



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

– **TELECOM** ESCUELA
TÉCNICA **VLC** SUPERIOR
DE INGENIERÍA DE
TELECOMUNICACIÓN

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de
Telecomunicación

Estudio de Key Performance Indicators (KPIs) mediante
análisis masivo de datos Big Data de un emplazamiento de
comunicaciones móviles 4G LTE 700 y 5G NR 700 en la
ciudad de Mérida.

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería de Telecomunicación

AUTOR/A: Baviera Martínez, Carlos

Tutor/a: Reig Pascual, Juan-De-Ribera

Cotutor/a externo: PEREZ HERMOSO, ESTEFANIA

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023



Resumen

El avance de las tecnologías provoca una evolución en el diseño, mantenimiento y configuración de las estaciones base. El principal objetivo de los operadores es mantener o mejorar la huella de cobertura y el nivel de interferencias en la zona. Cierta operador pretende integrar tecnología 5G en uno de sus emplazamientos para dar cobertura móvil en la zona escogida. Para ello, se realiza un prediseño que, contrastado con una posterior visita a la infraestructura, plantea una solución final que abarca el hardware a utilizar, esquema del sistema radiante (*SSRR*), configuración de antenas, etc. Además, al tratarse de un entorno urbano, se analiza el nivel de radiaciones para ver si cumple con las condiciones mínimas estipuladas por el ministerio. Asimismo, se realiza un análisis de la huella de cobertura móvil y el nivel de interferencias mediante la herramienta *Xirio*. Para finalizar, después de su integración en la red, se ha procedido a la realización de un estudio de KPIs (*Key Performance Indicator*) a través de un *software* de análisis de datos (*Tableau*). Así mismo, se realiza un análisis descriptivo del conjunto de datos para poder hallar algún modelo que detalle su tendencia. Esto último se realizará a través de una librería de *Python* utilizada en ciencia de datos.

Resum

L'avanç de les tecnologies provoca una evolució en el disseny, manteniment i configuració de les estacions base. El principal objectiu dels operadors és mantindre o millorar la petjada de cobertura i el nivell d'interferències en la zona. Un cert operador pretén integrar tecnologia 5G en un dels seus emplaçaments per a donar cobertura mòbil en la zona triada. Per a això, es realitza un predisseny que, contrastat amb una posterior visita a la Infraestructura, planteja una solució final que abasta el hardware a utilitzar, l'esquema del sistema radiant (*SSRR*), configuració d'antenes, etc. A més, en tractar-se d'un entorn urbà, s'estudia el nivell de radiacions per a veure si compleix amb les condicions mínimes estipulades pel ministerio. Així mateix, es realitza una anàlisi de la petjada de cobertura mòbil i nivell d'interferències mitjançant l'eina *Xirio*. Per a finalitzar, després de la seua integració en la xarxa, s'ha procedit a realitzar un estudi de *KPIs* (*Key Performance Indicator*) a través d'un *software* d'anàlisi de dades (*Tableau*). Així mateix, es realitza un anàlisi descriptiu del conjunt de dades per a poder trobar algun model que detalle la seua tendència. Això últim es realitzarà a través d'una llibreria de *Python* utilitzada en ciència de dades.

Abstract

The advancement of technologies causes an evolution in the design, maintenance and configuration of base stations, the main objective of operators is to maintain or improve the coverage footprint and the level of interference in the area. A certain operator intends to integrate 5G technology at one of its sites to provide mobile coverage in the chosen area. To this end, a pre-design is carried out which, contrasted with a subsequent visit to the infrastructure, a final solution is proposed that includes the hardware to be used, the radiating system scheme (*SSRR*), antenna configuration, etc. In addition, as it is an urban environment, the radiation level is studied to see if it meets the minimum conditions stipulated by the ministry. An analysis of the mobile coverage footprint and interference level is carried out using the *Xirio* tool. Finally, after the site is implemented in the network, a *KPI* (*Key Performance Indicator*) study was carried out using data analysis software (*Tableau*). Likewise, a descriptive analysis of the dataset is carried out to



find a model that details its trend. The latter will be carried out using a Python library used in data science.

Índice

Capítulo 1. Introducción.....	8
1.1 Motivación	8
1.2 Objetivos.....	8
1.3 Metodología de trabajo	9
1.3.1 Distribución de tareas.....	9
1.3.2 Diagrama temporal.....	10
Capítulo 2. Fundamentos de comunicaciones móviles	11
2.1 Arquitectura genérica de una red móvil.....	11
2.2 Espectro de frecuencias.....	11
2.3 Estructura celular.....	12
2.4 Propagación radioeléctrica	12
2.4.1 Pérdidas de propagación.....	12
2.5 Tecnologías	13
2.5.1 LTE	13
2.5.2 New Radio.....	15
Capítulo 3. Desarrollo práctico.....	18
3.1 Diagrama de Gantt.....	18
3.2 Propuesta del operador.....	18
3.3 Situación inicial.....	18
3.4 Prediseño radioeléctrico.....	18
3.4.1 Situación actual.....	18
3.4.2 Solución propuesta.....	19
3.5 Estudio de campo	19
3.6 Análisis de radiaciones	20
3.7 Diseño radioeléctrico	20
3.7.1 Modelo de Antenas	20
3.7.2 Orientación de la antena.....	21
3.7.3 Inclinación mecánica y eléctrica.....	21
3.7.4 Modelo de RRU.....	21
3.7.5 Modelo de BBU.....	21
3.8 Análisis del nivel de huella de cobertura e interferencias	22
3.8.1 Simulación de la huella de cobertura e interferencias	22
3.9 Implementación en la red.....	24
3.9.1 KPIs	24



3.9.2	Análisis de KPIs	25
Capítulo 4.	Resultados	27
4.1	Propuesta del operador.....	27
4.2	Situación inicial.....	27
4.3	Prediseño radioeléctrico.....	28
4.3.1	Situación actual.....	29
4.3.2	Solución propuesta.....	32
4.4	Estudio de campo	34
4.5	Análisis de radiaciones	35
4.6	Diseño radioeléctrico	38
4.6.1	Modelo de Antenas	38
4.6.2	Orientación de la antena.....	41
4.6.3	Inclinación mecánica y eléctrica.....	41
4.6.4	Modelo de RRU.....	42
4.6.5	Modelo de BBU.....	42
4.7	Análisis del nivel de huella de cobertura e interferencias	44
4.7.1	Simulación LTE 700	45
4.7.2	Simulación NR 700.....	47
4.8	Implementación en la red.....	49
4.8.1	Análisis de KPIs	49
4.8.2	Análisis explotario de datos.....	62
4.8.3	Modelización predictiva.....	64
Capítulo 5.	Conclusión y Líneas futuras	68
5.1	Conclusiones	68
5.2	Líneas futuras	69
Referencias	70

Figuras y Tablas

Figuras

Figura 1. Arquitectura general de una red móvil [1].....	11
Figura 2. Dividendo digital en España [2].....	12
Figura 3. Ejemplo estructura celular	12
Figura 4. Arquitectura LTE [6].....	13
Figura 5. Red de acceso E-UTRAN [6]	14
Figura 6. Arquitectura de protocolos E-UTRAN [2]	14
Figura 7. OFDMA [1]	15
Figura 8. NSA vs SA [7]	16
Figura 9. NG-RAN [9].....	16
Figura 10. Capa de usuario [9]	17
Figura 11. Plano de control [9].....	17
Figura 12. Diagrama de Gantt	18
Figura 13. Antena en comunicaciones móviles [18].....	20
Figura 14. Unidad de radio remota [19].....	21
Figura 15. Unidad de banda base [20]	22
Figura 16. Ventana vsiual de Xirio [12].....	23
Figura 17. Ejemplo de simulación en Xirio [12]	23
Figura 18. Jerarquía de objetos de <i>Tableau</i> [21].....	25
Figura 19. Fuentes de datos <i>Tableau</i> [21]	26
Figura 20. Hojas de trabajo [21].....	26
Figura 21. Ubicación del emplazamiento.....	27
Figura 22. Emplazamiento I	28
Figura 23. Plano del proyecto I.....	28
Figura 24. Plano del proyecto II	29
Figura 25. Plano del proyecto III.....	29
Figura 26. Emplazamiento III.....	34
Figura 27. Modelo de antena	34
Figura 28. Ubicación de los equipos	35
Figura 29. Cableado de las antenas	35
Figura 30. Diagrama de radiación horizontal	36
Figura 31. Diagrama de radiación vertical	37
Figura 32. Diagramas de radiación en las diferentes bandas de frecuencia	37
Figura 33. Medidor de campo electromagnético	37
Figura 34. Antena TNA690A20[13].....	38

Figura 35. Rangos de frecuencia disponibles de TNA690A01[13]	39
Figura 36. Antena MY-ROCKET H312[13].....	39
Figura 37. Antena ASI4518R39v06[14].....	40
Figura 38. Rangos de frecuencia de ASI4518R39v06[14].....	40
Figura 39. Asignación puertos de conexión ASI4518R39v06[14]	41
Figura 40. BBU 500 y tarjetas.....	42
Figura 41. Esquema ocupación slots.....	43
Figura 42. Detalle conexionado fibra óptica BBU 5900.....	43
Figura 43. Sistema radiante actual vs Sistema radiante futuro	44
Figura 44. Simulación huella de cobertura LTE 700.....	46
Figura 45. Simulación interferencias LTE 700.....	46
Figura 46. Simulación huella de cobertura NR 700.....	48
Figura 47. Simulación interferencias NR 700	49
Figura 48. Promedio <i>KPIs 4G</i>	50
Figura 49. Disponibilidad <i>LTE</i>	51
Figura 50. <i>RSSI LTE</i>	51
Figura 51. <i>DCR LTE</i>	51
Figura 52. <i>DCR VoLTE</i>	52
Figura 53. <i>CSSR LTE</i>	52
Figura 54. <i>CSSR VoLTE</i>	52
Figura 55. Tráfico <i>Downlink LTE</i>	53
Figura 56. Tráfico <i>Uplink LTE</i>	53
Figura 57. Promedio <i>KPIs 5G</i>	53
Figura 58. Disponibilidad <i>NR 700</i>	54
Figura 59. <i>RSSI NR 700</i>	54
Figura 60. <i>DCR NR 700</i>	55
Figura 61. <i>CSSR NR 700</i>	55
Figura 62. Tráfico <i>Downlink NR 700</i> en Gbps	55
Figura 63. Tráfico <i>Uplink NR 700</i> en Gbps.....	56
Figura 64. <i>CQI NR 700</i>	56
Figura 65. Diagrama <i>boxplot CSSR</i> de la <i>Celda 1</i>	57
Figura 66. Diagrama <i>boxplot CSSR</i> de la <i>Celda 2</i>	57
Figura 67. Diagrama <i>boxplot CSSR</i> de la <i>Celda 3</i>	58
Figura 68. Diagrama <i>boxplot DCR</i> de la <i>Celda 1</i>	58
Figura 69. Diagrama <i>boxplot DCR</i> de la <i>Celda 2</i>	59
Figura 70. Diagrama <i>boxplot DCR</i> de la <i>Celda 3</i>	59
Figura 71. Diagrama <i>boxplot DL</i> de la <i>Celda 1</i>	60



Figura 72. Diagrama <i>boxplot</i> UL de la Celda 1	60
Figura 73. Diagrama <i>boxplot</i> DL de la Celda 2	60
Figura 74. Diagrama <i>boxplot</i> UL de la Celda 2	61
Figura 75. Diagrama <i>boxplot</i> DL de la Celda 3	61
Figura 76. Diagrama <i>boxplot</i> UL de la Celda 3	61
Figura 77. Tabla resumen NR 700	62
Figura 78. Variables categóricas	63
Figura 79. Relación Celda-CSSR	63
Figura 80. Relación Mes-CSSR	63
Figura 81. Mapa de calor de la matriz de correlación	64
Figura 82. Resultados obtenidos regresión lineal	65
Figura 83. Gráfico de dispersión	65
Figura 84. Principales estadísticas	65
Figura 85. Predicción modelo Naive	66
Figura 86. <i>Naive forecaster</i> o predicción <i>Naive</i>	66
Figura 87. <i>Valores reales</i>	66
Figura 88. <i>Valores predichos vs reales</i>	67

Tablas

Tabla 1. Datos de Antena	29
Tabla 2. Tecnologías actuales	30
Tabla 3. Datos actuales sector 1	31
Tabla 4. Datos actuales sector 2	31
Tabla 5. Datos actuales sector 3	32
Tabla 6. Modelos de RRU	32
Tabla 7. Modelo de Antena Propuesta	32
Tabla 8. Solución propuesta sector 1	33
Tabla 9. Solución propuesta sector 2	33
Tabla 10. Solución propuesta sector 3	33
Tabla 11. Características radioeléctricas	36
Tabla 12. Medidas de intensidad del campo eléctrico	38
Tabla 13. Diseño solución Capacidad BBU 5900	43
Tabla 14. Configuración <i>Xirio</i> LTE 700 I	45
Tabla 15. Configuración <i>Xirio</i> LTE 700 II	45
Tabla 16. Configuración <i>Xirio</i> NR 700 I	47
Tabla 17. Configuración <i>Xirio</i> NR 700 II	47
Tabla 18. Valores umbral	50



Lista de acrónimos

- *AMF: Access and Mobility Management Function*
- *BBU: Base Band Unit*
- *BI: Business Intelligence*
- *CC: Call Control*
- *CDMA : Code Division Multiple Access*
- *CM : Configuration Management*
- *CSSR: Call Setup Success Rate*
- *CU: Central Unit*
- *DAMA: Demand Assigned Multiple Access*
- *DHCP: Dynamic Host Configuration Protocol*
- *DNS: Domain Name System*
- *DU: Distributed Unit*
- *dB: Decibel*
- *dBm: decibel milliwatt*
- *DL-SINR: Downlink Signal Interference Noise Relation*
- *E-UTRAN: Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network*
- *EPC: Evolved Packet Core*
- *eMBB: Enhanced Mobile Broadband. UIT-R M.2150-1[17].*
- *eNB: evolved Node B*
- *ERAB: E-UTRAN Radio Access Bearer*
- *FDMA: Frequency Division Multiple Access*
- *GSM: Global System for Mobile Communications*
- *IP: Internet Protocol*
- *IoT: Internet of Things*
- *IQR: Interquartile Range*
- *KPI: Key Performance Indicator*
- *LAC: Local Area Code*
- *LTE: Long-Term Evolution. UIT-R M.2150-1[17].*
- *MHz: Megahercio*
- *MIMO : Multiple Input Multiple Output. UIT-R M.2150-1[17].*
- *MM: Mobility Management*
- *mMTC: Massive Machine Type Communication. UIT-R M.2150-1[17].*
- *MSE : Mean Square Error*
- *NAS: Non-Access Stratum*
- *NOMA: Non Orthogonal Multiple Access*
- *NR: New Radio. UIT-R M.2150-1[17].*
- *NSA: Non-Standalone*
- *OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing. UIT-R M.2150-1[17].*
- *OFDMA: Orthogonal Frequency Division Multiple Access. UIT-R M.2150-1[17].*
- *OSI: Open Systems Interconnection*
- *PAPR: Paeak to Average Power Ratio. UIT-R M.2150-1[17].*
- *PCH: Paging Channel*
- *PDCCP: Packet Data Convergence Protocol. UIT-R M.2150-1[17].*
- *PDSCH: Physical Downlink Shared Channel*
- *PHY: Physical Layer. UIT-R M.2150-1[17].*
- *PSC: Primary Scrambling Code*



- *PSTN: Public Switched Telephone Network*
- *QoS: Quality of Service. UIT-R M.2150-1[17].*
- *RAN: Radio Access Network*
- *RAT: Radio Access Technology*
- *RET: Remote Electrical Tilt*
- *RF: Radio Frequency*
- *RLC: Radio Link Control. UIT-R M.2150-1[17].*
- *RRU: Radio Remote Unit*
- *RSSI: Received Signal Strength Indicator*
- *RSRP: Reference Signal Received Power*
- *SA: Standalone*
- *SBT: Smart Bias-Tee*
- *SCMA: Sparse Code Multiple Access*
- *SCTP: Stream Control Transmission Protocol*
- *SDN: Software Defined Networking*
- *SINR : Signal Interference Noise Relation*
- *SS: Switching System*
- *SSMA: Spread Spectrum Multiple Access*
- *SS-RSRP: Synchronization Signal-Reference Signal Received Power*
- *TAC: Type Allocation Code*
- *TCP: Transmission Control Protocol*
- *TMA: Tower Mounted Amplifier*
- *TTI: Transmission Time Interval. UIT-R M.2150-1[17].*
- *UDP: User Datagram Protocol*
- *UE: User Equipment. UIT-R M.2150-1[17].*
- *UMTS: Universal Mobile Telecommunications System*
- *uRLLC: Ultra Reliable Low Latency Communication. UIT-R M.2150-1[17].*
- *U2000: Gestor Huawei*

Capítulo 1. Introducción

1.1 Motivación

Actualmente el mundo de las telecomunicaciones se encuentra en pleno crecimiento, de manera que la cuarta revolución industrial o industria 4.0 junto con el despliegue del 5G ha provocado una evolución en las nuevas redes.

Las redes de telecomunicaciones y en concreto, las redes de comunicaciones móviles están adaptándose a las nuevas tecnologías. La tecnología NR (*New Radio*), caracterizada por presentar una baja latencia, un largo alcance y un mayor ancho de banda, permite dar unos servicios de disponibilidad y cobertura eficientes. De este modo, provoca un avance en la arquitectura de la red y una gran variedad de aplicaciones de *Internet of Things (IoT)*.

La implementación de este tipo de redes proporciona unos beneficios en comunicaciones ultra confiables y de baja latencia (*Ultra Reliable Low Latency Communication, uRLLC*), en comunicaciones masivas de tipo máquina (*Massive Machine Type Communication, mMTC*) y en casos donde la comunicación móvil requiere de una banda ancha y velocidad elevada (*Enhanced Mobile Broadband, eMBB*). Algunos ejemplos son los vehículos autónomos, *smart cities* y la automatización industrial.

Otro concepto innovador en los últimos años es el *Big Data* o grandes volúmenes de datos. Hace referencia a la gran cantidad, velocidad y variedad de información y a su procesamiento. Este término implica el tratamiento de datos para tomar decisiones y automatizar procesos.

En la actualidad existe una necesidad, por parte de las empresas, de gobernar sus datos y emplear un uso fiable de estos. El objetivo es obtener el máximo beneficio posible para la toma de decisiones y predicciones. En concreto, los operadores móviles requieren un buen uso de sus datos para llevar a cabo un análisis de incidencias, métricas o cualquier otro trabajo solicitado sobre cualquier punto concreto de su red.

En este proyecto se va a estudiar el comportamiento de *KPIS (Key Performance Indicator)* de dos tecnologías (4G y 5G) a integrar en un entorno urbano. Para ello, se comprenderá el proceso llevado a cabo, donde previamente se realizará un estudio radioeléctrico, un estudio de emisiones radioeléctricas y un análisis de la huella de cobertura e interferencias mediante una herramienta de simulación (*Xirio*).

El diseño radioeléctrico planteado como solución para poder integrar las nuevas tecnologías, será contrastado con un prediseño radioeléctrico previo y un estudio de campo para conocer el estado del emplazamiento. Por otro lado, el nuevo sistema radiante planteado debe cumplir unas restricciones y medidas de protección estipuladas (estudio de radiaciones) para no poner en riesgo el dominio público radioeléctrico.

Finalmente, se simulará el alcance de la cobertura móvil y el nivel de interferencias con el diseño planteado, y se estudiará, de forma exhaustiva, mediante un software de análisis de datos (*Tableau*) el comportamiento de los *KPIS* en la red. Así mismo, se realizará un análisis descriptivo y estadístico del conjunto de datos para poder realizar una predicción el tiempo sobre algún *KPI* concreto.

1.2 Objetivos

El objetivo general de este trabajo de fin de máster es conocer el procedimiento para diseñar, implementar y analizar dos tecnologías nuevas de un emplazamiento existente en un entorno urbano. En concreto, el proceso tiene diferentes objetivos específicos:

- Realizar una búsqueda eficiente de la situación actual del emplazamiento y contrastar las diferentes fuentes de información.

- Plantear un prediseño radioeléctrico, de forma preliminar, para poder dar servicio de las tecnologías de interés.
- Interpretar de manera correcta el informe proporcionado en el estudio de campo y tener en cuenta las consideraciones oportunas.
- Proporcionar una solución en el diseño radioeléctrico que recoja las especificaciones en el estudio de radiaciones radioeléctricas y las necesidades de hardware en el estudio de campo.
- Realizar una simulación mediante *Xirio* del nivel de huella de cobertura e interferencias, tras realizar los cambios oportunos en el sistema radiante, para conocer su alcance y el nivel de degradación de la señal.
- Conocer las métricas más importantes para el operador y sus respectivos niveles óptimos.
- Saber utilizar la herramienta *Tableau* para conseguir un análisis detallado de la gran cantidad de *KPIs* obtenidos.
- Concretar un análisis crítico de los resultados obtenidos, con relación a cada parámetro medido.
- Cumplir con los requisitos del operador para poder dar el servicio de las tecnologías especificadas.

1.3 Metodología de trabajo

1.3.1 Distribución de tareas

El desarrollo del proyecto se puede dividir en tareas que se realizan de manera secuencial, puesto que cada tarea depende de cierta manera de la realizada anteriormente. Dichas tareas son:

1. Prediseño radioeléctrico: Se realiza un diseño previo en base a la información conocida sobre la situación actual del emplazamiento. Después, un técnico realiza una visita de campo donde redacta un informe con las necesidades de hardware.
2. Interpretación de las especificaciones del informe de campo y del estudio de radiaciones: Por un lado, debe tenerse en consideración las necesidades de hardware especificadas por parte del técnico, y por otro las especificaciones de diseño del estudio de radiaciones, para plantear una solución final.
3. Diseño radioeléctrico: Se plantea una solución final de sistema radiante donde se cumpla los requisitos mínimos indicados en ambos informes (campo y radiaciones). Además, se realiza el diseño lo más optimizado posible para cambiar el mínimo hardware. Por último, se debe tener en cuenta las especificaciones de la normativa de diseño del operador, así como los equipos de unidades de banda base (*BBU*) y radio remota (*RRU*).
4. Análisis del nivel de huella de cobertura e interferencias: A través de la herramienta de simulación *Xirio*, se realiza un estudio del nivel de cobertura e interferencias. De esta manera, se interpreta el impacto del nuevo sistema radiante en la cobertura proporcionada y la degradación de la señal.
5. Conocimiento de la herramienta *Tableau*: Estudio del concepto *Big Data*, importancia del *business intelligence* y familiarización con el uso del *software Tableau* para obtener un análisis en detalle de los parámetros deseados.
6. Estudio de *KPIs*: Análisis de los parámetros más importantes por el operador para realizar una buena interpretación del comportamiento de las nuevas tecnologías integradas.
7. Redacción de la memoria: Recoger por escrito los conceptos más importantes en un marco teórico para poder abarcar este proyecto final de máster.



1.3.2 Diagrama temporal

A continuación, se presenta una distribución temporal del desarrollo de las tareas anteriormente mencionadas y, por tanto, del proyecto:

	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero-Junio
Tarea 1					
Tarea2					
Tarea 3					
Tarea 4					
Tarea 5					
Tarea 6					
Tarea 7					

Capítulo 2. Fundamentos de comunicaciones móviles

Actualmente, la sociedad se encuentra en la cuarta revolución industrial y aquí, las comunicaciones móviles y, en concreto, las redes de quinta generación o 5G juegan un papel muy importante.

De un primer modo, hay que destacar conceptos previos muy importantes a la hora de desarrollar en este proyecto. La arquitectura de una red móvil, las técnicas de acceso múltiple correspondientes a cada tecnología, la estructura celular, su dimensionamiento, las limitaciones de dicha estructura y las características principales de las tecnologías a integrar son algunos de los conceptos que deben comprenderse de manera clara.

2.1 Arquitectura genérica de una red móvil

Las redes móviles actuales pueden estructurarse en una jerarquía basada en la presencia de diferentes elementos y funciones.

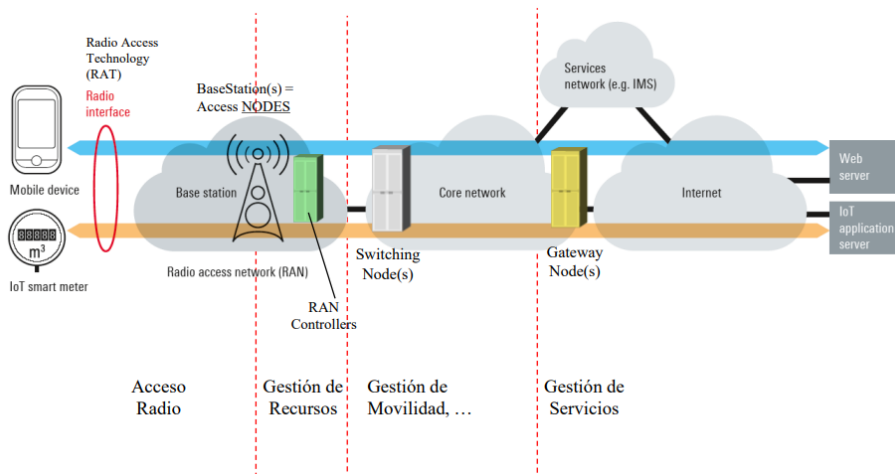


Figura 1. Arquitectura general de una red móvil [1]

En base a la Figura 1, podemos destacar:

- *Radio Access Technology (RAT)*: Hace referencia a la interfaz radio o canal de comunicación tecnológico de los diferentes dispositivos.
- Estaciones base: Son los diferentes nodos de la red y forman parte de la red de acceso radio.
- *RAN Controllers*: Gestionan los recursos de la red de acceso radio.
- *Switching Nodes*: Son los diversos puntos en la red que hacen posible la movilidad del tráfico hasta llegar al destino, forman parte del *core network*.
- *Gateway Nodes*: Son los nodos que permiten los servicios a Internet.

2.2 Espectro de frecuencias

El espectro radioeléctrico es un factor fundamental a la hora de transmitir información y poder realizar la comunicación entre diferentes puntos de la red. Este es de carácter público y es responsabilidad del estado su gestión y uso.

Más en concreto, enfocándose en los servicios de red de telefonía móvil, se observa un reparto del espectro en bandas de frecuencia para cada operador. Este reparto queda de la siguiente manera:

	700 MHz	800 MHz	900 MHz	1800 MHz	2100 MHz	2600 MHz	3500 MHz
	5G banda 28	4G banda 20	2G/3G banda 8	2G/4G banda 3	3G banda 1 y 39	4G banda 7 y 38	5G banda 78
Movistar	20 MHz	20 MHz	29.6 MHz	40 MHz	30 MHz FDD 5 MHz TDD	40 MHz nacional 20 MHz autonómico	100 MHz
Vodafone	20 MHz	20 MHz	20 MHz	40 MHz	30 MHz FDD 5 MHz TDD	40 MHz FDD 20 MHz TDD	90 MHz
Orange	20 MHz	20 MHz	20 MHz	40 MHz	30 MHz FDD 5 MHz TDD	40 MHz nacional 40 MHz autonómico	110 MHz
MásMóvil				29.6 MHz	30 MHz FDD 5 MHz TDD	20 MHz TDD (autonómicos)	60 MHz

Figura 2. Dividendo digital en España [2]

2.3 Estructura celular

Los sistemas de comunicaciones móviles celulares proporcionan servicios de redes de telecomunicaciones en zonas geográficas diversas con el objetivo de conservar la continuidad de la comunicación mientras el usuario se desplaza libremente. Para ello, toma relevancia el concepto de *cluster*, conjunto de células que no comparten canales.

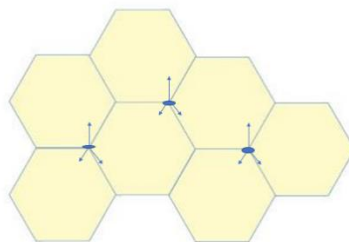


Figura 3. Ejemplo estructura celular

Por otro lado, la capacidad de las celdas depende de la densidad de abonados en la zona y del número de canales de acceso que se disponga. El tamaño de cada celda se dimensiona con el objetivo de acoger el área de cobertura a un número de usuarios máximo [2].

Con este fin, en zonas rurales las celdas cubren distancias de varios kilómetros, ya que la densidad de población es menor en comparación a entornos urbanos, donde las distancias de cobertura no suelen superar los 900 metros [2].

2.4 Propagación radioeléctrica

El término propagación hace referencia a una serie de características que afectan en cierta manera a la radiocomunicación. La onda transmitida sufre alteraciones debido a las características eléctricas de la Tierra, la orografía del terreno, la atmósfera e ionosfera y, se traduce en pérdidas de propagación.

2.4.1 Pérdidas de propagación

El nivel de potencia recibida en un terminal a una distancia d de la antena transmisora en el espacio libre es un factor importante. Cabe destacar P_t como la potencia transmitida (en unidades lineales), las ganancias de transmisión y recepción, $G_t G_R$ y la longitud de onda λ . Todo esto se recoge en la siguiente ecuación [2]:

$$P = P_t G_t G_R \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (1)$$

Se define, por tanto, las pérdidas de propagación en espacio libre y en unidades lineales:

$$L_o = \frac{c^2}{(4\pi df)^2} \quad (2)$$

En general, un sistema de telefonía móvil puede sufrir pérdidas por el espacio libre, por la orografía y por las condiciones y características del equipo local, de forma que las pérdidas totales de propagación en unidades lineales se pueden expresar como [2]:

$$L = 10^{L_e} \times 10n \log(d) \times 20 \log(f) \quad (3)$$

Siendo L_e las pérdidas asociadas al entorno, d la distancia entre terminal y estación base, n el factor de corrección (entre 3 y 4) en función de la vegetación y orografía, y f la frecuencia.

2.5 Tecnologías

2.5.1 LTE

2.5.1.1 Arquitectura

La tecnología *LTE* (*Long Term Evolution*), hace referencia a las redes de cuarta generación en las que su arquitectura se basa en la nueva red *E-UTRAN* (*Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network*) y la red troncal *EPC* (*Evolved Packet Core*). Estos dos componentes se encargan de la transferencia de paquetes IP entre dispositivos de usuario y otras redes externas (IMS, Internet, etc). El servicio de transmisión de paquetes IP entre usuarios de la red y dispositivos externos se define como *EPS Bearer Service* y *E-RAB* a los paquetes transferidos desde la red de acceso (*E-UTRAN*).

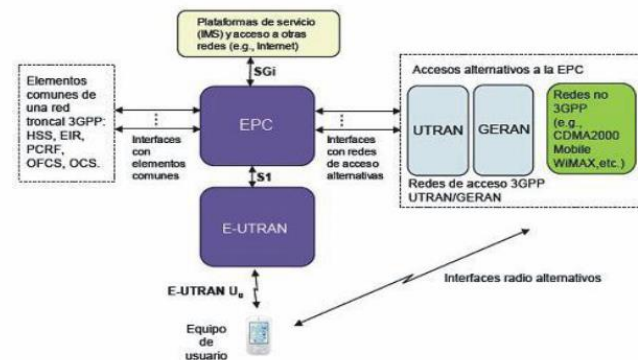


Figura 4. Arquitectura LTE [6]

La base de la interconexión entre los diferentes equipos físicos se realiza mediante redes basadas en IP, esto se traduce en la implementación de otros elementos como *routers*, servidores *DHCP* (*Dynamic Host Configuration Protocol*) y servidores *DNS* (*Domain Name Server*) para poder configurar y asociar las direcciones *IP* a los nombres de los equipos [6].

2.5.1.2 Interfaz radio

La red de acceso tiene presente un componente que abarca la estación base de *E-UTRAN*, *eNB* (*evolved Node B*), por lo que a diferencia de las redes *GSM* (*Global System for Mobile Communications*) y *UMTS* (*Universal Mobile Telecommunications System*), en *LTE* la estación base *E-UTRAN* tiene la funcionalidad total de la red de acceso [6].

Una red de acceso *E-UTRAN* está compuesta de varios *eNBs* que facilitan la conexión entre el usuario y la red troncal *EPC*, esta conexión se realiza a través de tres interfaces, U_u , S_1 y X_2 .

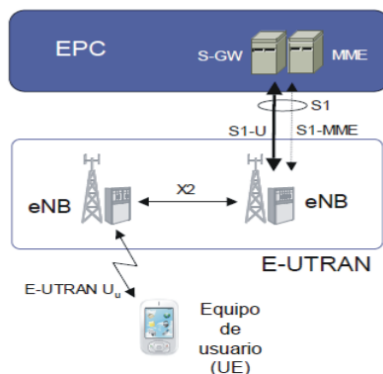


Figura 5. Red de acceso E-UTRAN [6]

La interfaz Uu es la responsable de la transferencia de datos y señales de control mediante el canal radio entre el eNB , encargado de gestionar la transmisión y recepción de datos, y el usuario. Además, el eNB se conecta a la red EPC mediante el interfaz $S1$, caracterizada por la composición de dos subinterfaces a su vez: $S1-MME$ para controlar el plano de control y $S1-U$ para dirigir el plano de usuario respectivamente [6].

Por otro lado, los $eNBs$ pueden intercambiar mensajes de señalización y gestión más eficiente del uso de recursos radio y *handovers*.

2.5.1.3 Protocolos

La interfaz radio presenta diversos protocolos dirigidos a diferentes funcionalidades y objetivos dentro de esta arquitectura. Algunos de estos son [2]:

- **PDCP (Packet Data Convergence Protocol)**: Su objetivo es el cifrado y la protección de integridad de la información. Se caracteriza por la compresión de las cabeceras IP (plano de usuario).
- **RLC**: Es utilizado para enlazar el terminal móvil y el eNB . Presenta varios modos de operación (con o sin recepción, segmentación, concatenado, etc).
- **MAC**: Destinado a gestionar los recursos físicos en canales de compartición, tales como, *UL-SCH (Uplink Scheduling)* y *DL-SCH (Downlink Scheduling)*. Se pueden implementar las retransmisiones híbridas mediante la funcionalidad *H-ARQ (Hybrid ARQ)*.
- **PHY (Physical Layer)**: Orientado a la modulación y codificación del canal, entre otros.

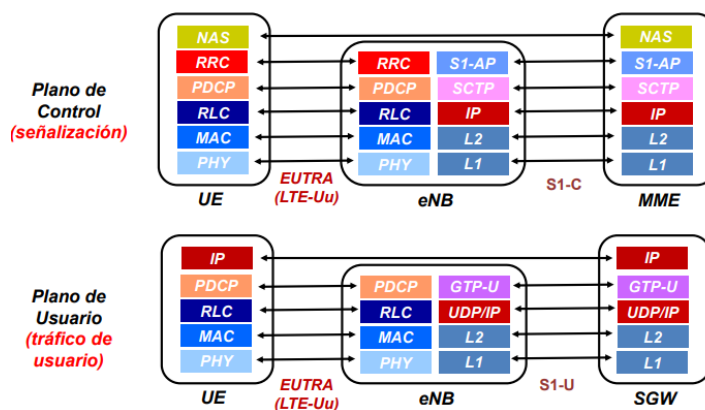


Figura 6. Arquitectura de protocolos E-UTRAN [2]

2.5.1.4 Técnicas de acceso al medio

Otro aspecto importante es el acceso al medio, es decir, las estaciones base tienen una capacidad límite de accesos simultáneos. Para evitar la conexión de una estación base con un móvil de la

estación vecina existen distintos canales de acceso ortogonales entre sí, con distintas frecuencias, intervalos de tiempo o códigos.

En particular, *LTE* hace uso de dos técnicas de acceso al medio. Una para la comunicación de la estación base con los usuarios (*downlink*) y otra para la comunicación del terminal móvil de cada usuario con la estación base (*uplink*).

Por un lado, en *downlink* se utiliza *OFDMA* (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*). Esta técnica divide el radiocanal en subportadoras (*Orthogonal Frequency Division Multiple, OFDM*) y el dominio del tiempo en intervalos de slots temporales, asignando a cada usuario un grupo de subportadoras en función de la calidad de servicios o ancho de banda. Se caracteriza por ser un mecanismo de acceso donde los recursos radio a asignar a los usuarios son bloques tiempo/frecuencia [1].

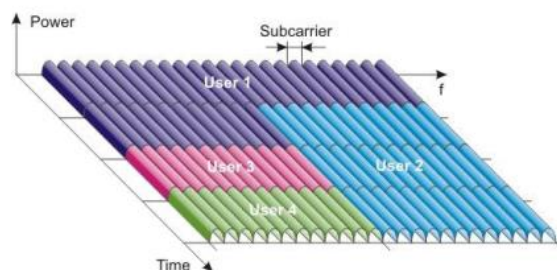


Figura 7. OFDMA [1]

Por otro lado, en *uplink* emplea *CS-FDMA* (*Single Carrier Frequency Division Multiple Access*) y se caracteriza por realizar una división múltiple del canal por frecuencia de una única portadora. Esta técnica es muy similar a la anterior, no obstante, presenta una ventaja frente a *OFDMA*. La potencia media de pico (*PAPR, peak to average power ratio*) es mucho menor, permitiendo al terminal móvil un ahorro de batería y eficiencia energética.

2.5.2 New Radio

Las redes celulares de quinta generación o también llamadas *5G New Radio (5G)*, representan un cambio importante en la arquitectura de la red de acceso. Esta tecnología presenta un aumento en la capacidad del tráfico frente a las redes celulares anteriormente mencionadas. Esto se traduce en un incremento de los dispositivos conectados en la red y, por tanto, un elevado volumen de la red.

La velocidad, seguridad y fiabilidad son muchos de los otros aspectos que definen el ecosistema de conectividad que aparece entre humanos y máquinas, el cual, permite la movilidad *seamless*¹, la conexión eficiente, la densidad de red, el aumento de la productividad en la industria, la automatización y la sostenibilidad. Otro concepto que destacar es el de *SDN*, (*Software Defined Networking*), que a través de redes definidas por software intenta mejorar el rendimiento de la red, y la virtualización de las funciones de (*NFV, Network Function Virtualization*) considerada una alternativa para diseñar, desplegar y gestionar los servicios de red como una *SDN* [8].

2.5.2.1 Arquitectura

Las redes celulares *5G* o de quinta generación presentan dos tipos de soluciones para definir su arquitectura [7]:

- **5G Non Standalone (NSA):** Se basa en el uso de la red de acceso y el core (EPC), ya existente en *LTE*, como anclaje para la gestión de movilidad y cobertura para añadir una

¹ Hace referencia al servicio continuo y sin problemas, donde la calidad de la red no se ve alterada.

portadora 5G. Esta solución permite a los operadores prestar estos servicios en menor tiempo y con menor coste.

- **5G Standalone (SA):** Esta arquitectura introduce un núcleo de paquetes 5G nuevos, consta de: *5G New Radio*, *5G Core Network*, *Network Slicing*, *CUPS*. Incorpora virtualización y consigue una latencia muy reducida.

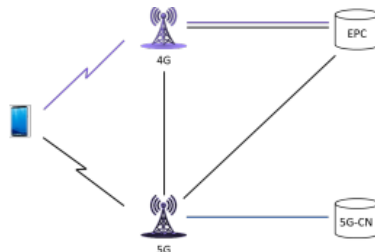


Figura 8. NSA vs SA [7]

2.5.2.2 NG-RAN

La red de acceso 5G, *NG-RAN*, gestiona el tráfico para las diferentes redes divididas, una vez configuradas. Dicha red, selecciona la parte de la red de acceso dividida según la información recibida por el *UE (User Equipment)* O *5GC* [8].

La red de acceso 5G, queda compuesta por los siguientes elementos [9]:

- *gNB* (estación de base 5G): proporciona servicios de plano de usuario y de control.
- *ng-eNB*: presta servicios a *LTE/E-UTRAN* al *UE*. Estos elementos se encuentran conectados mediante el interfaz *Xn* y, conectados al núcleo del *core 5G*. Más en concreto, mediante interfaces *NG-C* al *AMF (Access Mobility Function)* que es la función de acceso y movilidad y *NG-U* a la *UPF (User Plan Function)*.

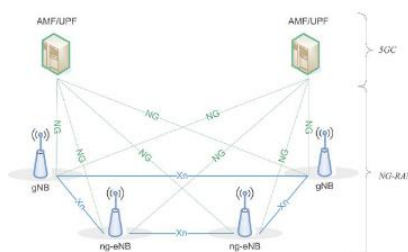


Figura 9. NG-RAN [9]

Por otro lado, cabe destacar que la nueva arquitectura de *NR* divide el *eNB* de la anterior (ahora *gNB*) *RAN* de *LTE* en unidades Centrales (*CU*) y unidades distribuidas (*DU*) para poder flexibilizar la red y conseguir más eficiencia.

2.5.2.3 Protocolos

En base al modelo OSI de arquitectura de capas y las interfaces radio mencionadas en el punto anterior, se puede observar el protocolo *GTP-U* sobre *UDP (User Datagram Protocol)* e *IP* para el plan de usuario y para el plano de control *SCTP (Stream Transmission Control Protocol)* [7].

En la arquitectura del plano de usuario se aprecia una diferencia notable con *SDAP (Service Data Adaption Protocol)* para garantizar una *QoS (Quality of Service)* basado la asignación de paquetes *IP* a través de *RRC* [9].

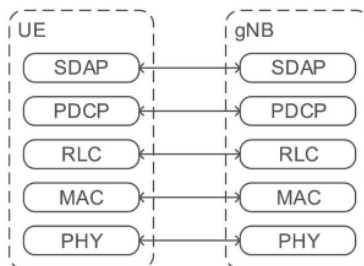


Figura 10. Capa de usuario [9]

Sin embargo, el plano de control utiliza el protocolo *NAS (Non Access Stratum)* empleado para registrar, autenticar y actualizar la ubicación y sesión.

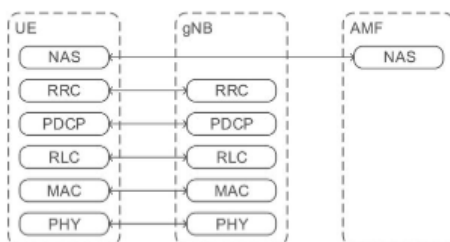


Figura 11. Plano de control [9]

2.5.2.4 Técnica de acceso al medio

El concepto de técnicas de acceso al medio es un término que optimiza y maximiza el uso del espectro de frecuencias, ya que es un recurso escaso y, por el cual, es importante compartirlo. En 5G existen dos métodos de acceso múltiple.

En primer lugar, *Non Orthogonal Multiple Access (NOMA)*, es una técnica de acceso múltiple que se caracteriza por realizar una multiplexación en el dominio de la potencia. Es decir, se basa en la transmisión de señales de varios usuarios simultáneamente y en adecuar la potencia a cada usuario. En cuanto a la recepción, asegura una calidad mínima para aquellos usuarios con peores condiciones [16].

La otra técnica de acceso múltiple es *SCMA (Sparse Code Multiple Access)* que se basa en *OFDMA* y *CDMA (Code Division Multiple Access)*, es decir, en la transmisión múltiple mediante la asignación de un grupo de subportadoras y códigos de baja densidad y expansión dispersa [16].

Capítulo 3. Desarrollo práctico

A continuación, se detalla el desarrollo o estructura del procedimiento para diseñar, analizar e integrar las nuevas tecnologías. Para ello, se explicarán las diferentes fases que componen dicho proceso (objetivo, herramientas, función, etc.) para entender, en detalle, un proceso real de integración de nuevas tecnologías.

3.1 Diagrama de Gantt



Figura 12. Diagrama de Gantt

3.2 Propuesta del operador

El objetivo principal del operador es poder integrar dos tecnologías (*LTE-A* y *NR*) en una banda de frecuencia específica. En este caso en concreto, pretende integrar estas tecnologías en uno de sus emplazamientos existentes y poder proporcionar el mismo nivel de radiaciones, interferencias y huella de cobertura.

El nuevo plan de integración del operador se basa en integrar 5G en todo el ámbito nacional para alcanzar una evolución en toda su red.

3.3 Situación inicial

En primer lugar, hay que conocer la localización y las características del entorno. Esto se traduce en realizar un estudio previo sobre las condiciones en las que se encuentra el emplazamiento para identificar necesidades a la hora de realizar la visita de campo.

3.4 Prediseño radioeléctrico

El prediseño hace referencia a toda la información conocida mediante el gestor *U200* (*Gestor Huawei*), en este caso, y a través de trabajos previos realizados en este emplazamiento (planos, informe y reportes fotográficos).

Este prediseño se divide en la situación actual y la solución propuesta de diseño del emplazamiento donde se aprecia el *hardware*, configuración y cambios realizados.

3.4.1 Situación actual

En base a la información que se puede consultar en *U200* y en el trabajo previo realizado en dicho emplazamiento se puede cumplimentar cierta información que será de utilidad para el posterior estudio de campo. En concreto, las características que se pueden consultar son:

- Celdas: se revisa qué celdas tiene y en qué estado se encuentran.
- Tipo de antenas: A través del sistema radiante, en el posterior estudio de campo, un técnico comprobará dicha información.

- Tecnologías implementadas: A través de *U200* se observa las tecnologías presentes en dicho nodo y los puertos de conexión.
- Orientación o *azimut*: Indica la orientación de la antena, en el estudio de campo se verifica dicha medida.
- Inclinación o tilt mecánicos: El técnico encargado de realizar el estudio comprobará la inclinación física de la antena. Como norma general, el operador pretende tener un control total de la inclinación a través del *RET* (*Remote Electrical Tilt*).
- Inclinación Eléctrica o *tilt* eléctrico: En caso de tener y estar bien configurado el *RET*, esta medida se puede consultar en *U200*.
- Altura del mástil: Esta altura será comprobada por el técnico por si ha sido manipulada.
- Modelo *RRU*: En *U200* y en los planos, se pueden observar los diferentes modelos existentes en el emplazamiento.

3.4.2 Solución propuesta

La solución propuesta según necesidades del operador y la situación del emplazamiento hace referencia a los cambios a realizar a nivel de *hardware*. Los cambios indicados serán verificados por el estudio de campo y, por tanto, se especificará en el diseño radio final. El *hardware* que especificar es:

- Tipo de antena: La antena escogida deberá satisfacer las necesidades del operador para poder implementar las tecnologías necesarias. En caso de ser posible, se mantendrá la misma antena.
- Tecnologías futuras: Se especifica la tecnología, la banda de frecuencia y el puerto de conexión en la antena.
- Futura orientación o *azimut*: En un diseño preliminar, se mantiene la orientación. Posteriormente tras realizar un estudio de radiaciones en el diseño radioeléctrico final se verificará dicha posibilidad y diferentes alternativas.
- Futura inclinación mecánica: Para poder tener un control remoto de la inclinación de la antena, se establece la inclinación física a 0.
- Futura inclinación eléctrica: Por norma general, el operador establece como criterio de diseño establecer como inclinación eléctrica la suma de las inclinaciones del estado actual (física + eléctrica).
- Altura del mástil: La altura del mástil será la diferencia entre la altura de la antena y la altura total establecida actualmente (altura de la antena + altura del mástil).
- Modelo *RRU*: Se instalan las unidades radio remotas necesarias para poder implementar las tecnologías no existentes.
- Modelo *BBU*: Por norma general, en caso de no estar instalada, se cambiará la *BBU* existente por una *BBU5900*.

Tras cumplimentar toda la información necesaria, se realizará una visita programada a la propiedad donde se ubica el emplazamiento para realizar el estudio de campo anteriormente mencionado.

3.5 Estudio de campo

Este estudio es muy importante a nivel de diseño. Aquí, se realiza una tarea de comprobación y otra de verificación.

Un técnico especializado y con los permisos legales oportunos realiza una vista a la infraestructura donde comprueba el estado actual previamente cumplimentado. En caso de encontrar alguna anomalía o defecto, mediante un acta de replanteo lo notifica al operador.

A continuación, verifica si es posible la solución previamente aportada y, por tanto, la reutilización del hardware actual, todo aquello que no se pueda reutilizar lo deja indicado en el informe.

Finalmente, realiza un reporte fotográfico para conocer a ciencia cierta el estado del emplazamiento y las características del hardware actual. Este reporte va acompañado del acta de replanteo o informe de campo, y es de gran utilidad para el posterior diseño radio. Sobre todo, para emplazamientos donde el acceso es limitado.

3.6 Análisis de radiaciones

Este análisis de radiaciones se realiza solamente en aquellos emplazamientos localizados en entornos urbanos. En él se realiza un estudio de la incidencia radioeléctrica en los seres humanos. Para ello, se tiene en cuenta la altura, el grado de inclinación y la orientación de las antenas.

Este diseño indica el valor mínimo viable para no sobrepasar en el rango mínimo viable de radiaciones estipulado por el ministerio.

3.7 Diseño radioeléctrico

Tras la visita de campo y el estudio de radiaciones, el siguiente paso es realizar el diseño radioeléctrico del emplazamiento. Por norma general, el operador estipula siempre que sea posible, el mantenimiento del hardware actual. En este diseño, se estudia en profundidad el sistema radiante (*SSRR*).

3.7.1 Modelo de Antenas

De un primer modo, el modelo de antenas es el primer componente en seleccionar para conseguir proporcionar el servicio deseado. En concreto, los parámetros que se deben estudiar son:

- Rango de frecuencias: Es importante que la antena cubra las bandas de frecuencias que se desean integrar en el emplazamiento. De no ser así, la antena actual se deberá cambiar por un nuevo modelo que pueda alcanzar tanto las bandas de frecuencias en servicio actualmente como las que se desean integrar.
- Número de puertos: La antena debe tener un número de puertos suficiente para poder dar conectividad a todas las tecnologías. En caso de reutilizar la antena, debe tener al menos 2 puertos libres (uno por tecnología).
- Control remoto del *tilt* eléctrico: Con el objetivo de tener un control total de la inclinación de la antena, se están instalando equipos que permitan dicha configuración (*RET*). Por esto, la antena actual o la futura antena deberá tener este equipo instalado.



Figura 13. Antena en comunicaciones móviles [18]

3.7.2 Orientación de la antena

El operador tiene como objetivo dar cobertura móvil a diferentes zonas alrededor del emplazamiento. Mediante la orientación de cada sector se consigue poder cubrir estas zonas mediante el servicio de interés.

El operador establece como norma general de diseño en emplazamientos existentes mantener las orientaciones actuales, siempre y cuando, sea posible. Tras la información recogida en el estudio de radiaciones y el acta de replanteo proporcionado por el técnico de campo, se verifica si es viable mantener las orientaciones actuales.

3.7.3 Inclinación mecánica y eléctrica

La inclinación juega un papel importante en el sistema radiante, puesto que determina la dirección del haz de la antena. Como ya se ha comentado anteriormente, la inclinación de la antena puede configurarse mecánica y eléctricamente y ayuda a concentrar la radiación de la antena en una dirección deseada.

La inclinación mecánica hace referencia a la inclinación física de la antena, esto se realiza a través de un *kit* que realiza una inclinación sobre la propia antena. Normalmente, suele ser un *downtilt*, ya que la inclinación se realiza hacia abajo, no obstante, la inclinación hacia arriba se denomina *uptilt*.

La inclinación eléctrica se puede regular de manera manual o remota (*RET*) y obtiene un tipo de diagrama u otro alterando las características de fase de la señal de cada componente de la antena. En general, el operador quiere controlar la configuración de la antena de forma remota y pretende establecer la inclinación total de manera eléctrica, como ya se ha adelantado.

3.7.4 Modelo de RRU

Otro concepto importante es el de unidad de radio remota (*RRU*) que se encarga del procesamiento de la señal de radiofrecuencia (*RF*). Una unidad de radio remota en los sistemas de estación base puede incluir un módulo con un sumador de prefijo cíclico (*CP*) para el procesamiento del canal en *downlink* y un eliminador de *CP* para *uplink*. La *RRU* puede conectarse con la unidad de banda base (*BBU*), a través de un enlace de comunicación física (fibra óptica), y con un dispositivo móvil, a través de una interfaz aérea (red inalámbrica).

Generalmente se suelen instalar lo más cercano posible a la antena, ya que así se reducen pérdidas y son controladas mediante un controlador, formando la estación transceptora base. Además, tienen conexión con la unidad de banda base (*BBU*) mediante fibra óptica.



Figura 14. Unidad de radio remota [19]

3.7.5 Modelo de BBU

El término banda base hace referencia al rango de frecuencias original de una señal de transmisión antes de ser modulada. La unidad de banda base está compuesta por un procesador digital de señales para procesar las señales de voz inversas recibidas de la unidad móvil [11].

La unidad de banda base, situada junto con los demás equipos en un armario o sala, se conecta a la unidad de radio remota mediante fibra óptica. Permite la comunicación a través de la interfaz física y el procesamiento de la señal en banda base. Se caracteriza por [11]:

- Diseño modular
- Pequeño tamaño
- Bajo consumo de energía
- Fácil integración



Figura 15. Unidad de banda base [20]

El diseño radio que se realiza en un emplazamiento debe tener en cuenta a la capacidad que soporta la *BBU*, las tarjetas que tiene y la capacidad de estas para poder realizar el conexionado oportuno para poder integrar las tecnologías de interés.

3.8 Análisis del nivel de huella de cobertura e interferencias

Una vez completado el diseño radioeléctrico se realiza una simulación del emplazamiento para verificar si los parámetros anteriormente contemplados proporcionan un buen nivel de huella de cobertura. Análogamente, se realiza un análisis de las posibles interferencias de la señal.

Normalmente en esta fase se realizan dos simulaciones diferentes, una para el estado actual, y otra para el estado consolidado. En el estado actual se contempla la situación actual del emplazamiento y los niveles de señal de cobertura móvil e interferencias en la zona en cuestión donde está ubicado. Por otro lado, en el estado consolidado se simula de igual manera con los cambios oportunos realizados de *hardware* para analizar si se cumplen los objetivos.

Sin embargo, el operador estipula realizar la simulación del estado actual en caso de obtener unos valores alarmantes en la solución propuesta. De esta manera, se contrasta el nivel presentado en la actualidad para analizar el estado de la cobertura en esa zona.

3.8.1 Simulación de la huella de cobertura e interferencias

Para realizar las simulaciones necesarias se hace uso de la herramienta *Xirio*. Se trata de una herramienta que realiza cálculos radioeléctricos y que permite compartir y publicar los resultados sin necesidad de poseer cartografía digital propia [12].

En esta herramienta se pueden realizar en un entorno web simulaciones radioeléctricas. Para ello, se crea un *estudio* donde se especifica el hardware oportuno. En este caso, se especifica un *método de cálculo* concreto en la banda de frecuencia a simular, la tecnología y una *cartografía* para el entorno en el que se trabaja, rural o urbano. Este último concepto es muy importante, ya que según un tipo de entorno u otro los resultados de la simulación son calculados de una manera específica.



Figura 16. Ventana vsual de Xirio [12]

La representación que realiza se diferencia por una gama de colores en la que, en base al parámetro simulado, asocia un rango de valores a un color en concreto (Figura 17).

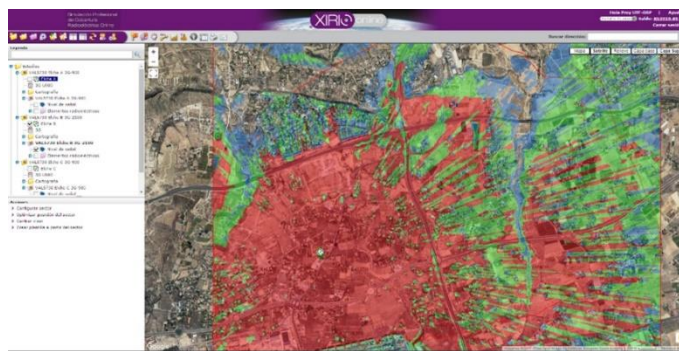


Figura 17. Ejemplo de simulación en Xirio [12]

La simulación del nivel de cobertura e interferencias se realiza en base a una capa de nodos propia del operador donde sitúa todos los emplazamientos operativos en el territorio español. Además, dispone de capas de *clusters*² divididas por año.

Los parámetros destacados que contiene cada nodo son:

- Nombre de la celda
- Potencia de transmisión
- Banda de frecuencia
- Tecnología
- Modelo de Antena
- Altura de la antena
- Altura del mástil
- Altura total
- Orientación o *Azimut*
- Inclinación o *tilt* mecánicos
- Inclinación o *tilt* eléctricos
- Potencia de recepción

Todo esto, se completará en base a la información anterior y se realizará el estudio de simulación de ambos niveles con el fin de verificar que no se pierde en ningún caso nivel de cobertura ni se gana interferencias de señal.

Finalmente, tras realizar esta simulación se envía dicho informe recogido en un Excel donde se recopila un informe estadístico de los niveles de señal de cada tecnología. El operador valida el diseño y su informe *Xirio* correspondiente y se procede a la integración en la red.

² El operador tiene definidas diferentes zonas donde hay localizados un conjunto determinado de nodos.

3.9 Implementación en la red

Por último, la integración en la red es competencia del departamento de *operaciones* que se encargan de la realización de unas plantillas en las que se recogen una serie de parámetros de cada celda (sector) del nodo en cuestión en el gestor *U200*.

El trabajo que se realiza en esta fase se basa en una búsqueda de identificadores o valores no utilizados en la red para establecerlos, y de esta forma conseguir una correcta comunicación de las celdas con su correspondiente controladora en cada tecnología.

Los parámetros más destacados que se configuran en cada tecnología son:

4G

- Nombre de la celda
- *TAC (Type Allocation Code)*

5G

- Nombre de la celda
- *TAC*

Tras la integración de dicho nodo en la red se realiza un seguimiento de *KPIs (Key Performance Indicator)* donde se hace análisis de cada celda para comprobar su comportamiento y, por tanto, su impacto en la red.

3.9.1 *KPIs*

Esta parte tiene gran importancia para el operador, ya que a través del control de estos indicadores se observa el estado del nodo. En general, se visualizan una serie de *KPIs* asociados a un instante temporal que permite observar la evolución en un determinado intervalo de tiempo.

Entre la gran variedad de *KPIs* tienen gran interés para el operador los siguientes:

Disponibilidad

Hace referencia a la accesibilidad que tendrán los usuarios durante un periodo determinado de tiempo. Cuanto mayor es la disponibilidad, mayor es el grado de confianza y continuidad en la red. El operador tiene como requisito una disponibilidad de la celda de un 98%; todos los valores por debajo implican demasiada inactividad.

RSSI

Received Signal Strength Indicator (RSSI), es un indicador de la interferencia recibida y de la calidad del canal de comunicación. En el caso de *uplink*, un nivel bajo por debajo de -115 dBm indica que la señal que proviene del terminal móvil del usuario no está siendo bien recibida. Esto puede ser debido a algún fallo puntual del *hardware*, a nivel de conexionado o deterioro de algún componente. Para solucionar este tipo de problemas sería necesario otra visita por parte de un técnico para comprobar el estado del *hardware*.

DCR

Es un indicador de la tasa de llamadas caídas cuando se ha establecido la conexión (*DCR, Drop Call Rate*). Este valor interesa mucho al operador y tiene como referencia los valores obtenidos en otras bandas de la misma tecnología.

CSSR

Call Setup Success Rate o *CSSR*, indica la tasa de llamadas establecidas con éxito. Suele estar relacionado con la cantidad de llamadas realizadas para ver el índice de éxito que tiene el emplazamiento.

E-RAB Ratio

Este *KPI* mide la tasa de conexiones de datos realizadas correctamente. *E-RAB (E-UTRAN Access Bearer)* hace referencia a las conexiones entre el terminal móvil y la red *LTE*.

Throughput

Este término hace referencia a la cantidad de tráfico que circula por el enlace de comunicación. Tenemos dos indicadores de este *KPI* uno para *uplink* y otro para *downlink*.

AvgCQI

Este indicador, propio de 5G, sirve para tener una estimación de la calidad de *uplink*. Cuanto mayor sea este valor, mejor es la conexión del terminal a la estación base. En concreto, se miden los valores medios de *CQI (Channel Quality Indicator)* referentes a la transmisión de datos y rendimiento del canal, por lo que cobra mucha relevancia para el operador.

3.9.2 Análisis de *KPIs*

Una vez conocidos los *KPIs* más importantes para el operador, es importante conocer la herramienta para realizar su análisis. *Tableau* es un *software* de *business intelligence (BI)* o inteligencia de negocios utilizado para el análisis de datos de manera ágil e intuitiva [15].

Esta herramienta agrupa un conjunto de procesos con el objetivo de proporcionar información útil al usuario para poder realizar una visualización completa de los datos. Aunque existen otras alternativas, por ejemplo, *Power BI* o *Grafana*, se ha decidido por su rapidez y robustez para analizar gran volumen de datos.

La arquitectura que hay presente en *Tableau*, se basa en dos componentes; *Tableau Desktop*, donde se desarrolla el análisis de datos y, *Tableau Server Online*, donde está contenido el material de trabajo (fuentes de datos y trabajo realizado) y los usuarios que tienen acceso al material.

Tableau Server contiene diferentes *sites* o sitios, donde se encuentra el material de trabajo (proyectos) y el grupo de usuarios. A su vez, cada proyecto puede contener *workbooks* o libros de trabajo para poder realizar diferentes *dashboards*, que están formados por diferentes vistas donde se visualizan los datos (Figura 18).

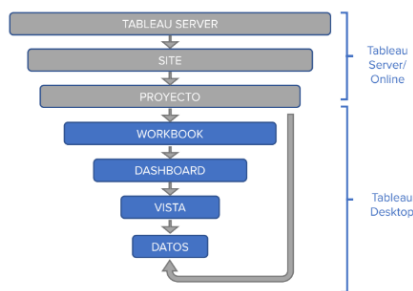


Figura 18. Jerarquía de objetos de *Tableau* [21]

Los datos utilizados para el análisis se obtienen de una *fuentes de datos* (Figura 19). Los datos pueden proporcionarse en diferentes archivos (*csv*, *xml*, *json*, texto, imágenes, etc.).



Figura 19. Fuentes de datos Tableau [21]

El trabajo que se realiza con los datos se visualiza en *hojas de trabajo* donde solo puede haber una sola vista con las dimensiones, medidas, parámetros y filtros deseados (Figura 20).



Figura 20. Hojas de trabajo [21]

Finalmente, las diferentes gráficas realizadas en cada vista pueden agruparse en un *dashboard* donde se puede realizar una visualización simultáneamente de las diferentes representaciones.

Capítulo 4. Resultados

A continuación, se va a describir los resultados del procedimiento anteriormente comentado. En este, se explica en detalle el objetivo que tiene el operador y los resultados obtenidos en cada fase del proceso. En concreto, se describe el proceso de diseñar, estudiar e implementar nuevas tecnologías en un emplazamiento existente.

4.1 Propuesta del operador

Cierto operador³ presenta como fin integrar una nueva banda de frecuencia (700 MHz) en dos tecnologías diferentes en un emplazamiento existente y operativo en su red. Como requisitos, establece dar un servicio óptimo de esta nueva banda de frecuencia en *LTE* y *NR*.

El operador desea integrar:

- *LTE 700 (Release 10 V0.2.1. LTE-A)* [22]: El operador presta servicios de esta tecnología, pero no en esta banda, pretende ampliar esta tecnología con una nueva banda para dar más cobertura, ya que las bandas más bajas alcanzan más área de cobertura y menor interferencias.
- *NR 700*: Esta tecnología no se encuentra implementada y el operador tiene especial interés en incorporar esta tecnología para densificar su red 5G.

4.2 Situación inicial

En primer lugar, el emplazamiento donde se pretende realizar la implementación de estas dos tecnologías se encuentra situado en la ciudad de Mérida (Badajoz).

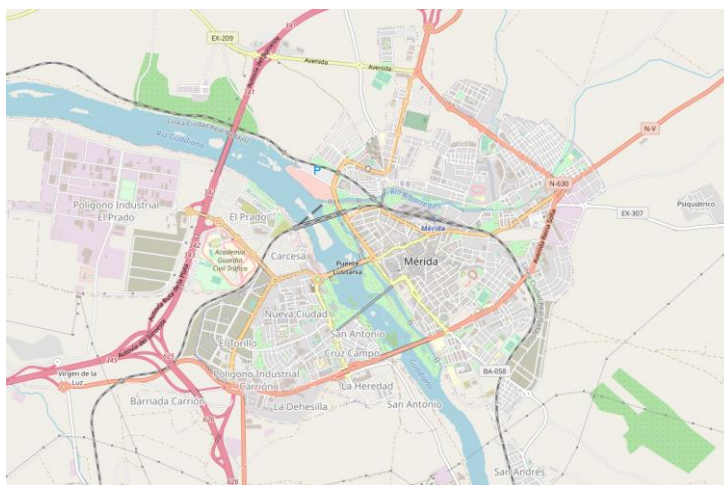


Figura 21. Ubicación del emplazamiento

Se observa que el emplazamiento se sitúa en cierta ubicación en la ciudad de Mérida, esto lo sitúa en un entorno urbano y sus respectivas antenas en una altura considerable. Esto implica que se tendrá que realizar un estudio de radiaciones para comprobar el grado de incidencia de las ondas radioeléctricas en las personas.

Por otro lado, al estar situado a una altura de unos 15 metros aproximadamente y no disponer de azotea, se requerirá de una grúa para acceder al emplazamiento. Con relación al *hardware*, las antenas se encuentran camufladas en una chimenea para no alterar la estética del edificio y los equipos en un armario en exterior al nivel del suelo.

³ En adelante será mencionado como *Operador 1 (Op1)*



Figura 22. Emplazamiento I

4.3 Prediseño radioeléctrico

Para realizar el prediseño radioeléctrico hay que recopilar información de los planos del último trabajo realizado en el emplazamiento y contrastarlo con los datos que aparecen en el gestor. Se debe realizar esta comprobación para asegurar que los equipos indicados en el plano del proyecto son los mismos que en el gestor; en caso de no coincidir es más confiable el gestor. Con la posterior visita del técnico de campo, se verificará toda esta información.

No obstante, hay cierta información que solo se encuentra en los planos de trabajo; por ejemplo, el cableado existente, la localización de los equipos, la accesibilidad y la altura.

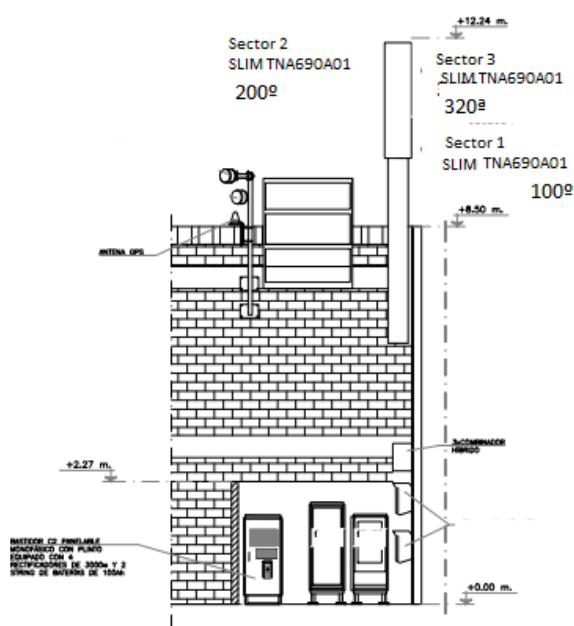


Figura 23. Plano del proyecto I

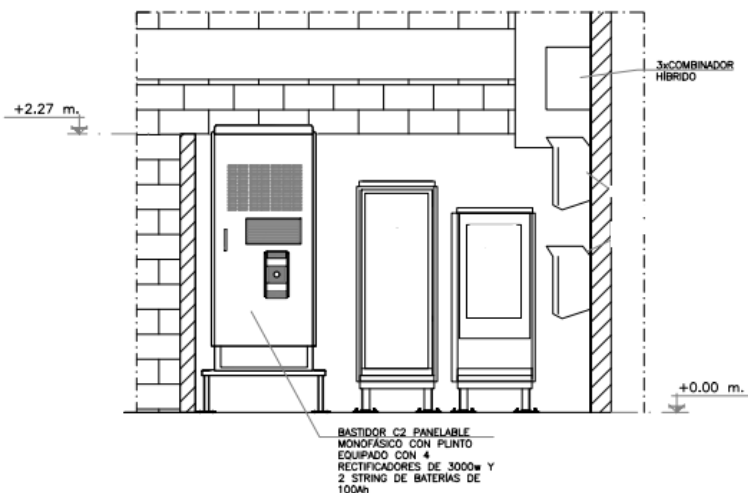


Figura 24. Plano del proyecto II

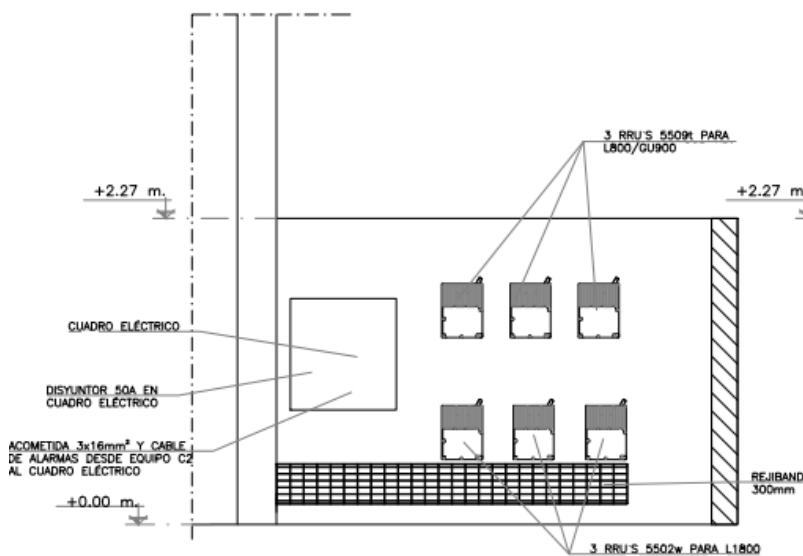


Figura 25. Plano del proyecto III

4.3.1 Situación actual

La información del estado actual se recopila en diferentes tablas de información, donde se plasma toda la información anteriormente contemplada. En esta primera tabla (Tabla 1) se especifica el modelo de antena, el fabricante, su dimensión y si es compartida por otro operador.

TIPO DE ANTENA			
Marca - Modelo	Telnet		TNA690A01
Haz Horizontal / HPBW			
Longitud (cm)	220		
¿Desmontar?	SI		
¿Compartida?	SI	¿Operador?	XXXXXX
TIPO	SLIM		

Tabla 1. Datos de Antena

A continuación, se debe especificar las tecnologías que hay presentes y los puertos de conexión utilizados para ello, ya que es importante para conocer la capacidad restante de la antena. La nomenclatura utilizada es la siguiente:

- GU: GSM/UMTS
- U: UMTS
- L: LTE
- NR: NEW RADIO
- LNR: LTE/NEW RADIO
- Número: Banda en MHz

Port	Tecnologías	
	Port 1	L800 /Op1-Op2
Port 2	GU900 /Op1-Op2	
Port 3	L1800 /Op1-Op2	L2100 /Op1
Port 4	L1800 /Op1-Op2	L2100 /Op1
Port 5	U2100 /Op3	L1800 /Op3
Port 6		
Port 7		
Port 8		

Tabla 2. Tecnologías actuales

En cuanto a las tecnologías y puertos (Tabla 2) se observa que el operador principal (*Op1*) ofrece:

- LTE 800 en el puerto 1
- GSM y UMTS 900 en el puerto 2
- LTE 1800 y 2100 en los puertos 3 y 4

Además, se observa que en el mismo emplazamiento hay presentes otros operadores secundarios (*Op2* y *Op3*) en algunas bandas, en particular:

- LTE 800 en el puerto 1: *Op2*
- GSM y UMTS 900 en el puerto 2: *Op2*
- LTE 1800 en los puertos 3 y 4: *Op2*
- UMTS 2100 y LTE 1800: *Op3*

Por otro lado, cada sector presenta los siguientes valores sobre *azimuths*, *tilts* (eléctricos y mecánicos) y altura (Tabla 3,Tabla 4 y Tabla 5).

SECTOR 1									
	Tecnologías		Azimuth (°)	Tilt mecánico (°)	Tilt eléctrico (°)	Altura (m)	RET (Remote Electrical Tilt)	TMA (Tower Mounted Amplifier)	SBT (Smart Bias Tee)
Port 1	L800/Op1-Op2		100	0	2	10	SI	NO	NO
Port 2	L800/Op1-Op2				2				
Port 3	L1800 /Op1-Op2	L2100 /Op1			2				
Port 4	L1800 /Op1-Op2	L2100 /Op1			2				

Port 5	U2100 /Op3	L1800 /Op3						
Port 6								
Port 7								
Port 8								

Tabla 3. Datos actuales sector 1

SECTOR 2									
	Tecnologías		Azimut (°)	Tilt mecánico (°)	Tilt eléctrico (°)	Altura (m)	RET (Remote Electrical Tilt)	TMA (Tower Mounted Amplifier)	SBT (Smart Bias Tee)
Port 1	L800/Op1-Op2		200	0	8	10	SI	NO	NO
Port 2	L800/Op1-Op2				6			NO	
Port 3	L1800 /Op1-Op2	L2100 /Op1			6			NO	
Port 4	L1800 /Op1-Op2	L2100 /Op1			6			NO	
Port 5	U2100 /Op3	L1800 /Op3							
Port 6									
Port 7									
Port 8									

Tabla 4. Datos actuales sector 2

SECTOR 3									
	Tecnologías		Azimut (°)	Tilt mecánico (°)	Tilt eléctrico (°)	Altura (m)	RET (Remote Electrical Tilt)	TMA (Tower Mounted Amplifier)	SBT (Smart Bias Tee)
Port 1	L800/Op1-Op2		320	0	2	10	SI	NO	NO
Port 2	L800/Op1-Op2				2			NO	
Port 3	L1800 /Op1-Op2	L2100 /Op1			2			NO	
Port 4	L1800 /Op1-Op2	L2100 /Op1			2			NO	
Port 5	U2100 /Op3	L1800 /Op3							
Port 6									
Port 7									
Port 8									

Tabla 5. Datos actuales sector 3

El emplazamiento presenta una *BBU 5900* y dos tipos de modelos de *RRU*, uno para las bandas bajas (*5509t*) y otro para las bandas altas (*5502w*), ambos se encuentran situados en la pared del edificio y se pueden reutilizar (Tabla 6).

¿EXISTEN RRU?		SI				
¿Retirar?		Marca	Modelo	Tecnologías		Ubicación de la RRU
NO	A	Huawei	RRU5509t	GU900	L800	Pared edificio
NO	B	Huawei	RRU5502w	L1800	L2100	Pared edificio

Tabla 6. Modelos de RRU

4.3.2 Solución propuesta

Atendiendo a los criterios del operador y al *hardware* actual existente en el emplazamiento, se propone reutilizar los equipos. De manera preliminar, la capacidad de conexión de la antena y los modelos instalados de *RRU* permiten la conexión de las dos tecnologías en la banda especificada (700 MHz).

Sin embargo, el modelo de antena *TNA690A01* a pesar de poder radiar en un máximo de dos bandas de frecuencia bajas y tres en frecuencias altas, el rango de frecuencias bajas en el que radia es de 790-960 MHz. Por esto, se plantea cambiar el modelo de antena actual por una *MY-ROCKET H312-ASI4518R39-M 10° Ready 5G*, ya que puede radiar en la banda de 700 MHz. La viabilidad de este cambio la debe verificar el posterior estudio de radiaciones radioeléctricas para poder realizar el diseño radioeléctrico final.

TIPO DE ANTENA			
Marca - Modelo	Moyano	MY-ROCKET H312-ASI4518R39-M 10° Ready 5G	
Haz Horizontal / HPBW			
Longitud (cm)	270.6		
En nuevo mástil	SI		
Función	Cambio	Tipo	SLIM

Tabla 7. Modelo de Antena Propuesta

Por norma general, la configuración de las tecnologías de la banda de 700 MHz se realizará de forma similar a la banda de 900 MHz, esto se traduce en establecer los mismos valores de *azimut* y *tilts* eléctricos y mecánicos. Para ello, se plantea la conexión de la nueva banda mediante el mismo puerto, de la siguiente manera:

SECTOR 1									
	Tecnologías		Azimut (°)	Tilt mecánico (°)	Tilt eléctrico (°)	Altura (m)	RET (Remote Electrical Tilt)	TMA (Tower Mounted Amplifier)	SBT (Smart Bias-Tee)
Port 1	L800/Op1-Op2		100	0	2	10	SI	NO	NO
Port 2	L800/Op1-Op2	LNR700			2				
Port 3	L1800 /Op1-Op2	L2100 /Op1			2				
Port 4	L1800 /Op1-Op2	L2100 /Op1			2				

Port 5	U2100 /Op3	L1800 /Op3					
Port 6	libre						
Port 7							
Port 8							

Tabla 8. Solución propuesta sector 1

SECTOR 2									
	Tecnologías		Azimut (°)	Tilt mecánico (°)	Tilt eléctrico (°)	Altura (m)	RET (Remote Electrical Tilt)	TMA (Tower Mounted Amplifier)	SBT (Smart Bias-Tee)
Port 1	L800/Op1-Op2		200	0	8	10	SI	NO	NO
Port 2	L800/Op1-Op2	LNR700			6			NO	
Port 3	L1800 /Op1-Op2	L2100 /Op1			6			NO	
Port 4	L1800 /Op1-Op2	L2100 /Op1			6			NO	
Port 5	U2100 /Op3	L1800 /Op3							
Port 6	libre								
Port 7									
Port 8									

Tabla 9. Solución propuesta sector 2

SECTOR 3									
	Tecnologías/Technologies		Azimut (°)	Tilt mecánico (°)	Tilt eléctrico (°)	Altura (m)	RET (Remote Electrical Tilt)	TMA (Tower Mounted Amplifier)	SBT (Smart Bias-Tee)
Port 1	L800/Op1-Op2		320	0	2	10	SI	NO	NO
Port 2	L800/Op1-Op2	LNR700			2			NO	
Port 3	L1800 /Op1-Op2	L2100 /Op1			2			NO	
Port 4	L1800 /Op1-Op2	L2100 /Op1			2			NO	
Port 5	U2100 /Op3	L1800 /Op3							
Port 6	libre								
Port 7									
Port 8									

Tabla 10. Solución propuesta sector 3

Finalmente, se plantea una visita por parte de un técnico de campo para que verifique el estado del emplazamiento, sus características y los cambios necesarios para poder realizar con éxito la integración de las dos tecnologías. En paralelo, se solicita un estudio de radiaciones para comprobar que con este nuevo modelo de antena y sus propiedades cumple los niveles mínimos estipulados por el ministerio.

4.4 Estudio de campo

En esta parte del diseño un técnico de campo realiza una visita programada al emplazamiento donde realiza un informe, acompañado de un reporte fotográfico, se describe el estado de los equipos y su respectiva ubicación. Asimismo, se indica el material necesario para poder realizar el diseño radioeléctrico.



Figura 26. Emplazamiento III

A continuación, se indica en el informe que el emplazamiento tiene las siguientes características:

- Antena *TNA690A01* por cada sector, se encuentran camufladas y los valores de *azimut* y *tilt* actuales son los correctos.



Figura 27. Modelo de antena

- Dos modelos de *RRU* (5502w y 5509t) ubicados en la pared del edificio. Además, el bastidor donde se guardan los equipos es de tipo *C2* y se puede reutilizar.



Figura 28. Ubicación de los equipos

- Las tiradas de cable coaxial que hay desde las *RRUs* hasta las antenas se deben modificar, ya que hay un poco de deterioro en las actuales.



Figura 29. Cableado de las antenas

- Necesidad de instalación 3 cables *AISG* para el control del *RET*.
- Existencia de una *BBU 5900* con dos tarjetas *UBBPg3* y requiere de instalación de una tarjeta *UBBPd6* o *UBBPe4* para poder cumplir la normativa de diseño por parte del operador.
- Necesidad de cambiar el tubo existente por uno de espesor de 5 milímetros para soportar la fuerza ejercida por la antena.

Por último, el técnico especifica que los cambios mencionados anteriormente no supondrán un aumento del consumo.

4.5 Análisis de radiaciones

El estudio de niveles de exposición de la estación base de telefonía móvil se realiza en emplazamientos que se encuentran en entornos urbanos y pueden poner en riesgo la protección del dominio público radioeléctrico. Para ello, existen unas restricciones y medidas de protección sanitarias frente a las emisiones radioeléctricas.

En este caso, el emplazamiento se encuentra en una zona urbana de Mérida donde se debe tener en cuenta dicho estudio para cumplir con las condiciones mínimas establecidas por el ministerio. En él, se miden las características radioeléctricas de la estación y se calculan los niveles de exposición radioeléctrica de la antena propuesta para el diseño. Todas las medidas y cálculos se realizan por sector.

De un primer modo, se miden las características radioeléctricas del emplazamiento (Tabla 11):

Sistema/Sector	1	2	3
Altura de la antena sobre el terreno (m)	12,4	12,4	12,4
Tipología de la Antena	M-MIMO	M-MIMO	M-MIMO
Polarización	Mixta	Mixta	Mixta
Tipo Ganancia	ISO	ISO	ISO
Valor Ganancia (dB)	17,2	17,2	17,2
Tipo Potencia Radiada	PIRE	PIRE	PIRE
Volumen Referencia	PARALELEPÍPEDO	PARALELEPÍPEDO	PARALELEPÍPEDO
Distancia de Referencia (m)	16,55	16,55	16,55
Coefficiente de Reflexión	1	1	1
Potencia máxima Total	2052	2052	2052
Unidad Potencia máxima Total	W	W	W
Azimut de máxima radiación (grados)	100	200	320
Apertura horizontal del Haz (grados)	65	65	65
Apertura vertical del Haz (grados)	6,2	6,2	6,2
Inclinación del Haz (grados)	2	6	2
Nivel lóbulos secundarios (dB)	16	16	16

Tabla 11. Características radioeléctricas

Por otro lado, para el cálculo de la radiación radioeléctrica es necesario observar, en un radio máximo de 100 metros, los puntos sensibles de cada sector y tener en cuenta parámetros como; el coeficiente de reflexión, la densidad de potencia máxima permitida para las frecuencias de trabajo, la distancia al punto donde la densidad de potencia es máxima, la ganancia de la antena y su diagrama de radiación en el punto máximo (Figura 30, Figura 31, Figura 32).

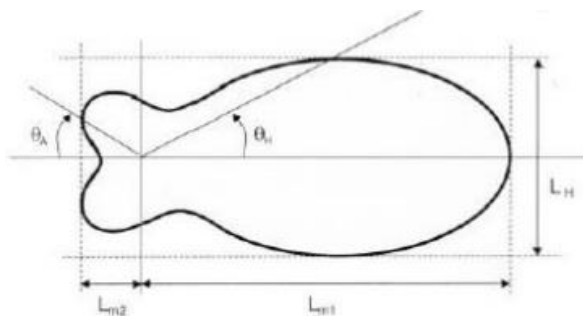


Figura 30. Diagrama de radiación horizontal

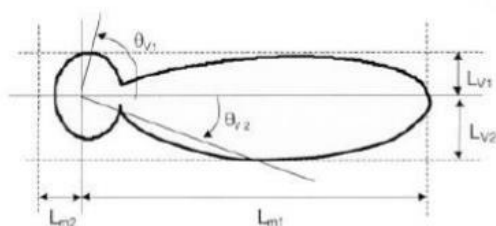


Figura 31. Diagrama de radiación vertical

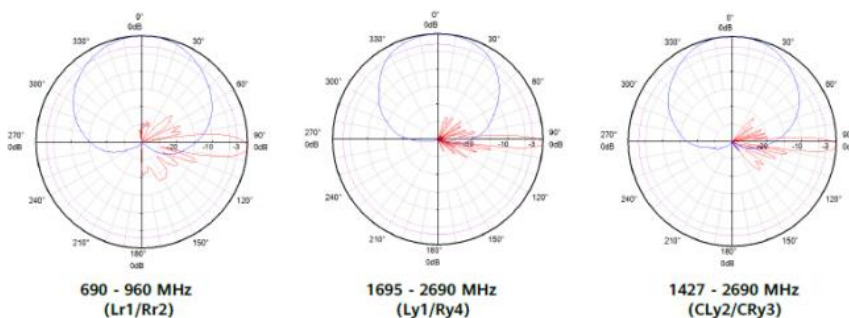


Figura 32. Diagramas de radiación en las diferentes bandas de frecuencia

Tras un análisis del área mencionada, se observan tres puntos sensibles:

- Colegio público de enseñanza obligatoria
- Plaza pública
- Parque infantil

Las medidas se realizan a través de un medidor de campo electromagnético que es útil para medir el campo electromagnético producido (Figura 33).



Figura 33. Medidor de campo electromagnético

En suma, el estudio realizado se basa en el caso peor, es decir, la situación donde mayor campo se va a obtener. Las condiciones del emplazamiento consideradas son ideales, tales como:

- La estación se considera dimensionada al 100% de sus recursos.
- Se supone que todas las portadoras emiten con PIRE máxima.
- Para el cálculo de la PIRE máxima total de cada tecnología se ha multiplicado la PIRE del BCCH por el número de portadoras.

- Se supone la estación cargada al máximo de tráfico, no siendo necesaria la aplicación de factores de actividad para tener en cuenta el tráfico medio cursado.
- No son considerados factores de reducción de potencia para tener en cuenta el control de potencia en la red.
- No se consideran necesarios factores de reducción de potencia para tener en cuenta la transmisión discontinua en la red.
- La propagación es en el espacio libre, sin tener en cuenta atenuación y difracción de ningún tipo.
- El plano de inspección considerado es de 2 metros de altura para hacer referencia a la altura de una persona.

Como resultado se obtiene que, en ningún punto cercano, a la estación base se supera el umbral de exposición radioeléctrico establecido⁴ (Tabla 12). Además, se han establecido las medidas oportunas para que, en caso de superarse dichos límites en zonas donde haya personas habitualmente, se restrinja el acceso no autorizado a esas zonas.

Punto de medida	Distancia (m)	Azimut (º)	Unidad empleada (W/m^2) o (V/m)	Nivel de Referencia	Nivel de decisión (umbral)	Valor calculado	Diferencia
1	50	60	V/m	36,4	18,2	4,85	13,35
2	74	160	V/m	36,4	18,2	4,49	13,71
3	92	145	V/m	36,4	18,2	4,24	13,96

Tabla 12. Medidas de intensidad del campo eléctrico

4.6 Diseño radioeléctrico

A continuación, una vez obtenidos los resultados de la visita del técnico de campo a la infraestructura y el análisis de radiaciones, se realiza el diseño radioeléctrico final. Para ello, se estudian las características del sistema radiante actual y se contemplan las posibilidades de reutilizar el equipo actual para establecer la nueva configuración. En caso de realizar cambios, se modificará el mínimo cambio posible de *hardware* para reducir costes.

4.6.1 Modelo de Antenas

Anteriormente se mencionaba el modelo de antena actual existente en el emplazamiento, dicho modelo es *TNA690A01* de tipo *slim*, a una altura de 12,24 metros y camuflada en los tres sectores para no alterar la estética del edificio [13].



Figura 34. Antena TNA690A20[13]

⁴ España. Real Decreto 1066/2001, de 28 de septiembre, por el que se aprueba el Reglamento que establece condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria frente a emisiones radioeléctricas.

Este modelo de *Telnet* presenta unas dimensiones de 220 centímetros de alto y 30 centímetros de diámetro y trabaja en dos bandas bajas de frecuencia indicadas en rojo y tres en bandas altas indicadas en azul (Figura 35). Como características principales destacan [13]:

- Ganancia de 16,3 dB en banda baja y 16,8 dB en banda alta.
- El ancho de haz horizontal es de 65, 2° para frecuencias bajas y 56, 9° para altas.
- El ancho de haz vertical es de 8° para frecuencias bajas y 7° para altas.
- Su polarización es de $\pm 45^\circ$.
- El *downtilt* eléctrico puede variar entre 2° y 10°.
- Su impedancia es de 50 Ω .
- La relación de onda estacionaria (*VSWR*, *Voltage Standing Wave Ratio*) es 1,5:1.

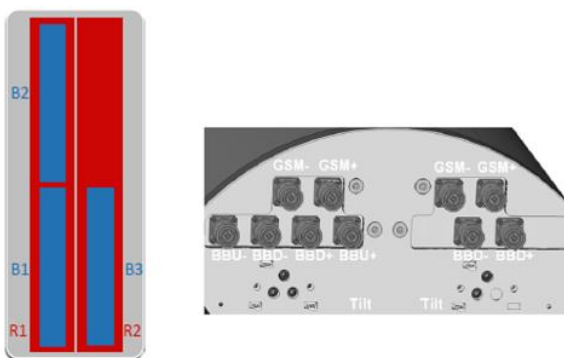


Figura 35. Rangos de frecuencia disponibles de TNA690A01[13]

Sin embargo, el modelo de antena actual no radia en la banda de 700 MHz. Por todo esto, se ha propuesto la antena *MY-ROCKET H312-ASI4518R39-M 10° Ready 5G* que cumple con lo comentado anteriormente y permite dar cobertura en esta tecnología.

La solución propuesta como modelo de antena se compone de un módulo de *5G MY-ROCKET H312 (Moyano Telsa)* que puede ajustar el azimut un máximo de 10 grados y una antena *ASI4518R39v06 (Huawei)*.

El módulo *MY-ROCKET H312* es un mimetizado con una longitud de 2,70 metros de altura y 0,84 metros de diámetro caracterizado por las siguientes propiedades:

- La ganancia oscila entre 14,5-17,6 dB según la banda de frecuencia.
- El ancho de haz horizontal a 3 dB oscila entre 58° y 70° según la banda de frecuencia con una tolerancia de 6 grados.
- El ancho de haz vertical a 3 dB oscila entre 10, 8° y 4, 9° según la banda de frecuencia.
- Permite ajustar el azimut con $\pm 15^\circ$.
- Presenta una polarización de $\pm 45^\circ$.
- El *downtilt* puede ajustarse de 0° a 10°.
- La impedancia es de 50 Ω .
- La *VSWR* es menor a 1,5:1



Figura 36. Antena MY-ROCKET H312[13]

Las antenas que hay en el interior son ASI4518R39v06 dichas antenas también constan de dos rangos de frecuencia bajos indicados en rojo y cuatro para frecuencia altas indicadas en amarillo (Figura 37). Las principales características son:

- Ganancia entre 14,5-17,5 dB.
- El ancho de haz horizontal varía desde 58° a 70° con una tolerancia de 6° según la banda de frecuencia.
- El ancho de haz vertical varía desde 5° hasta 10. 8° con una tolerancia de 0. 8° según la banda de frecuencia.
- Polarización de $\pm 45^\circ$.
- La impedancia es de 50 Ω .
- VSWR menor de 1,5:1.

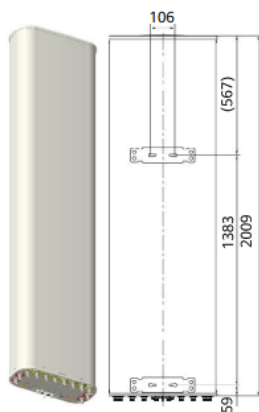


Figura 37. Antena ASI4518R39v06[14]

En general, se aprecia mucha similitud entre las características de ambos componentes que forman el módulo, es por esto por lo que se ha escogido esta antena y este módulo mimetizado.

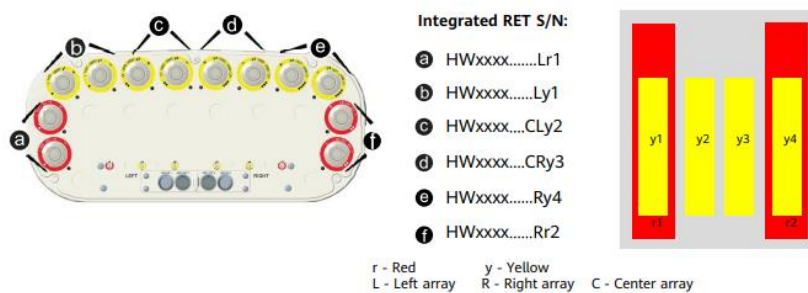


Figura 38. Rangos de frecuencia de ASI4518R39v06[14]

A continuación, es necesario proponer una solución de conexión del hardware en la antena. Se observa en la figura anterior (Figura 38) que se dispone de 4 puertos de conexión para bandas altas (*amarillo*) y 2 para bandas bajas (*rojo*). En concreto, cada puerto de conexión dispone de dos pares de entradas de conexión, esto se traduce en 4 entradas de conexión de bandas bajas (*a* y *f*) y 8 entradas de conexión para bandas altas (*b*, *c*, *d* y *e*).

Aunque haya presencia de tres operadores, a la hora de dimensionar la conexión de las antenas solo se interpretan la existencia de dos operadores⁵, ya que el Op1 y Op2 comparten hardware con el fin de reducir costes (considerados como un único operador).

En base a las conexiones establecidas en la Tabla 2, se plantea el siguiente diseño:

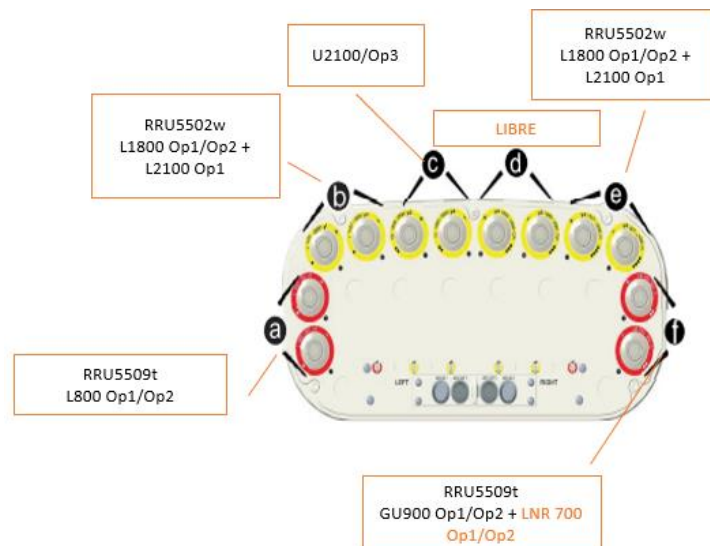


Figura 39. Asignación puertos de conexión ASI4518R39v06[14]

En la solución propuesta (Figura 39) se plantea conexionar en una entrada del puerto *f* la nueva banda de 700 MHz para LTE y NR y en la otra entrada la banda de 900 MHz y las demás conexiones mantenerlas como en el estado actual.

4.6.2 Orientación de la antena

Una vez diseñada la asignación de los *arrays* de frecuencias y sus respectivos puertos, se establece la asignación de los *azimuts* de cada sector.

Como los resultados del estudio de radiaciones son positivos y no estipula ninguna restricción en cuanto a la orientación, se propone dejar las mismas orientaciones. En este caso, el mimetizado (*MY-ROCKET H312*) presenta un *azimut* de $\pm 10^\circ$, por lo que se plantea tener en cuenta esta variación del *azimut* para equilibrarlo con el *azimut* de la *ASI4518R39* y conseguir tener un *azimut* total igual al actual. De modo que el diseño propuesto es:

- Sector 1: 90° (*ASI4518R39*) + 10° (*MY-ROCKET H312*)
- Sector 2: 210° (*ASI4518R39*) - 10° (*MY-ROCKET H312*)
- Sector 1: 330° (*ASI4518R39*) - 10° (*MY-ROCKET H312*)

4.6.3 Inclinación mecánica y eléctrica

Análogamente al subapartado anterior, se debe revisar si el resultado que determina el estudio de radiaciones indica alguna observación para establecer el valor correcto de *tilts*. Así mismo, se debe tener en cuenta las especificaciones del mimetizado por si ocasiona alguna variación en el valor del *tilt*.

Como no se ha especificado ningún tipo de problema en el estudio de radiaciones y en las características del mimetizado se indica que el *tilt* es ajustable (0° - 10°), se mantienen los *tilts* de la siguiente manera:

⁵ Desde hace unos años atrás, el Operador 1 y Operador 2 mantienen un acuerdo de compartición de hardware para reducir costes de instalación y mantenimiento del emplazamiento. Esto solo se debe tener en cuenta en tareas de diseño del sistema radiante y ocupación de puertos de conexión, por lo demás, son dos operadores totalmente distintos.

- Sector 1: *tilt* mecánico a 0° y 2° el eléctrico para todas las bandas y tecnologías.
- Sector 2: *tilt* mecánico a 0° y 6° todas las tecnologías y bandas, excepto para *LTE 800* a 8°.
- Sector 3: *tilt* mecánico a 0° y 2° para todas las bandas y tecnologías.

El *tilt* correspondiente a las tecnologías *LTE 700* y *NR 700* es el mismo que para *GSM 900* y *UMTS 900*:

- Sector 1: *Tilt* mecánico a 0° y 2° el eléctrico.
- Sector 2: *Tilt* mecánico a 0° y 6° el eléctrico.
- Sector 3: *Tilt* mecánico a 0° y 2° el eléctrico.

4.6.4 Modelo de RRU

En el estado actual se ha observado la presencia de dos tipos de modelos de *RRU*:

- *RRU5509t*: hay un modelo por sector, en este caso hay 3 y están destinadas a la conexión de las bandas bajas. Presentan 4 cables coaxial de 20 metros de longitud de ½ pulgadas de grosor para dar conexión a los dos puertos de conexión. Además, tienen una conectividad de fibra óptica de 20 metros de longitud hasta la *BBU*.
- *RRU5502w*: se aprecian 3 unidades, Destinadas a la conexión de bandas altas. Presenta 4 cables coaxial de 20 metros de longitud de ½ pulgadas de grosor para dar conexión a los dos puertos de conexión. Además, tiene dos cables de fibra óptica de 20 metros de longitud hasta la *BBU* y un cable *AISG* de 20 metros para controlar el RET.

La solución propuesta mantendrá dichas conexiones y modelos, pero cambiará los cables coaxiales, ya que se observa en el reporte fotográfico un deterioro importante en el cableado actual. También se cambia el cable *AISG* de 20 metros al puerto libre para poder controlar el RET.

4.6.5 Modelo de BBU

Según la información del plano de trabajos anteriores, el emplazamiento dispone de un modelo de *BBU 5900* y de las siguientes tarjetas (Figura 40):

- 2x *UBBPg3*
- *UBBPd6/e4* reutilizada de otro emplazamiento.
- *UMPTg2* utilizada para transmisión.

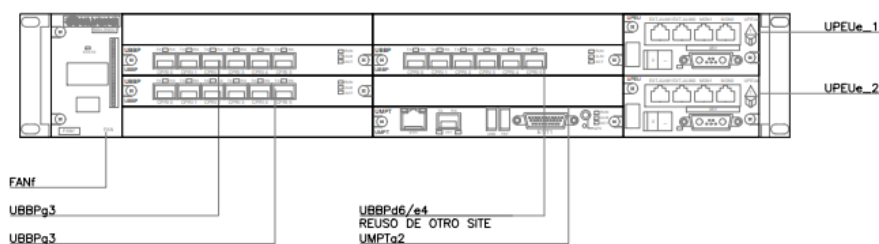


Figura 40. BBU 5900 y tarjetas

Tal y como se observa en el esquema de ocupación de slots de la *BBU 5900* actual (Figura 41), se encuentran ocupados los *slots* o ranuras 2,3,4 y 7. En concreto, de la siguiente manera:

- Slot 2: Tarjeta *UBBPg3*
- Slot 3: Tarjeta *UBBPd6/e4*
- Slot 4: Tarjeta *UBBPg3*
- Slot 7: *UMPTg2*

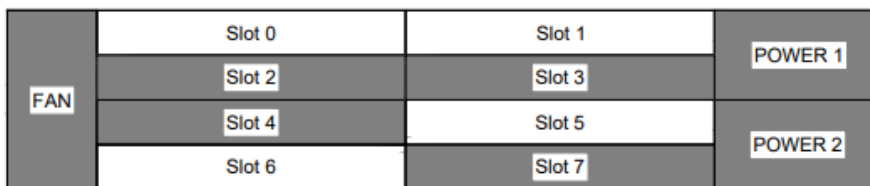


Figura 41. Esquema ocupación slots

La BBU 5900 presenta 3 conexiones de fibra óptica para la RRU 5502w, una conexión por sector y 3 conexiones de fibra óptica para los 3 modelos de RRU 5509t (uno por sector), tal y como se muestra a continuación (Figura 42):

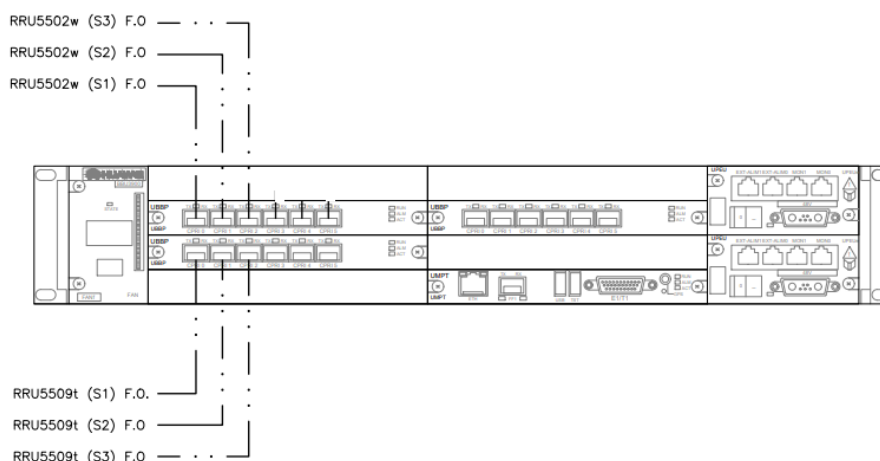


Figura 42. Detalle conexionado fibra óptica BBU 5900

Tras la visita del técnico se indica que es necesario la instalación de una tarjeta *UBBPd6* o *UBBPe4* puesto que no hay ninguna actualmente. Con este pedido, se puede diseñar la capacidad de la BBU 5900 (Tabla 13), ya que para futuros trabajos el operador pretende dejar capacidad libre en las tarjetas *UBBPg3* para la implementación de futuras tecnologías. Esto se debe a que la capacidad de las tarjetas *UBBPg3* es mayor que las *UBBPd6/e4*.

	SLOT	TARJETA	NºCRPIS		SLOT	TARJETA	NºCRPIS	
				TECS				TECS
FANf	Slot 0				Slot1			
	Slot 2	UBBPg3	0-1-2	L1800/L2100	Slot 3	UBBPd6/e4		UMTS (3 Op1 + 3 Op2)
	Slot 4	UBBPg3	0-1-2	L800/LNR700	Slot 5			
	Slot 6			LTE (6 Op1+ 3 Op2) + NR (3 Op1)	Slot 7			

Tabla 13. Diseño solución Capacidad BBU 5900

El operador estipula en su normativa de diseño dar una capacidad del 70% de sus recursos, para dejar un 30% libre por protección de los equipos. En dicha normativa, se detalla la capacidad máxima permitida cada combinación de tecnologías en cada tarjeta, dando capacidad como máximo a dos tecnologías simultáneamente. En el caso de las tarjetas *UBBPd6/e4* no pueden dar

capacidad de conexión a la tecnología *NR* y tiene una capacidad máxima de 6 conexiones, al contrario que las tarjetas *UBBPg3* que dan capacidad de conexión de *LTE + NR* y hasta un máximo de 18 conexiones.

En base a la normativa de diseño del operador, se propone una solución que cumpla con los principios estipulado. La solución propuesta se basa en mantener los *slots* ocupados según indicaba en los planos del estado actual. En este caso, cada sector tiene una conexión (*crpi*) por tecnología y operador, esto hace que cada tarjeta presente las siguientes conexiones (Tabla 13):

- *UBBPg3 (Slot 2)*: Su capacidad se encargará del mantenimiento y funcionamiento de, *LTE 1800* y *2100* del *Op1* (6 conexiones, 1 por sector) y *L1800* del *Op2* (3 conexiones, 1 por sector).
- *UBBPg3 (Slot 4)*: Su capacidad se encargará del mantenimiento y funcionamiento de, *LTE 700* y *800* y *NR 700* del *Op1* (6 conexiones de *LTE* y 3 de *NR*, 1 por sector) y *LTE 800* del *Op2* (3 conexiones de *LTE*, 1 por sector).
- *UBBPd6/e4 (Slot 3)*: Esta tarjeta es necesaria porque se encargará del mantenimiento del *UMTS* que ocupará 3 conexiones por operador (1 por sector).

Finalmente, se plantea un esquema del sistema radiante actual y los cambios necesarios a realizar para alcanzar los objetivos del operador (Figura 43):

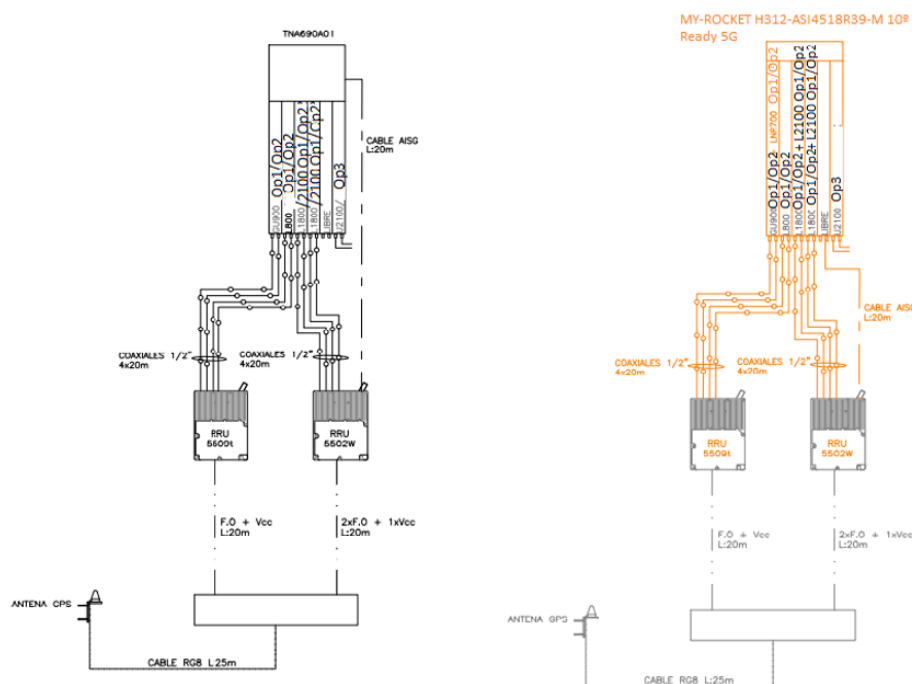


Figura 43. Sistema radiante actual vs Sistema radiante futuro

4.7 Análisis del nivel de huella de cobertura e interferencias

A continuación, el operador hace uso de la herramienta *Xirio* para verificar el impacto en la huella de cobertura e interferencias. Para ello, se debe realizar una simulación de cada parámetro por banda (700 MHz), tecnología (4G y 5G) y estado (actual y futuro), de modo que para cada banda se obtiene:

- Simulación de la huella de cobertura del estado actual.
- Simulación del nivel interferencias del estado actual.
- Simulación de la huella de cobertura del estado futuro.
- Simulación del nivel de interferencias del estado futuro.

Las dos simulaciones correspondientes al estado actual se recogen en un estudio actual, donde se especifica toda la información actual del emplazamiento. Es importante tener identificada la información correcta con respecto al hardware, por lo que se debe tener en cuenta la información del gestor *U2000*, los planos anteriores y el informe del técnico.

Por otro lado, las simulaciones correspondientes al estado futuro se recogen en un estudio futuro donde se detalla los cambios a realizar en el emplazamiento. Toda la información especificada en el diseño final radioeléctrico junto con el estudio de radiaciones radioeléctricas recoge lo necesario para detallar las especificaciones del hardware.

Sin embargo, en este caso solo se realizará simulaciones del estado futuro, ya que el resultado de la simulación presenta un buen nivel de cobertura e interferencias. Por lo tanto, se obtendrán cuatro simulaciones en total (dos simulaciones por banda). Estas simulaciones se realizarán en un área de 3 km aproximadamente, que se definirá en la configuración del estudio.

Es importante incidir en la representación de la señal en función del rango del valor obtenido, es decir, *Xirio* asigna un color en base un rango de señal definido. Cada simulación tiene definido unos criterios de asignación de rangos de valores y colores, de igual manera, cada tecnología tiene definido diferentes asociaciones rango-color.

Además de una interfaz visual, *Xirio* ofrece unos resultados estadísticos que en ciertos casos puede ser de utilidad. En caso de no apreciarse si el resultado obtenido de la simulación es favorable, es importante contrastar dichos resultados.

La normativa del operador estipula que, en caso de obtener resultados desfavorables de la simulación de huella de cobertura e interferencias, se debe simular el estado actual para realizar una comparación de cuanto es el nivel de empeoramiento de la señal. En caso de obtener unos resultados desfavorables, se debería comunicar al operador la inviabilidad de la solución propuesta como diseño radioeléctrico y proponer otra alternativa.

4.7.1 Simulación LTE 700

En primer lugar, los parámetros establecidos para la simulación de *LTE 700* son:

Nombre de la celda	Sector	Potencia transmisión (W)	Banda de frecuencia (MHz)	Tecnología
Merida1_4G	1	40	700	LTE
Merida2_4G	2	40	700	LTE
Merida3_4G	3	40	700	LTE

Tabla 14. Configuración *Xirio* LTE 700 I

Modelo Antena	Altura Antena (m)	Altura mástil (m)	Altura total (m)	Azimut (°)	M.tilt (°)	E.tilt (°)
MY-ROCKET H312-ASI4518R39	2,7	10	12,4	100	0	2
MY-ROCKET H312-ASI4518R39	2,7	11	12,4	200	0	6
MY-ROCKET H312-ASI4518R39	2,7	12	12,4	320	0	2

Tabla 15. Configuración *Xirio* LTE 700 II

Tras configurar los parámetros necesarios, se obtiene como resultado de simulación de la huella de cobertura de *LTE 700*:

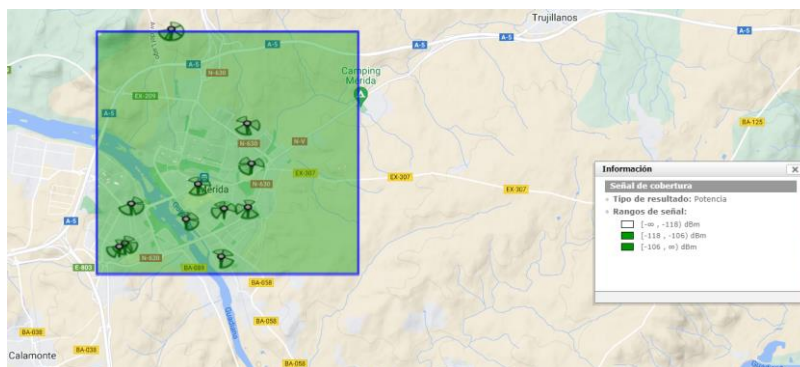


Figura 44. Simulación huella de cobertura LTE 700

En dicho resultado (Figura 44) se aprecia la presencia de varios emplazamientos con la misma tecnología en el área concretada. El resultado obtenido muestra el nivel de *RSRP*, (*Reference Signal Received Power*), que es la suma de la contribución de potencia todos los emplazamientos.

En la parte derecha (Figura 44) se muestra una leyenda con los rangos de señal:

- Valores igual o inferior a -118 dBm (*Decibel-milliwatt*): color blanco
- Valores entre -118 y -106 dBm: color verde oscuro
- Valores superior a -106 dBm: color verde claro

El color *blanco*, asignado a valores de potencia muy pequeños (del orden de 10^{-15} W o inferior), es un indicador de huecos de cobertura. Este término hace referencia a las zonas que no se pueden llegar a cubrir, esto es de vital importancia para el operador, puesto que es significado de mala planificación celular o de mal diseño radioeléctrico de los emplazamientos de la zona. La gran mayoría de los operadores trabajan en este término, ya que deben dar un servicio continuado y robusto de cobertura.

Por otro lado, el color *verde oscuro* es indicativo de señales de potencia del orden de 10^{-15} W. Este tipo de señal presenta mejor potencia que el rango anterior, no obstante, es significado de coberturas donde no se cubre bien la zona o solapamiento de señales de cobertura.

Por último, se encuentra el *verde claro* y es significado de una señal de cobertura de calidad y con niveles de potencia adecuado. El rango para este nivel es del orden de 10^{-14} W o superior. En este caso, se observa una señal uniforme en toda la zona de este rango de señal, por lo que el área de cobertura presenta un nivel aceptable de señal de huella de cobertura.

Por otra parte, se realiza la simulación del nivel de interferencias de *LTE 700* (Figura 45):

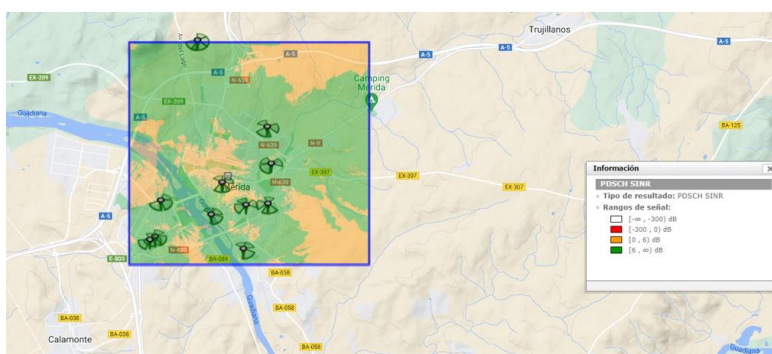


Figura 45. Simulación interferencias LTE 700

A diferencia de la simulación del nivel de huella de cobertura, se observa un nivel de señal de interferencias no uniforme en el área especificada. El resultado obtenido muestra la relación señal a potencia de ruido que hay presente en el enlace descendente *PDSCH SINR* (*Physical Downlink*

Shared Channel Signal Interference Noise Relation), parámetro utilizado para medir el nivel de interferencia.

En la parte derecha (Figura 45) se muestra una leyenda con los rangos de señal:

- Valores igual o inferior a -300 dB (*Decibel*): color *blanco*
- Valores entre -300 y -0 dB: color *rojo*
- Valores entre 0 y 6 dB: color *naranja*
- Valores igual o superior a 6 dB: color *verde*

El color *blanco*, asignado a valores de potencia del orden de 10^{-30} W o inferior, es un indicador de la calidad de la señal que recibe el dispositivo móvil frente a las posibles interferencias. Un valor de este rango indica que hay una gran degradación de la señal y, por tanto una presencia abundante de ruido. En este caso, no se observa presencia de degradación de la señal en este orden.

El rango de valores de color *rojo* hace referencia a un nivel de potencia superior al orden anterior y como máximo 0 W, esto se traduce en un señal con niveles altos de interferencias. Aunque sean valores con mejor calidad de señal que el anterior, sigue siendo indicador de una *SINR* alta.

A continuación, el rango de valores de color *naranja*, presente en algunas zonas del área delimitada, representa valores de *SINR* más razonables en comparación a los rangos anteriores. Sin embargo, no es un valor muy ideal, ya que hay cierta interferencia. El operador deberá tenerlo presente para posteriores implantaciones de nuevos emplazamientos en la zona.

Por último, el color *verde*, con presencia en la mayor parte del área, representa valores altos de *SINR*. Esto se traduce en que la señal es fuerte frente a interferencias y ruidos en la zona.

4.7.2 Simulación NR 700

En primer lugar, los parámetros establecidos para la simulación de NR 700 son:

Nombre de la celda	Sector	Potencia transmisión (W)	Banda de frecuencia (MHz)	Tecnología
Merida1_5G	1	40	700	NR
Merida2_5G	2	40	700	NR
Merida3_5G	3	40	700	NR

Tabla 16. Configuración Xirio NR 700 I

Modelo Antena	Altura Antena (m)	Altura mástil (m)	Altura total (m)	Azimut (°)	M.tilt (°)	E.tilt (°)
MY-ROCKET H312-ASI4518R39	2,7	10	12,4	100	0	2
MY-ROCKET H312-ASI4518R39	2,7	11	12,4	200	0	6
MY-ROCKET H312-ASI4518R39	2,7	12	12,4	320	0	2

Tabla 17. Configuración Xirio NR 700 II

De manera análoga, se realiza la simulación de la huella de cobertura e interferencias en el área delimitada para la tecnología 5G en la banda de 700 MHz.

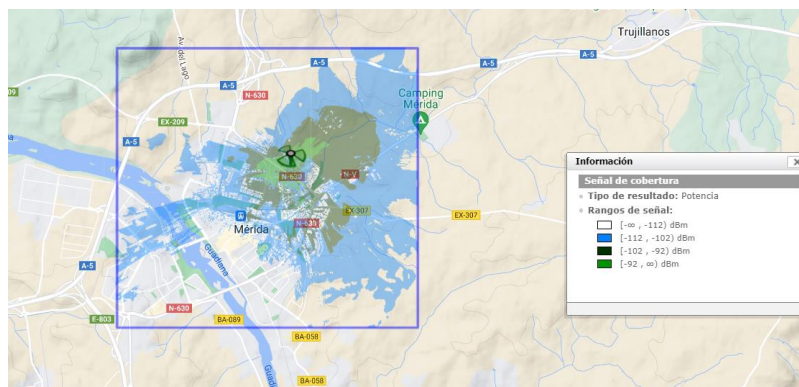


Figura 46. Simulación huella de cobertura NR 700

La simulación del nivel de huella de cobertura de la tecnología *NR 700* (*SS-RSRP*, (*Synchronization Signal-Reference Signal Received Power*)) presenta la particularidad de no haber ningún otro emplazamiento, en la red del operador, que proporcione servicio *5G* en la banda de *700 MHz*. Esto significa una mejora notable de la huella de cobertura, ya que actualmente es inexistente.

Entre los resultados obtenidos (Figura 46) se aprecian diferentes rangos de señal de cobertura:

- Valores igual o inferior a -112 dBm: color *blanco*
- Valores comprendidos entre -112 y -102 dBm: color *azul*
- Valores entre -102 y -92 dBm: color *negro*
- Valores superiores a -92 dBm: color *verde*

Como se puede observar en la simulación de la señal de cobertura de *5G* (Figura 46), el rango de valores de color *blanco* hace referencia a niveles de señal de potencia muy pequeños o inexistentes (del orden de 10^{-15} W). Al igual que en el rango definido en la simulación de *LTE*, se traduce en huecos de cobertura donde no se cubren bien la zona en particular.

En cambio, el rango de valores definido en el área delimitada es equivalente a rangos de señal de cobertura con una potencia del orden entre 10^{-15} W y 10^{-14} W. Este rango es equivalente a niveles de potencia muy pequeños en ciertas zonas donde no se alcanza a cubrir las debido a parámetros de diseño como orientación o inclinación.

Se observa una pequeña zona oscura, equivalente al tercer rango de valores (orden entre 10^{-14} W y 10^{-13} W) donde el nivel de potencia tiene a ser más aceptable. No obstante, todavía se aprecia parte de debilidad en la señal.

El último rango de valores (equivalente a 10^{-14} W y superior) se observa presente en la zona más cercana al emplazamiento, con esto se observa el rango de alcance que tiene y en la zona donde proporciona unos niveles óptimos de nivel de señal de cobertura.

En general, se aprecia como a medida que hay aproximación al emplazamiento la señal de cobertura mejor. Por otro lado, hay que destacar el nivel de alcance, aunque no sean niveles óptimos de señal en puntos lejanos al emplazamiento, se alcanza buena parte del territorio. Si el operador decide integrar más servicio de esta tecnología y banda en concreto en otros puntos, obtendrá buenos resultados.

En cuanto a la simulación de interferencias de la tecnología *NR 700* (Figura 47):

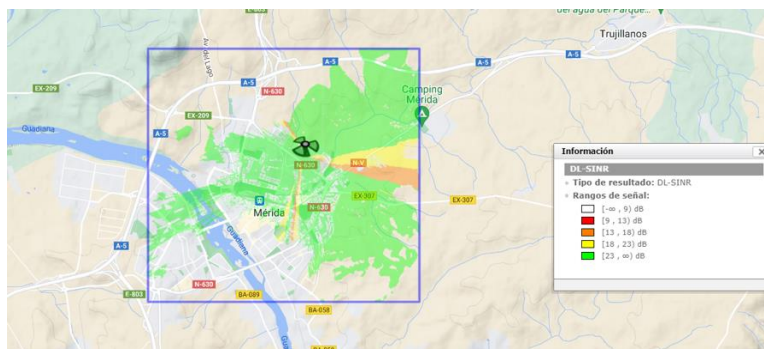


Figura 47. Simulación interferencias NR 700

Se observa como parámetro a simular el *Downlink Signal Interference Noise Relation (DL SINR)*, de igual manera que en el subapartado anterior, hay diferentes rangos de valores que califican el nivel de calidad de la señal en esta tecnología en la zona delimitada.

Por un lado, los rangos de valores definidos son:

- Valores igual o inferior a 9 dB (Decibel): color blanco
- Valores entre 9 y 13 dB: color rojo
- Valores entre 13 y 18 dB: color naranja
- Valores entre 18 y 23 dB: color amarillo
- Valores igual o superior a 23 dB: color verde

De forma similar, el color blanco hace referencia a valores donde la calidad de la señal tiene valores pequeños, es decir, la relación frente a las interferencias es menor que en otros rangos. Sin embargo, se observa la zona de interferencias presentada en la simulación y predominan otros rangos de valores.

El segundo rango de valor, el color rojo, es significado de señales donde se aprecia interferencias altas. En este caso, se observa que en la radiación del segundo sector hay una pequeña zona sombreada de este color, esto puede deberse a la distancia. Anteriormente se ha observado que tiene un largo alcance, pero presenta en distancias más alejadas un nivel de señal débil. Así mismo, en la misma trayectoria se observa una pequeña zona sombreada de color amarillo que puede tener la misma justificación.

Finalmente, se observa en la mayoría del territorio el color verde. El resultado es favorable puesto que el nivel de calidad de la señal es elevado, esto se traduce en poco nivel de interferencias y un buen nivel de la señal proporcionada por la estación base.

4.8 Implementación en la red

En esta última fase del proyecto, se establecen los oportunos parámetros de configuración y el equipo *operaciones* se encarga de integrarlo en la red. Tras esto, se procede al análisis de *KPIs* para ver el comportamiento del servicio de *LTE 700* y *NR 700* en la red.

4.8.1 Análisis de KPIs

Para el estudio, hay que destacar que la fuente de datos (archivo .csv) proviene de una aplicación web donde hay gran variedad de archivos con diferente información de los puntos que hay activos en la red. En dicha web se puede realizar una visualización de las métricas, pero las funcionalidades que proporciona son un poco limitantes.

Como alternativa, se ha planteado el tratamiento de datos sobre las diversas métricas mediante *Tableau*, para poder trabajar de manera rápida y eficiente con gran volumen de datos. En concreto, el análisis que se va a realizar es en base a los resultados horarios por sector de diferentes *KPIs* en un periodo comprendido desde el 5 de enero hasta el 18 de mayo de 2023. Esto se traduce en una medida por hora de cada sector en el período de tiempo especificado, haciendo un total de

9650 filas aproximadamente por tecnología. Puesto que hay dos tecnologías, el archivo presenta los *KPIs* de cada tecnología en hojas diferentes.

En primer lugar, es necesario conocer los umbrales estipulados por el operador para saber con certeza si los resultados obtenidos son satisfactorios.

Tecnología	Disponibilidad	RSSI	DCR	CSSR	Tráfico DL (Gb)	Tráfico UL (Gb)	AVCQI
		<i>Received Signal Strength Indicator</i>	<i>Drop Call Rate</i>	<i>Call Setup Success Rate</i>	<i>Tráfico cursado en downlink</i>	<i>Tráfico cursado en uplink</i>	<i>Average Channel Quality Indicator</i>
LTE	98%	-115 dBm	6%	95%	0	0	--
NR	98%	-115 dBm	6%	95%	0	0	5-6

Tabla 18. Valores umbral

De un primer modo, se va a estudiar el comportamiento de *LTE 700*. Para ello, se muestra un promedio de los *KPIs* mencionados anteriormente (Figura 48) tanto para datos como para voz (*VoLTE*⁶). Cada valor es un *campo calculado* en el que se genera la función *media* de todos los datos.

KPIs 4G

CSSR	CSSR_VoLTE	DCR_VoLTE	_DCR	ERAB_Ratio	RSSI	Trafico_DL	Trafico_UL	Disponibilidad
97,3	97,4	1,2	5,2	96,0	-117,4	8,7	1,3	99,1

Figura 48. Promedio *KPIs 4G*

En el resultado obtenido muestra valores aceptables por parte del operador. En concreto, se observa un *CSSR* de un 97,3%, esto se traduce en un muy buen índice de éxito de establecimiento de conexiones y llamadas con relación a las totales.

Por un lado, el porcentaje de caídas tanto de voz como de datos (*DCR*) implica una tasa muy pequeña pérdida de la señal. Además, se observa una muy buena tasa de conexiones de datos (*ERAB*) y un valor medio óptimo de intensidad de señal de -117,4 dBm (por debajo de -115 dBm).

Por otro lado, el tráfico medio se observa que en *downlink* se encuentra a un valor de 8,7 GB (*gigabytes*) en referencia a la interacción del usuario con internet (descargas, navegación, etc.) y de 1,3 GB en *uplink*, es decir, los datos transferidos desde el terminal móvil a la red.

Finalmente, la disponibilidad es de un 99,1%, esto indica un valor de disponibilidad alto y por encima del umbral (98%). Un valor por debajo de este umbral preocuparía al operador y se debería revisar a nivel de alarmas en el gestor, por si hubiese alguna alerta.

Más en detalle, se va a realizar una observación de cada *KPI* a lo largo del rango de tiempo anteriormente mencionado.

⁶ VoLTE es el tráfico de voz en redes de 4G o LTE.

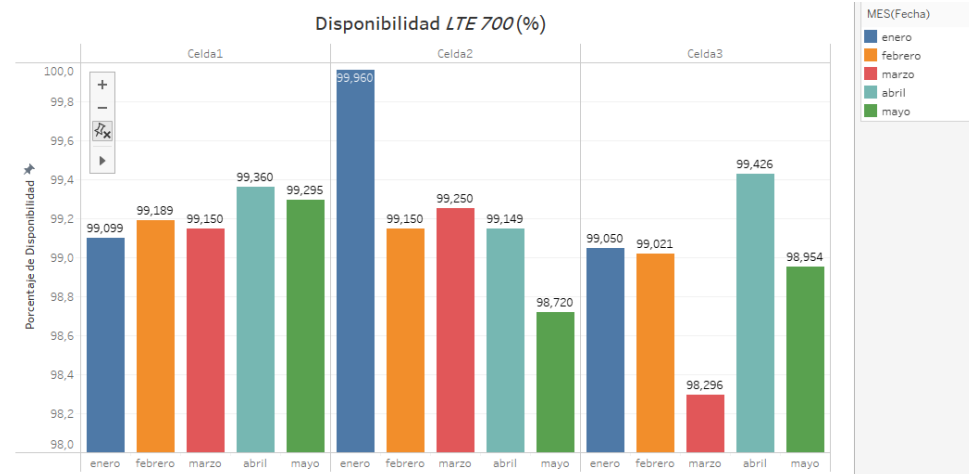


Figura 49. Disponibilidad LTE

En la gráfica anterior (Figura 49), se observa unos valores de disponibilidad de esta tecnología muy altos. Esto implica pocos fallos a nivel de conexión y una actividad continuada y eficiente. Se observa algún valor atípico en la *Celda 2* en el mes de mayo o en la *Celda 3* el mes de marzo, pero no preocupa al operador puesto que se encuentran por encima del umbral (98%).

El valor máximo se obtiene a lo largo de enero en la *Celda 2* donde se puede observar una disponibilidad prácticamente del 100%. Finalmente, hay que destacar que el mes de mayo registra los valores más bajos.

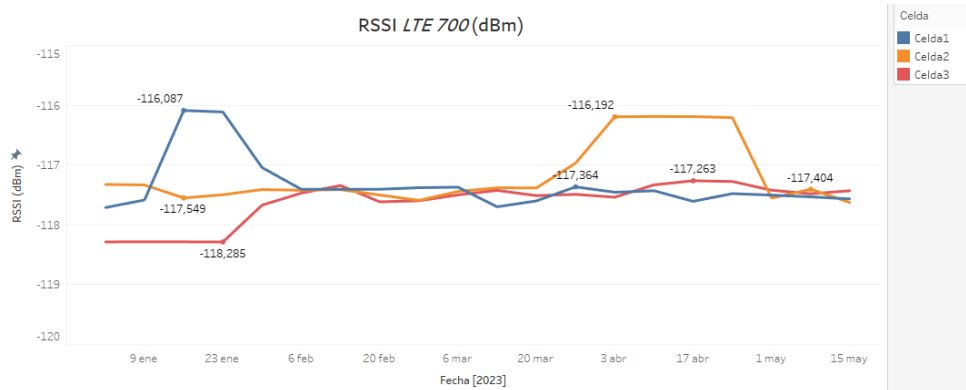


Figura 50. RSSI LTE

A continuación, el nivel de *RSSI* en todo el período se encuentra dentro del margen aceptable (-115 dBm) por el operador (Figura 50). Se observa que la *Celda 3* se mantiene constante en torno a -117 dBm, en cambio, las *Celdas 1 y 2* experimentan alguna variación hasta converger al mismo valor que la *Celda 3*.

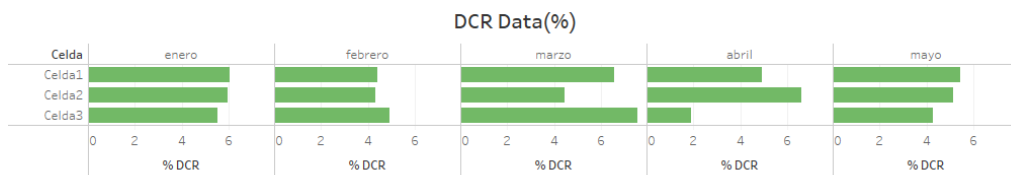


Figura 51. DCR LTE

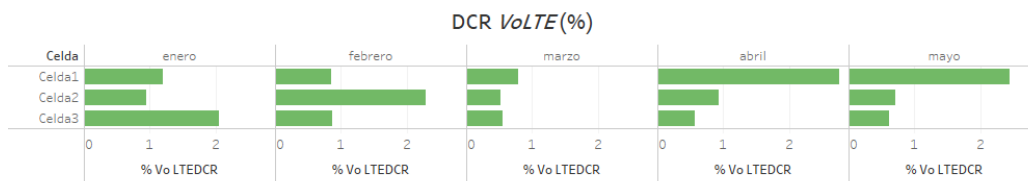


Figura 52. DCR VoLTE

Con relación a la tasa de caídas sufridas, se observa en general, en ambas figuras (Figura 51 y Figura 52) valores no superiores al 6%, por lo que se determina una alta calidad de servicio. Esto es de vital importancia para el operador, ya que pretende tener una *QoS* alta.

Aunque, se destaca valores como marzo y abril donde dos de las tres celdas registran valores por encima del umbral (6%), no tiene mayor importancia puesto que puede tratarse de valores puntuales.

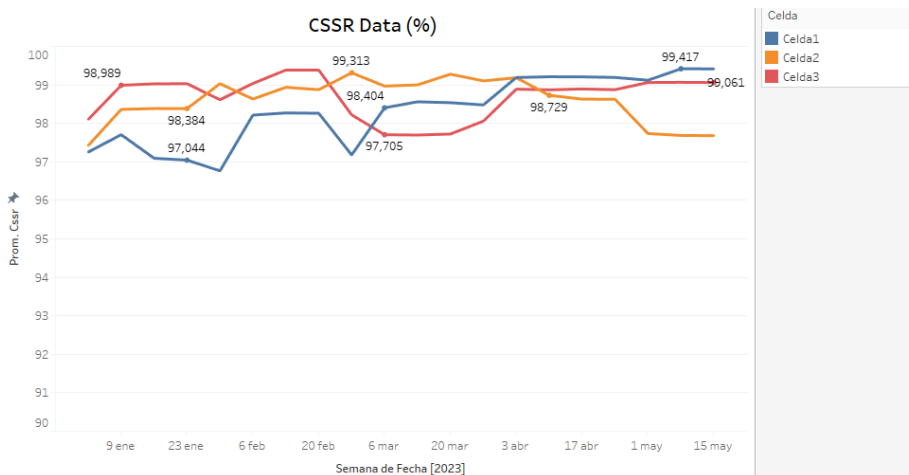


Figura 53. CSSR LTE

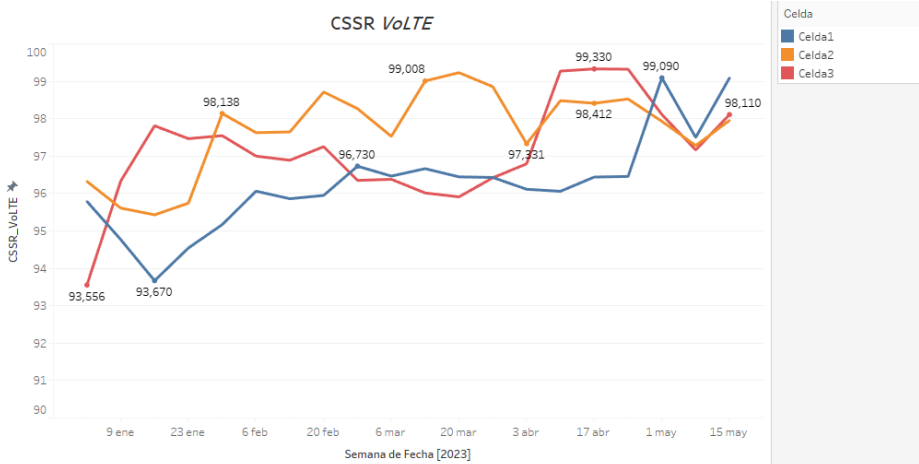


Figura 54. CSSR VoLTE

Por otro lado, se observan en las figuras anteriores la métrica relacionada con la tasa de establecimiento de llamadas y conexión (Figura 53 y Figura 54). Aunque en enero el establecimiento de llamada en alguna celda presentase valores del 93%, este *KPI* muestra muy buenas prestaciones en relación con el número de intentos realizados, ya que se observa un aumento considerable hasta estabilizarse en torno al 98 % y 99 %.

En el caso del establecimiento de conexión de datos (Figura 53), a pesar de presentar ciertas variaciones, las *Celdas 1 y 3* anotan un aumento considerable con respecto al punto de partida, en

cambio, la *Celda 2* se estabiliza entorno al punto inicial. De igual manera ocurre en el establecimiento de llamadas (Figura 54).

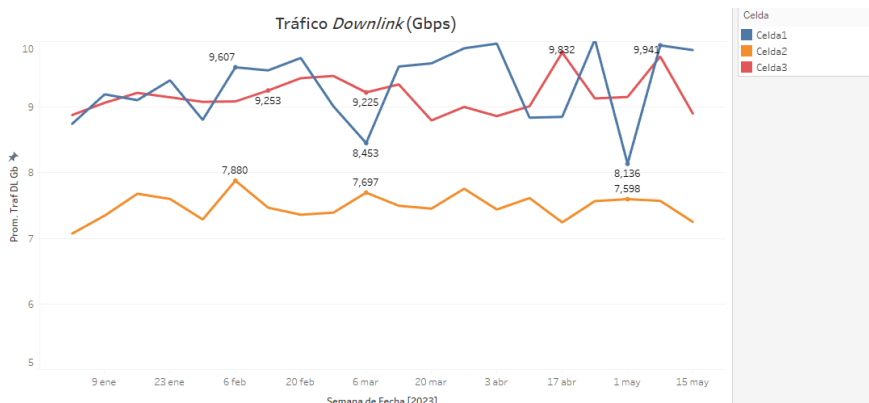


Figura 55. Tráfico *Downlink* LTE

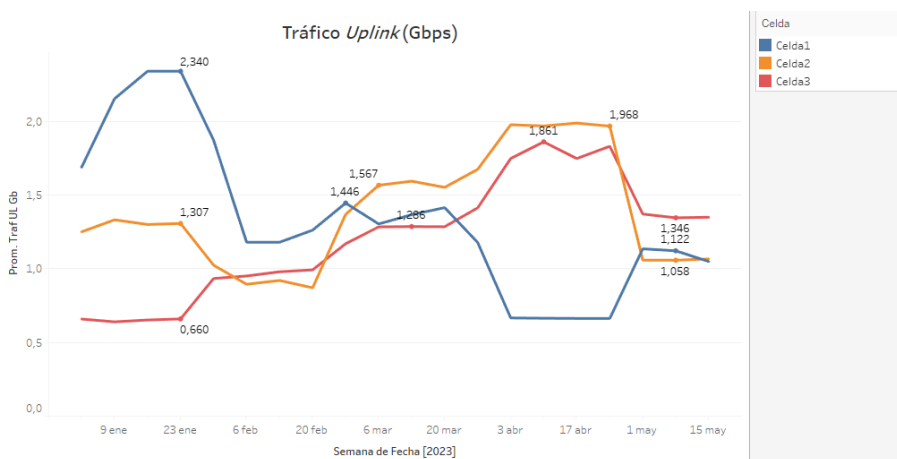


Figura 56. Tráfico *Uplink* LTE

Otro concepto importante para el operador es el tráfico cursado (Figura 55 y Figura 56), esto se observa para ver posibles congestiones y caídas de alguna celda. Valores muy elevados implican una saturación de la red en esa zona y, un valor de 0 indica la inactividad de la celda. En este caso, se observa en *downlink* un tráfico entre 7-9 Gb y 0,5-2 Gb en *uplink*. Estos valores registrados con relación a la localización del emplazamiento son valores típicos.

En concreto, en el tráfico cursado en *downlink* (Figura 55) se observa como la *Celda 3* registra un menor valor, debido a su ubicación, ya que está orientado al área más rural de la zona. En cambio, a pesar de la variación que presenta el tráfico en *uplink* (Figura 56) se registran valores de menor valor en comparación al *downlink*.

Análogamente a *LTE 700*, se va a estudiar el comportamiento de *NR 700*. Para ello, se procede a obtener la evolución media de los *KPIS* a lo largo del tiempo (Figura 57)

KPIS 5G						
CSSR_5G	_DCR_5G	AVGCQI	RSSI_5G	Trafico_DL_5G	Trafico_UL_5G	Disponibilidad_5G
96,8	4,6	5,8	-117,2	0,8	0,5	98,8

Figura 57. Promedio *KPIS* 5G

En general, se observa unas métricas con valor reducido a los de *LTE* (Figura 48), pero con un buen nivel de prestaciones. Cabe destacar que la calidad de la conexión puede ser mejorable, aunque es presenta una tasa cercana a un 6 (*AVGCQI*).

Además, el nivel de éxito de establecimiento de conexión 5G es elevado, esto se traduce en una buena comunicación entre el terminal y la red 5G. El nivel de intensidad de señal presentado es un buen valor. No obstante, se aprecia un bajo valor de tráfico 5G, esto se puede deber a ser el primer emplazamiento en integrar esta nueva banda.

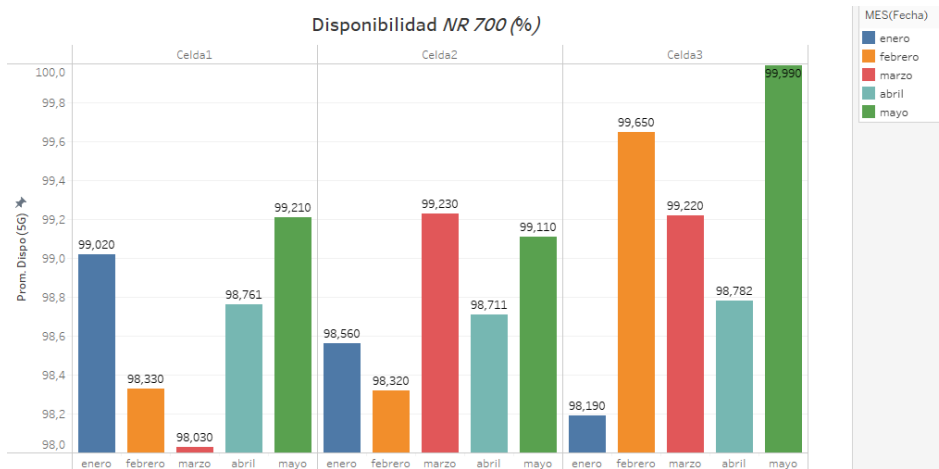


Figura 58. Disponibilidad NR 700

El nivel de disponibilidad (Figura 58) que presenta cada celda es óptimo, a pesar de haber algunos valores atípicos en el mes de marzo la *Celda 1* y en el mes de enero la *Celda 3*. Se observa que el rango de valores disminuye al 98 %, en comparación a LTE 700 que se encuentra con un nivel del 99 %.

En los datos registrados del mes de mayo se aprecia un valor muy elevado para la disponibilidad de la *Celda 3*, por otro lado, hay valores muy en el límite como es el mes de marzo para la *Celda 1* donde se registra puntualmente un valor muy cercano al umbral (98 %).

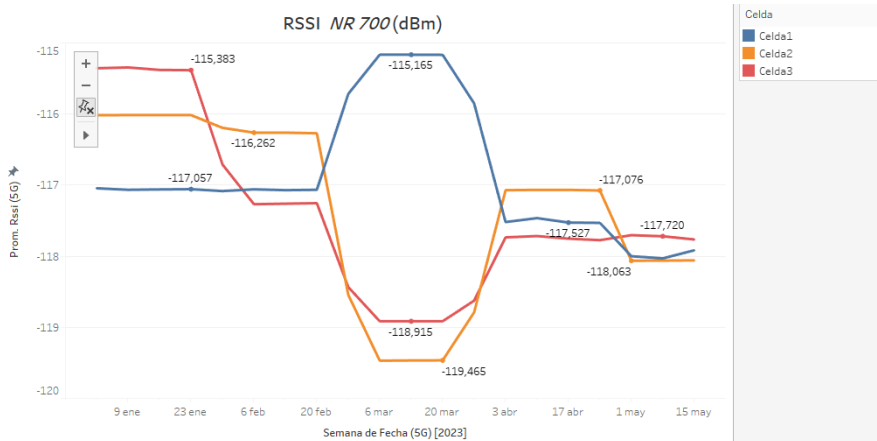


Figura 59. RSSI NR 700

Aunque hay una notable variación en el mes de marzo del nivel de señal recibida en NR 700 (Figura 59), se observa cómo se vuelve a estabilizar a -117 dBm. A pesar de esto, los rangos obtenidos están dentro del margen aceptado por el operador.

Destaca la oposición de intensidad de señal recibida en la *Celda 1*, donde se aprecia un valor cercano al umbral (-115 dBm) y las *Celdas 2 y 3*, que registran valores de intensidad considerables (-119 dBm).

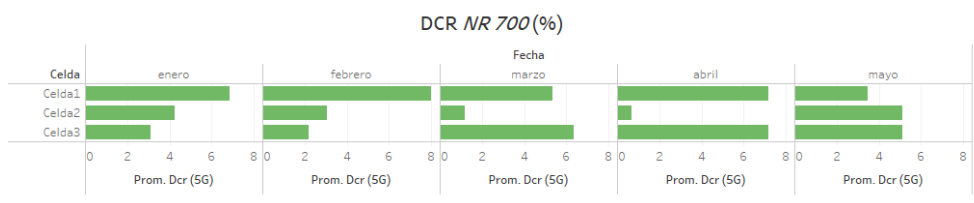


Figura 60. DCR NR 700

Por otro lado, los niveles obtenidos a lo largo del tiempo en cada celda sobre las caídas sufridas en NR 700 (Figura 60) no sobrepasan el 6% de forma general. Esto se traduce en una buena calidad de conexión.

Más en concreto, sí que hay algún valor atípico en el mes de febrero y abril para la *Celda 1* y marzo y abril para la *Celda 3*. Por ello, el operador deberá prestar atención en la evolución de los siguientes meses por si la tasa de caídas no se estabiliza.

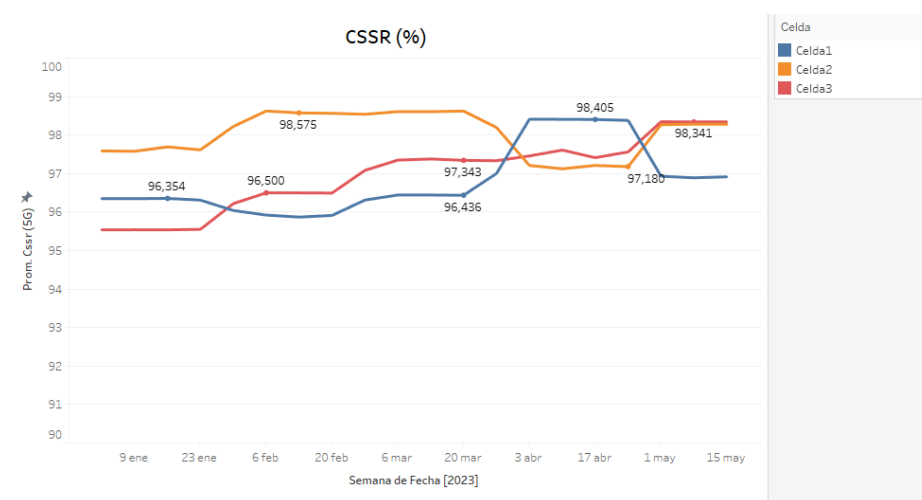


Figura 61. CSSR NR 700

En cuanto a los niveles de conexión presentados a lo largo del periodo de tiempo son altos. Aunque las tres celdas presentan variaciones a lo largo del tiempo, las *Celdas 2 y 3* terminan estabilizándose en torno al 98%. Sin embargo, la *Celda 1* presenta un valor menor (96%).

Como resultado actual, se aprecia en el mes de mayo como las *Celdas 2 y 3* presentan una mejor tasa de establecimiento de conexión de datos que la *Celda 1*. No obstante, no se califica ninguna tasa como preocupante, ya que todas están por encima del umbral (95%).

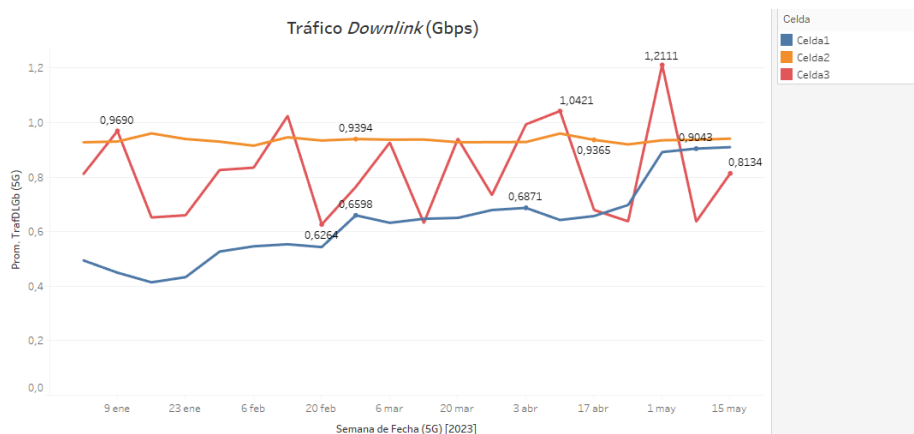


Figura 62. Tráfico Downlink NR 700 en Gbps

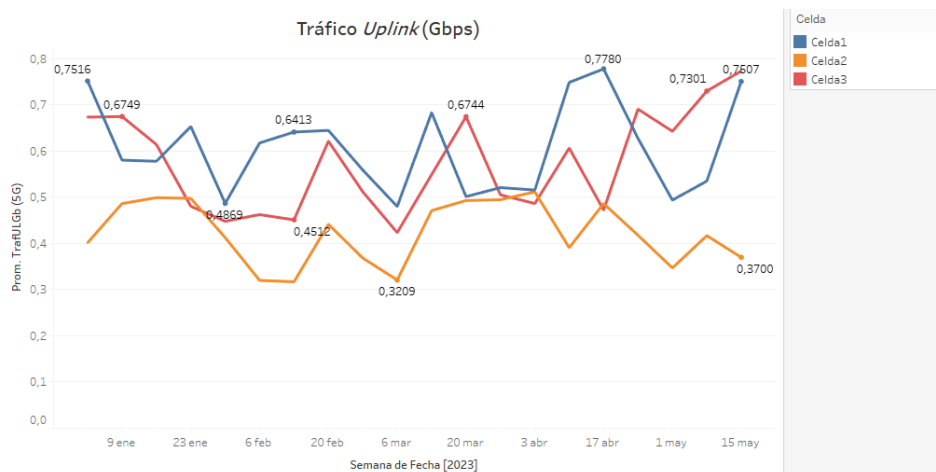


Figura 63. Tráfico Uplink NR 700 en Gbps

El tráfico cursado (Figura 62 y Figura 63) se observa que es reducido, a pesar de esto, los niveles entran dentro de un rango normal y el operador no lo considera valores anómalos. Haciendo hincapié en el tráfico cursado en *downlink*, se observa una muy poca variación para la *Celda 2*, por el contrario, las *Celdas 1 y 3* muestran mucha más variación.

Por otro lado, el tráfico cursado en *uplink* registra valores muy reducidos. A pesar de esto, el operador no lo considera una alarma. Sin embargo, sí que se observa mucha variación en poco tiempo, esto puede denotar la poca cantidad de usuarios que ha interactuado con la red y han transmitido datos.

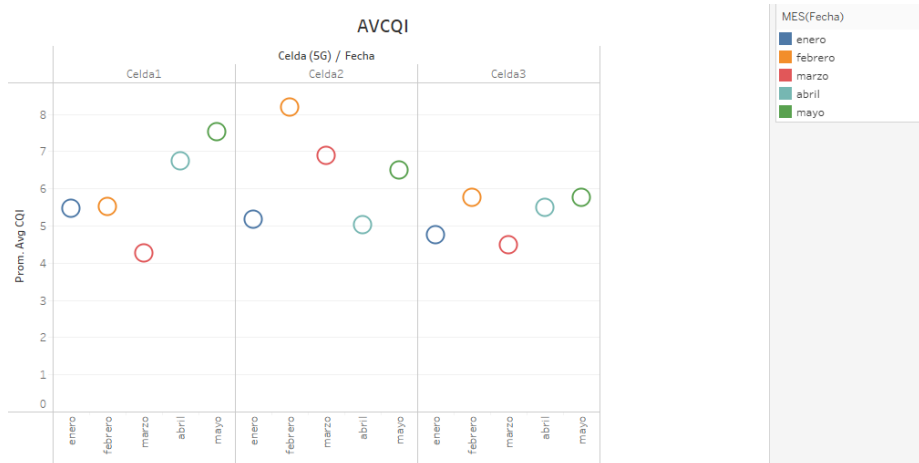


Figura 64. CQI NR 700

Respecto al nivel de calidad de conexión 5G en cada celda se ha representado con la gráfica anterior (Figura 64). En general, se observa en el mes de *marzo* una reducción de la calidad de la red en las *Celdas 1 y 3*, a pesar de esto, los valores son generalmente estables (por encima de 5).

Después de haber representado el comportamiento de diferentes métricas de cada celda en ambas tecnologías, se resalta las buenas prestaciones de servicio aportado en cuanto a continuidad, disponibilidad, caídas y nivel de señal. Es por esto, que el operador cumple los requisitos óptimos para dar un servicio de buena calidad.

Tras analizar el comportamiento de cada métrica, es interesante conocer la información sobre la distribución que presenta cada *KPI*. En suma, es importante poder contrastar las diferencias que hay entre el conjunto de datos de 4G y 5G.

Para ello, se va a realizar la comparación de algunos *KPIs* y poder obtener un resumen estadístico. Todo esto se realiza en *Python*, a través de las librerías *pandas* y *matplotlib*, mediante la función *boxplot* o diagrama de cajas y bigotes:

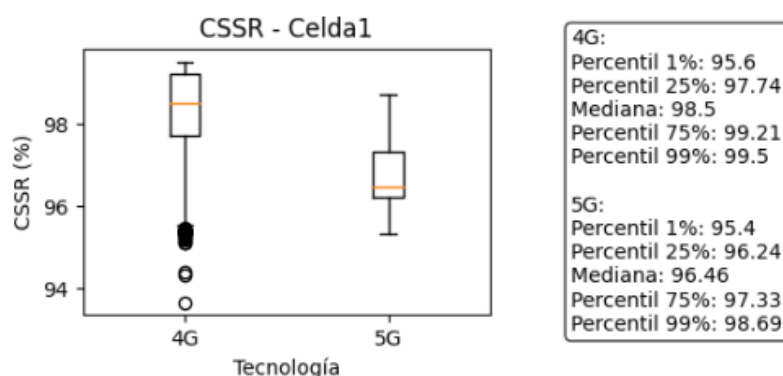


Figura 65. Diagrama *boxplot* CSSR de la Celda 1

Con relación a la distribución de *CSSR* de la Celda 1, se observa una mayor variabilidad de los datos en *4G* que en *5G*, ya que la dimensión de la caja es mayor. Cabe destacar el rango intercuartílico (*IQR*), que es la diferencia entre el tercer cuartil (*Q3*) y el primero (*Q1*). En *4G* este rango es de 1 % aproximadamente, mientras que en *5G* es de 0,7 %.

Por otro lado, se observa que la variabilidad fuera de este rango se detalla mediante las líneas o bigotes. En *4G* y *5G* la variación es superior e inferior a la distribución, pero se observa mayor variación en la parte inferior al primer cuartil para el *4G*, y en la parte superior al tercer cuartil para el *5G*.

La línea amarilla hace referencia a la mediana de los datos. La distribución de los datos en *4G* están repartidos de manera igual, ya que la mediana se encuentra justo en la mitad de la caja. En cambio, en *5G* se observa la mediana cerca del primer cuartil. Esto se traduce en que el 75 % de los datos se encuentran en la parte inferior de la distribución.

Por último, es importante señalar los círculos o valores atípicos, ya que son valores alejados de la distribución central de los datos. En *4G* se observa ciertos valores atípicos cercanos al 94 %, alejado inferiormente de la distribución central.

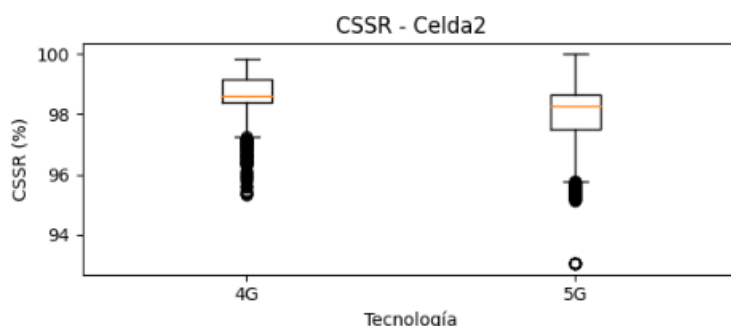


Figura 66. Diagrama *boxplot* CSSR de la Celda 2

En esta segunda celda, se observa que sucede de manera contraria a la Celda 1. La variabilidad de los datos en *4G* es menor que en *5G*. Se observa en *4G* un rango intercuartílico menor que en *5G*. No obstante, en líneas generales en *4G* el *CSSR* es superior al *5G*.

Cabe destacar que, en *4G* se observan variación fuera la distribución central, al igual que en *5G* hay variación notable tanto inferior como superior. No obstante, en *5G* se alcanzan valores más pequeños de *CSSR* lo que implica que la celda ha sufrido alguna degradación y, por tanto, la accesibilidad a esta celda en *NR 700* se ha visto afectada.

En este caso, la mediana denota que en 4G está situada cercana al primer cuartil, a diferencia que en 5G donde se observa una mediana cercana a tercer cuartil. Con esto, se observa que la asimetría de la distribución CSSR es negativa y en 5G la asimetría de la distribución CSSR es positiva.

En cuanto a los valores atípicos, en 4G se observan ciertos valores alejados de la distribución central. Sin embargo, en 5G destaca entre todos los valores⁷ atípicos fuera de la distribución, el valor situado por debajo del 94 %.

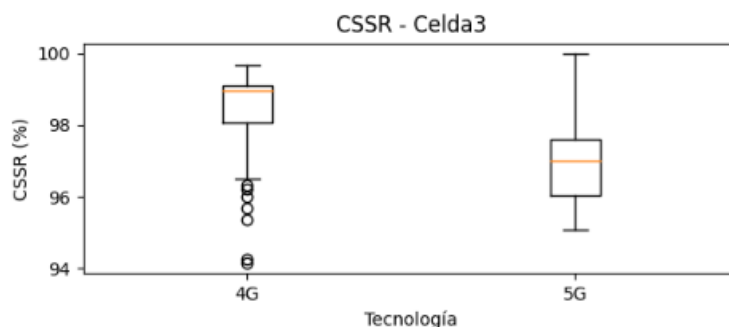


Figura 67. Diagrama *boxplot* CSSR de la Celda 3

En este caso, en 4G se observa una distribución de los datos inferior a 5G, con un rango intercuartílico menor. Concretamente, en 4G la diferencia es de 1 % aproximadamente, mientras que, en 5G se aproxima a 1,7 %.

Por otro lado, se observa la variación fuera de la distribución central donde en 5G se observa valores desde el 95 % hasta el 100 %, en cambio, en 4G el rango oscila entre 96,5 % y valores cercanos al 100%.

La mediana en 4G se encuentra en la parte superior de la caja, por lo que se interpreta que la distribución es asimétrica, de la misma manera ocurre en 5G. Esto se traduce en que el 75 % de los valores se encuentran en la parte superior de la distribución.

Además, en 4G se observan dos valores atípicos por debajo de la distribución principal. En cambio, en 5G no hay existencia de ningún valor atípico.

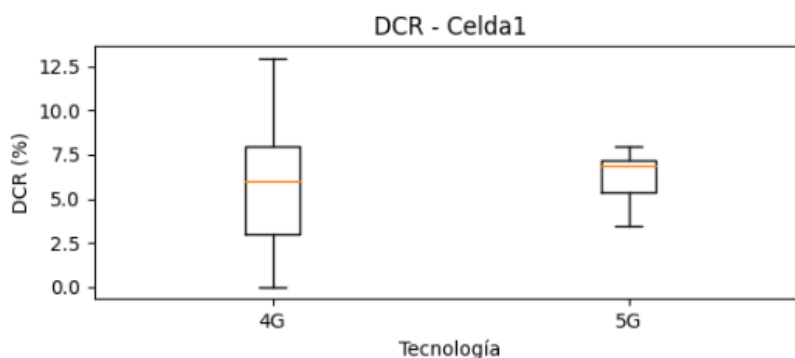


Figura 68. Diagrama *boxplot* DCR de la Celda 1

En esta métrica (DCR) de datos para la Celda 1 se aprecia un mayor rango de variabilidad de la distribución de 4G que de 5G. El rango intercuartílico en 4G es mayor, ya que hay una diferencia del 5 % frente al 2,5 % que hay en 5G.

Aunque hay variación en ambas distribuciones, se puede observar que el rango fuera de la distribución principal es mayor en 4G. Se observan valores desde 0 % hasta el 12,5 %, en cambio,

⁷ Se considera valores atípicos aquellos que se encuentran, a una distancia superior a 1,5 veces el rango intercuartílico del primer y tercer cuartil. Concretamente, por debajo del primer cuartil y por encima del tercer cuartil.

en 5G varían desde el 4,7 % al 7,7 %. Los valores superiores son preocupantes para el operador, ya que denotan una tasa alta de caídas de la celda.

Por otro lado, se observa que en ambos casos la mediana se encuentra más cerca del tercer cuartil, esto se traduce en que tan solo el 25 % de ambas muestras se encuentran en la mitad inferior de la distribución, lo que denota que hay una asimetría hacia valores altos.

Por último, no hay presencia de valores atípicos en ninguna de las dos distribuciones. Esto implica que no hay valores alejados de la distribución principal.

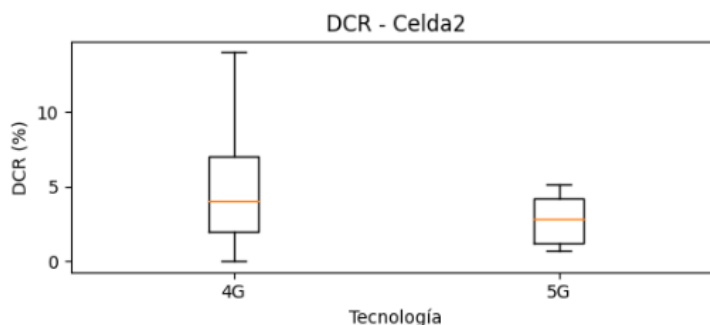


Figura 69. Diagrama *boxplot* DCR de la Celda 2

En cambio, en la Celda 2 se observa, en general, un menor valor de caídas. Esto se observa ya que ambas distribuciones se concentran en valores entre el 3 % y el 6 %. Aunque, en 5G la tecnología muestra menos variabilidad en la distribución, y, por tanto, el rango intercuartílico es menor.

Además, se observa que el dominio en 5G es menor que en 4G, esto se traduce en una mayor estabilidad de la celda. Esto, el operador debe tenerlo en consideración, ya que en 4G se superan en algunas ocasiones el 10 %.

En suma, se observa una mediana por debajo del 5 % en ambas distribuciones. En 4G se observa que un 75 % de los datos están por la mitad inferior, en cambio, en 5G sucede lo contrario. Además, no se observan en ninguna de las dos distribuciones valores atípicos.

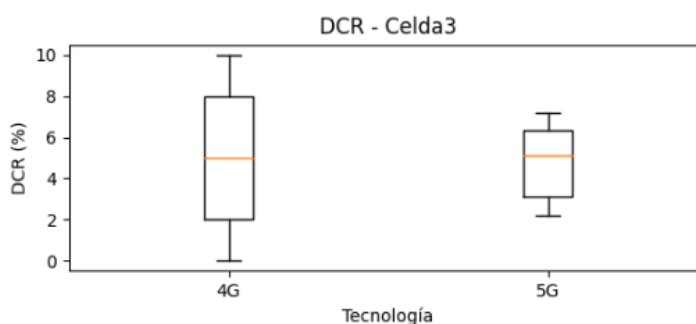


Figura 70. Diagrama *boxplot* DCR de la Celda 3

Los valores referentes a las caídas de datos en la Celda 3, implica una mayor variabilidad que en las celdas anteriores. En 4G se observa un mayor rango intercuartílico que en 5G, puesto que se observa una mayor dimensión de la caja.

Por otro lado, a través de los bigotes se observa el dominio de la distribución. Con esto se observa un mayor rango de valores en 4G que en 5G. Además, se puede observar que estos valores se encuentran fuera del rango intercuartílico y, por tanto, alejados de la distribución principal.

La distribución en 4G es simétrica, ya que la mediana se encuentra en la mitad de la distribución principal. Sin embargo, en 5G se encuentra en la parte superior, lo que denota que, se una distribución asimétrica. En suma, se puede añadir que en ninguna de las dos distribuciones hay presencia de valores atípicos.

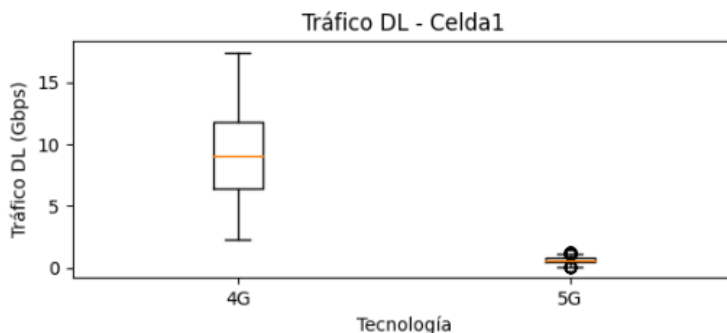


Figura 71. Diagrama *boxplot* DL de la Celda 1

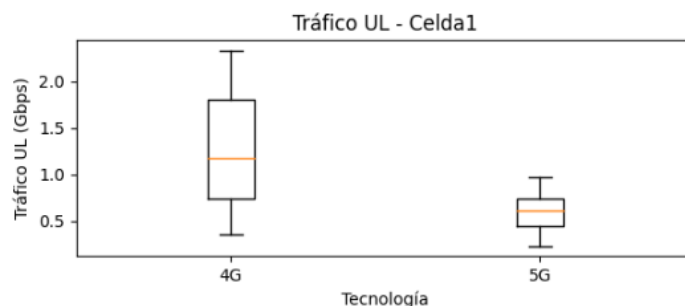


Figura 72. Diagrama *boxplot* UL de la Celda 1

En cuanto a la distribución referente al tráfico en *downlink* y *uplink*, se puede observar una mayor distribución en cuanto a valores en 4G. Esto se traduce en un mayor rango de valores en la distribución principal y, por tanto, un mayor rango intercuartílico.

Por otro lado, 4G presenta un mayor rango de variabilidad fuera de la distribución principal. La distribución alcanza valores superiores a 15 Gbps e inferiores a 5 Gbps en *downlink*, mientras que, en 5G no se supera los 2,5 Gbps. En cuanto al *uplink*, la distribución de 4G presenta valores superiores a 2 Gbps e inferiores a 0,5 Gbps, en cambio, a pesar de presentar una mayor variabilidad que en *downlink*, 5G presenta valores superiores a 1 Gbps e inferiores a 0,5 Gbps.

Por otro lado, en 4G se observa una distribución simétrica para *downlink*, pero asimétrica para *uplink*, ya que se centra en la parte inferior de la distribución. Sin embargo, en 5G se observa poca variabilidad en *downlink* y una pequeña asimetría en *uplink*, lo que denota que el 75 % de los valores se encuentran en la parte superior de la distribución. Además, solo en la distribución de *downlink* en 5G se observan valores atípicos.

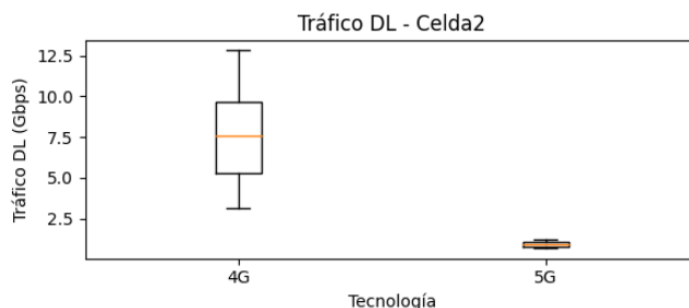


Figura 73. Diagrama *boxplot* DL de la Celda 2

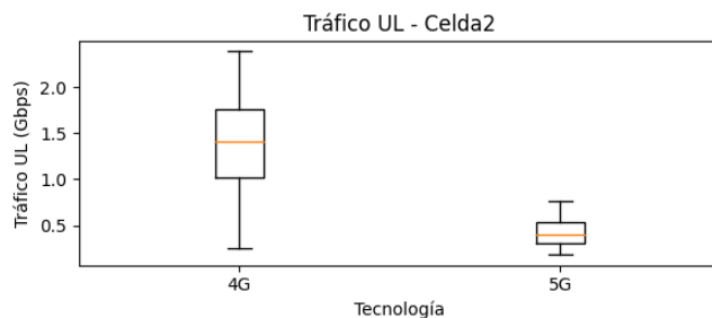


Figura 74. Diagrama *boxplot* UL de la Celda 2

En general, se observa un resultado a lo comentado en la *Celda 1*, se observa mayor variabilidad en las distribuciones de *4G*, por tanto, un mayor rango intercuartílico. En cuanto a los valores, fuera de la distribución principal, se observa un mayor rango de valores, superando los 12,5 Gbps en *downlink*, en cambio, en *5G* no se alcanza los 2,5 Gbps. Por otro lado, en *uplink* se superan los 2 Gbps, en cambio, en *5G* simplemente se alcanza el 1 Gbps.

En cuanto a la mediana, la distribución en ambos enlaces de *4G* se encuentra en la mitad de a distribución, lo que implica una simetría. En cambio, en *5G* no ocurre lo mismo, se aprecia una asimetría. Por último, en ninguna de las cuatro distribuciones se aprecia valores atípicos.

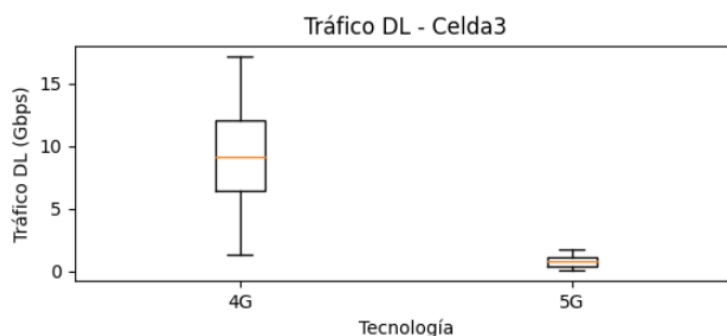


Figura 75. Diagrama *boxplot* DL de la Celda 3

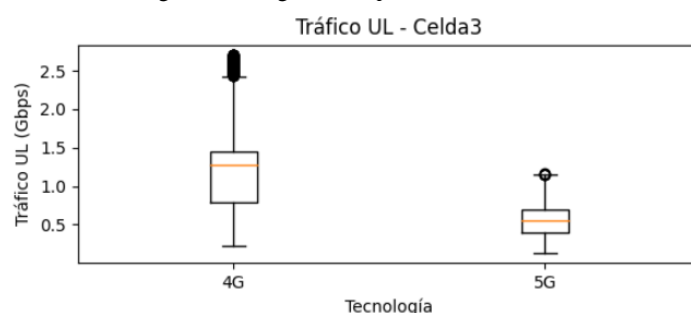


Figura 76. Diagrama *boxplot* UL de la Celda 3

La variabilidad de las distribuciones del tráfico en la *Celda 3* en ambos enlaces es superior en *4G*. Por lo tanto, el rango intercuartílico es superior. Además, el rango de valores fuera de la distribución alcanza valores superiores que en *5G*.

En cuanto a la simetría de las distribuciones, se observa que ambas distribuciones de *5G* son simétricas, es decir, la media está en la mitad de la caja. Por otro lado, *4G* presenta una simetría en *downlink* pero una asimetría en *uplink*, lo que implica que en este enlace el 75 % de los valores se encuentran en la parte superior de la caja. Finalmente, se observa solo la presencia de un valor atípico en *uplink* de *5G*.

4.8.2 Análisis explotario de datos

En esta segunda parte, se va a continuar describiendo las variables que presenta el archivo de datos, para ello, se va a realizar un análisis de las características que contiene el archivo y su respectiva estructura.

Todo el análisis se va a realizar mediante *Python* y librerías como *numpy*, *pandas*, *seaborn*, *matplotlib*, *scipy* y *sklearn*, para poder trabajar de manera sencilla con *data frames*, ya que se trata de datos estructurados. Además, ayudará a la ejecución de cálculos estadísticos y su respectiva visualización.

En primer lugar, se hace una lectura del archivo y se separa en diferentes *data frames* las tecnologías. De aquí en adelante, aunque se vaya a representar el análisis para la tecnología *NR 700* ó *5G*, de manera análoga se realiza para *LTE* o *4G*.

Para poder conocer un poco más en profundidad la estructura del archivo, la obtención de una tabla resumen para conocer las variables numéricas es de gran utilidad:

	Fecha	ML	Down	Lock	DispoTot	Dispo	RSSI	DCR
count	9648	9648.000000	9648.000000	9648.0	9648.000000	9648.000000	9648.000000	9648.000000
mean	2023-03-12 23:29:59.999742208	93.541045	0.217662	0.0	98.831254	98.831254	-117.220550	4.60246
min	2023-01-05 00:00:00	32.000000	0.000000	0.0	93.000000	93.000000	-119.720000	0.67000
25%	2023-02-07 11:45:00	92.000000	0.000000	0.0	98.330000	98.330000	-118.030000	2.83000
50%	2023-03-12 23:30:00	96.000000	0.000000	0.0	98.760000	98.760000	-117.100000	5.12000
75%	2023-04-15 11:14:59.999000064	96.000000	0.000000	0.0	99.220000	99.220000	-116.260000	6.86000
max	2023-05-18 22:59:59.999000	96.000000	25.000000	0.0	100.000000	100.000000	-115.010000	8.00000
std	NaN	5.017144	2.322655	0.0	0.515602	0.515602	1.255983	2.30396

8 rows x 24 columns

Figura 77. Tabla resumen NR 700

El resultado muestra diferentes parámetros estadísticos como *count* (número de muestras), la media (*mean*), el valor mínimo (*min*), el primer cuartil (25 %), la mediana (50%), el tercer cuartil (75 %), el valor máximo (*max*) y la desviación típica (*std*). Además, aparecen algunos *KPIs* no mencionados anteriormente como son; *ML* que especifica algún parámetro interno del operador, *Down* hace referencia a los segundos en los que la celda está indisponible, *Lock* indica los segundos que la celda ha permanecido bloqueada (para realizar algún trabajo sobre ella) y *DispoTot* que hace referencia a la disponibilidad teórica.

Por otro lado, existen variables categóricas. Es importante observar las diferentes categorías que presenta cada variable para poder analizar el grado de representación y la influencia que pueden llegar a tener en algún modelo de predicción futuro.

En este caso, las diferentes variables categóricas que se encuentran son:

```

Región
RSUR      9648
Name: count, dtype: int64
Provincia
BADAJOZ   9648
Name: count, dtype: int64
Nodo
Nodo Merida  9648
Name: count, dtype: int64
Fabricante
Huawei      9648
Name: count, dtype: int64
Celda
Celda1     3216
Celda2     3216
Celda3     3216
Name: count, dtype: int64
Tecnologia
NR 700     9648
Name: count, dtype: int64

```

Figura 78. Variables categóricas

Las diferentes variables categóricas hacen referencia a la zona dentro del territorio español (*Región*), la provincia (*Provincia*), el nombre del nodo (*Nodo*), el fabricante (*Fabricante*), las diferentes celdas que hay (*Celdas*) y la tecnología (*Tecnología*).

Tras observar las diferentes categorías presentes en cada variable categórica, se deduce que las que tienen solo una categoría tienen un grado de representación del 100 % y, por tanto, al no tener influencia alguna, se pueden descartar. Cabe destacar, la variable categórica *Celda*, que contiene 3 categorías y como ya se ha representado anteriormente, va a tener influencia.

A continuación, se va a estudiar la relación entre las diferentes variables, tanto numéricas como categóricas, con una variable objetivo. En este caso, se va a escoger el *CSSR*. Para ello, primero se va a estudiar el grado de relación de las variables categóricas con la variable objetivo mediante un diagrama *boxplot* o diagrama de cajas y bigotes.

Las variables categóricas que pueden tener influencia en la estimación de la variable objetivo son; por un lado, la celda, por otro, la fecha. En cuanto a la fecha, se puede extraer el mes y ver el grado de influencia, según se trate de un mes con un período vacacional o no.

La primera variable categórica para evaluar es la relación de cada celda con el *CSSR*:

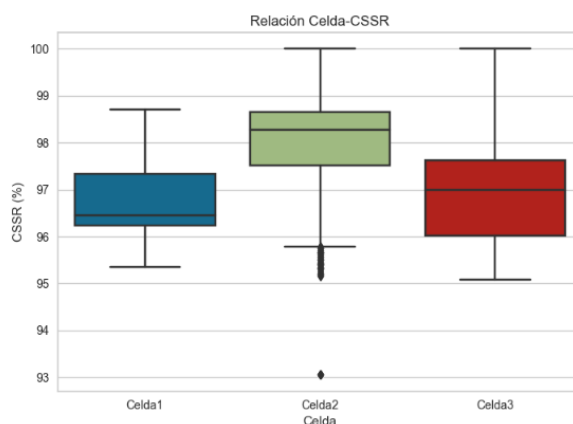


Figura 79. Relación Celda-CSSR

Se observa que la *Celda 3* presenta una mayor variabilidad de conexión de datos con éxito, por el contrario, la *Celda 1* y *2* presentan menor variabilidad de valores en la distribución principal. Además, en la *Celda 2* y *3* la mayoría de los datos se encuentran en la parte superior de valores en la distribución. En cuanto a valores atípicos, la *Celda 2* presenta uno alejado notablemente de la distribución.

La otra variable categórica es *Mes*, extraído de la fecha. Se establece un código numérico en el que 1 es enero, 2 es febrero, 3 es marzo, 4 es abril y 5 es mayo.

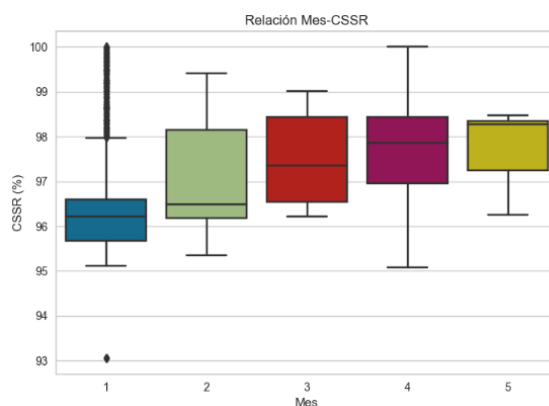


Figura 80. Relación Mes-CSSR

En general, se observa que en el mes tiene influencia en el éxito de conexiones de datos, ya que en meses como abril o mayo la distribución presenta valores más elevados en la distribución principal, una explicación podría ser el período vacacional de pascua o la llegada del período estival, que conlleva la visita de turistas a la ciudad. Por otro lado, se resalta el valor atípico que hay en enero, cerca de los 93 %, que podría relacionarse con la fecha de integración de la tecnología en el emplazamiento.

Análogamente, se estudia el grado de influencia de las variables cuantitativas con la variable objetivo (CSSR), para ello, se representa la matriz de correlación entre las diferentes variables numéricas que hay en el conjunto de datos, a través de un mapa de calor.

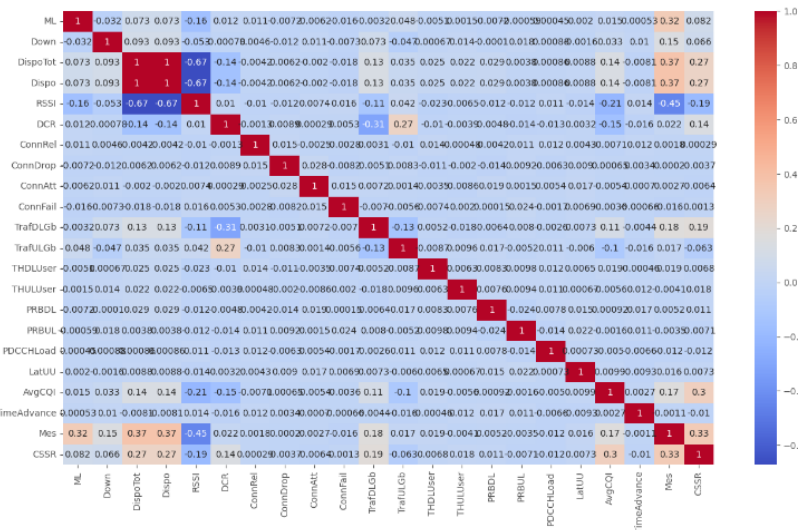


Figura 81. Mapa de calor de la matriz de correlación

Se observa que la matriz de correlación otorga valores cálidos a las variables numéricas que tienen mayor influencia sobre la variable a estimar su grado de relación. Si se centran los resultados en la variable objetivo (última columna), se observa que el mes, la calidad de la conexión, el tráfico que cursa la red, el nivel de caídas y la disponibilidad son las variables que influyen en el éxito de conexiones.

4.8.3 Modelización predictiva

En primer lugar, se va a entrenar un modelo de regresión lineal. De este modo, se va a observar el grado de linealidad que hay entre las diferentes variables que se han estudiado y la variable objetivo (CSSR).

Para ello, es necesario codificar todas las variables categóricas presentes. Como se ha visto anteriormente, solo son influyentes dos variables categóricas, por lo que las demás, se pueden eliminar de los datos a evaluar.

De un primer modo, se establece un 20 % de los datos a test y un 80 % de los datos a entrenamiento. Así mismo, es importante establecer una semilla fija para que siempre genere los mismos resultados sobre los mismos datos y, así, poder realizar una comparación.

Para la comparación de los resultados entre los valores reales y los valores predichos, se hace uso del error cuadrático medio (MSE). Este término calcula el promedio de la diferencia al cuadrado entre los valores predichos y los valores reales.

Por otro lado, se encuentra el coeficiente de determinación (R^2), que ayuda a tener una representación de la dispersión de los resultados obtenidos con la línea de regresión estimada.

En una primera evaluación, se obtiene como resultado:

Error cuadrático medio (MSE): 0.6358792876035941
Coeficiente de determinación (R cuadrado): 0.584739519309553

Figura 82. Resultados obtenidos regresión lineal

En estos primeros resultados, se obtiene una diferencia elevada entre los valores predichos y los valores reales, además, se visualiza una variabilidad de los resultados un poco por encima de 0,5. El interés es obtener un error cuadrático medio bajo y un coeficiente de determinación alto. Esto se traduce en poco error entre los valores predichos y reales de *CSSR*, y un buen ajuste de la línea de regresión a los valores obtenidos. Esto se realiza para ver si hay existencia de algún tipo de recta que defina algún tipo de linealidad para predecir valores de *CSSR*, en base a las variables de entrada.

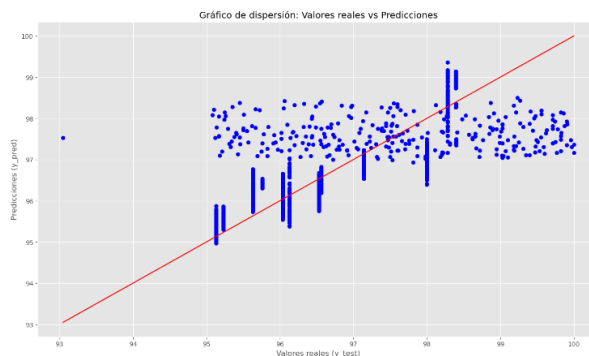


Figura 83. Gráfico de dispersión

Como se puede observar, no existe una linealidad que pueda explicar la tendencia del *CSSR*, en base a las demás variables de entrada. Además, se ha intentado reentrenar el modelo ajustando parámetros como la regularización o normalización del modelo. No obstante, no se obtienen unos resultados que mejoren los presentes.

Por otro lado, al tratarse de series temporales se va a predecir algún valor en el tiempo. Para ello, se van a utilizar diferentes modelos estadísticos para observar cuál concede mejores prestaciones. Todo esto, lo proporciona la librería *pycaret* de Python, que evalúa, de manera interna, la eficiencia de varios modelos y escoge el que mejor rendimiento proporciona.

De un primer modo, se realiza un cálculo de varios cálculos estadísticos:

Test	Test Name	Data	Property	Setting	Value
0	Summary	Statistics	Transformed	Length	3215.0
1	Summary	Statistics	Transformed	# Missing Values	0.0
2	Summary	Statistics	Transformed	Mean	97.025145
3	Summary	Statistics	Transformed	Median	96.49
4	Summary	Statistics	Transformed	Standard Deviation	1.088466
5	Summary	Statistics	Transformed	Variance	1.184759
6	Summary	Statistics	Transformed	Kurtosis	-1.536433
7	Summary	Statistics	Transformed	Skewness	0.415576

Figura 84. Principales estadísticas

La elección del mejor modelo la realiza en base a los resultados obtenidos de diferentes errores y coeficiente de determinación. Tras esto, se representa el resultado en los datos de prueba. En este caso, el modelo más adecuado es un modelo estadístico basado en un *Naive forecaster* o predicción de *Naive*.

Este modelo se caracteriza por establecer el último valor observado como predicción del siguiente período temporal. El modelo se ha evaluado para los datos de la *Celda 1* y como resultado de

CSSR en junio se obtiene un valor de 98,45 %. Más en concreto, el modelo predice para las próximas fechas ese valor de CSSR.

	y_pred
2023-05-18 20:00	98.45
2023-05-18 21:00	98.45
2023-05-18 22:00	98.45
2023-05-18 23:00	98.45
2023-05-19 00:00	98.45
...	...
2023-06-16 19:00	98.45
2023-06-16 20:00	98.45
2023-06-16 21:00	98.45
2023-06-16 22:00	98.45
2023-06-16 23:00	98.45

Figura 85. Predicción modelo Naive

Finalmente, se representa los valores originales junto con la predicción que establece dicho modelo.

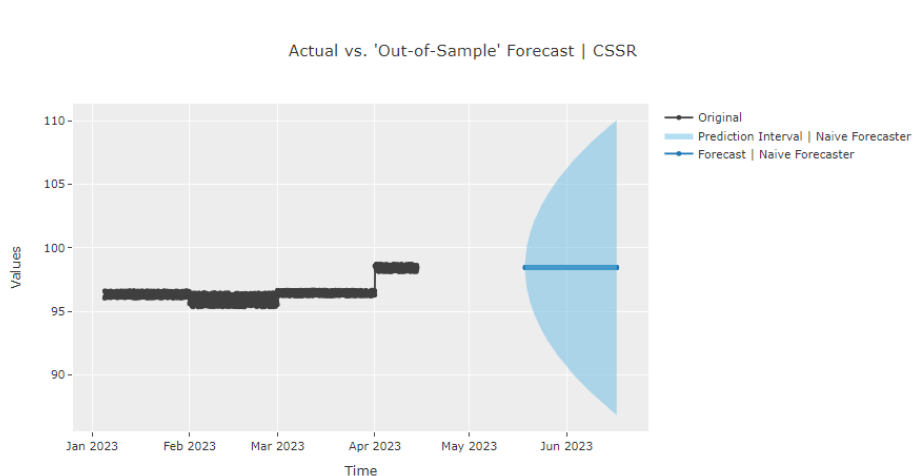


Figura 86. Naive forecaster o predicción Naive

Si se realiza una comparación del conjunto de datos real y los valores predichos:

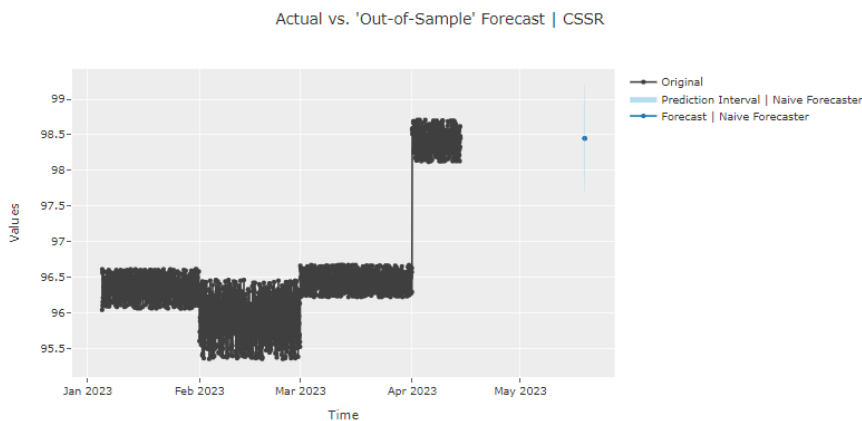


Figura 87. Valores reales

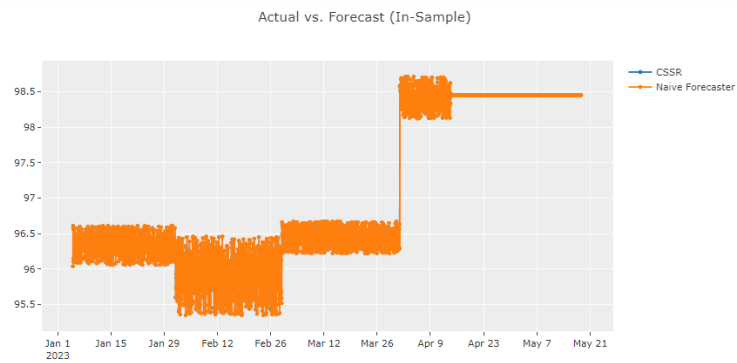


Figura 88. Valores predichos vs reales

Se observa que los valores obtenidos son iguales a los reales, es decir, el coeficiente de determinación (R^2) es 1 y el error cuadrático medio (MSE) es 0. No obstante, este modelo se basa en la ingenuidad, ya que como se puede observar a partir del 18 de mayo, otorga a los días posteriores un valor de 98,45 % de $CSSR$ (último valor observado).

Capítulo 5. Conclusión y Líneas futuras

5.1 Conclusiones

A modo de conclusión, se han estudiado las diferentes fases que forman el procedimiento para poder integrar nuevas tecnologías, en este caso *LTE 700* y *NR 700*, en un emplazamiento existente. El emplazamiento, situado en un entorno urbano, requería de un estudio de radiaciones radioeléctricas para poder atender a un mínimo considerable de emisiones radioeléctricas.

Además, se ha comprendido la importancia de plantear un diseño radioeléctrico preliminar, seguido de una visita a la infraestructura, para poder contrastar toda la información actual y conocer las necesidades del hardware a instalar.

A continuación, el análisis de la huella de cobertura y nivel de interferencias a través de *Xirio*, necesario para visualizar el alcance y la degradación de la señal proporcionada por el sistema radiante, y el estudio de *KPIs* mediante *Tableau*, para examinar minuciosamente el comportamiento en la red.

En concreto, se ha aprendido a consultar las diferentes fuentes de información (planos y gestor *U200*) y contrastar los datos proporcionados para averiguar la situación actual del emplazamiento. Como se ha explicado, la información del gestor es más restrictiva que la proporcionada en los planos. No obstante, no se puede descartar los planos como fuente de información puesto que proporciona otro tipo de documentación sobre la infraestructura muy importante para el diseño.

En suma, se ha resaltado la información más importante a destacar en el prediseño radioeléctrico para tener presente en la futura visita de campo por parte del técnico. Por ejemplo, modelo de antena, altura, inclinaciones eléctricas y mecánicas, orientaciones, tecnologías presentes y equipamiento.

También, se ha planteado una solución final de manera preliminar donde se propone un modelo de antena que pueda dar servicio en la banda de 700 MHz. Además, se ha optimizado el diseño para reutilizar el máximo hardware posible. Esto se realiza con el fin de poder reducir costes al operador y no desperdiciar material.

Por otro lado, se ha atendido a las necesidades de *hardware* indicado por parte del técnico en el informe que genera tras el estudio de campo. Para ello, se ha tenido en cuenta las necesidades de equipamiento y material, como cableado, para poder realizar el conexionado del sistema radiante.

En este caso al tratarse de un entorno urbano, se debe realizar un estudio para calcular el impacto de las ondas radioeléctricas en el dominio público y contemplar ciertas especificaciones en el diseño radioeléctrico posterior. El resultado es favorable y, por tanto, hay viabilidad a plantear un diseño de sistema con la antena propuesta.

Una vez se obtienen las especificaciones procedentes del informe de la visita de campo y del estudio de emisiones radioeléctricas, se planteado una solución de sistema radiante final. Esta solución indica los cambios necesarios para poder dar servicio a estas dos nuevas tecnologías.

Por otro lado, como método de verificación existe la simulación mediante *Xirio*. Aquí, se ha realizado una simulación del servicio *LTE 700* y *NR 700* que proporciona el emplazamiento con el hardware propuesto y el impacto sobre el área en el que se sitúa.

La simulación se basa en medir la señal de cobertura y la relación señal a ruido *SINR* en potencia que presenta la estación base. Se ha tenido en cuenta las características del sistema radiante, una zona delimitada de 3 km, los emplazamientos presentes y el grado de degradación entre ellos.

Después de la integración de las nuevas tecnologías, se ha destacado las métricas más importantes para el operador. Para realizar este estudio de *KPIs*, se ha planteado el uso de *Tableau*, ya que la cantidad de métricas por sector que se proporciona es de volumen considerable y el operador presenta una aplicación web con limitaciones de funcionalidad.

Tableau es un software de visualización de datos que ayuda a trabajar con una gran cantidad de datos de manera sencilla. En este caso, se ha destinado un determinado tiempo a comprender el uso de la herramienta y algunos conceptos (*filtros, campos calculados, parámetros, vistas, dashboards*, etc).

El comportamiento obtenido tras el análisis de cada *KPI* representa el buen servicio aportado en ambas tecnologías. El nivel de disponibilidad, la tasa de conexiones realizadas con éxito y el bajo nivel de caídas de llamadas de voz y datos son algunos de los aspectos más destacables de *LTE 700*.

El servicio *NR 700* se basa en un buen nivel de disponibilidad y buenas prestaciones en cuanto a la tasa de conexiones realizadas y caídas. Sin embargo, la calidad del enlace es mejorable. En general, se ha implementado de forma correcta dicha tecnología.

A nivel estadístico se ha realizado un análisis descriptivo en el que se observan las distribuciones que presentan algunos *KPIs* más destacados y se han estudiado las diferentes relaciones entre la variable objetivo y el resto.

Además, se ha evaluado algunos modelos estadísticos para poder obtener una predicción sobre el conjunto de datos. Para ello, a través de una librería de *Python*, se realiza una comparación de modelos, internamente, en la que se obtiene como resultado más adecuado un modelo basado en un pronóstico de *Naive*. Este modelo realiza una predicción en el tiempo en base al último valor observado, es decir, establece como predicción este último valor del conjunto de datos. Este modelo es más simple, ingenuo y óptimo que otros modelos cuando el conjunto de datos no describe una tendencia.

Por último, se concluye que se aporta un servicio eficiente de ambas tecnologías. El diseño radioeléctrico propone una solución óptima del sistema radiante, en base a un prediseño radioeléctrico, una visita de campo y un estudio de radiaciones radioeléctricas. La simulación resultante en *Xirio* presenta un buen nivel de huella de cobertura e interferencias en el área delimitada y el análisis de *KPIs* confirma que se ha integrado de forma correcta *LTE 700* y *NR 700*.

5.2 Líneas futuras

El proyecto descrito en el presente documento recoge todas las fases de diseño, documentación técnica, análisis e interpretación necesaria para poder integrar las tecnologías deseadas. En este caso en concreto, el objetivo del operador es dar servicio *LTE 700* y *NR 700* en la zona en cuestión. Sin embargo, quedan pendientes algunas líneas futuras de trabajo para seguir evolucionando.

Por un lado, tal y como se ha visto queda pendiente poder integrar más puntos en la red de *NR 700* en esa zona, para poder dar un servicio continuado y eficiente. Además, el operador podría realizar un estudio de cobertura *5G* a lo largo del dominio nacional para encontrar los puntos estratégicos que mejor cubren la zona. Asimismo, otro trabajo que están llevando otros operadores es el apagado de las bandas empleadas para dar servicio *3G*. El apagado de las bandas destinadas a las redes *UMTS* implicaría una configuración de las relaciones entre celdas en servicio *2G* y *4G* para permitir saltar de tecnología cuando la red o el terminal móvil lo necesite. Además, estas bandas liberadas podrían emplearse para el uso del *5G* o del futuro *6G*.

Por otra parte, las redes de comunicaciones móviles que utiliza cada operador están compuestas por multitud de puntos donde hay gran variedad de equipos. Es por esto, que cada punto de la red genera unas métricas sobre su comportamiento a lo largo del dominio del tiempo. Toda esta información son datos concretos, con el papel importante que tiene en la actualidad el *Big Data* y la *Inteligencia Artificial*. Una futura línea de trabajo en este campo podría ser la creación y entrenamiento de una red neuronal que prediga futuros *KPIs* o un modelo algorítmico de detección de anomalías, utilizando un análisis estadístico, que pueda predecir fallos en la red.

Referencias

- [1] “Fundamentos de Comunicaciones móviles”, apuntes de Comunicaciones Móviles, Departamento de Comunicaciones, Universitat Politècnica de València, 2021.
- [2] O.S. Roig, J.L.V. González y R.A. Comes, *Principios de comunicaciones móviles*. Univ. Politèc. de Catalunya, 2003.
- [3] “Modelado de propagación”, apuntes de Radiocomunicaciones, Departamento de Comunicaciones, Universitat Politècnica de València, 2020.
- [4] R.L. González “Diseño y desarrollo de un sistema multiagente para la monitorización y control de procesos industriales”. (Bachelor's thesis). Universitat Politècnica de València, 2012.
- [5] C.D. Motero. “Arquitectura de red de acceso UMTS”, apuntes Temas Avanzados de Redes de Ordenadores, Universidad Politécnica de Madrid, 2002.
- [6] N.M.C. Rodríguez “Modelo didáctico para el uso de herramientas Web 2.0 en la enseñanza de la programación”, en Revista Telemática, vol. 11, no. 1, 2014.
- [7] A. EL RHAYOUR and T. MAZRI, "5G Architecture: Deployment scenarios and options," 2019 International Symposium on Advanced Electrical and Communication Technologies (ISAECT), Rome, Italy, 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/ISAECT47714.2019.9069723.
- [8] AHMADI, Sassan. *5G NR: Architecture, technology, implementation, and operation of 3GPP new radio standards*. Academic Press, 2019.
- [9] Khan, S. y Ahmed, S. “5G networks: Evolution, deployment, and future research directions. Journal of Information and Communication Technology for Society (JICTS)”, pp.73-85, 2020.
- [10] Christian Ramírez Pintle. “Ingeniería de diseño para instalación de equipos en un sistema de telecomunicaciones”. (Tesis de Grado). Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, 2012.
- [11] Exfo Recursos, mayo 2023. [Online]. Disponible : <https://www.exfo.com/es/recursos/>
- [12] Xirio, mayo 2023. [Online]. Disponible:
<https://www.xirio-online.com/web/help/es/index.htm>
- [13] Telnet-RI, mayo 2023, [Online]. Disponible :
https://www.telnet-ri.es/wp-content/uploads/2018/04/DS_ANT_TNA690A20_170801_EN.pdf
- [14] Huawei “Passive Antenna”, mayo 2023 [Online]. Disponible:
<https://carrier.huawei.com/en/products-wireless-network/Antenna/antenna-list/passive-antenna>.
- [15] Tableau Software. (s.f.), junio 2023. [Online]. Disponible :
<https://www.tableau.com/>
- [16] C. O. D. I DE TELECOMUNICACIÓN. “Modulación y multiacceso en 5G”, 2018.
- [17] ITU. M.2150. “Especificaciones detalladas de las interfaces radioeléctricas terrenales de las Telecomunicaciones Móviles Internacionales 2020”,2020.
- [18] Antenas de telecomunicaciones, mayo 2023. [Online]. Disponible:
https://es.123rf.com/photo_76851534_celdas-de-antenas-de-torre-de-telecomunicaciones-para-comunicaciones-m%C3%B3viles.html
- [19] Unidad de radio remota, mayo 2023. [Online]. Disponible :
<https://pt.dreamstime.com/unidade-de-r%C3%A1dio-remota-exterior-ou-rru-com-liga%C3%A7%C3%B5es-em-ponte-coaxiais-s%C3%A3o-como-uma-pe%C3%A7a-do-equipamento-telecomunica%C3%A7%C3%A3o-image131212150>



[20] Unidad de Banda Base, mayo 2023. [Online]. Disponible:

<https://forum.huawei.com/enterprise/es/introducci%25C3%25B3n-a-huawei-bbu5900/thread/667241498770554880-667212889045479424?from=recommend>

[21] “Business Intelligence con Tableau”, apuntes de Business Intelligence, Departamento de Estudios estadísticos, Universidad Complutense de Madrid, 2023.

[22] Release 3GPP, “Release 10 V0.2.1 LTE-A”,2014.