un nodo presenta problemas de pérdida de paquetes, esto se verá reflejado en cortes en el nodo que serán detectados en pasos previos, pero también se pueden reproducir un problema de latencia, desviación de vanos o congestión en la transmisión que será necesario estudiar la causa para su reparación.

También se considera importante realizar un chequeo de alarmas, previo a la revisión de KPIs. Existen algunas alarmas relevantes que impactan altamente en el servicio como pueden ser las alarmas de temperatura, de alimentación, de ROE, de fibra y de sincronismo principalmente, ante este tipo de incidencias es posible que el nodo no quede indisponible en su totalidad, pero si pueda tener pérdidas de servicio intermitentes que serán necesarios ser revisado en local para su resolución.

Entre otra de las incidencias que pueden ocasionar alto impacto en el usuario, se encuentran los problemas de interferencia (RSSI), este tipo de incidencias no suele ocasionar la caída de un nodo, sin embargo, ocasiona graves problemas de calidad en la voz y pérdida de throughput en la navegación, ocasionando conexiones y llamadas caídas, para revisar la causa de la interferencia o ruido en la antena, será necesario que acuda un técnico con equipos dotados para poder realizar mediciones y diagnosticar que ocasiona el RSSI originado, las causas de RSSI pueden ser un PIM en la propia antena, interferencia ocasionada por otros operadores que están instalados en la misma torre que la antena afectada o equipos externos que interfieren en la señal.

A continuación, las revisiones siguientes, se centrarían en kpis de KPIs de accesibilidad y caídas en la antena, con respecto a las degradaciones de accesibilidad, en caso de descartar cualquier tipo de incidencias en la estación de las previas mencionadas, sería necesario chequear si existe congestión y que tipo de congestión para ajustar la parametrización correcta, ya sea mediante ajuste de canales o ajuste de potencia. En caso de que la celda no presente congestión, sería necesario comprobar si han aumentado sus caídas, si no aumentan sus caídas, será necesario revisar con más detalle el nodo. En caso de que hayan aumentado sus caídas y ya se haya descartado previamente incidencias de hardware y Transmisión en el nodo, será necesario revisar sus handover, para ver si se encuentran afectados y el fallo puede venir de alguna incidencia en alguna estación vecina, en caso de no detectar tampoco fallo en la parte de handover, será necesario revisar huellas, configuraciones del nodo y aspectos más concretos para determinar la causa origen del problema en el nodo. Por un lado, un sobrealcance en una celda puede ocasionar degradación de accesibilidad y caídas en las conexiones a ella debido a que, en borde de celda, es decir, en el final de haz de cobertura, el nivel de señal que se reciba será muy bajo. Por otro lado, una configuración errónea, como puede ser una potencia que sobrepase la máxima permitida por hardware puede ocasionar degradaciones de accesibilidad por congestión,

Teniendo en cuenta todos los puntos anteriormente mencionados se ha creado el siguiente diagrama de flujos que podría ser programado para realizar un chequeo automático y resolver de forma más ágil posibles incidencias en la red mediante aplicación de cierta inteligencia artificial:

CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Tras los estudios realizados, se concluye que, mediante una revisión de parámetros que definen el comportamiento de las estaciones base de la red en cuanto a su rendimiento y recursos ofrecidos, se puede lograr detectar incidencias tempranamente y priorizar su resolución, previo, a recibir una queja de cliente.

Con respecto a posibles trabajos futuros, se podría incluir un chequeo mas detallado de la configuración del nodo, entrando en configuración y limite de potencia, configuración de TAC/LAC, handover u offset para revisar posibles impactos a raíz de cambios de configuración.

Posterior a todas las revisiones de los distintos aspectos de las estaciones base, se podría programar y poner en marcha el programa diseñado, posteriormente se podrían realizar testeos y pruebas en el cluster de u número reducido de estaciones base, para comprobar si el funcionamiento del programa es correcto y por último si se consigue un programa potente, se podría ofrecer el servicio a las operadoras.

BIBLIOGRAFÍA:

DOCUMENTOS:

- [1] Huawei Technologies Proprietary, “NodeB LMT User Guide. Chapter 13 Managing NodeB Cell”.
- [2] Carles Puente, Carmen Borja, Anthony Teillet, Dillon Kirchoffer, Jaume Anguera. “Slim triple band antenna array for cellular base stations”, US Patent 8,497,814
- [3] Arebu Dejen, Murad Ridwan, Jeevani Jayasinghe and Jaume Anguera. “Multi-Band mm-Wave Wearable Antenna Synthesized with a Genetic Algorithm”, International Journal of Antennas and Propagation 2022
- [4] Jeevani JAYASINGHE, Jaume ANGUERA and Disala UDUWAWALA. “Genetic Algorithm Optimization of a High-Directivity Microstrip Patch Antenna Having a Rectangular Profile”, Radioengineering, Vol. 22, No. 3, September 2013, pp.700-70
- [5] Jaume Anguera, Aurora Andújar, Sergio Benavente, Jeevani Jayasinghe, Sungtek Kahng. “High-directivity microstrip antenna with Mandelbrot fractal boundary”, IET Microwaves, Antennas & Propagation, vol. 12, Issue 4, 28 March 2018, p. 569 – 575.
- [6] R. Baldemair et al., “Evolving wireless communications: Addressing the challenges and expectations of the future”
- [7] T. Halonen, J. Romero, and J. Melero, GSM, GPRS and EDGE Performance: Evolution Towards 3G/UMTS
- [8] S. Sesia, I. Toufik, and M. Baker, Eds., LTE: The UMTS Long Term Evolution.
- [9] Jaume Anguera, Aurora Andújar, Jeevani Jayasinghe, V. V. S. S. Sameer Chakravarthy, P. S. R. Chowdary, Tanweer Ali, Joan L. Pijoan, Carlo Cattani, “[Fractal Antennas: An Historic Perspective](#)”, Fractal and Fractional, 2020.

[10] Jaume Anguera, Aurora Andújar, Jeevani Jayasinghe, "[High Directivity Microstrip Patch Antennas Perturbing TModd-0 modes](#)", IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol.19, no. 1, pp. 39-43, 2020

[11] Carles Puente, Jaume Anguera, Carmen Borja, and Jordi Soler "[Fractal-Shaped Antennas and their Application to GSM 900/1800](#)" The Journal of the Institution of British Telecommunications Engineers. vol.2, Part 3, July-Set. 2001.

PÁGINAS WEB:

[12] <https://info.support.huawei.com/info-finder/encyclopedia/en/MU-MIMO.html>

[13] <https://www.thalesgroup.com/es/countries/americas/latin-america/dis/movil/inspiracion/5g#:~:text=La%20tecnolog%C3%ADa%205G%20es%20un,expandi%C3%A9ndose%20en%20todo%20el%20mundo.>

[14] <https://www.telefonica.com/es/nosotros/principales-datos/historia/>

[15] <https://www.cnmc.es/sites/>

[16] <https://es.digi.com/blog/post/5g-network-architecture>

[17] <https://www.wordpress.com/>

[18] <https://www.arastechnologies.com/2019/09/eei-continuidad-en-volte-y-otras.html>

[19] <https://www.tesamerica.com/tipos-antenas-funcionamiento/>

