

DISEÑO DE COBERTURA DE UNA RED MÓVIL QUINTA GENERACIÓN (5G) EN EL 1
CASCO URBANO DE LA CIUDAD DE PAMPLONA



ANA MARIA OSORIO VELAZCO

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA E.E.S.T.
PROGRAMA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES
PAMPLONA, SEPTIEMBRE 08 DE 2021.

DISEÑO DE COBERTURA DE UNA RED MÓVIL QUINTA GENERACIÓN (5G) EN EL 2
CASCO URBANO DE LA CIUDAD DE PAMPLONA

ANA MARIA OSORIO VELAZCO

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE:
INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

ING. EDWIN MAURICIO SEQUEDA ARENAS
DIRECTOR

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA E.E.S.T.
PROGRAMA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES
PAMPLONA, SEPTIEMBRE 08 DE 2021.

Este logro se lo dedico al que siempre que necesito una mano amiga, me envía sus ángeles terrenales; que cuando siento que no puedo, me recuerda que siempre hay un nuevo día, un nuevo comienzo, una nueva oportunidad para levantarme y seguir; que me conoce sin filtro el corazón y que, aun así, no se marcha de mi lado por el contrario cada día siento que me ama más y más con su amor incondicional. Tan incondicional que muchas veces en este camino desistí mil veces, pero él me dio mil y una razón para no dejar esta travesía, todo lo que soy se lo debo a él.

Agradezco a Dios por permitirme terminar esta etapa de vida; a mis padres por haberme dado el ser; a mi madre Emilce Velazco Pinto, por ser mi pilar en todo momento, espero algún día retribuir algo de las tantas cosas que me has dado; a mi hija Mariana Sofía, gracias a ti intento ser mejor que ayer, verte dormir por las noches renueva mi alma y que crezcas a mi lado es la gasolina para el avión que va con nuestros sueños mi princesa; a la persona que tuvo el valor de ocupar el espacio de papa (Mama Lola), gracias a ti, he conocido el significado del verdadero amor con imperfecciones pero fiel, con dificultades pero leal, con altibajos pero firme, deseo que me veas volar alto tan alto como te lo sueñas.

También agradezco a todas las personas que conocí en este proceso; a las que aparecieron como un obstáculo pero que me enseñaron que en la vida hay que saber saltar para estar en un mejor lugar; a las que el camino nos separó pero que están tan presente en mi corazón como cada momento compartido junto a ellas (Dalia, Yessika, Nicole, Milu, Alejandra); a las que aún están a mi lado, animándome cada día con sus palabras y trasnochadas cuando se necesitaban (Joseito y Juanchis); a las que sacan lo mejor de mí; a las que creyeron en mí; a las que por algún motivo se me paso nombrarlas pero que han hecho parte de este proceso. Y muchísima gracias a la persona que llego un día a la puerta de mi casa para darle un giro de 180° a mi existencia, por sacarme de mi zona de confort y recordarme de lo que estoy hecha; sabes que te quiero a montones como si nunca lo hubiera hecho antes.

Gracias a mi director de trabajo de grado, por su paciencia, por darme un consejo cuando lo necesite, por ser el apoyo en este trabajo, por ser un muy buen ser humano, un docente ejemplar, un profesional implacable. Gracias la planta docente por el aprendizaje brindado.

A study and coverage design of the fifth generation technology in the urban case of the city of Pamplona-Norte de Santander was carried out, highlighting the advantages compared to the technology currently implemented in the city. The study determined the differences within the mobile network such as operating frequency bands, power, speed and scope of the coverage area of the equipment needed for implementation. The design and simulation with the technical parameters of the 5G mobile network technology, which allowed to establish what a base station looks like.

Resumen

Se realizó un estudio y diseño de cobertura de la tecnología de quinta generación en el caso urbano de la ciudad de Pamplona-Norte de Santander, resaltando las ventajas frente a la tecnología actualmente implementada en la ciudad. El estudio determino las diferencias dentro de la red móvil como las bandas de frecuencia de operación, la potencia, la velocidad y el alcance del área de cobertura de los equipos necesarios para implementación. El diseño y simulación con los parámetros técnicos de la tecnología de red móvil 5G, que permito establecer como es una estación base.

INTRODUCCIÓN	11
1.1. Planteamiento del problema y justificación	11
1.2. Objetivos	15
1.2.1. Objetivo general.....	15
1.2.2. Objetivos específicos	15
2. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE.....	16
2.1. Comunicaciones móviles	16
2.1.1. Elementos de un sistema de móvil general	16
2.2. Red Móvil	17
2.3. Evolución de las redes móviles.....	18
2.3.1. Generaciones de redes móviles.....	18
2.4. Arquitectura general de una red móvil.....	20
2.4.1. Arquitectura de la red de acceso móvil 4G.....	21
2.5. Generación de red móvil 5G.....	23
2.5.1. ¿Qué es 5G?	23
2.5.2. Arquitectura 5G	25
2.6. Especificaciones de la tecnología 5G	30
2.6.1. Bandas de frecuencia	30
2.6.2. Forma de onda y numerología	31
2.6.3. Longitud y duración del espacio (slot).....	32
2.6.4. Ancho de banda.....	33
2.6.5. MIMO Masiva y la formación de haces	33
2.7. Modelo de propagación para el 5g.....	34
2.7.1. Modelo Alfa, Beta, Gamma.....	34
2.7.2. Modelo Longley Rice	35
2.8. Softwares de simulación de redes móviles	37
2.8.1. Xirio Online	37
2.8.2. Radio Mobile	38
2.9. Aplicaciones de 5G.....	39
2.9.1. Pruebas pilotos de 5G	39
2.9.2. “Despliegues de red 5G alrededor del Mundo	43
3. Metodología	45
3.1. Estado actual de la red móvil 4g en el casco urbano de Pamplona.....	47
3.1.1. Mapa de cobertura de la actual tecnología 4G.....	47
3.1.2. Ubicación de las estaciones bases 4G.....	48
3.1.3. Mediciones de velocidad y niveles de potencia 4G	50
3.1.4. Cobertura 5G.....	56
3.2. Diseño de la red móvil 5g.....	58
3.2.1. Diseño de la primera red 5G	58
3.2.2. Diseño de la segunda red 5G	60
3.2.3. Análisis técnico económico del diseño 5G	61
Simulación de los diseños de la red móvil 5G.....	66
3.3. Simulación del primer diseño	66

3.3.1.	Xirio Online	667
3.3.2.	Radio Mobile	73
3.4.	Simulación del segundo diseño.....	79
3.4.1.	Xirio Online	79
3.4.2.	Radio Mobile	81
3.5.	Comparación entre los dos modelos de propagación PL	84
3.6.	Análisis de los mapas de cobertura.....	86
3.7.	Recomendaciones de la migración de red móvil 4G a 5G	87
	Conclusiones	88
	Bibliografía	90
	Glosario.....	94

Tabla 1. Características principales de las generaciones de redes móviles (Cobertura y capacidad en redes 2G, 2019)	19
Tabla 2. Requerimientos de IMT-2020. Fuente: (3gpp, Iee Spectrum).....	25
Tabla 3. Comparativa de tecnologías móviles. Fuente (Goñi, 2020).....	26
Tabla 4. Comparación LTE vs 5G NR.....	34
Tabla 5. Tipos de climas (Modelo propagación Longley-Rice). (Cevallos, 2018).....	36
Tabla 6. Pruebas pilotos en Suramérica. (Miguel Mayorga, 2020)	41
Tabla 7. Banda de frecuencia para pruebas pilotos 5G.....	42
Tabla 8. Los primero despliegues comerciales de la red 5G en el mundo. (Lopez, 2020).....	44
Tabla 9. Ubicación de las estaciones bases 4G.....	48
Tabla 10. Datos recolectados (velocidad y niveles de potencia de recepción).....	51
Tabla 11. Ubicación de la estación del otro operador para el primer diseño.....	59
Tabla 12. Presupuesto de los software y utilidades.	64
Tabla 13. Equipos de una estación base 5G.....	64
Tabla 14. Ubicaciones geográficas de los postes sitios 5G	79

Ilustración 1. Mapa de cobertura del operador Claro de la red móvil 4G. Fuente: OpenSignal (Claro, 2020).	11
Ilustración 2. Historia poblacional (en miles) de Pamplona, Norte de Santander. (Population.City, 2015)	12
Ilustración 3. Accesos a internet en Colombia, cuarto trimestre 2019. (Comunicaciones M. d., Colombia TIC, 2020)	13
Ilustración 4. Características por las que está impulsada la tecnología 5G. (Thales, 2019)	13
Ilustración 5. Sistema de comunicación móvil. (Sbani Rincon, 2008)	17
Ilustración 6. Evolución tecnología servicios móviles (MinTic, 2019)	18
Ilustración 7. Arquitectura general de una red móvil. (Constain., N.A.)	21
Ilustración 8. Arquitectura básica de la red de acceso móvil LTE. (Luis Peñafiel, 2016.)	21
Ilustración 9. Arquitectura de red móvil LTE con elementos principales del sistema (Alvarez., 2015).	23
Ilustración 10. Posibilidades de utilización de la 5G.	24
Ilustración 11. Línea de tiempo del estándar de Release 15 y 16 para 5G. Fuente (3gpp, The mobile broadband standard, 2019).	26
Ilustración 12. Arquitectura 5G opción 3x NSA. (GSMA, 2019)	27
Ilustración 13. Arquitectura Dual 5G con 4G. (Riaño, 2020)	28
Ilustración 14. Red de acceso móvil 5G. (Douglas, 2019)	29
Ilustración 15. Tecnología 5G NR de la versión Release 15 y sus beneficios. Fuente: (Technologies K. , 2020)	30
Ilustración 16. Bandas de frecuencia de 5G. Fuente: (Intel, 2018)	30
Ilustración 17. Frecuencia 5G. (MinTic, 2019)	31
Ilustración 18. Numerología escalable 5G NR. Fuente: (Qualcomm, 2019)	32
Ilustración 19. Ranura 5G NR.	32
Ilustración 20. Massive Mimo y beamforming. Fuente: (Helix, 2017)	33
Ilustración 21. Parámetros de los modelos CI, CIF Y ABG para distintos escenarios. (Rueda Francisco, 2016)	35
Ilustración 22. Entorno principal de Xirio Online herramienta de Planningtool. Fuente: Xirio Online.	38
Ilustración 23. Entorno Principal de Radio Mobile.	38
Ilustración 24. Mapa actualizado de los despliegues 5G. (Gsm, 2021)	43
Ilustración 25. Diagrama progresivo de la metodología de investigación.	46
Ilustración 26. Cobertura 4G en Pamplona. Fuente: OpenSignal.	47
Ilustración 27. Ubicación de las estaciones bases transmisoras en el plano del casco urbano de Pamplona. Fuente: Google Earth.	50
Ilustración 28. Medida de la intensidad de la señal LTE (Poynting, 2021)	55
Ilustración 29. Velocidad de descarga 4G Colombia. (Col, 2018)	56
Ilustración 30. Cobertura 5G en Pamplona no existente en el operador Claro.	56
Ilustración 31. Sitio 5G en infraestructura 4G (macro celda). (Huawei, The 5G Ultra-Lean, 2019)	60
Ilustración 32. Sitio de poste 5G (micro celda).	61

Ilustración 33. Cotización Xirio Online. (Lumbaque, 2021).....	6310
Ilustración 34. Selecciona el servicio y la tecnología. Fuente: Xirio Online.....	66
Ilustración 35. Nombre y ubicación de la estación. Fuente: Xirio Online.....	67
Ilustración 36. Sectorización de transmisor. Fuente: Xirio Online.....	67
Ilustración 37. Propiedades de la antena transmisora 5G. Fuente: Xirio Online. Fuente: Xirio Online.....	68
Ilustración 38. Límites máximos de exposición. (ANE, 2018).....	68
Ilustración 39. Parámetros del sector. Fuente: Xirio Online.....	69
Ilustración 40. Parámetros de la antena receptora 5G. Fuente: Xirio Online.	69
Ilustración 41. Parámetros del terminal móvil. Fuente: Xirio Online.....	70
Ilustración 42. Propiedades del método de cálculo. Fuente: Xirio Online.	71
Ilustración 43. Parámetros 5G. Fuente: Xirio Online.	72
Ilustración 44. Rangos de la señal. Fuente: Xirio Online.	72
Ilustración 45. Mapa de cobertura el primer diseño 5G. Fuente: Xirio Online.	73
Ilustración 46. Propiedades de las unidades Tx y Rx. Fuente: Radio Mobile.	74
Ilustración 47. Parámetros de la red 5G. Fuente: Radio Mobile.....	74
Ilustración 48. Topología de la red. Fuente: Radio Mobile.	75
Ilustración 49. Sistemas de la red Tx y Rx. Fuente: Radio Mobile.	75
Ilustración 50. Miembro de la red Tx y Rx. Fuente: Radio Mobile.....	76
Ilustración 51. Línea de vista entre Tx y Rx. Fuente: Radio Mobile.....	77
Ilustración 52. Dibujar la cobertura de Radio polar. Fuente: Radio Mobile.....	78
Ilustración 53. Mapa de cobertura de primer diseño 5G. Fuente: Radio Mobile.....	78
Ilustración 54. Ubicación de los sitios poste 5G en el mapa satelital del software Xirio Online. Fuente: Xirio Online.	79
Ilustración 55. Propiedades del diagrama de radiación y de la antena Tx. Fuente: Xirio Online.	80
Ilustración 56. Mapa de cobertura del segundo diseño 5G. Fuente: Xirio Online.....	81
Ilustración 57. Ubicación de los postes sitio 5G. Fuente: Radio Mobile.....	82
Ilustración 58. Parámetros y sistemas de los postes sitios 5G. Fuente: Radio Mobile.	83
Ilustración 59. Mapa de cobertura del segundo diseño 5G. Fuente: Radio Mobile.....	84

INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema y justificación

Actualmente la ciudad de Pamplona cuenta con tecnología móvil celular 4G (cuarta generación), la cual opera bajo el estándar LTE (Evolución a Largo Plazo), proporcionando servicios de velocidades de datos (Downlink 100Mbps y Uplink 50Mbps), compatible con la tercera generación y baja latencia (200-100 milisegundos). Sin embargo, la implementación de esta tecnología ha tenido algunas deficiencias; una de ellas, es el despliegue de la red que aún no cuenta con la totalidad de la cobertura (ver ilustración 1), y dado que la velocidad depende de donde se encuentre la cobertura de 4G; el usuario final no tendrá total conectividad dentro del casco urbano. El nivel de potencia recepción sería una limitante para el servicio (pérdida de potencia) sumado a las pérdidas por trayecto debido a la construcción de nuevos edificios que no se tuvieron en cuenta al momento de diseñar las estaciones base trasmisoras.



Ilustración 1. Mapa de cobertura del operador Claro de la red móvil 4G. Fuente: OpenSignal (Claro, 2020).

Dicha problemática se va aumentando, con el crecimiento poblacional (ver ilustración 2) según el sitio web PopulationCity que basa sus resúmenes y estadísticas en los censos de cada país, para el 2021 habrían casi 59.848 habitantes solo en el casco urbano de Pamplona, provocando esto que hayan más terminales móviles conectados a la misma celda disminuyendo la capacidad de tráfico de datos y si a esto le suma que las exigencias de los usuarios han ido creciendo con la evolución tecnológica de los últimos años (si hay más demanda de tráfico de datos; el tiempo de latencia aumentará y la tecnología no es suficiente para el usuario).

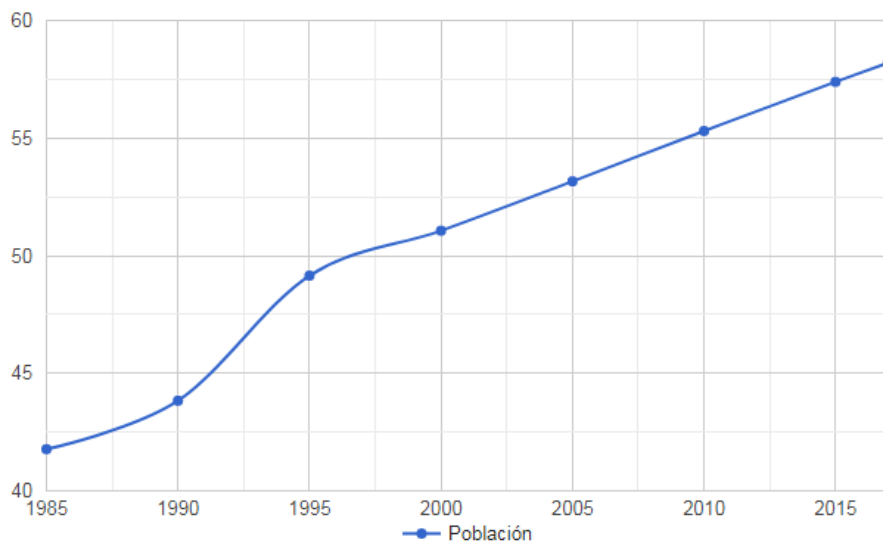


Ilustración 2. Historia poblacional (en miles) de Pamplona, Norte de Santander. (Population.City, 2015)

Según el boletín trimestral de las TIC, las cifras del cuarto trimestre 2019 a nivel nacional; (ver ilustración 3) el 37,86 millones de colombianos tienen el acceso a internet, de los cuales casi el 82% de los accesos a internet es por medio de sus teléfonos celulares y de estos accesos móviles, casi el 70% se realiza mediante la tecnología 4G (cuarta generación); esto quiere decir que el sector de las redes móviles celulares cuenta con la mayor demanda de conectividad, cobertura y velocidad en Colombia pero además que la mayoría de colombianos tenemos y utilizamos nuestro teléfono celular ya sea para nuestras cotidianas, redes sociales, escolaridad o trabajo.

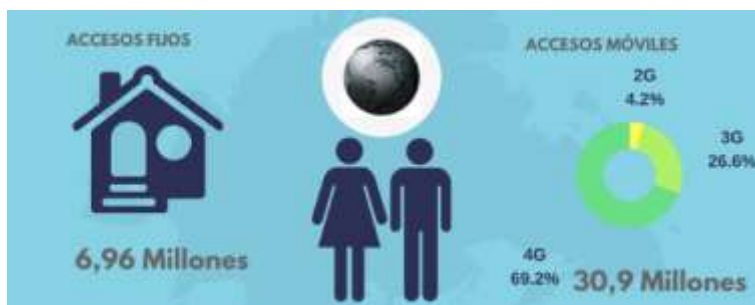


Ilustración 3. Accesos a internet en Colombia, cuarto trimestre 2019. (Comunicaciones M. d., Colombia TIC, 2020)

Debido a que la tecnología 4G es la red móvil celular que más usan los usuarios, la ciudad de Pamplona necesitará una infraestructura capaz de suplir sus deficiencias en la red (cobertura y capacidad de tráfico de datos); además que con el despliegue comercial de 5G a nivel mundial en más 58 países según el reporte de la revista de GSMA, y las pruebas piloto dentro del territorio nacional, con la tecnología 5G se pretende contribuir a la disminución de la brecha digital y la demanda del tráfico de datos presentada en cualquier parte de mundo y dentro del país. Teniendo en cuenta que la tecnología 5G (quinta generación) promete velocidad diez veces más altas que la 4G, latencias de un milisegundo, banda ancha mil veces más rápida, cobertura 100%, disponibilidad del 99.999% de acceso a la red y lo más atractivo es la cantidad de dispositivos conectados en una red (ver ilustración 4).



Ilustración 4. Características por las que está impulsada la tecnología 5G. (Thales, 2019)

Por ende la tecnología 5G cubrirá las necesidades, no solo de velocidad de transmisión¹⁴ de los datos y de cobertura sino que esta tecnología va más allá del desarrollo de la telefonía móvil celular; por su capacidad de conectividad y confiabilidad en la transmisión de los datos permitirá el uso de la telemedicina en los hospitales y centros de salud, el Internet de las cosas (IoT), la robótica, la domótica, la realidad virtual, el teletrabajo, la educación entre tantos otros usos, que pueden ser adaptados los usuarios que utilicen esta tecnología. (Comunicaciones M. d., MinTic, 2020)

1.2. Objetivos

15

1.2.1. Objetivo general

Diseñar una red con tecnología 5G para el casco urbano de la ciudad de Pamplona Norte de Santander, que cumpla con los requisitos de la arquitectura de Quinta Generación Móvil Celular.

1.2.2. Objetivos específicos

- Identificar la funcionalidad de la tecnología de quinta generación, las características de la arquitectura de red con base en el estado actual de la red de telefonía móvil celular de cuarta generación, en el casco urbano de la ciudad de Pamplona.
- Seleccionar los elementos y componentes para la red móvil de quinta generación, que cumpla con los requerimientos de cobertura.
- Desarrollar las pruebas de simulación y comprobación de los resultados con los diseños planteados, a través de programas de uso libre (Radio Mobile y Xirio) que permiten el uso de la tecnología de acceso.

2. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

2.1. Comunicaciones móviles

Según la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones), se describe comunicaciones móviles cuando existe un enlace de radiocomunicación entre dos terminales; de los cuales al menos uno se desplaza o se detiene y mientras tanto va requiriendo un servicio en las diferentes localizaciones, y el otro se está fijo sin movimiento algún. (Sbani Rincon, 2008)

2.1.1. Elementos de un sistema de móvil general

Los elementos de un sistema móvil son tres (ver ilustración 5)

- **Estación Base (BS):** Son estaciones fijas que pueden ser controladas por una unidad de control.
- **Estación De Control (CS):** Son estaciones también fijas que controlan automáticamente las emisiones o el funcionamiento de otra estación fija.
- **Estación Repetidora (RS):** Son estaciones fijas que retransmiten señales recibidas y permiten la cobertura en una zona no accesible por la estación base.
- **Estación Móvil (MS):** Es una estación dotada de movilidad.



Ilustración 5. Sistema de comunicación móvil. (Sbani Rincon, 2008)

2.2. Red Móvil

Las comunicaciones móviles se basan en interconectar dos terminales a través de un enlace de radio; para llevar a cabo esta conexión es necesario que en la red móvil tenga estaciones bases que cubren un área delimitada (celda) y encaminan las comunicaciones en forma de ondas de radio desde las BS hasta los terminales de los usuarios. El equipo del usuario se comunica a través del espectro por medio de las antenas; estas se comunican con la central del operador; y esta a su vez encaminan la comunicación hacia la parte de la red fija o a través de otras antenas hasta llegar al usuario final.

Para que se desarrolle la comunicación, el usuario móvil debe estar en el área de cobertura de la antena, ya que esta tiene un alcance limitado y cubre un área alrededor, llamada “celda” (de ahí el nombre de “red de celdas” o “red celular”) utilizado a menudo para decir redes móviles. Según Brito, “las redes móviles son aquellas redes pensadas para que el equipo del usuario pueda moverse con libertad en la zona cobertura por dicha red mientras mantiene una conversación o una conexión de datos. Una red móvil permite al usuario estar dentro de un auto en movimiento y aun así que no exista pérdida de la conexión.” (Brito, 2019)

2.3. Evolución de las redes móviles

Las redes móviles a través de la historia han ido dando cambios enormes y rápido gracia a la creciente tecnología de las últimas décadas y a la inversión en este sector, por esta razón las redes móviles ha sido un proceso evolutivo mediante las generaciones de redes móviles 1G, 2G, 3G, 4G y 5G (MinTic, 2019), y que con cada nueva generación se incorporar mejoras o se resuelven necesidades que van surgiendo a medida en que el mundo tecnológico va a avanzando exponencialmente. En las dos últimas generaciones se incorporan muchos más servicios móviles con respecto a las anteriores. (ver ilustración 6).



Ilustración 6.. Evolución tecnología servicios móviles (MinTic, 2019).

2.3.1. Generaciones de redes móviles

En la siguiente tabla 1 se realiza un resumen de las principales características de las generaciones de la telefonía móvil, en donde se puede observar el cambio o mejoramiento de la red móvil en cada una de las épocas dependiendo de la necesidad de comunicaciones, velocidad, digitalización, ancho de banda, servicios y el surgimiento de nuevos avances tecnológicos que ha ido surgiendo con la era moderna.

El crecimiento rápido de la demanda de usuarios y del servicio de telefonía móvil hicieron que se dieran estos pasos gigantescos de los últimos 20 años; y que aún se siga apostándole a las redes

móviles no solo para voz y datos sino para estar conectados con dispositivos controlando¹⁹ entornos inteligentes como lo promete 5G.

Tabla 1. Características principales de las generaciones de redes móviles (Cobertura y capacidad en redes 2G, 2019)

Generación	Estándar	Canal	Velocidad	Multiplexación Acceso Radio	Servicios	Frecuencia
Primera Generación	NMT-450 (1981) AMPS (1983) NMT-900 (1986)	Análogo	1 Kbps 2,4 Kbps	FDMA CDMA	Voz	450 MHz 800 MHz 900 MHz
Segunda Generación	GSM (1990) D-AMPS (1991) CDMAOne (1993) JDC y PDC GPRS (2.5G) EDGE (2.7G)	Digital	14 Kbps 64 Kbps 115Kbps (GPRS) 384 Kbps (EDGE)	FDMA TDMA CDMA GMSK (GPRS) 8PSK (EDGE)	Voz Mensajes Llamadas Larga Distancia Multimedia Acceso a Email Datos Baja Velocidad	850 MHz 900 MHz 1800MHz 1900MHz
Tercera Generación	IMT-2000 Europeo UMTS (1999) Norteamericano CDMA2000 HSDPA (3.5G) HSUPA (3.75G) HSPA + (3.9G)	Digital	348Kbps 2Mbps	CDMA WCDMA TD-SCDMA	Voz Acceso a Internet Envío de Email Chat Servicios de Multimedia	850MHz- 2500MHz
Cuarta Generación	LTE (2010) LTE-A (2011)	Digital	100Mbps 1Gbps	OFDMA SC-FDMA WCDMA LMDS	Acceso a la Web Servicios de Juegos Videoconferencia Videos en alta resolución	700MHz- 2600MHz
Quinta Generación	NSA (2020) SA	Digital	1Gbps 10Gbps	OFDMA CDMA BDMA	Dispositivos conectados Realidad virtual Telemedicina Telemetría	3GHz- 300GHz

2.4. Arquitectura general de una red móvil

20

Antes de hablar de cualquier arquitectura de red móvil debemos primero tener en cuenta como está conformada una red general en cualquiera de las tecnologías existentes. Como se observa en la ilustración 7, una red general móvil está conformada por tres principales componentes:

- **Equipo de usuario:** es el dispositivo que permite al usuario el acceso al servicio, compuesto por el celular o terminal y una tarjeta UICC. La UICC (Tarjeta Universal de Circuito Integrado), es una "tarjeta inteligente"; también llamada SIM (Módulo de Identificación de Abonado) la cual está completamente equipada con microprocesador, capacidad de almacenamiento y software. El equipo de usuario tiene comunicación con la red de acceso por la interfaz de transmisión y procedimientos de radio.
- **Red de acceso:** está formada por las antenas, estaciones bases y equipos controladores, que son los que permiten y establecen la comunicación con el equipo de usuario mediante la interfaz de red de radio. La función de la red de acceso es de cubrir el radio de cobertura en un área geográfica llamada celda; la cual controla los equipos de usuarios teniéndolos permanentes localizados dentro de la celda y así realizar el manejo del traspaso (handoff) de llamadas a otras celdas adyacentes.
- **Red troncal:** está conformada por equipos que llevan la conmutación de paquetes o/y conmutación de circuitos; los cuales controlan o garantizan los recursos necesarios para que se pueda establecer la comunicación con el equipo de usuario desde/hasta el usuario final. También se encarga de la conexión de la red origen con otras redes; ya sea una red telefónica fija o móvil.

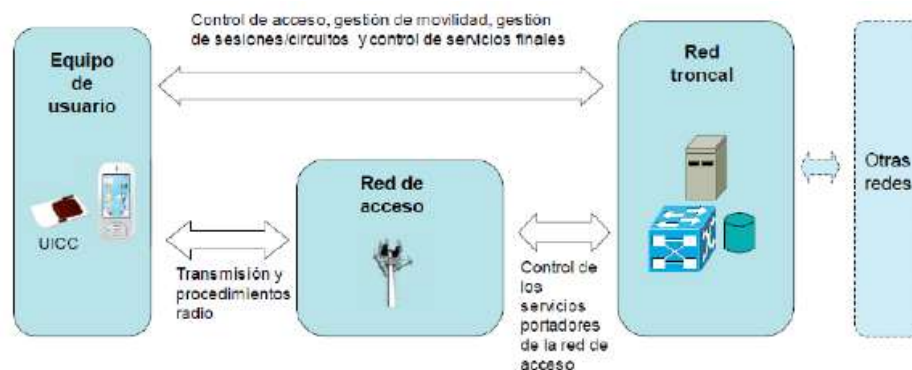


Ilustración 7. Arquitectura general de una red móvil. (Constain., N.A.)

Esta arquitectura de red móvil general ha sido adoptada desde la tecnología móvil 2G hasta la 4G y se identifican los bloques fundamentales que componen una arquitectura de red del sistema especificado por el 3GPP (Proyecto de Asociación de Tercera Generación). Mediante esta identificación de la red general móvil, se permite tener una forma más clara de cuáles son y qué criterios básicos obedecen los nuevos componentes del sistema 5G con respecto a la red 4G. (Delgado., 2020)

2.4.1. Arquitectura de la red de acceso móvil 4G

Teniendo en cuenta la arquitectura general de red móvil 3GPP, en la ilustración 8 se muestra la forma simplificada de la arquitectura LTE; la cual está compuesta por tres componentes fundamentales. (Luis Peñafiel, 2016.)

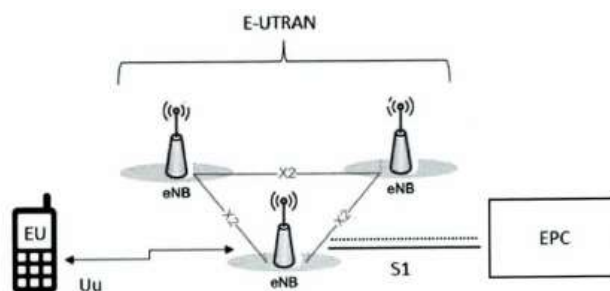


Ilustración 8. Arquitectura básica de la red de acceso móvil LTE. (Luis Peñafiel, 2016.)

- **Equipo de Usuario (UE):** dispositivo móvil que se encarga de la comunicación con la²² red de acceso (E-UTRAN), mientras UICC contiene información del número del teléfono y claves de autenticación para la seguridad de la red (ver ilustración 7).
- **Red de acceso radioeléctrico terrestre evolucionado (E-UTRAN):** es la encargada de las comunicaciones entre UE y EPC y el manejo de estas comunicaciones está a cargo de los evolucionados nodos B (eNB); mediante mensajes de señalización a todos los terminales móviles que se encuentran conectados a este nodo. Los eNB se comunican con la red de núcleo mediante la interfaz S1 y también se conectan entre ellos usando la interfaz X2 con el cual realiza el cambio de celda.
- **Núcleo de paquetes evolucionado (EPC):** es el núcleo de la telefonía móvil de 4G, se conecta con la red de acceso y la red de paquetes externos (PDN). La red de núcleo se observa en la ilustración 9 donde se puede evidenciar que está dividida en
 - ✓ **Servidor base del suscriptor (HSS):** es la base de datos que contiene información de los usuarios, conjuga base local de suscriptor (HLR) y centro de autenticación (AuC) de su antecesor 3G.
 - ✓ **Puerta de enlace de servicio (S-GW):** sirve como un nodo de anclaje para todas las conexiones de datos cuando el usuario se mueve entre eNB pasando todos los paquetes IP de los usuarios a través de él.
 - ✓ **Puerta de enlace de datos (P-GW):** es el responsable de la asignación de direcciones IP a los usuarios, mejoras en la calidad de servicio (QoS) y flujo de datos dependiendo de PCRF. Sirve como un nodo de anclaje para conexiones con otras redes.

- ✓ **Entidad de Gestión de Movilidad (MME):** se ocupa del control y seguridad en²³ la red de acceso E-UTRAN mediante mensajes de señalización al UE. También maneja los estados de sesión junto con la movilidad a las tecnologías 2G y 3; por esta razón está conectado a HSS para dar seguimiento al modo inactivo o sin uso del usuario.
- ✓ **Políticas y función de reglas de cobro (PCRF):** es el encargado del control de flujo basado en las funciones que puede realizar dependiendo el perfil del usuario y la tarifa de cobro por el servicio (Brayan Ruiz, 2020).

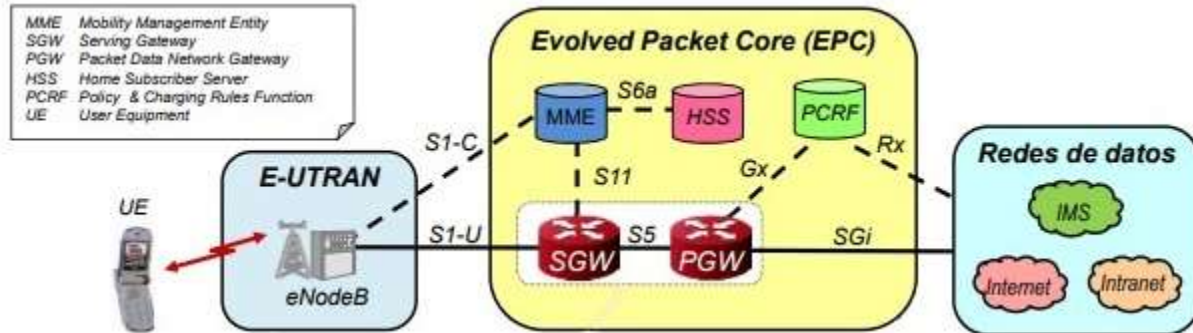


Ilustración 9. Arquitectura de red móvil LTE con elementos principales del sistema (Alvarez., 2015).

2.5. Generación de red móvil 5G

2.5.1. ¿Qué es 5G?

5G es la quinta generación de redes móviles. Es el nuevo estándar inalámbrico mundial después de las redes 1G, 2G, 3G y 4G. La 5G permite un nuevo tipo de red que está diseñada para conectar prácticamente a todos y a todo, incluyendo máquinas, objetos y dispositivos (Qualcomm, 2017).

2.5.1.1. Características de 5G

5G viene definida por los requerimientos de la IUT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) y las especificaciones por parte del 3GPP (Proyecto Asociación de Tercera Generación) (Goñi, 2020).

En el 2017, la UIT publicó los primeros requerimientos para el funcionamiento de las IMT-2020 (Telecomunicaciones Móviles Internacionales-2020) aprobadas por UIT-R (Radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones); la cual entrego tres categorías fundamentales para la utilización de 5G (ver ilustración 10).

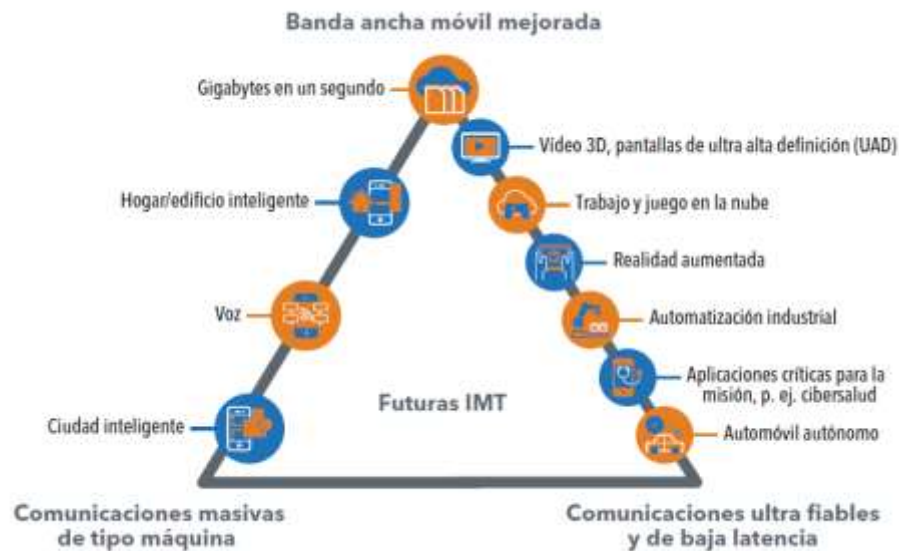


Ilustración 10. Posibilidades de utilización de la 5G.

- **Banda ancha móvil mejorada (eMBB):** se centra en los servicios que requiere un gran ancho de banda y altas velocidades, como el video 3D, pantallas de alta definición, realidad aumentada, teletrabajo, vida digital, entre otros.
- **Comunicaciones masivas de tipo máquina (mMTC):** se centra en escenarios que requieren altas densidades de conexiones, como el IoT, ciudades inteligentes, edificios u hogar inteligente, sociedad digital, entre otros.
- **Comunicaciones ultra fiables y de baja latencia (URLLC):** se centran en los servicios autónomos o de control remoto que requieren sensibilidad de la latencia, como la

conducción autónoma, telecirugías, industria digital, entre otros. (Huawei, Partnering²⁵ with the industry for 5g security assurance , 2019)

En la tabla 2 se proporciona las perspectivas de la capacidad futura, a dónde se quiere llegar en estos próximos diez años trabajando con IMT-2020.

Tabla 2. Requerimientos de IMT-2020. Fuente: (3gpp, lee Spectrum)

Parámetro	Requerimiento	Comentario
Velocidad de datos máxima	DL: 20Gbps UL:10Gbps	Solo en escenarios móviles eMBB ideales.
Eficiencia del espectro	DL: 30bps/Hz (8Streams) UL: 15bps/Hz (4Streams)	Solo en escenarios móviles eMBB ideales.
Velocidad de datos experimentada por el usuario	DL:100Mbps UL:50Mbps	5% CDF de rendimiento del usuario en eMMB.
Capacidad de tráfico por zona	Indoor hotspot DL: 10Mbps/m ²	eMMB.
Latencia del plano de usuario	eMBB: 4ms URLLC: 1ms	Solo para paquetes pequeños, tanto DL como UL.
Latencia del plano de control	20ms (se considera 10ms)	Transición de inactivo a activo. (eMBB y URLLC)
Densidad de conexión	1 millón dispositivos por km ²	mMTC.
Confiabilidad	99.9999% de probabilidad de éxito	32 L2 bytes en 1ms en el borde de la celula.
Ancho de banda	>100Mhz; arriba de 1GHZ en >6GHz	Agregación de portadoras aleatorias.

2.5.2. Arquitectura 5G

3GPP ha dividido el estándar 5G en dos fases: La primera Release 15, que corresponde a NSA y SA, y en la segunda Release 16, que corresponde a RAN y ASN como se puede ver en la ilustración 11.

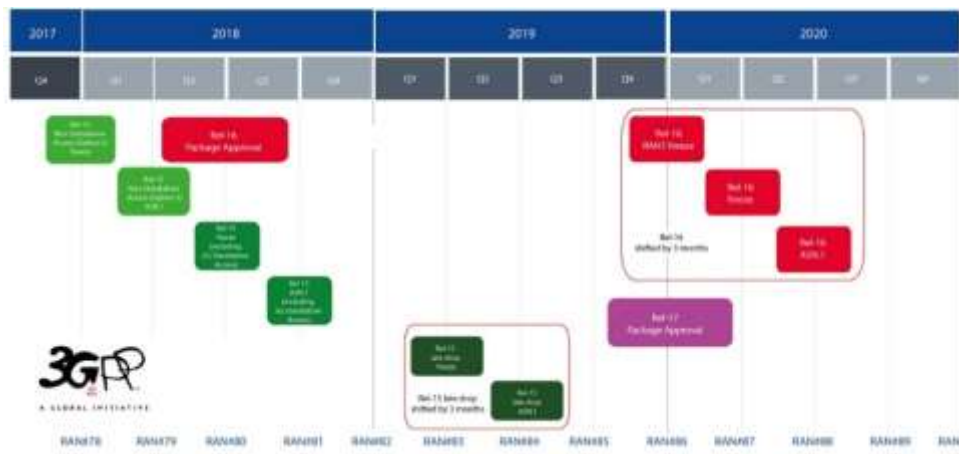


Ilustración 11. Línea de tiempo del estándar de Release 15 y 16 para 5G. Fuente (3gpp, The mobile broadband standard, 2019)

La primera fase del estándar se ha definido en dos opciones: la opción “no autónoma” (NSA) que utiliza el núcleo LTE y la opción “autónoma” (SA) que utiliza un nuevo núcleo de radio y será completamente independiente de la red central LTE. En la tabla 3 se encuentran expuestas las capacidades de las dos opciones 5G en comparación con 4G.

Tabla 3. Comparativa de tecnologías móviles. Fuente (Goñi, 2020)

Característica	4G+	5G NSA	5G SA
Velocidad máxima teórica de descarga	Hasta 1Gbps	Hasta 2Gbps	Al menos 20Gbps
Velocidad máxima teórica de subida	Hasta 150Mbps	Hasta 150Mbps	No definido
Latencia	Alrededor de 30ms	Alrededor de 15ms	Alrededor de 1ms
Movilidad	Hasta 200Km/h	Hasta 500Km/h	Hasta 500Km/h
Densidad de dispositivos conectados	Hasta 100.000 por km ²	Hasta 1 millón por km ²	Hasta 1 millón por km ²
Espectro	Banda 800MHz Banda 2,6GHz	Banda 700MHz Banda 3,7MHz	Banda 700MHz Banda 3,7MHz
Avances tecnológicos	Virtualización de la red MEC	Mayor eficiencia en bandas encima de 3GHz (Massive MIMO)	Network Slicing Machine learning
Infraestructura	Arquitectura EPC, radio LTE	Arquitectura EPC, radio LTE/NR	Arquitectura 5G NR con Core basado en software de red

La opción NSA se compone de la red de acceso 4G (eNodoB) como nodo maestro y 5G (gNodoB) como nodo secundario. Las dos redes de acceso están conectadas al EPC (Núcleo de red 4G), siendo esta opción la más factible y sencilla, al aprovechar la arquitectura ya existente solamente desplegando equipos de radio 5G que soporten LTE y NR. La opción NSA no introduce el núcleo 5G (5GC), por lo tanto, solo es apropiada al caso de utilización de banda ancha móvil (ver ilustración 12). (GSMA, 2019)

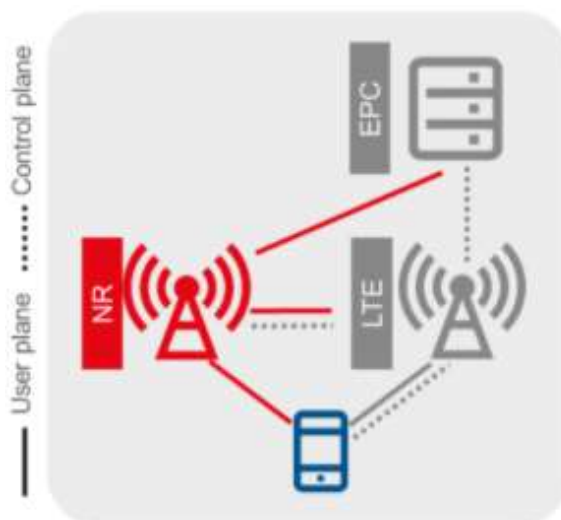


Ilustración 12. Arquitectura 5G opción 3x NSA. (GSMA, 2019)

2.5.2.1. Arquitectura dual de 4G con 5G

Cuando se implementa una nueva tecnología, las anteriores generalmente deben coexistir y operar en paralelo durante un tiempo relevante hasta garantizar un servicio continuo a los terminales o usuarios finales. Por esta razón, la arquitectura de red dual es una de las soluciones para el despliegue 5G, que soportan el servicio de banda ancha móvil mejorada y se compone de la siguiente manera (ver ilustración 13)

- **S1:** consiste en el plano de control para S1-MME, mientras S1AP es el protocolo de señalización. S1-MME o también S1-C utiliza una pila de protocolos SCTP para el

transporte en el plano de control de S1AP. eNodoB puede conectarse a varios MMEs a través del protocolo S1 flex.

- **S1-U:** es el punto de referencia entre E-UTRAN y el servidor GW para la tunelización del plano de usuario y utiliza un portador de transporte lógico S1. Este portador de transporte S1 se compone de dos túneles unidireccionales de dirección opuesta GTP-U entre el eNodoB y S-GW.
- **X2:** conectividad entre dos eNodoB, así como entre gNodoB y eNodoB, se sigue dominando por la interfaz X2. Algunos operadores habilitan la interfaz X2 para soportar la movilidad en modo activo intraLTE; por esta razón de seguridad es necesario cifrar la interfaz X2, lo que significa que utilizarán túneles IPsec (conexión directa o indirecta).
- **X2-U:** describe la interfaz entre dos en-gNodoB. (Riaño, 2020)

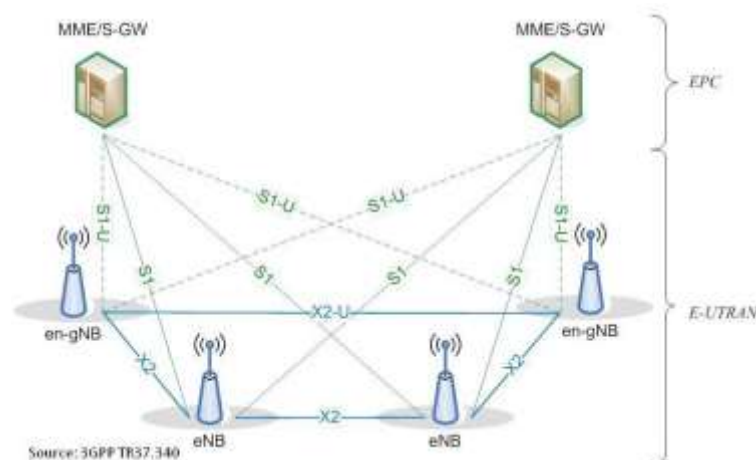


Ilustración 13. Arquitectura Dual 5G con 4G. (Riaño, 2020)

En la versión Release 15 de 3GPP, se definió una arquitectura nueva y flexible para la RAN 5G. La estación bases de la red móvil, está compuesto por BBU (Unidad de Banda Base) con junto a RU, RRU y antena. Sin embargo, desde las primeras fases del estudio de la Nueva Radio (5G NR),

se consideró dividir el gNB (nodo lógico de NR) entre Unidad Central y Unidad Distribuidas²⁹ (ver ilustración 14).

- **Unidad Central:** es un nodo lógico que alberga las subcapas de Control de Recursos de Radio (RRC), Protocolo de Adaptación de Datos de Servicio (SDAP) y Protocolo de Convergencia de Datos de Paquetes (PDCP). Las subcapas RRC y PDCP, centraliza y controla el funcionamiento de una o más gNB-DUs, ng-eNB-DUs o en-gNB-DUs.
- **Unidad Distribuida:** es un nodo lógico que aloja las subcapas de Control de Enlace de Radio (RLC), Control de Acceso al Medio (MAC) y Física (PHY) del gNB, en-gNB o ng-eNB. Su funcionamiento está parcialmente controlado por la Unidad Centralizada (CU). Una DU soporta una o varias celdas. Una célula es soportada por una sola DU.
- **RU (Unidad de Radio):** Convierte las señales de radio de las antenas donde suelen estar ubicadas, en señales digitales que pueden ser transmitidas por el fronthaul a una DU. (Ciena, N.A.)

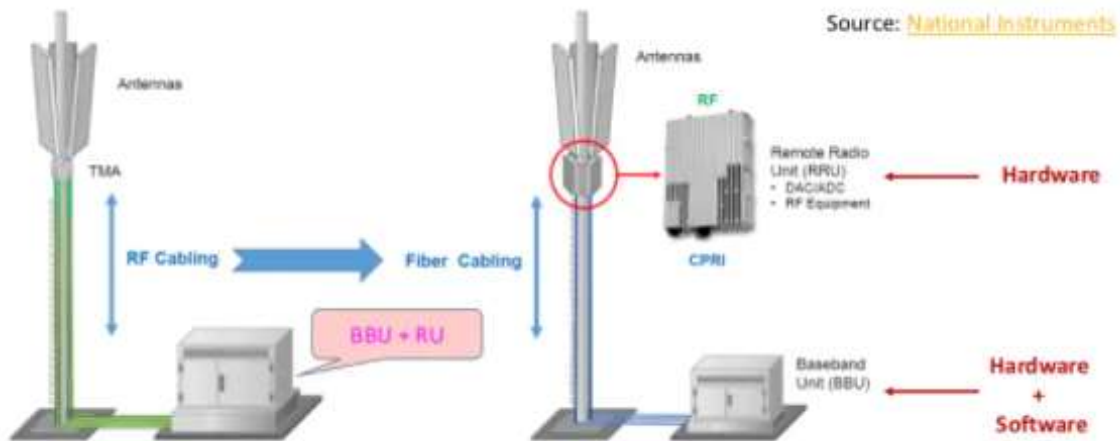


Ilustración 14. Red de acceso móvil 5G. (Douglas, 2019)

2.6. Especificaciones de la tecnología 5G

Especifica una nueva interfaz para las comunicaciones inalámbricas para permitir un mayor rendimiento de datos y de baja latencia, un mayor ancho de banda, la flexibilidad y escalabilidad de la estructura. La adición del espectro en mmWave hasta 52,6GHz, es lo que permite un mayor rendimiento de datos (ver la ilustración 15). (Technologies K. , 2020)

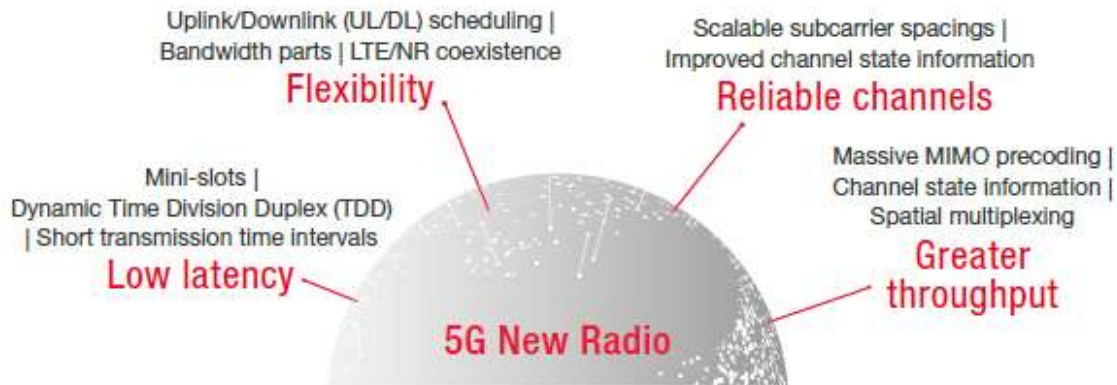


Ilustración 15. Tecnología 5G NR de la versión Release 15 y sus beneficios. Fuente: (Technologies K. , 2020)

2.6.1. Bandas de frecuencia

Las bandas de frecuencia para la tecnología 5G se dividen en tres partes (ver ilustración 16).

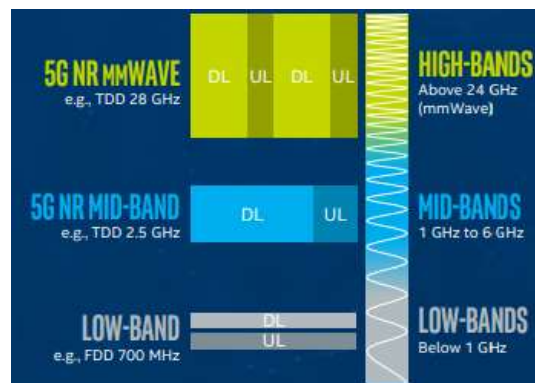


Ilustración 16. Bandas de frecuencia de 5G. Fuente: (Intel, 2018)

A diferencia de LTE, 5G opera en tres bandas de espectro diferentes, (Lopes, 2020) la primera banda de frecuencias son las inferiores de 1GHz que alcanza grandes coberturas pero posee poco

capacidad de transmisión de datos, la segunda banda (ver ilustración 17) está entre 1 GHz hasta 31 6GHz son ideal para las zonas urbanas que ya con estas frecuencias se obtiene igualdad en cobertura y capacidad, la tercera banda son las superiores a 6GHz estas frecuencias tienen muy altas capacidades de transmisión pero un mínimo de alcance en la cobertura.



Ilustración 17. Frecuencia 5G. (MinTic, 2019)

Por ello Colombia identificó las bandas medias entre 3,3-3,7 GHz para la tecnología 5G; la cual Agencia Nacional del Espectro planea poner a disposición 400 MHz de la banda de 3,5 GHz para 2020, esto nos ubica en la segunda banda de frecuencias para las futuras implementación en nuestro país.

2.6.2. Forma de onda y numerología

CP-OFDM (prefijo cíclico ortogonal de división de frecuencias múltiples), se define como el formato de forma de onda en el enlace descendente (DL) y ascendente (UL). El uso de CP-OFDM es bien conocido para las transmisiones DL, pero nuevo para las UL, el hecho de tener la misma forma de onda permite una comunicación más fácil para futuras versiones. DFT-s-OFDM (transformada discreta de fourier) es una forma de onda opcional en el UL, se utiliza únicamente en escenarios de energías limitada.

La numerología OFDM es escalable (μ) donde los espacios subportadoras ya no están fijos a un ancho de banda de 15KHz. Para las bandas de frecuencia más bajas, los

espacios en las subportadoras son 15, 30 y 60 KHz y para las bandas de frecuencia más³² altas, los espacios en las subportadoras son 60, 120 y 240 KHz. A mayor espacio en las subportadoras en las frecuencias altas, ayudan a la robustez de la forma de onda, ya que el ruido es un problema en los diseños de mmWave (ver ilustración 18).

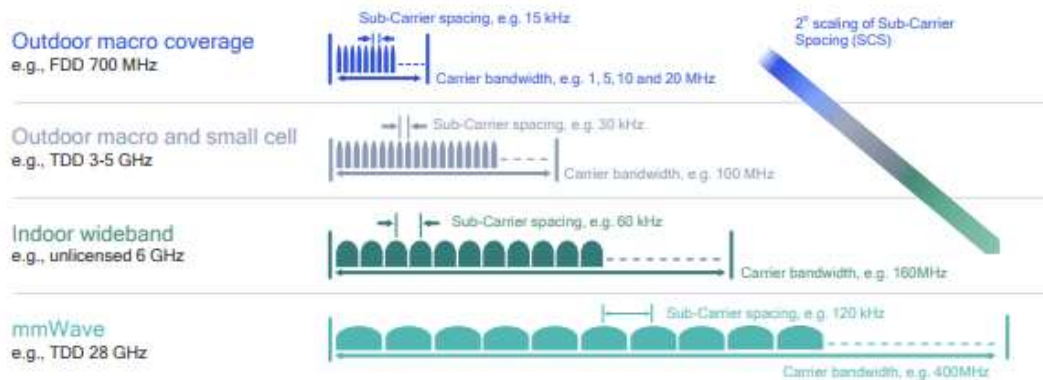


Ilustración 18. Numerología escalable 5G NR. Fuente: (Qualcomm, 2019)

2.6.3. Longitud y duración del espacio (slot)

Una ranura estándar tiene 14 símbolos de OFDM, como el espacio de la subportadora aumenta, la longitud de la ranura disminuye. Una mini-ranura tiene una longitud más corta que la ranura estándar, tiene 2,4 o 7 símbolos de OFDM (ver ilustración 19).

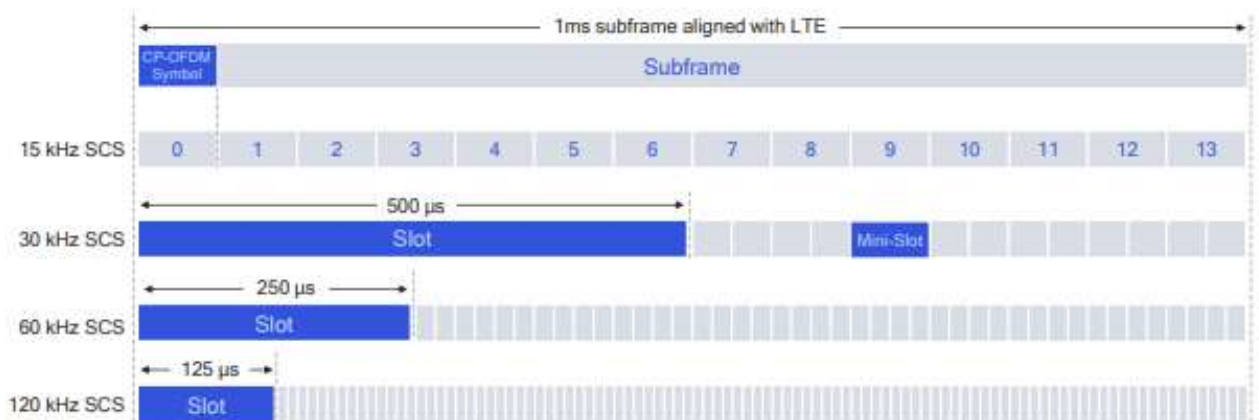


Ilustración 19. Ranura 5G NR.

El ancho de banda máxima de la portadora es de 100MHz en el rango de frecuencia uno (<6GHz) o de 400MHz en el rango de frecuencia dos (>6GHz). Lo nuevo de 5G NR en el ancho de banda es la subdivisión de la portadora, donde cada parte del ancho de banda tiene su propia numerología.

2.6.5. MIMO Masiva y la formación de haces

Es la tecnología de capa física más atractiva en la actualidad para el futuro de acceso inalámbrico. El concepto principal es utilizar grandes conjuntos de antenas en las estaciones base para servir simultáneamente a muchos terminales autónomos, como se observa en la ilustración 20. Las ricas y singulares firmas de propagación de los terminales, se explotan con un procesamiento inteligente. (Larsson, 2017)

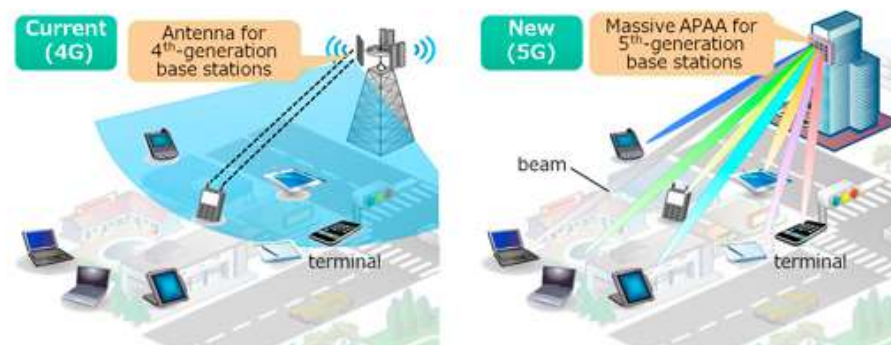


Ilustración 20. Massive MIMO y beamforming. Fuente: (Helix, 2017)

En la mayoría de las redes inalámbricas, las ondas mm (30 GHz a 300 GHz) se han restringido a los enlaces de línea de vista directa, ya que estas frecuencias se bloquean fácilmente por el follaje y los edificios. Las técnicas avanzadas de formación de haces que pueden rastrear al usuario ayudan a aumentar la ganancia de estas frecuencias. Los traspasos rápidos entre los sitios de las células también ayudan a mitigar el impacto del bloqueo. (Helix, 2017)

En la tabla 4 se resumen los parámetros de 5G NR y se compara con los de 4G.

Parámetros	LTE	5G NR
Máximo ancho de banda	20MHz	50MHz(15KHz), 100MHz(30KHz), 200MHz(60KHz), 400MHz(120KHz)
Subportadora	15KHz	2 ^u *15 KHz TDD and FDD multiplexación
Máximo número de subportadoras	1200	3300
Longitud del subframe	1ms (movimiento 0.5ms)	1ms
Latencia (Air interface)	0.5ms	0.5ms
Longitud del slot	7 símbolos en 500µs	14 símbolos (duración depende de la subportadora) 2, 4 y 7 símbolos para los mini-slots
Codificación del canal	Turbo Code (datos); TBCC (control)	Polar Codes (control); LDPC (datos)

2.7. Modelo de propagación para el 5g

Los modelos de pérdida en el trayecto de propagación de gran escala, de acuerdo a las especificaciones del 3GPP TR 38.901, para frecuencias de redes 5G, Para evaluar adecuadamente las redes 5G, es necesario tener en cuenta los modelos de perdida en el trayecto y para ello se considera tres modelos; el modelo close-in (CI) free space reference distance, el modelo close-in free space reference distance model with frequency-dependent path loss exponent (CIF) y el modelo Alpha-Beta-Gama (ABG). El modelo utilizado en la actualidad es ABG, pero con dependencias adicionales de las alturas de la estación base o del terminal, y con un punto de ruptura (breakpoint) de LoS. (Díaz Vilches, 2018)

2.7.1. Modelo Alfa, Beta, Gamma

$$PL(dB) = 20 \alpha \log(d) + \beta + 10\gamma(f) + X_{\sigma} \quad \text{Ecuación (1)}$$

En la anterior ecuación 1, se describe el modelo de pérdida por trayecto (PL) el cual incrementa³⁵ a medida que la distancia (m) entre el transmisor y el receptor incrementa, β es un desplazamiento flotante (dB), γ es la variante de PL a través de la frecuencia (GHz) y (dB) es el termino de shadow-fading (SF).

En la ilustración 12 se muestra los posibles escenarios donde se puede evaluar este modelo de propagación y el valor de cada uno de los parámetros para el desarrollo la tecnología de red móvil de quinta generación.

Escenario	Parámetros de los modelos CI/CIF	Parámetros del modelo ABG
UMa- LOS	$n=2.0, \sigma_{sf} = 4.1$ dB	NA
UMa- nLOS	$n=3.0, \sigma_{sf} = 6.8$ dB	$\alpha=3.4, \beta =19.2, \gamma =2.3, \sigma_{sf} = 6.5$ dB
UMI-Street Canyon-LOS	$n=2.1, \sigma_{sf} = 3.76$ dB	NA
UMI-Street Canyon-nLOS	$n=3.17, \sigma_{sf} = 8.09$ dB	$\alpha=3.53, \beta =22.4, \gamma =2.13, \sigma_{sf} = 7.82$ dB
UMI-Open Square-LOS	$n=1.85, \sigma_{sf} = 4.2$ dB	NA
UMI-Open Square-nLOS	$n=2.89, \sigma_{sf} = 7.1$ dB	$\alpha=4.14, \beta =3.66, \gamma =2.43, \sigma_{sf} = 7.0$ dB

Ilustración 21. Parámetros de los modelos CI, CIF Y ABG para distintos escenarios. (Rueda Francisco, 2016)

2.7.2. Modelo Longley Rice

El modelo Longley-Rice conocido también como Modelo de Tierra Irregular ITM (Irregular Terrain Model), fue desarrollado en 1968 y es aplicable para frecuencias de 20MHz a 20GHz con un alcanza de 1 a 2000Km. El modelo considera la geometría del perfil del terreno y la refractividad de la troposfera, para la línea de horizonte se utiliza principalmente el modelo de reflexión en tierra plana, y las pérdidas por difracción para obstáculos aislados se determinan utilizando el modelo de “filo de cuchillo”, para las predicciones de tropodifusión se utiliza la teoría de dispersión. (Nelson Pérez, 2011)

El modelo ITM es una herramienta computacional implementada por la NTIA de Estados Unidos, y para su aplicación del modelo Longley-Rice, además de la frecuencia de operación, la distancia entre transmisor y receptor y las alturas de las antenas del transmisor y receptor, se

requiere como datos de entrada la refractividad del suelo, radio efectivo de la Tierra,³⁶ conductividad y constante dieléctrica del suelo y el clima. (Delgado, 2016)

Los rangos de operación para el modelo son los siguientes

- **Frecuencia:** 20MHz a 20GHz.
- **Distancia:** 1Km a 2000Km.
- **Altura antena Tx:** 0,5m a 3000m.
- **Altura antena Rx:** 0,5m a 3000m.

Los parámetros ambientales son los siguientes

- **Polarización:** Vertical o horizontal deber ser de la misma orientación en los dos puntos.
- **Refractividad:** Determina la cantidad de “flexión” de las ondas de radio, su valor por defecto es 1.333 en el caso de condiciones atmosféricas normales.
- **Índice de refracción:** Valor de la curvatura de la tierra, rango de 250 a 400 unidades N, valor de la refractividad superficial es de 301 unidades N.
- **Variabilidad:** Se expresa en porcentaje de 0,1% al 99,9%
- **Clima:** Índices de refracción que utiliza el modelo de propagación (Cevallos, 2018)

En la tabla 5, se expone el valor de las unidades correspondientes a cada clima

Tabla 5. Tipos de climas (Modelo propagación Longley-Rice). (Cevallos, 2018)

N-unidades	360	320	370	280	301	320	350
Clima	Ecuatorial	Continental	Subtropical	Desierto	Templado	Marítimo	Marino

2.8. Softwares de simulación de redes móviles

37

2.8.1. Xirio Online

XIRIO Online, programa en línea desarrollado por APTICA, presenta dos herramientas de trabajo independientes: PLANNINGTOOL, como herramienta de planificación radioeléctrica y SHAREPLACE como aplicación de consulta e intercambio de resultados. En nuestro caso usaremos la primera herramienta de trabajo.

PLANNINGTOOL es una herramienta de planificación radioeléctrica con la que se puede realizar pruebas y simulaciones a baja resolución totalmente gratis, o cálculos profesionales a resolución óptima consumiendo créditos (Saldo recargados previamente al estudio). (Aptica, Xirio Online, 2021)

En Planningtool se puede desarrollar diseños de tecnologías inalámbricas como comunicaciones móviles públicas (GSM, DCS, UMTS, LTE, 5G), radiodifusión (TV, DVB-T, FM, DAB, DVB-H), sistemas de comunicaciones móviles profesionales (PMR, TETRA), radioenlaces (PDH, SDH), acceso a banda ancha (LMDS, WIMAX, WiFi). Las posibles aplicaciones son ilimitadas siempre y cuando se disponga de los parámetros específicos de cada tecnología y métodos de cálculo apropiados de aplicación en cada una de ellas. (Pertinez, 2015)

XIRIO Online incluye los métodos de cálculo más habituales y reconocidos a nivel internacional, especialmente para entorno urbano (Rec. UIT-R P.530, Rec. UIT-R P.1411, COST231, Xia-Bertoni, trazado de rayos, Okumura-Hata, métodos nuevos para 5G como 3GPP TR 38.901 y 5GCM), además de proponer al usuario los parámetros por defecto más adecuados en cada caso, para que la simulación de redes de cualquier tecnología resulte extremadamente sencilla, incluso para usuarios no expertos en radiofrecuencia. (Mezquita, 2013)

Para familiarizarse con el entorno de trabajo de Xirio Online (ver ilustración 22).



Ilustración 22. Entorno principal de Xirio Online herramienta de Planningtool. Fuente: Xirio Online.

2.8.2. Radio Mobile

Radio Mobile fue creado en 1998 y ha sido desde entonces perfeccionado por Roger Coudé, es de distribución libre y gratitud; permite diseñar redes, realizar estudios de cobertura en la red y calcular de radio enlaces de larga distancia en terreno irregular. Para ello utiliza perfiles geográficos combinados con la información de los equipos (potencia, sensibilidad del receptor, características de las antenas, pérdidas, entre otros.) que desean simularse (ver ilustración 23).

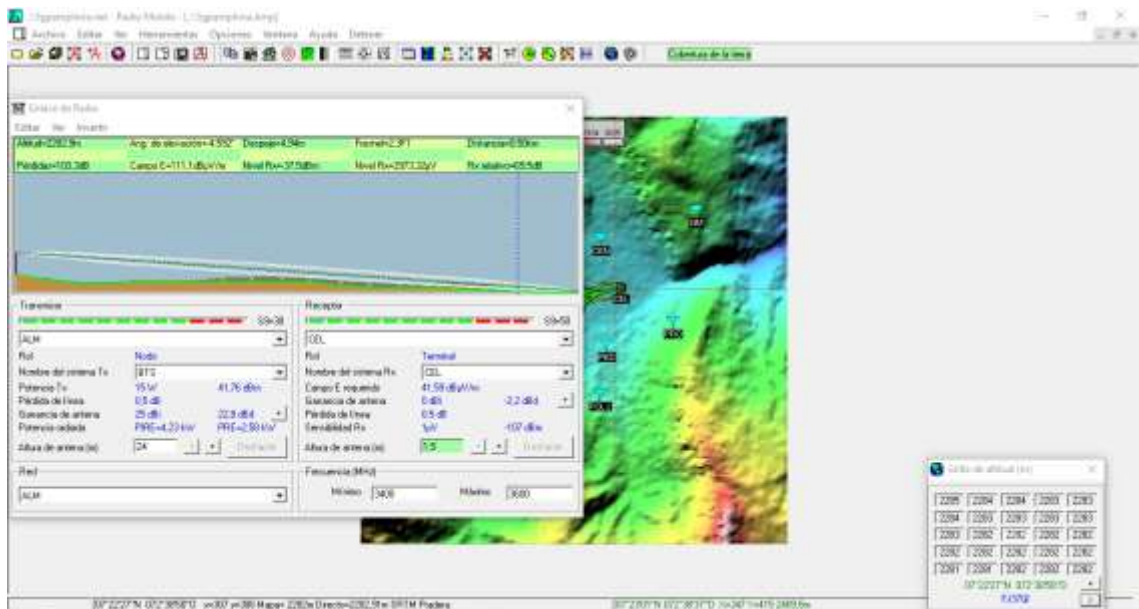


Ilustración 23. Entorno Principal de Radio Mobile.

Trabaja en el rango de frecuencia 20MHz a 20GHz y longitudes de trayecto de entre 1 y³⁹ 2000 Km. El modelo de propagación que utiliza es conocido como ITM (Irregular Terrain Mode) y se sustenta en el algoritmo de Longley-Rice, modelo de predicción troposférica para transmisión radio sobre terreno irregular en enlaces de largo-medio alcance. Además, tiene múltiples utilidades para el diseño y la simulación de los enlaces y las redes de telecomunicaciones. Los parámetros a que se introducen en las simulaciones reflejan la forma real de los equipos, con los que se piensa realizar la instalación de la red que se está diseñando.

Radio Mobile utiliza para la evaluación de los enlaces, el perfil geográfico de las zonas de trabajo. La obtención de estos mapas puede realizarse directamente desde una opción del software que permite descargarlos de Internet. Hay tres tipos de mapas disponibles: los SRTM, los GTOPO30 y los DTED (García, 2006).

2.9. Aplicaciones de 5G

Sabemos que 5G no solo representa evolución en la red móvil, sino que su desarrollo lleva a una transformación digital donde van a estar conectados en la misma red; desde terminales móvil, drones, automóviles, sensores, maquinas IoT, electrodomésticos, casas inteligentes entre muchos otros dispositivos.

2.9.1. Pruebas pilotos de 5G

Desde antes y después que 3GPP estableció las especificaciones para la generación de red móvil 5G, hubo muchos de los países que participaron con las pruebas pre-5G mediante el desarrollo de tecnologías, escenarios y laboratorios. En el momento de la publicación de las especificaciones algunos de los países ya estaban listos para las pruebas pilotos, habían elaborado su plan 5G y tenían alianza con empresas que fabrican equipos de radio.

Se han realizado numerosas pruebas piloto pre-5G en el territorio europeo, pero acaba destacar, que España ha sido el país que más le ha invertido a esta tecnología desde que 3GPP saco las especificaciones para la utilización de 5G, con solo tres meses después de esta publicación. La compañía Vodafone se asoció con Huawei para realizar “la primera llamada 5G del mundo”; la llamada se realizó de Castelldefels (Barcelona) a Madrid, la cual cumplió con las especificaciones estandarizadas y utilizo la banda de frecuencia de 3,7GHz. Esta Prueba demostró una “conexión dual 4G-5G”, según las empresas, esta faceta será importante para la tecnología 5G que ayudará a controlar y gestionar el tráfico de datos. (news, 2018)

2.9.1.2.En Asia

En el continente asiático se encuentra los países que más han impulsado la tecnología 5G; y Corea del Sur ha tomado la delantera en los avances agigantados en pruebas pilotos. Una evidencia fue “la primera red piloto 5G a gran escala durante los Juegos Olímpicos de Invierno 2018 en PyeongChang; KT proporcionó la red 5G a través de una alianza liderada por Intel y que contó con socios como Ericsson, Nokia y Alibaba, mientras que Samsung presentó su dispositivo de tableta móvil 5G que ofrece una transmisión 4K de video a través de las estaciones base de Intel.” (Consulting, 5G y el rango 3,3-3,8GHz en America Latina, 2020).”

En la prueba se colocó cien cámaras alrededor del Estado Olímpico de Hielo para captar vistas de 360 grados, la idea de captar video en tiempo real para transmitir en altas velocidades y bajos periodos de latencia; además que durante los juegos en el Pabellón 5G de KT, se permitió a los asistentes entrar en una versión virtual del Gangneung Ice Arena y mostrar algunos movimientos del hockey sobre hielo (Intel O. G., 2018).

En términos de pruebas piloto 5G se destacan las realizadas en Suramérica, con bandas rangos de espectro 3,5 GHz y 28 GHz se comportan como las potenciales para el desarrollo 5G, en la tabla 6, se evidencia el total de 26 pruebas distribuidas en 9 países, exceptuando a la Guyana, Paraguay, Venezuela y la Guyana Francesa (Miguel Mayorga, 2020).

Tabla 6. Pruebas pilotos en Suramérica. (Miguel Mayorga, 2020)

País	Banda de Frecuencia	Velocidad	Empresas Aliadas	Fecha
Argentina	28GHz	20Gbps	Movistar-Ericsson	Noviembre 2017
	28GHz	10Gbps	Personal-Nokia	Abril 2018
Uruguay	28GHz	No reporta	Antel-Nokia	Abril 2019
Bolivia	3,5GHz	1,8Gbps	Entel-Huawei	Septiembre 2019
Ecuador	3,5GHz	1,1Gbps	Claro-Huawei	Septiembre 2019
Brasil	3,5GHz	1Gbps	Tim-Huawei	Mayo 2019
		1,1Gbps	Oi-Huawei	Septiembre 2019
Perú	3,5GHz	3Gbps	Claro-Huawei	Mayo 2019
		3,3Gbps		Noviembre 2019
Surinam	3,5GHz	No reporta	Telesur-Huawei	Noviembre 019
Chile	27GHz	10Gbps	Claro-Nokia	Diciembre 2017
	28GHz	25,4Gbps	Entel-Ericsson	Enero 2018
	3,5GHz	722Mbps	Wom-Huawei	Junio 2018
Colombia	28GHz	10Gbps	Claro-Nokia	Enero 2018
	3,5GHz	864Mbps	Claro	Junio 2020

Según en la revista de GSMA “las frecuencias en el rango 3,3-3,8 GHz ya se utilizan en la mayoría de las redes comerciales 5G y cuentan con el mayor ecosistema de dispositivos comerciales” (Consulting, 5G y el rango 3,3-3,8GHz en America Latina, 2020), lo que hace que en los países suramericanos prioricen este rango de frecuencia tanto para pruebas piloto como para el despliegue de esta nueva tecnología. Una prueba de que esta banda de frecuencia es la más apropiada para nuestro continente, es la que realizo Claro en el país de Perú en alianza con Huawei

se obtuvieron velocidades de descarga superiores a 3Gbps con el que se transmitió video en 8K,⁴² sistema que multiplica por cuatro a su antecesor 4K (Peru, 2019).

2.9.1.4. En Colombia

Para Colombia, el Ministerio de las TIC's otorgo los permisos para el uso de espectro radioeléctrico para la realización de pruebas pilotos que usen tecnologías móviles 5G y en la siguiente tabla 7, se encuentra la asignación de banda de frecuencia para los proveedores que enviaron la solicitud a la convocatoria (comunicaciones M. d., 2020).

Tabla 7. Banda de frecuencia para pruebas pilotos 5G.

No.	NIT	SOLICITANTE	Banda de frecuencia
1	830.122.566-1	Colombia Telecomunicaciones S.A. E.S.P.	3500-3600MHz
2	800.153.993-7	Comunicaciones Celular S.A. Comcel S.A.	3500-3600MHz
3	899.999.115-8	Empresa de Telecomunicaciones de Bogotá S.A. E.S.P.	3500-3600MHz
4	900.278.364-4	ITICS S.A.S.	3500-3600MHz
5	900.981.128-7	Xiro Investment Group SAS	3500-3600MHz 587-592MHz

Siendo Claro el operador móvil en el territorio colombiano con autorización del gobierno, como el primero en realizar pruebas 5G en Colombia en ese entonces en la banda de 28GHz; donde alcanzo velocidad de 10Gbps. Pero esta vez el operador de servicio de red móvil manifestó su interés en la banda de frecuencia de 3500MHz le cual se le fue otorgado por seis meses según la Resolución número 001039 de 23 de junio de 2020 (Colombia, 2020).

Nokia en asociación estratégica con Claro y la Secretaria de Innovación Digital de la Alcaldía de Medellín desarrollaron el primero caso de prueba piloto en “una experiencia de educación virtual, es decir, un profesor, con el apoyo de cámaras de 360 grados y video de alta definición,

dictó sus clases de biología, matemáticas y geografía a un grupo de estudiantes, quienes desde⁴³ otra ubicación vieron contenidos en 3D e interactuaron con el docente a través de gafas de realidad virtual. Este proceso estuvo soportado en las velocidades y latencias que ofrece 5G” (Claro O. , 2020).

Otra de las implementaciones de pruebas piloto del operador Claro, es el desarrollo de una red 5G no comercial en el Centro Comercial Plaza Claro; la cual estará en funcionamiento hasta que se encuentra vigente el permiso del uso de espectro otorgado por el Ministerio de las TIC’s y para que los ingenieros de la compañía puedan experimentar las aplicaciones de esta nueva tecnología y ampliar el conocimiento de la misma (Operador Movil Claro, 2020).

2.9.2. “Despliegues de red 5G alrededor del Mundo

Los operadores de servicios móviles empezaron con los despliegues de la tecnología 5G desde el primer semestre del 2019 con el fin de ofrecer las ventajas de esta nueva generación, también podemos evidenciar en el reporte global realizado por GSMA (ilustración 24); que 5G ya está disponible en casi todas las regiones del mundo, lo que la convierte en la nueva tecnología implementada globalmente.

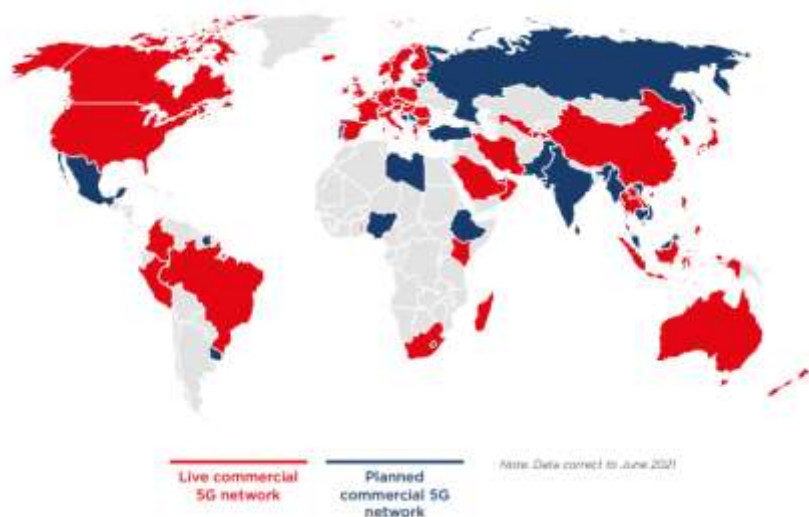


Ilustración 24. Mapa actualizado de los despliegues 5G. (Gsma, 2021)

A continuación, en la tabla 8; se detalla algunos de los lanzamientos en los países donde ya⁴⁴ existe la red 5G comercialmente.

Tabla 8. Los primero despliegues comerciales de la red 5G en el mundo. (Lopez, 2020)

País	Lanzamiento	Empresa
Corea del sur (Pioneros)	3 de abril 2019, el primer país en el mundo en desplegar su red comercial 5G, con una cobertura en más de 85 ciudades	SK Telecom, TK y LG Uplus.
Estados Unidos	3 de abril 2019, con una diferencia de tres horas después del despliegue de Corea de sur; estados unidos desplego su red 5G en las ciudades de Minneapolis y Chicago.	Verizon..
Suiza	17 de abril 2019, se dio inicio al despliegue más grande Europa con 102 localidades, en 54 ciudades.	Swisscom.
China	1 de noviembre 2019, su despliegue dio una cobertura a 50 ciudades.	China Mobile, China Telecom y China Unicom.
Reino Unido	30 de mayo 2019, el despliegue comenzó en 6 ciudades principales.	EE.
España	15 de junio 2019, su despliegue llego a 15 ciudades.	Vodafone.
Uruguay	10 de abril 2019, logra implementar un despliegue de red 5G en el departamento de Maldonado, en la zona Barra de Manantiales, ubicada en el municipio de San Carlos; convirtiéndose en la primera red comercial de Latinoamérica.	Antel en colaboración con Nokia.
Japón	25 de marzo 2020, desplego su red 5G comercial teniendo una cobertura en 150 áreas del archipiélago.	NTT Docomo.

3. Metodología

Para el desarrollo de este trabajo se realizó una recopilación de información en revistas y artículos investigativos, pruebas pilotos, trabajos de grado, implementaciones internacionales, sitios web de los fabricantes, entre otros; para determinar las características principales de la arquitectura de red móvil 5G.

El estado actual de la red móvil de cuarta generación dentro del casco urbano de Pamplona, fue verificado mediante la ubicación de las estaciones bases (mediante coordenadas geográficas); utilizando la aplicación Google Maps en el terminal móvil (coordenadas en grados) y se realizó mediciones en dirección a los puntos cardinales (Norte, Sur, Este, Oeste) cada 100 metros de velocidad y nivel de potencia de recepción en el terminal móvil; mediante las aplicaciones de OpenSignal y la función de estado de la tarjeta SIM que se encuentra en la parte ajuste del celular.

De acuerdo con los datos obtenidos en las mediciones, se diseñaron dos propuestas teniendo en cuenta las bandas de frecuencias que asignó el MinTIC para las pruebas pilotos que están desarrollando dentro del territorio colombiano; así mismo los equipos y componentes de la red de acceso que soportan 5G y que transmiten en esta banda cumpliendo con los requerimientos de cobertura.

Posterior al diseño de las dos propuestas, se continuó con la simulación en los softwares (Radio Mobile y Xirio) tanto para el primer diseño como para el segundo; de los dos diseños se obtuvo el mapa de cobertura, del cual se desarrolló el análisis de resultados y las recomendaciones para futuras investigación con respecto a la migración de red móvil 4G a 5G o relacionado con el tema.

Para finalizar de los equipos y componentes con los que se elaboró un cuadro técnico-46 económico para obtener una estimación que cuales son los equipos en específicos, costo y características relevantes en la utilización de la tecnología 5G. En la ilustración 25 se puede evidenciar todo lo descrito anteriormente de forma sistemática y más clara.

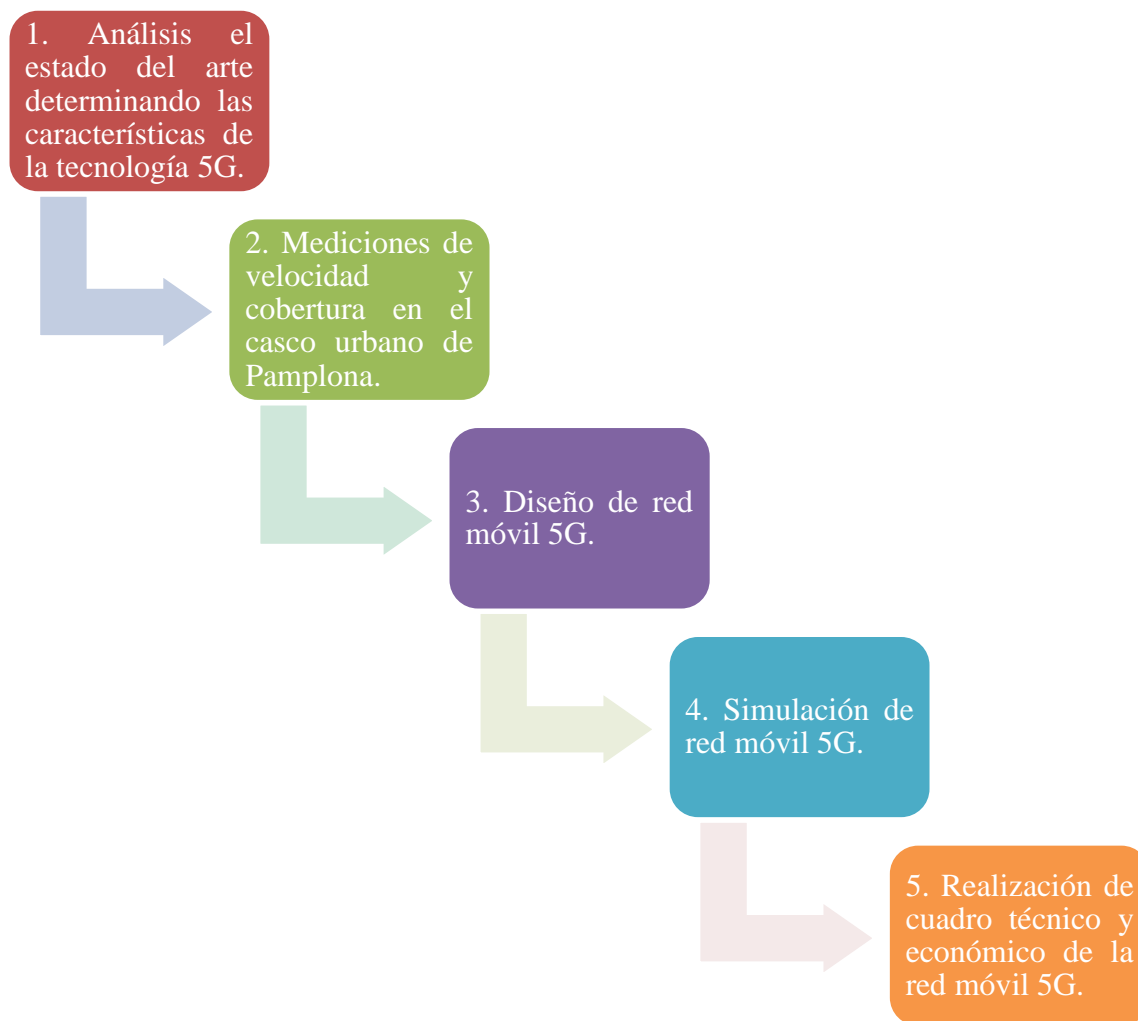


Ilustración 25. Diagrama progresivo de la metodología de investigación.

3.1. Estado actual de la red móvil 4g en el casco urbano de⁴⁷ Pamplona

Actualmente la ciudad de Pamplona cuenta con la red móvil celular 4G (cuarta generación), la cual opera bajo el estándar LTE (Evolución a Largo Plazo) según UIT, se basada en la solución de acceso OFDMA (Acceso Múltiple por División de Frecuencias Ortogonales), modulación de orden superior (hasta 64QAM), anchos de banda (de hasta 20 MHz) y multiplexación espacial en el enlace descendente (hasta 4x4), el cual puede llegar a altas velocidades de datos (Nohrborg, 2008).

3.1.1. Mapa de cobertura de la actual tecnología 4G

Para establecer el estado actual cobertura de la red móvil 4G, se ingresó a la aplicación OpenSignal, le cual mostro el mapa cobertura (ver ilustración 26) de la tecnología 4G del operador Claro; donde se pudo evidenciar que dentro del casco urbano de la ciudad hay lugares con ausencia de señal y/o hay cierto lugar donde la señal llega con muy baja potencia al receptor.



Ilustración 26. Cobertura 4G en Pamplona. Fuente: OpenSignal.







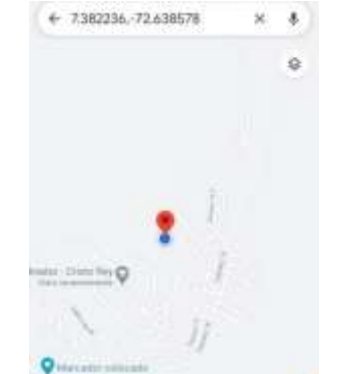

3.1.2. Ubicación de las estaciones bases 4G

Con base en el mapa de cobertura 4G (app OpenSignal), se realizó la ubicación de las estaciones bases del operador claro; midiendo las coordenadas geográficas por medio de la aplicación de Google Maps en cada estación transmisora.

En el registro de coordenadas se encontró que la empresa de la red móvil claro cuenta con 6 nodos que implementan la tecnología 4G, ubicados en diferentes lugares del casco urbano de la ciudad de Pamplona. En la tabla 9, se observa el nombre de los nodos (nombre del sector donde está ubicada la infraestructura, dispositivos y equipos de radio), las coordenadas en Google Maps (capture de las coordenadas) y la evidencia del registro (fotografía de la estación bases).

Tabla 9. Ubicación de las estaciones bases 4G.

NOMBRE DEL NODO	COORDENADAS	EVIDENCIA
Almeida		
Centro		

<p>El Progreso</p>		
<p>Los Tanques</p>		
<p>Santa Marta</p>		
<p>Simón Bolívar</p>		

Para tener una vista más ampliada de la ubicación de las estaciones bases dentro del plano del casco urbano de Pamplona, se colocó un marcador en el programa Google Earth; al observar la ilustración 27, se evidencia los marcadores con el correspondiente nombre de las estaciones.

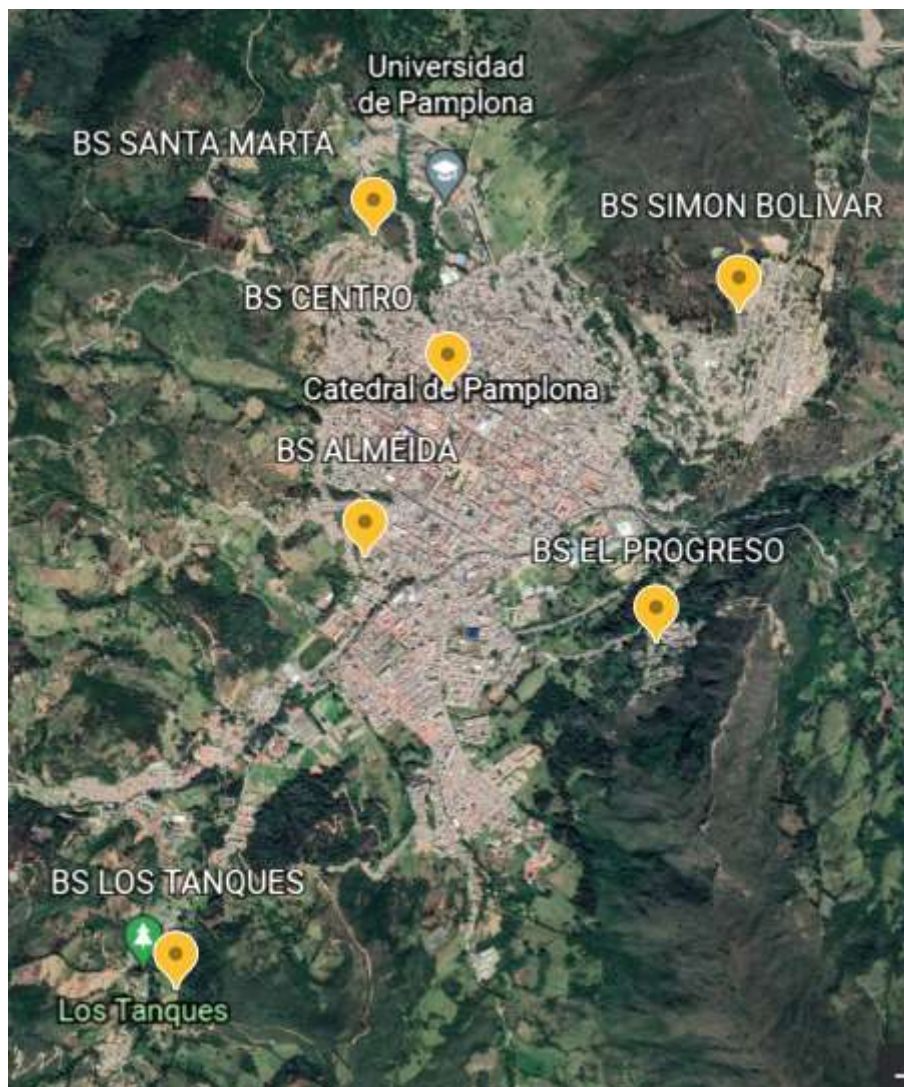


Ilustración 27. Ubicación de las estaciones bases transmisoras en el plano del casco urbano de Pamplona. Fuente: Google Earth.

3.1.3. Mediciones de velocidad y niveles de potencia 4G

Para realización de las mediciones, se tomó como punto de referencia la ubicación de la estación base, desde ahí se observó con una brújula los puntos cardinales (norte, sur, oeste y este).

Mediante los ejes cardenales, se elaboró la captura de los datos (velocidad, potencia recepción⁵¹ y coordenada) en cada 100 metros donde la infraestructura urbanista y la topología del terreno permitieran las mediciones. También se tuvo en cuenta, si en el punto de la medición había o no línea de vista con la estación base transmisora.

La tecnología LTE o E-UTRAN (Red de acceso Terrestre Universal Evolucionada) es la interfaz radioeléctrica que permite alta tasa de transferencia de datos que soporta hasta 100 Mbit/s de bajada y 50 Mbit/s de subida. (Comunicaciones C. d., 2019). Y los niveles de potencia de recepción para la tecnología 4G es de -90dBm o más. En la tabla 10, se observa los valores de las mediciones realizada en el casco urbano de la ciudad de Pamplona, el sitio y dirección del punto cardinal.

Tabla 10. Datos recolectados (velocidad y niveles de potencia de recepción).

LUGAR	DIRECCION	DISTANCIA	VELOCIDAD (Mbps)	NIVEL DE POTENCIA	LINEA DE VISTA
TANQUES	NORTE	100m	23D 25.2U 36ms	-84dBm	SI
		200m	32.3D 27.5U 36ms	-80dBm	SI
		300m	29.5D 29.5U 39ms	-81dBm	NO
		400m	51.2D 26U 36ms	-65dBm	NO
		500m	42.9D 30.6U 38ms	-66dBm	SI
		600m	40.5D 27.4U 37ms	-81dBm	NO
		700m	21.9D 4.36U 38ms	-100dBm	NO
		800m	48.1D 22U 40ms	-82dBm	NO
	SUR	100m	22.2D 31.7U 37ms	-71dBm	SI
		200m	24.8D 24.1U 125ms	-79dBm	SI
		300m	46.3D 27.4U 38ms	-80dBm	NO
		400m	69.2D 10.8U 32ms	-80dBm	NO
		500m	34D 28.5U 36ms	-85dBm	NO
		600m	18.3D 8.15U 38	-101dBm	NO
	OESTE	100m	31.6D 26.8U 29ms	-77dBm	SI
		200m	32.5D 27.9U 36ms	-80dBm	NO
		300m	44D 18.9U 32ms	-87dBm	NO
		400m	66D 26.8U 31ms	-66dBm	NO
		500m	37.5D 28.2U 37ms	-74dBm	NO

		600m	46.7D 8.93U 38ms	-100dBm	NO
	ESTE	0m	MONTAÑA		
ALMEIDA	NORTE	100m	22.2D 25.6U 33ms	-68dBm	SI
		200m	41.1D 27.7U 39ms	-65dBm	SI
		300m	4.09D 3.31U 39ms	-98dBm	NO
		400m	7.5D 23U 39ms	-86dBm	NO
		500m	6.59D 5.08U 41ms	-97dBm	NO
		600m	23.2D 13.8U 42ms	-96dBm	NO
	SUR	100m	6.28D 19.1U 43ms	-76dBm	SI
		200m	19.4D 11.7U 49ms	-81dBm	NO
		300m	31.3D 9.45U 32ms	-80dBm	NO
		400m	10.6D 6.87U 39ms	-94dBm	NO
		500m	6.53D 18.3U 37ms	-88dBm	NO
		600m	15.7D 18.2U 33ms	-84dBm	NO
		700m	1.67D 0.781U 45ms	-102dBm	NO
		800m	11.5D 5.99U 36ms	-101dBm	NO
	OESTE	900m	0.795D 0.663U 42ms	-81dBm	NO
		100m	29.2D 25.8U 40ms	-62dBm	SI
		200m	23.1D 36.5U 41ms	-75dBm	NO
		300m	21.7D 20.4U 32ms	-82dBm	NO
		400m	3.92D 3.39U 32ms	-105dBm	NO
		500m	11.4D 0.545U 43ms	-107dBm	NO
	ESTE	600m	10.4D 22.4U 36ms	-86dBm	NO
		100m	8.09D 20.1U 34ms	-77dBm	SI
		200m	20.6D 19.6U 43ms	-73dBm	SI
		300m	38.1D 19.2U 44ms	-72dBm	NO
		400m	9.37D 11.7U 45ms	-94dBm	NO
		500m	15.5D 8.31U 41ms	-86dBm	NO
		600m	6.01D 19U 40ms	-83dBm	NO
		700m	10.9D 14.7U 43ms	-76dBm	NO
CENTRO	NORTE	800m	13.6D 4.45U 39ms	-97dBm	NO
		100m	1.38D 4.72U 46ms	-91dBm	NO
		200m	5.31D 10.7U 52ms	-81dBm	NO
		300m	8.97D 13.7U 39ms	-82dBm	NO
		400m	4.23D 6.11U 45ms	-95dBm	NO
		500m	17.7D 11.2U 42ms	-95dBm	NO
		600m	4.8D 3.73U 43ms	-94dBm	NO
	SUR	700m	31D 21U 38ms	-87dBm	NO
		100m	1.06D 17.2U 47ms	-88dBm	NO
		200m	3.45D 10.7U 46ms	-92dBm	NO
		300m	7.48D 14.4U 49ms	-80dBm	NO
		400m	1.98D 12U 50ms	-72dBm	NO
		500m	15.8D 11.1U 84ms	-65dBm	NO

	OESTE	100m	5.74D 20.5U 49ms	-63dBm	SI
		200m	3.48D 21.6U 48ms	-82dBm	NO
		300m	5.28D 8.64U 47ms	-81dBm	NO
		400m	1.59D 5.9U 46ms	-95dBm	NO
	ESTE	100m	3.87D 8.56U 45ms	-78dBm	SI
		200m	2.35D 5.04 45ms	-96dBm	NO
		300m	1.12D 7.85U 45ms	-92dBm	NO
		400m	3.3D 8.08U 44ms	-82dBm	NO
		500m	4.13D 8.14U 59ms	-91dBm	NO
		600m	1.98D 3.9U 47ms	-65dBm	NO
SANTA MARTA	NORTE	MONTAÑA			
	SUR	100m	9.18D 9.7U 40ms	-90dBm	NO
		200m	9.67D 9.02U 43ms	-73dBm	SI
		300m	13.9D 15.8U 36ms	-66dBm	SI
		400m	15.1D 12.5U 40ms	-81dBm	SI
		500m	19D 5.53U 39ms	-88dBm	SI
		600m	11.7D 0.832U 42ms	-103dBm	NO
		700m	7.16D 0.481U 39ms	-102dBm	NO
	OESTE	100m	10.4D 8.36U 37ms	-59dBm	SI
		200m	22.6D 5.33U 36ms	-51dBm	SI
		300m	11.7D 11.9U 49ms	-79dBm	SI
	ESTE	100m	23.3D 0.428U 111ms	-64dBm	SI
		200m	4.51D 6.74U 41ms	-79dBm	SI
		300m	4.72D 1.11U 110ms	-94dBm	NO
		400m	8.41D 6.8U 41ms	-94dBm	NO
		500m	17.3D 13U 44ms	-87dBm	SI
		600m	6.63D 1.62U 45ms	-96dBm	NO
	VIA NACIONAL	100m	24.8D 24.5U 41ms	-79dBm	SI
		200m	34.4D 27.4U 37ms	-84dBm	SI
		300m	25.2D 26.5U 39ms	-90dBm	SI
		400m	4.55D 6.82U 46ms	-89dBm	SI
		500m	2.28D 5.07U 44ms	-92dBm	SI
		600m	7.96D 15.2U 43ms	-82dBm	SI
SIMON BOLIVAR	NORTE	100m	14.9D 5.09U 38ms	-58dBm	SI
	SUR	100m	63.2D 31.4U 38ms	-67dBm	SI
		200m	52D 28.2U 39ms	-69dBm	SI
		300m	30D 20.1U 39ms	-77dBm	NO
		400m	28.7D 14.6U 39ms	-96dBm	NO
		500m	25.8D 0.711U 40ms	-109dBm	NO
		600m	13.2D 2.29U 40ms	-64dBm	SI
		700m	45.4D 31.5U 39ms	-81dBm	SI
	OESTE	100m	51.4D 27.5U 38ms	-84dBm	SI
		200m	67.9D 29.6U 35ms	-73dBm	NO

		300m	12.8D 3.11U 39ms	-97dBm	SI
	ESTE	100m	36.9D 29.2U 41ms	-70dBm	SI
		200m	49.6D 28.6U 36ms	-71dBm	SI
		300m	34.9D 27.6U 38ms	-69dBm	SI
		400m	54.3D 23.5U 39ms	-80dBm	SI
EL PROGRESO	NORTE	100m	11.1D 5.44U 45ms	-90dBm	SI
		200m	6.74D 0.859U 41ms	-103dBm	SI
		300m	1.56D 7.22U 49ms	-88dBm	SI
		400m	5.13D 5.21U 46ms	-92dBm	SI
	SUR	100m	10.7D 13.5U 46ms	-72dBm	SI
		200m	7.74D 10.8U 40ms	-88dBm	SI
	OESTE	100m	4.95D 2.74U 42ms	-99dBm	NO
		200m	4.67D 5.82U 40ms	-94dBm	NO
		300m	4.68D 5.89U 41ms	-95dBm	SI
		400m	2.1D 5.93U 65ms	-91dBm	NO
		500m	6.33D 5.24U 41ms	-93dBm	NO
		600m	10.5D 10.9U 38ms	-81dBm	SI
	ESTE	700m	9.25D 11.2U 49ms	-85dBm	NO
		100m	17D 10.2U 42ms	-83dBm	SI
200m		9.81D 5.14U 42ms	-93dBm	SI	
		300m	6.75D 4.99U 42ms	-95dBm	SI
PUNTOS ESTRATEGICOS	CHAPINERO		5.65D 7.94U 44ms	-86dBm	NO
	CAPILLA EL PROGRESO		6.78D 4.39U 41ms	-88dBm	SI
	CENTRALES		12.6D 18.7U 46ms	-80dBm	SI
	SIMON BOLIVAR SANTUARIO		3.64D 5.84U 46ms	-85dBm	NO
	CURVA DE LA U		5.64D 5.51U 44ms	-89dBm	SI
	JUAN XXIII		8.76D 17.4U 39ms	-91dBm	SI
	ENTRADA DE LA U		30.5D 24.7U 38ms	-77dBm	SI
	ESCALERA DE SANTA MARTA		12.2D 22.7U 40ms	-65dBm	SI
	MUSEO		8.47D 9.63U 39ms	-96dBm	NO
	Y DE LOS TANQUES		40.4D 9.48U 37ms	-96dBm	NO
	VIRGEN DE LOS TANQUES		31.1D 28.2U 37ms	-67dBm	SI
	INPEC		16.6D 14.7U 47ms	-85dBm	NO
	PLAZUELA ALMEIDA		36.9D 9.3U 39ms	-70dBm	SI
	CALLE REAL		4.3D 7.56U 39ms	-59dBm	NO
	PARQUE PRINCIPAL		29.2D 18.6U 42ms	-75dBm	SI
	CANCHA SIMON BOLIVAR		31.9D 20U 37ms	-92dBm	SI
	CASA DE NAZARETH		2.44D 1.77U 41 ms	-94dBm	NO
CARIONGO		4.74D 15U 40ms	-86dBm	SI	

En las mediciones más representativas de la tecnología 4G dentro del casco urbano de Pamplona de la tabla 10, se encontró dos puntos en las mediciones, que resaltaron por su alta o baja velocidad de datos (Mbps) disponible en el enlace de subida y de bajaba al usuario o terminal móvil. La diferencia de las velocidades entre las dos mediciones es tan marcada; las medidas tomadas en diferentes estaciones bases a distancias de radio distintas y los niveles de potencias en el rango de recepción de la señal.

La velocidad depende del nivel de potencia con la que llega al transmisor o terminal móvil, lo podemos evidenciar en las mediciones expuestas anteriormente que cuando las velocidades son bajas, la intensidad de la señal es tenue y cuando las velocidades son altas, la intensidad de la señal es buena. En términos de cobertura los niveles de potencia son importantes (ver ilustración 28); una excelente cobertura (-30dBm a -80dBm), una buena cobertura (-81dBm a 90dBm), una cobertura regular (-91dBm a 102dBm) y una mala cobertura.

RF Experience	RSRP (dBm) Reference Signal Received Power	RSRQ (dB) Reference Signal Received Quality	SINR (dB) Signal to Interference & Noise Ratio
Excellent	≥ -80	≥ -10	≥ 20
Good	-80 to -90	-10 to -15	13 to 20
Mid Cell	-90 to -100	-15 to -20	0 to 13
Cell Edge	≤ -100	≤ -20	≤ 0

Ilustración 28. Medida de la intensidad de la señal LTE (Poynting, 2021)

Por lo tanto, en la tabla 10; se evidencia la situación real de bajas velocidades en ciertos puntos de Pamplona; ya que 4G está diseñada para velocidades promedio de 20Mbps en Colombia (ver ilustración 29). Los niveles de potencia actuales medidos en promedio de

Pamplona son de -84dBm, es decir, que está en el nivel de potencia está en el rango de 56 óptimo; si se propone al mejorar notablemente la cobertura en el casco urbano de la ciudad de Pamplona mejoraría notable las velocidades tanto de bajado como de subida.



Ilustración 29. Velocidad de descarga 4G Colombia. (Col, 2018)

3.1.4. Cobertura 5G

Adicional a las mediciones de velocidad, los niveles de potencia y del mapa de cobertura de 4G en el terminal móvil receptor; se realizó la comprobación del mapa de cobertura de la tecnología 5G del operador Claro, la cual fue nula. Evidentemente el municipio de Pamplona no cuenta con el servicio, ni la implementación de esta tecnología de red móvil celular en este operador (ver ilustración 30).

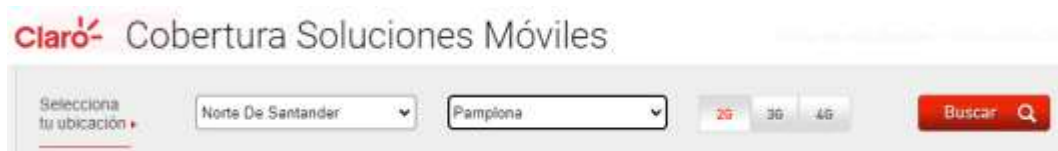


Ilustración 30. Cobertura 5G en Pamplona no existente en el operador Claro.

Teniendo en cuenta que 4G va a coexistir con 5G como lo hemos visto en el capítulo 2.5.2.1. de este documento, en donde 5G va a utilizar el núcleo de la red móvil 4G; la funcionalidad de la tecnología de red móvil 5G en la ciudad de Pamplona se hace asequible, además que para el

territorio colombiano se liberó y se está utilizando el rango de la banda de frecuencia 3,5-57 3,6GHz en las pruebas pilotos como lo podemos ver en el capítulo 2.11.1. de este documento.

Esta banda de frecuencia ofrece una buena combinación entre capacidad y cobertura; en cuanto a velocidad en las pruebas pilotos se ha llegado desde 1Gbps hasta 3Gbps (ver en la tabla 6) en Suramérica, que es 10 o 30 veces mayor que las velocidades más altas alcanzadas en las mediciones de la tecnología 4G en el casco urbano de Pamplona. Además, el radio de cobertura que cubre esta tecnología es de macro celda igual que 4G, pero con la diferencia que 5G va tener más capacidad en la demanda de tráfico de datos y con la misma o mejor cobertura; gracias a la implementación de nuevas tecnologías de radio y características en su arquitectura de red lo podemos encontrar en el capítulo 2.6 de este documento.

3.2. Diseño de la red móvil 5g

Los parámetros para llevar a cabo los diseños de cobertura son los siguientes:

- ✓ **Nombre:** Nombre que identifique el nuevo estudio de cobertura.
- ✓ **Servicio:** Seleccionar el tipo de tecnología para el diseño de cobertura.
- ✓ **Banda de frecuencia:** Asignación de la banda de frecuencia en la que se va a trabajar la tecnología.
- ✓ **Descripción:** Indicaciones que el usuario quiera realizar para aportar más información.
- ✓ **Transmisor:** Estación base transmisora del diseño de cobertura.
- ✓ **Receptor:** El receptor en la zona de cobertura solo incluye parámetros de radio receptor.
- ✓ **Pérdidas de propagación:** Ecuación a utilizar para las pérdidas.
- ✓ **Zona de cobertura:** Áreas que se identifican con colores para visualizar para los resultados.
- ✓ **Área de cálculo:** Zona geográfica donde se realizará el diseño de cobertura y sobre el cual se obtendrán los resultados.
- ✓ **Capa de cartografía:** Seleccionar los tipos de capas de cartografía para la realización de la simulación.

3.2.1. Diseño de la primera red 5G

El primer diseño 5G en el casco urbano de Pamplona, se realizó en base con la infraestructura existente de la tecnología antecesora 4G. Teniendo en cuenta los puntos cardinales donde se encuentran las estaciones bases que se encuentra en el capítulo 3.1.2, se tomaron los mismos puntos de referencia para el diseño de cobertura. Agregando otra base estación 5G de macro celda en el diseño donde la infraestructura ya existe dentro del casco urbano de Pamplona, pero es de otro

operador; para agregar este punto en el primer diseño, se midió el punto geográfico (Google⁵⁹ Maps) donde se encuentra la infraestructura y fotografía de la misma (ver tabla 11). En el capítulo 2.9.1.4. de este documento, el rango de frecuencia que se utilizó fue la que habilitó el Ministerio de las TIC's para las pruebas piloto en Colombia es el del 3,4-3,6GHz, siendo la banda de frecuencia que ofrece igualdad en capacidad con respecto a cobertura donde se puede ver en el capítulo 2.6.1.

Tabla 11. Ubicación de la estación del otro operador para el primer diseño.

NOMBRE DEL NODO	COORDENADAS	EVIDENCIA
SAN PEDRO		

Para la estación base transmisora se seleccionó la antena AAU5613 (ver tabla 13) de tecnología Huawei, trabaja en la banda de frecuencia de 3,5GHz y soporta la tecnología NR. Y para el receptor se eligió el terminal móvil Xiaomi Poco M3 Pro (ver tabla 13), el cual trabaja con la arquitectura NSA en la banda N78 (TDD 3500MHz).

El sitio de despliegue para una red 5G con la tecnología Huawei para las zonas urbanas será como se observa en la ilustración 31, en este caso con cobertura de macro celda la cual tiene un alcance de 1 a 20 Km, además de que la infraestructura 5G va a coexistir con sus antecesores de las redes móviles.

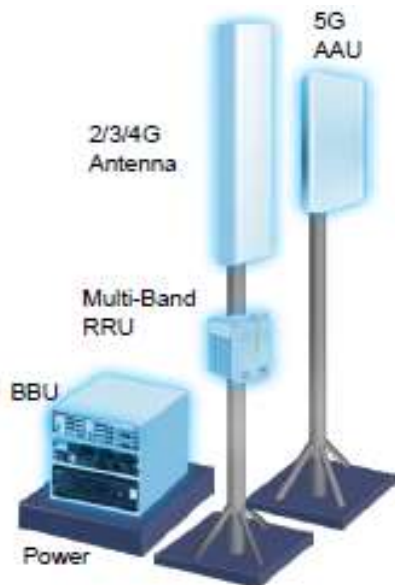


Ilustración 31. Sitio 5G en infraestructura 4G (macro celda). (Huawei, *The 5G Ultra-Lean*, 2019)

3.2.2. Diseño de la segunda red 5G

El segundo diseño se basó en el despliegue de infraestructura en postes (inteligentes o de servicios públicos existentes), donde principalmente hay puntos ciegos (sin cobertura) o deficiencia en los niveles de potencia en el resultado del mapa de cobertura del primer diseño planeado en el capítulo 3.3 anteriormente visto. La infraestructura de red 5G en postes existentes se puede aprovechar al máximo; los cuales son recursos sociales: los postes de vigilancia, postes eléctricos, postes de luz, entre otros. También se encuentran los postes inteligentes como se pueden evidenciar en la ilustración 32, los cuales integran múltiples funciones como la iluminación, la vigilancia, la comunicación móvil, la gestión del tráfico, etc.



Ilustración 32. Sitio de poste 5G (micro celda).

3.2.3. Análisis técnico económico del diseño 5G

Para el desarrollo del diseño de la red móvil 5G en el casco urbano de la ciudad de Pamplona, el único gasto que se presentó durante el cumplimiento de los objetivos fue en la compra de paquetes de datos para las mediciones de velocidades en los diferentes puntos cardinales de las estaciones bases, que se realizó mediante la app de OpenSignal.

En la tabla 12 se describe cada uno de los softwares y utilidades utilizados para el desarrollo de este proyecto. Para Xirio Online existe la opción de realizar cálculos en alta resolución, después de configurar los parámetros y métodos correctamente; primero hay simular en baja resolución, ya estando seguro de la red se puede hacer uso de esta herramienta, pero tiene un alto costo (ver ilustración 33).

COTIZACION: 100244
 Octubre 28 de 2021
 Moneda: COP

Señores
UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
 Atnc. Ing. Edwin Mauricio Sequeda
 Ciudad

ASUNTO: COTIZACION ALQUILER SOFTWARE DE SIMULACION DE REDES RADIOELECTRICAS XIRIO ON LINE Y CARTOGRAFIA PARA TODO TIPO DE TECNOLOGÍAS.

Respetado ing. Edwin Mauricio,

Con todo gusto presentamos nuestra oferta de la herramienta de Planificación Radioeléctrica acorde a su solicitud:

MÓDULOS DIPONIBLES PARA TECNOLOGÍAS AM, FM, DVB T2/S2, LT E AVANZADO, PDH, SDH
PAQUETE BÁSICO REDES DE ACCESO
<ul style="list-style-type: none"> Módulos de gestión, interfaz gráfica y GIS. Múltiples modelos de propagación. Cálculo de perfiles radioeléctricos a lo largo de un radial. Cálculo de cobertura radioeléctrica de transmisores o estación base. Planificación de redes Soporte a medidas de campo. Herramientas de ayuda al diseño de la red.
PAQUETE AVANZADO REDES DE ACCESO
<ul style="list-style-type: none"> Modelos de propagación y métodos de cálculo. Análisis de interferencias. Estudios de ocupación espectral. Cálculos avanzados de compatibilidad de redes. Asignación automática de frecuencias.



BESTTELECOM

EL PODER DE LA TECNOLOGÍA Y LA COMUNICACIÓN S.A.S.

Comercialización y asesorías en Telecomunicaciones

MÓDULOS DIPONIBLES PARA TECNOLOGÍAS AM, FM, DVB T2/S2, LT E AVANZADO, PDH, SDH

PAQUETE REDES DE TRANSPORTE

Módulos de cálculo e interfaz gráfica específica.
Modelos de propagación.
Cálculo de vano digital.
Cálculo de multi-vano.

Paquete Docente (XIRIO ON LINE):

Hasta 100 o 200 usuarios (según el caso) o alumnos vía Internet. Máximo 3.000 Euros por alumno renovables cada seis meses.
Contempla todo tipo de redes que usan el espectro radioeléctrico (AM, FM, DVB-T2/S2, LTE Avanzado, Enlaces PDH, SDH, 5G entre otras).
Persistencia de los resultados un (1) mes en la nube.
Cartografía de España 100 mts/píxel (Una Región + una ciudad escogida por Aplicación).
Ejemplos de prácticas.
Capacitación del uso de la herramienta de 4 horas por medio virtual.
Se debe firmar un acuerdo de uso docente (no con fines comerciales).
Los productos cartográficos especializados que se adquieran, quedan automáticamente activados a la herramienta Xirio Online.
Se envía informe mensual de uso por usuario al administrador de la herramienta o docentes, según requerimiento.

PROPUESTA : Docencia pago por uso

XIRIO ON LINE	USO UN AÑO	USO DOS AÑOS
Con alquiler de cartografía	\$ 20.160.000	\$ 38.160.000
Sin alquiler de cartografía	\$ 14.760.000	\$ 28.260.000

OPCIONAL CAPACITACION VIRTUAL

CAPACITACION	VALOR
30 horas virtuales	\$ 8.800.000
IVA 19%	\$ 1.672.000
TOTAL	\$ 10.472.000

OPCIONAL CARTOGRAFIA DE COLOMBIA QUE QUEDA EN PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD

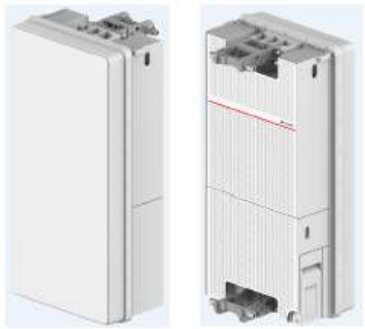

CARTOGRAFIA DE COLOMBIA	VALOR
50 metros. (a perpetuidad)	\$ 34.300.000
IVA 19%	\$ 6.517.000
TOTAL	\$ 40.817.000

Ilustración 33. Cotización Xirio Online. (Lumbaque, 2021)

Descripción	Valor	Observaciones
Radio Mobile	\$0	Descarga, instalación y uso libre del programa.
Xirio Online	\$0	Uso online desde el navegador del Pc (Cálculos gratuitos a baja resolución).
OpenSignal	\$0	Descarga de la app en el terminal móvil y habilita los datos del terminal móvil.
Google Maps	\$0	Descarga de la app y habilita GPS del terminal móvil.
Estado de la tarjeta SIM (Ajustes)	\$0	Utilidad en los ajustes del terminal móvil.
Gastos por sostenimiento (4 meses)	\$3'200.000	Sostenimiento del estudiante durante 4 meses para el desarrollo de este trabajo.

Por otra parte, en la tabla 13 se observa los equipos necesarios en cada estación base para el despliegue de la tecnología 5G.

Tabla 13. Equipos de una estación base 5G.

Cantidad	Equipo	Especificaciones	Imagen	Precio
4	Huawei AAU5613 Antena + RRU	Dimesiones: 795mmx395mmx220mm Banda frecuencia: Modulo1 3400-3600MHz Modulo2 3600-3800MHz Potencia: 200W Ganancia: 25dBi Canal: Sencillo 100/80/60/40MHz Doble 2x100/2x40MHz		3.500,00-5.000,00 US\$/Unidad
1	Huawei BBU5900 (Sitio 5G y sitios postes 5G)	BBU consta de subsistemas: banda base, alimentación y mecánico, transmisión, interconexión, control principal, monitorización y de reloj.		500,00-1.000,00 US\$/Unidad

1 a 3 dependiendo del sitio	Huawei 5G Outdoor Antenna AF9E	<p>Dimesiones: 180mmx180xmm30 mm</p> <p>Banda frecuencia: 3300-3800 MHz Potencia: 200W</p> <p>Ganancia: 14dBi</p> <p>Canal: Sencillo 100/80/60/50/40 MHz</p>		US\$199.00 Unidad
Depende de la cantidad de usuarios	Xiaomi	<p>Dimesiones: 161.8mmx75.3mmx8.9mm</p> <p>Peso: 190 g</p> <p>Ganancia: 23dBm</p> <p>Tecnologia: NR 5G</p>		US\$183.25 Unidad

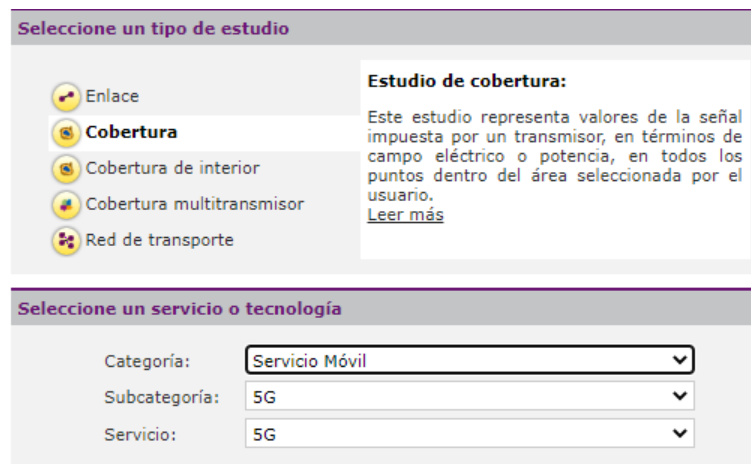
Simulación de los diseños de la red móvil⁶⁶

5G

3.3. Simulación del primer diseño

3.3.1. Xirio Online

Este estudio de cobertura representa valores de la señal impuesta por el transmisor, en términos de campo eléctrico o potencia, en todos los puntos dentro del área seleccionada por el usuario; teniendo en cuenta la categoría, subcategoría y servicio de la tecnología 5G (ver ilustración 34).




The screenshot shows a web interface with two main sections. The top section, titled "Seleccione un tipo de estudio", contains a list of study types: "Enlace", "Cobertura" (which is selected and highlighted), "Cobertura de interior", "Cobertura multitransmisor", and "Red de transporte". To the right of this list is a text box titled "Estudio de cobertura:" which explains that the study represents signal values in terms of electric field or power across a selected area, and includes a "Leer más" link. The bottom section, titled "Seleccione un servicio o tecnología", contains three dropdown menus: "Categoría:" with "Servicio Móvil" selected, "Subcategoría:" with "5G" selected, and "Servicio:" with "5G" selected.


Ilustración 34. Selecciona el servicio y la tecnología. Fuente: Xirio Online.

El nombre y la ubicación (ver ilustración 35) de las estaciones bases fueron establecidas por medio de las coordenadas medidas en el capítulo 3.1.2. dentro del casco urbano de Pamplona. Para este estudio y las otras seis estaciones trasmisoras, se sectorizó en cuatro estaciones transmisoras (ver ilustración 36), cada una orientada a 90° de la otra para una cobertura total de 360°.

Sector

Nombre:

 Identifica el transmisor en XIRIO ONLINE.

Coordenadas 


Latitud:

Longitud:

Ilustración 35. Nombre y ubicación de la estación. Fuente: Xirio Online.


Sectorización


Sectorizar estudio

 Permite definir sectores en la misma estación. Esta opción crea un estudio de cobertura para cada sector, hasta un máximo de ocho.

Número de sectores

Azimut del primer sector ° > [Recalcular](#)

Antena sectorial 

 Seleccione la antena que se utilizará para la simulación de cada uno de los sectores.

Sectores











Nombre	Tx	Azimut	Inclinación		
5G_STMARTA_PAMPLONA_S1	STMARTA_S1	90	0		
5G_STMARTA_PAMPLONA_S2	STMARTA_S2	180	0		
5G_STMARTA_PAMPLONA_S3	STMARTA_S3	270	0		
5G_STMARTA_PAMPLONA_S4	STMARTA_S4	0	0		

Ilustración 36. Sectorización de transmisor. Fuente: Xirio Online.

Para las propiedades de la antena en el transmisor, se utilizaron las especificaciones de la antena 5G (ver ilustración 37) y también en las propiedades de radiación de la antena.

The image shows two screenshots of a software interface for configuring a 5G antenna. The left screenshot displays the 'Propiedades de la antena' (Antenna Properties) section with the following settings:

- Tipo de diagrama: Copolar Xpolar
- Polarización: Vertical
- Ganancia: 25 dBi
- Frecuencia inicial: 3400 MHz
- Frecuencia final: 3600 MHz
- Tilt eléctrico: 0 °
- XPD 90: 30 dB
- Ancho de haz: 57 °
- Rel. delante/atrás: 27.8 dB

The right screenshot shows the 'Antena' (Antenna) configuration window with the following details:

- Nombre: 3G/4G/5G 25 dBi 65°
- Tipo de antena: Estándar
- Polaridad: Simple Doble
- Peso: 40 kg
- Dimensión mayor: 0.795 m

Below the antenna details is the 'Diagramas de radiación' (Radiation Diagrams) section, which includes a table for defining radiation elements:

Frec. ini.	Frec. fin.	Tilt eléc.	Tipo
3400.00 MHz	3600.00 MHz	0.00 °	Vertical

At the bottom of the radiation diagrams section, it indicates '1 elementos (0 seleccionados)'.

Ilustración 37. Propiedades de la antena transmisora 5G. Fuente: Xirio Online. Fuente: Xirio Online.

En la configuración de los parámetros del sector (ver ilustración 39), se tuvo en cuenta la altura de las estructuras actuales para 4G en el caso urbano de Pamplona, la polarización de la antena y para la potencia de transmisión se asignó un valor, que pudiera respetar los límites máximos de exposición de la resolución 0774 de 2018 (ver ilustración 38).

		(V/m)	(A/m)	equivalente S (W/m ²)
Ocupacional	9 – 100 kHz	170	60	-
	100 kHz – 1 MHz	610	1,6/f	-
	1 – 10 MHz	610/f	1,6/f	-
	10 – 400 MHz	61	0,16	10
	400 – 2.000 MHz	3 f ^{1/2}	0,008 f ^{1/2}	f/40
Poblacional	2 – 300 GHz	137	0,36	50
	9 – 100 kHz	83	21	-
	100 - 150 kHz	87	5	-
	0,15 – 1 MHz	87	0,73/f	-
	1 – 10 MHz	87/f ^{1/2}	0,73/f	-
	10 – 400 MHz	28	0,073	2
	400 – 2.000 MHz	1,375 f ^{1/2}	0,0037 f ^{1/2}	f/200
2 – 300 GHz	61	0,16	10	

Ilustración 38. Límites máximos de exposición. (ANE, 2018)

Tipo sistema:	Estándar	▼
Altura antena:	24	m
<hr/>		
Usar altura de edificio:	Definida por el usuario	▼
Altura edificio:	0	m
Frecuencias de transmisión		
Polarización:	Vertical	▼
Feeder:		+ ?
Longitud del feeder:	0	m
Pérdidas del feeder:	0.00	dB
Pérdidas pasivos:	0	dB
Potencia:	17.5	W ▼

Ilustración 39. Parámetros del sector. Fuente: Xirio Online.

Para las propiedades de la antena en el receptor, se utilizó las especificaciones del terminal móvil 5G (ver tabla 13) y también en las propiedades de radiación de la antena (ver ilustración 40)

Propiedades

Tipo de diagrama: Copolar Xpolar

Polarización: Vertical ▼

Ganancia: 0 dBi

Frecuencia inicial: 3400 MHz ▼

Frecuencia final: 3600 MHz ▼

Tilt eléctrico: 0 °

XPD 90: 30 dB

Ancho de haz: 360 °

Rel. delante/atrás: 0 dB

Diagrama horizontal

Diagrama horizontal + - ✕

Diagramas verticales

Azimut +

0.00 - ✕

Antena

Nombre: 3G/4G/5G 0 dB Omni

Tipo de antena: Estándar ▼

Polaridad: Simple Doble

Peso: 0.19 Kg

Dimensión mayor: 0.1618 m

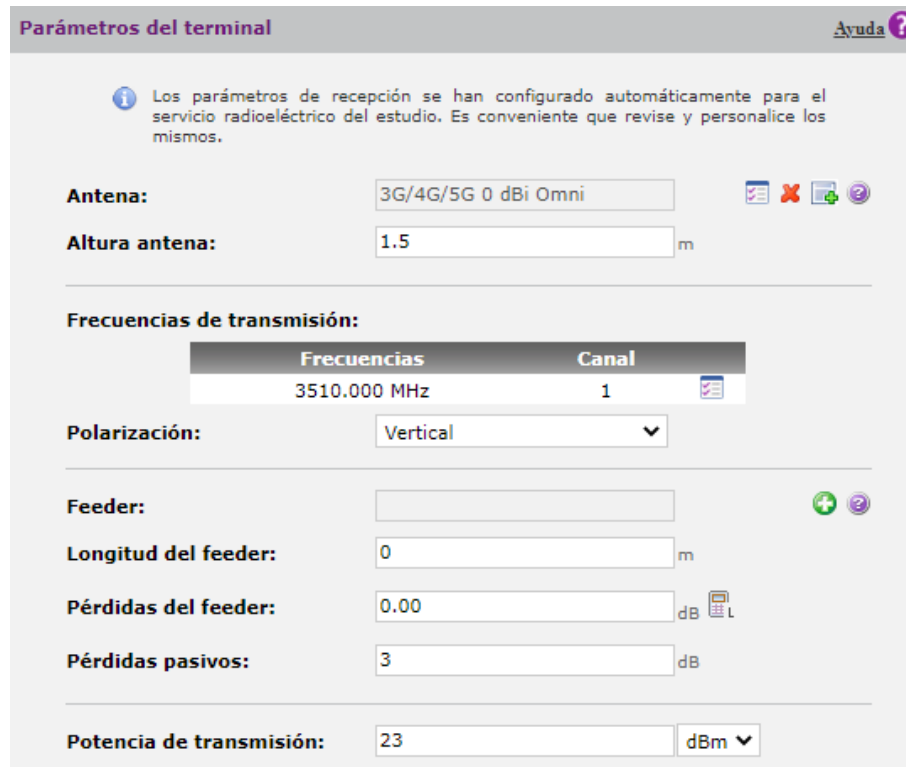
Diagramas de radiación

	Frec. ini.	Frec. fin.	Tilt eléc.	Tipo
✕	3400.00 MHz	3600.00 MHz	0.00 °	Vertical

1 elemento (0 seleccionados)

Ilustración 40. Parámetros de la antena receptora 5G. Fuente: Xirio Online.

En la configuración de los parámetros del terminal se tuvo en cuenta la altura promedio⁷⁰ del usuario, las pérdidas pasivas y la potencia de transmisión para la banda de frecuencia en la que está emitiendo el terminal (ver ilustración 41).



Parámetros del terminal Ayuda ?

i Los parámetros de recepción se han configurado automáticamente para el servicio radioeléctrico del estudio. Es conveniente que revise y personalice los mismos.

Antena: [icon] [icon] [icon] [icon]

Altura antena: m

Frecuencias de transmisión:

Frecuencias	Canal	[icon]
3510.000 MHz	1	[icon]

Polarización: ▾

Feeder: [icon] [icon]

Longitud del feeder: m

Pérdidas del feeder: dB [icon]

Pérdidas pasivos: dB

Potencia de transmisión: dBm ▾

Ilustración 41. Parámetros del terminal móvil. Fuente: Xirio Online.

El método de cálculo que se utilizó es el recomendado por 3GPP para el modelo de propagación 5G es el expuesto en el capítulo 2.7. de este documento, además de ser el más adecuado para la gama de frecuencia 3,5GHZ del método TR 38.901, también se seleccionó el tipo de celda macro-celda en el entorno urbano con pérdidas fijas en edificios (ver ilustración 42).

Método de cálculo	Penetración en edificios
Nombre: <input type="text" value="Nuevo 3GPP TR 38.901"/> Método de propagación: <input type="text" value="3GPP TR 38.901"/> Resolución: <input type="text" value="100"/> m/pixel <input type="checkbox"/> Limitar la distancia máxima del cálculo Límite: <input type="text" value="0"/> m	<input type="radio"/> No aplicar <input type="radio"/> No calcular en edificios <input type="radio"/> Calcular sólo en azoteas <input checked="" type="radio"/> Pérdidas fijas en edificios <input type="radio"/> Receptor ubicado en el interior del edificio
Parámetros básicos <input type="checkbox"/> Cálculo automático de factor K Factor K: <input type="text" value="1.333"/> Margen de desvanecimiento: <input type="text" value="0"/> dB	Pérdidas fijas: <input type="text" value="10"/> dB Tipo de cálculo: <input type="text" value="Pérdidas menos restrictivas"/> Pérdidas horizontales: <input type="text" value="0.6"/> dB/m Pérdidas verticales: <input type="text" value="5"/> dB/piso Metros por piso: <input type="text" value="3"/> m Receptor ubicado en el piso: <input type="text" value="0"/>
Propiedades de 3GPP TR 38.901 Tipo de celda: <input type="radio"/> Micro-celda en entorno urbano <input checked="" type="radio"/> Macro-celda en entorno urbano Modelo base: <input type="radio"/> Close-in free space reference (CI) <input checked="" type="radio"/> Alpha-Beta-Gamma (ABG)	

Ilustración 42. Propiedades del método de cálculo. Fuente: Xirio Online.

Los siguientes parámetros 5G son específicos para la realización de la estimación individual de cobertura, por esta razón la configuración de slots se modificó a la opción 33, la numerología a 1 por la banda de frecuencia con la que está realizando el estudio como se observó en el capítulo 2.6.2. de este documento, para el MIMO DL se seleccionó modo 4X4 y para el MIMO UL se seleccionó el modo 2X4 (ver ilustración 43).



Parámetros 5G

Los siguientes parámetros son específicos para la realización de la estimación individual de cobertura. No se aplicarán al realizar un análisis detallado de capacidad/cobertura de toda la red 5G.

Planificador:

Configuración de slots: 33 (D:9/U:2/X:3)

Umbral de agregación: 5 dB

Numerología (μ): 1

Considerar ICIC en la estación

Umbral borde de celda: 0 dB

Parámetros Downlink:

Carga de tráfico: 70 %

MIMO DL: MIMO 4x4

SINR mínima para MIMO: 8.5 dB

Tipo de ganancia MIMO DL: Fija
 Variable
 Curva de eficiencia espectral

Ganancia MIMO DL: 1.48

Parámetros Uplink:

Incremento de ruido: 3 dB

Factor de ruido: 2 dB

Alfa (control de potencia): 1

P0 (control de potencia): -90 dBm

MIMO UL: MIMO 2x4

Tipo de ganancia MIMO UL: Fija
 Variable
 Curva de eficiencia espectral

Ganancia MIMO UL: 1.48

Ilustración 43. Parámetros 5G. Fuente: Xirio Online.

El resultado del estudio de cobertura es una mancha transparente formada por múltiples colores, los cuales representan el nivel de señal disponible en cada punto. En la ilustración 44 se puede observar las modificaciones realizadas en los colores de los niveles de la señal de la siguiente manera verde (buena señal), amarillo (regular señal) y rojo (mala señal).



Rangos de resultado

El resultado del estudio de cobertura es una mancha de transparencia formada por múltiples colores los cuales representan el nivel de señal disponible en cada punto. Modifique los colores y los niveles de señal asociados para obtener un resultado personalizado.

Rango de señal

Color	Rango	Descripción
Red	[-112.00 , -102.00) dBm	MALA
Yellow	[-102.00 , -92.00) dBm	REGULAR
Green	[-92.00 , Infinity) dBm	BUENA

Visualizar niveles de señal

Ilustración 44. Rangos de la señal. Fuente: Xirio Online.

En la ilustración 45, se observa el mapa de cobertura que arroja el conjunto de estudios de cada sector en las estaciones emisoras, que se utilizó para el primer diseño de cobertura dentro del caso urbano de Pamplona.

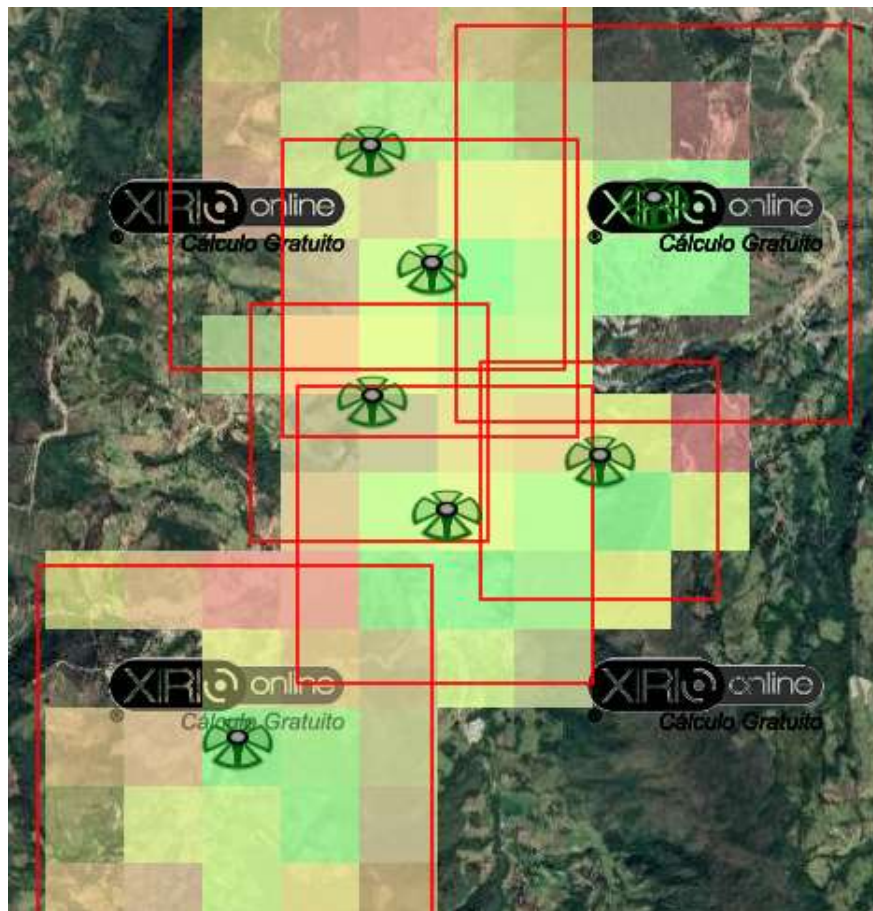


Ilustración 45. Mapa de cobertura el primer diseño 5G. Fuente: Xirio Online.

3.3.2. Radio Mobile

En el estudio de cobertura que se muestra a continuación, se realizó mediante la herramienta del Software Radio Mobile; en el cual se colocaron las coordenadas (ver ilustración 46) de ubicación de las estaciones transmisoras y del receptor.

Latitud	<input type="text" value="07"/>	°	<input type="text" value="22"/>	'	<input type="text" value="23,4"/>	"	<input type="text" value="N"/>	<input type="button" value="OK"/>
Longitud	<input type="text" value="072"/>	°	<input type="text" value="39"/>	'	<input type="text" value="05,7"/>	"	<input type="text" value="O"/>	<input type="button" value="Cancelar"/>
Latitud	<input type="text" value="7,37316"/>							
Longitud	<input type="text" value="-72,65158"/>							
QRA	<input type="text" value="FJ37QI"/>							

Ilustración 46. Propiedades de las unidades Tx y Rx. Fuente: Radio Mobile.

En la ilustración 47, se observa la configuración de los parámetros de la red como el nombre de la red según la ubicación de las estaciones base 4G, frecuencia mínima de operación (MHz), frecuencia máxima de operación (MHz), polarización de la antena, modo estadístico y el tipo de clima.

Ilustración 47. Parámetros de la red 5G. Fuente: Radio Mobile.

Para la topología de la red se eligió la red de datos, topología estrella (Maestro/Esclavo) por su capacidad de transmisión, flexibilidad y diseño de la red (ver ilustración 48).

Parámetros **Topología** Miembros Sistemas Estilo

Visible

Red de voz (Controlador/Subordinado/Repetidor)

Red de datos, Topología estrella (Master/Esclavo)

Red de datos, cluster (Nodo/Terminal)

Si una unidad es configurada como master, configurar todas las otras como esclavas

La unidad Esclava debe tener una antena direccional apuntando hacia un Mast

Ilustración 48. Topología de la red. Fuente: Radio Mobile.

En la ilustración 49, se observa la configuración de los sistemas de la red 5G; donde se colocó el nombre de cada sistema (BTS y CEL), potencia de transmisión, umbral de recepción, pérdida de la línea (cable + cavidades + conectores), tipo de la antena (viendo el patrón de radiación), ganancia de la antena, altura de la antena (sobre el suelo) y la pérdida adicional doble (si la altura de la antena difiere).

Parámetros Topología Miembros **Sistemas** Estilo

00 Seleccionar desde VHF ... UHF ...

Nombre del sistema BTS

Potencia del Transmisor (Watt) 17,5 (dBm) 42,4

Umbral del receptor (µV) 1 (dBm) -107

Pérdida de la línea (dB) 0,5 (Cable+cavidades+conectores)

Tipo de antena corner.ant Ver

Ganancia de antena (dBi) 25 (dBd) 22,85

Altura de antena (m) 24 (Sobre el suelo)

Pérdida adicional cable (dB/m) 0 (Si la altura de la antena difiere)

Agregar a Radiosys.dat Remover del Radiosys.dat

Parámetros Topología Miembros **Sistemas** Estilo

00 Seleccionar desde VHF ... UHF ...

Nombre del sistema CEL

Potencia del Transmisor (Watt) 0,1995262 (dBm) 23

Umbral del receptor (µV) 1 (dBm) -107

Pérdida de la línea (dB) 0,5 (Cable+cavidades+conectores)

Tipo de antena corner.ant Ver

Ganancia de antena (dBi) 0 (dBd) -2,15

Altura de antena (m) 1,5 (Sobre el suelo)

Pérdida adicional cable (dB/m) 0 (Si la altura de la antena difiere)

Agregar a Radiosys.dat Remover del Radiosys.dat

Ilustración 49. Sistemas de la red Tx y Rx. Fuente: Radio Mobile.

En la ilustración 50, se muestra la configuración de los miembros de la red 5G en la⁷⁶ estación base Almeida igual que las otras seis estaciones bases; las cuales se configuró en el rol de miembro de nodo con el sistema BTS y la dirección de la antena hacia el CEL, el terminal móvil se configuró en el rol de terminal con el sistema CEL y la dirección de la antena hacia BTS de la Almeida.

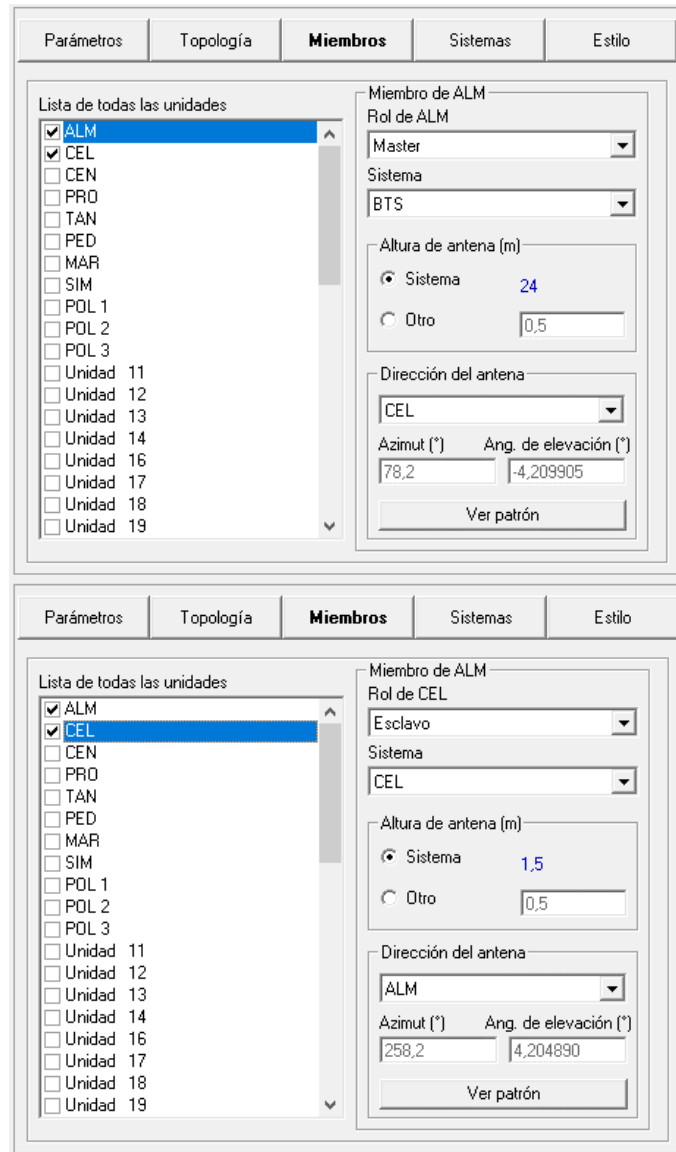


Ilustración 50. Miembro de la red Tx y Rx. Fuente: Radio Mobile.

A continuación, en la ilustración 51 se observa la línea de vista entre el transmisor y el receptor; donde se evidencia que no hay obstáculos ni interferencias y el nivel de la señal en el receptor es buena para la ubicación del usuario con respecto a la estación base.

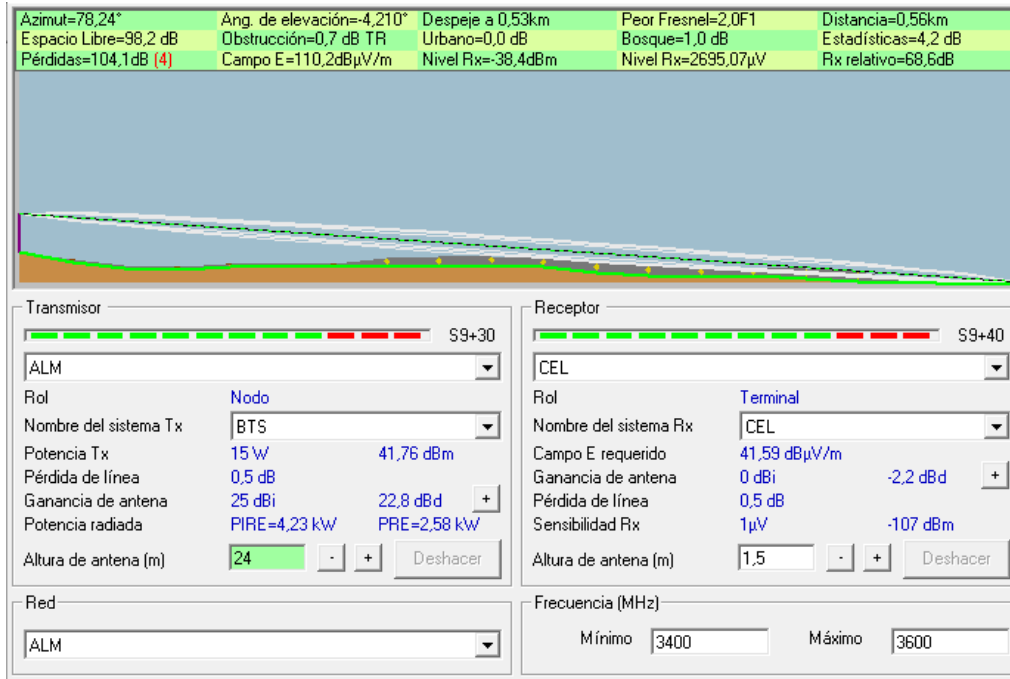


Ilustración 51. Línea de vista entre Tx y Rx. Fuente: Radio Mobile.

Para dibujar la cobertura de radio polar como se ve en la ilustración 52, se seleccionó la unidad central (BTS Almeida), la unidad móvil (CEL) y la red (Almeida), la dirección del enlace (Centro TX al Móvil Rx), el alcance en Km (mínimo y máximo), el umbral de recepción en dBm y los colores del arcoíris con los niveles de recepción (buena, regular y mala).

Ilustración 52. Dibujar la cobertura de Radio polar. Fuente: Radio Mobile.

Por último, se encuentra la ilustración 53 donde se puede observar el área de cobertura que irradian todas las estaciones bases dentro del caso urbano de Pamplona.

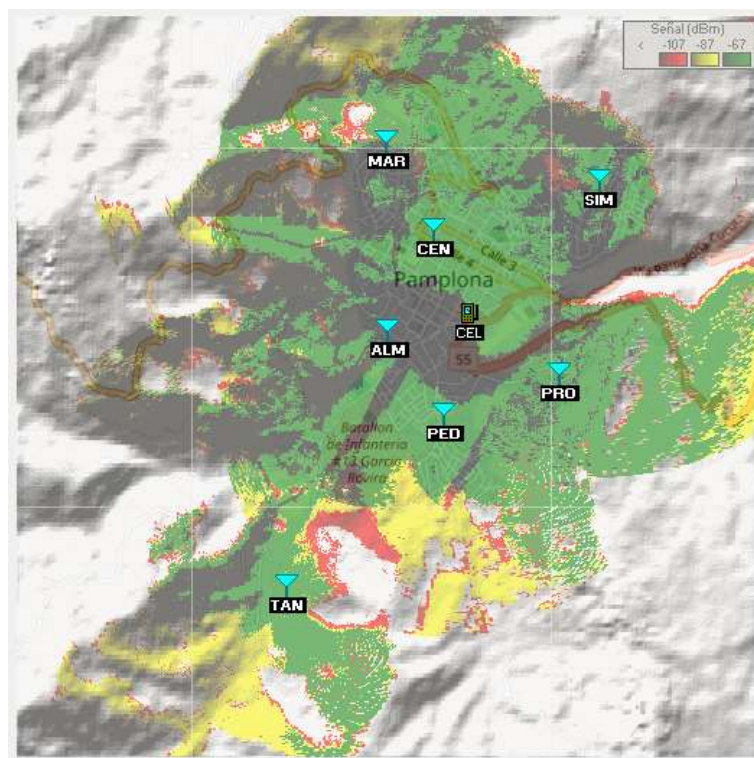


Ilustración 53. Mapa de cobertura de primer diseño 5G. Fuente: Radio Mobile.

3.4. Simulación del segundo diseño

3.4.1. Xirio Online

La simulación del segundo diseño en Xirio Online se basó en el mapa de cobertura del primer diseño de este software; implementado en los lugares donde se encontró ausencia de señal o niveles de señal regular y se colocaron los sitios 5G en postes de altura de 15m a nivel del terreno con antenas sectoriales (ver ilustración 54) y las coordenadas geográficas de los tres sitios se encuentra en la tabla 14.



Ilustración 54. Ubicación de los sitios poste 5G en el mapa satelital del software Xirio Online. Fuente: Xirio Online.

Tabla 14. Ubicaciones geográficas de los postes sitios 5G

Nombre del sitio	Coordenadas	Numero de sectores
Pole 1	07°21'43.82''N 072°39'48.20''O	2
Pole 2	07°21'46.42''N 072°38'55.79''O	3
Pole 3	07°21'10.78''N 072°39'36.79''O	1

Se configuraron las propiedades del diagrama de radiación y propiedades de la antena,⁸⁰ de acuerdo con las especificaciones de la antena Huawei AF9E del fabricante Commscope (ver tabla 13); mientras el modelo de propagación, los parámetros del terminal y los parámetros de 5G, se mantiene igual que el primer diseño (ver ilustración 55).

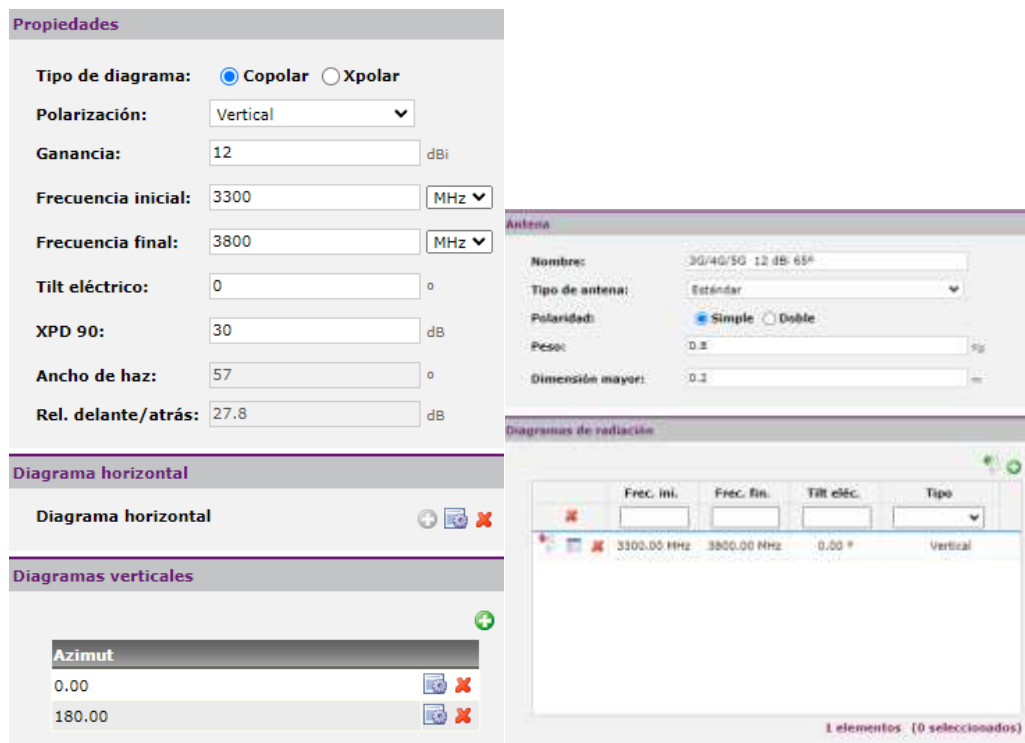


Ilustración 55. Propiedades del diagrama de radiación y de la antena Tx. Fuente: Xirio Online.

De la simulación se obtuvo un mapa de cobertura, el cual cubre con toda el área del casco urbano de Pamplona y con un óptimo nivel de señal receptora en el terminal móvil como se observa en la ilustración 56.

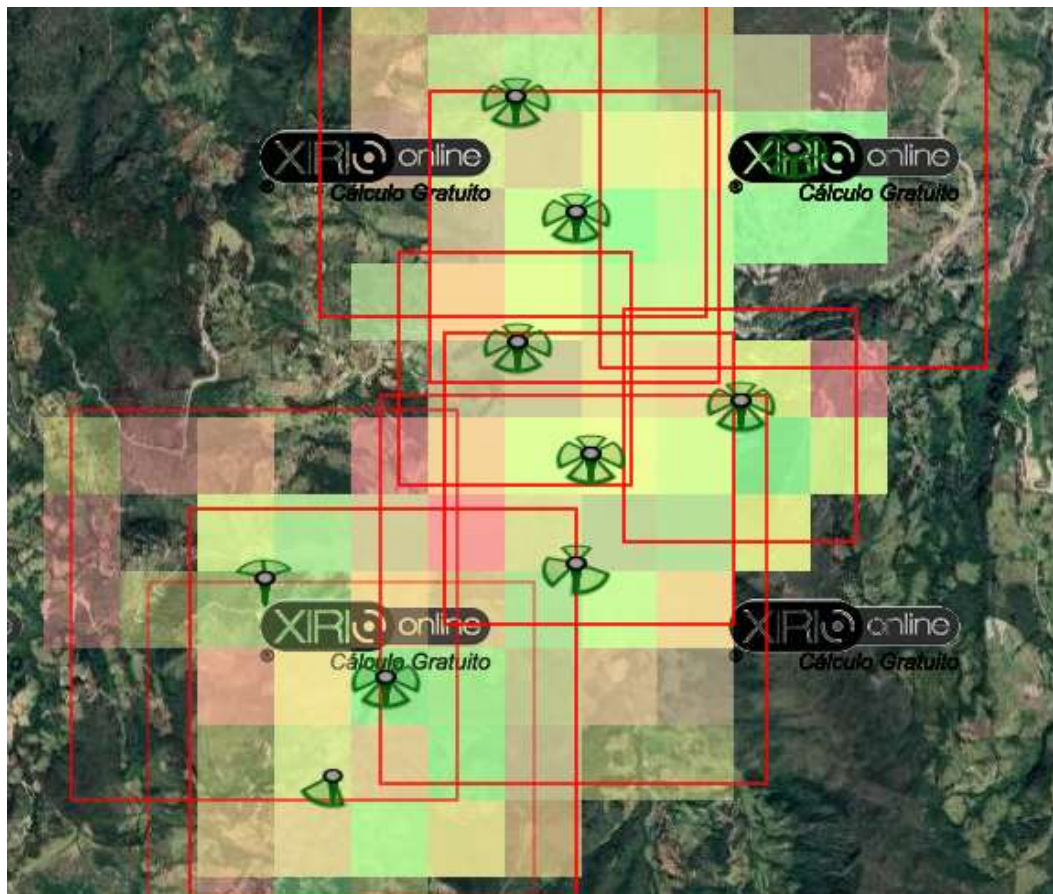


Ilustración 56. Mapa de cobertura del segundo diseño 5G. Fuente: Xirio Online.

3.4.2. Radio Mobile

Para la simulación del segundo diseño, se agregaron los sitios de postes 5G en los lugares donde el mapa de cobertura simulada en Radio Mobile del primer diseño la señal era regular (ver ilustración 53). Cada sitio que se colocó se puede ver en la ilustración 57, son tres unidades con el nombre de POL1, POL2 y POL3 respectivamente.

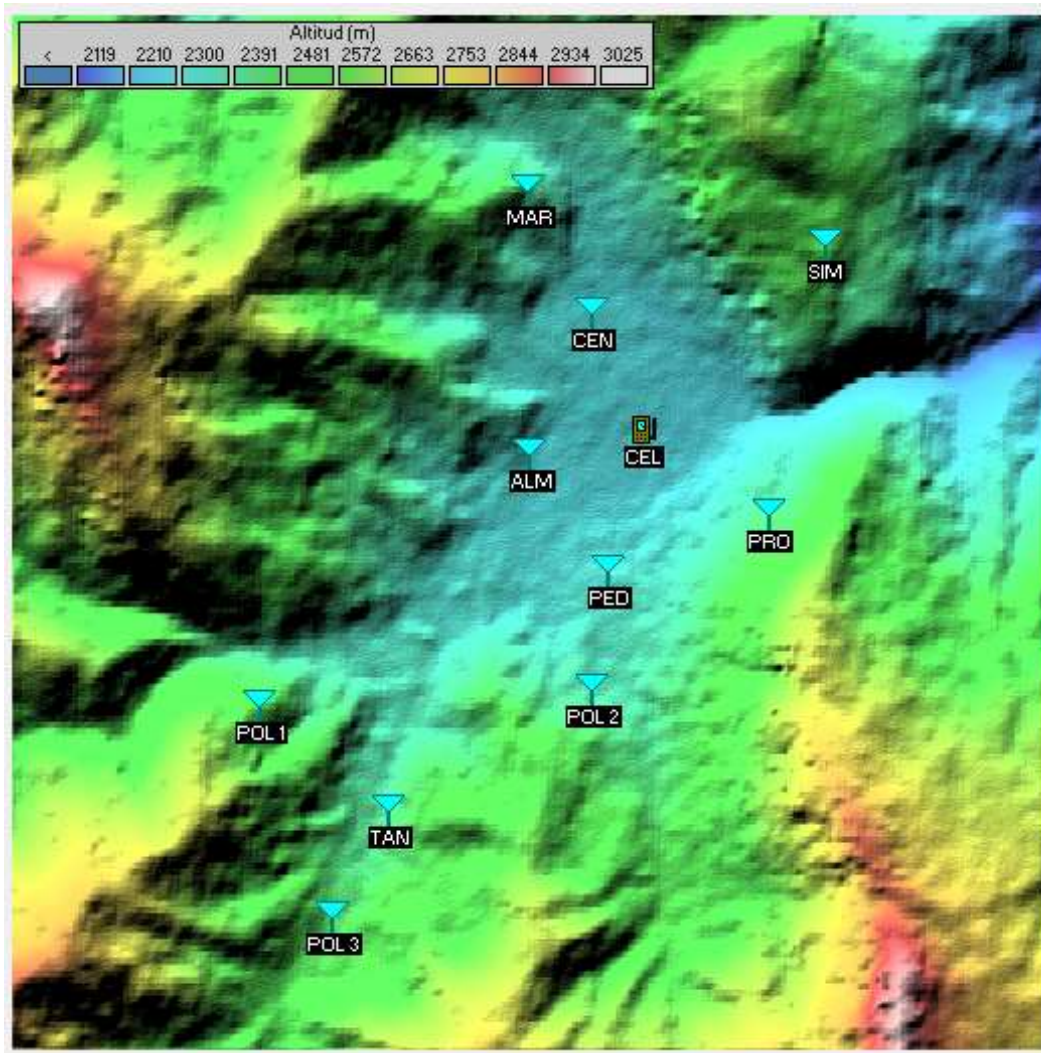


Ilustración 57. Ubicación de los postes sitio 5G. Fuente: Radio Mobile.

En las propiedades de las redes, se configuró los parámetros de frecuencia mínima y máxima con la que opera la antena (MHz), la altura a nivel del terreno de la antena (m), la ganancia que tiene la antena en las especificaciones y la polarización de la antena como se ve en la ilustración 58.

Parámetros	Topología	Miembros	Sistemas	Estilo
<input type="text" value="00"/> <input type="text" value="Seleccionar desde VHF ... UHF ..."/>				
Nombre del sistema		<input type="text" value="POL"/>		
Potencia del Transmisor (Watt)	<input type="text" value="17.5"/>	(dBm)	<input type="text" value="42.4"/>	
Umbral del receptor (μ V)	<input type="text" value="1"/>	(dBm)	<input type="text" value="-107"/>	
Pérdida de la línea (dB)	<input type="text" value="0.5"/>	(Cable+cavidades+conectores)		
Tipo de antena	<input type="text" value="corner.ant"/>	<input type="button" value="Ver"/>		
Ganancia de antena (dBi)	<input type="text" value="12"/>	(dBd)	<input type="text" value="9.85"/>	
Altura de antena (m)	<input type="text" value="15"/>	(Sobre el suelo)		
Pérdida adicional cable (dB/m)	<input type="text" value="0"/>	(Si la altura de la antena difiere)		
<input type="button" value="Agregar a Radiosys.dat"/>		<input type="button" value="Remove del Radiosys.dat"/>		

Parámetros	Topología	Miembros	Sistemas	Estilo
Nombre de la red		<input type="text" value="POL 1"/>		
Frecuencia mínima (MHz)	<input type="text" value="3300"/>	Refractividad de la superficie (Unidades-N)	<input type="text" value="301"/>	
Frecuencia máxima (MHz)	<input type="text" value="3800"/>	Conductividad del suelo (S/m)	<input type="text" value="0.005"/>	
Polarización <input checked="" type="radio"/> Vertical <input type="radio"/> Horizontal		Permitividad relativa al suelo	<input type="text" value="15"/>	
Modo estadístico <input type="radio"/> Intento % de tiempo <input type="text" value="50"/> <input type="radio"/> Accidental % de ubicaciones <input type="text" value="50"/> <input checked="" type="radio"/> Móvil % de situaciones <input type="text" value="70"/> <input type="radio"/> Difusión		Clima <input checked="" type="radio"/> Ecuatorial <input type="radio"/> Continental sub-tropical <input type="radio"/> Marítimo sub-tropical <input type="radio"/> Desierto <input type="radio"/> Continental templado <input type="radio"/> Marítimo templado sobre la tierra <input type="radio"/> Marítimo templado sobre el mar		

Ilustración 58. Parámetros y sistemas de los postes sitios 5G. Fuente: Radio Mobile.

En la ilustración 59, se muestra el mapa de cobertura del segundo diseño 5G simulado en el software Radio Mobile y que cumple con el área deseada que se encuentra dentro del casco urbano de Pamplona.

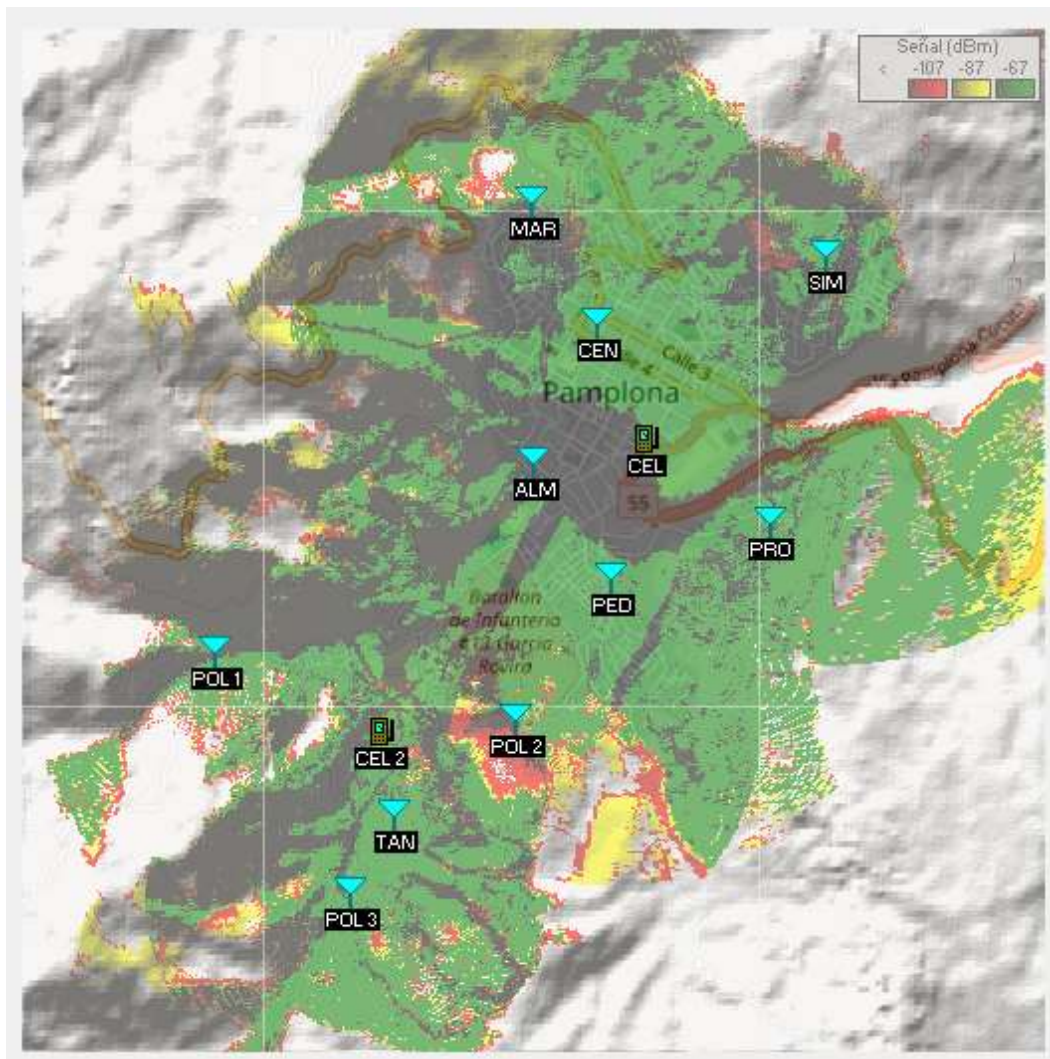


Ilustración 59. Mapa de cobertura del segundo diseño 5G. Fuente: Radio Mobile.

3.5. Comparación entre los dos modelos de propagación PL

Los parámetros para los seis escenarios de macro celda urbana se encuentran en la tabla 15

Tabla 15. Parámetros de escenario UMa.

Parámetros	UMa
Frecuencia	3,5GHz
Altura de la Bs	25m
Diseño de celda	4 sectores por sitio
Altura del U _T	1,5m
Tamaño de la celda	100-800m

A continuación, se reemplaza los valores en los modelos de propagación de este libro 85

visto en el capítulo 2.7. donde se especifica el valor de cada variable y lo que significa cada una de ellas

- **Modelo ABG**

$$PL(dB) = 20 \alpha \log(d) + \beta + 10\gamma(f) + X_\sigma$$

La d se está definida

$$d = \sqrt{(h_{BS} - h_{UT})^2 + d_P^2}$$

$$d = \sqrt{(25 - 1,5)^2 + 100^2}$$

$$d = 102.72414$$

$$PL(dB_{100}) = 20(3,4) \log(102.72414) + 19,2 + 10(2,3)(3,5) + 6,5$$

$$PL(dB_{100}) = 136.79373 + 19,2 + 80,5 + 6,5$$

$$PL(dB_{100}) = 242,99373$$

En la tabla 16 se encuentra los cálculos obtenidos en cada 100m

Tabla 16. Valores del modelo ABG.

Distancia (m)	Valor del modelo ABG (dB)
100	242,99373
200	262,8726
300	274,7346
400	283,19096
500	289,76254
600	295,13692
700	299,6833
800	303,623

3.6. Análisis de los mapas de cobertura

Se evidencio en los dos mapas de cobertura (Xirio Online y Radio Mobile) que el primer diseño no cumple los parámetros de una red móvil celular, ya que debe garantizar cobertura en toda el área urbana de la ciudad y se observa que en la parte donde se encuentra con las montañas, el nivel de la señal de recepción baja. Por eso se planeó el segundo diseño con la utilización de sitios de poste 5G, para esos puntos donde sea necesario.

En el segundo diseño, los mapas de coberturas fue el que se deseaba obtener, pero el contraste de los resultados entre ellos fue por el modelo de propagación que se usó en cada uno de los softwares; en Xirio Online utilizamos el modelo de AGB que depende del tipo de escenario y los parámetros que se estén utilizando en el modelo, a diferencia de Longley-Rice que depende de las irregularidades del terreno con junto al perfil del terreno además de los parámetros generales del modelo.

3.7. Recomendaciones de la migración de red móvil 4G a 5G⁸⁷

En Colombia se está dando el paso para el despliegue de la tecnología 5G, la cual trabaja en las bandas de frecuencias por encima de los 3GHz y hasta los 28GHz; ya que se está dando avances tan agigantados en tecnologías, el programa de Ingeniería en Telecomunicaciones con alta calidad y perteneciente a una institución calificada en alta calidad como lo es la Universidad de Pamplona. Debe adquirir equipos de medición para estos rangos de frecuencias y así estudiar su comportamiento de los diferentes escenarios de despliegues en futuros estudios investigativos y de aula de clase.

Los dos diseños de cobertura que se realizaron en el software Xirio Online, el cual cuenta con el método de propagación propuesto por 3GPP y los parámetros necesarios para la simulación de redes 5G, pero una limitante es la versión gratuita, ya que el mapa que se obtiene con una resolución que no es suficiente para visualizar detalles del mapa, que son importante para la simulación. Debido al costo de esta utilidad que ofrece esta herramienta, con cálculos a óptima resolución, se recomienda la compra del paquete que ofrece Besttelecom S.A.S. que se encuentra en el capítulo 3.2.3. de este documento, para que en próximos estudios que realice el programa de Ingeniería en Telecomunicación o afines puedan disponer de todas las herramientas de simulación de redes y cartografía para todo tipo de tecnología que ofrece este software.

La ciudad de Pamplona en este momento que se está en construyendo muchos más edificios y ya que 5G trabaja en una banda de frecuencia en la cual se pierde con la obstrucción en los edificios, se recomienda masificar la implementación de sitios de postes 5G que trabajan en la frecuencia 3,5GHz, su cobertura es proporcional a la calidad del servicio y su despliegue es mucho más sencillo que los sitios comunes a los que se están acostumbrados implementar en anteriores tecnologías.

Conclusiones

- La característica más importante de la tecnología de quinta generación NR, es el uso de nuevas bandas de frecuencias, que mejoran el ancho de banda de transmisión y por ende los notales aumentos en la velocidad que es casi de 10 veces mayor que la tecnología existente 4G.
- La escalabilidad que posee la arquitectura de quinta generación en la primera fase NSA, el cual permite que 5G utilice la infraestructura física, núcleo y celdas de la tecnología 4G; además que se puede ser desplegada en todo tipo de escenario, (zonas rurales, pueblos con baja densidad de edificaciones, ciudades con muy alta densidad de edificaciones) y que gracias a la división lógica de BBU se puede tener el servicio eMMB en esta fase.
- Entre las tecnologías 4G y 5G existe similitudes significativas entre ellas, se encuentran en la multiplexación OFDM; la cual permite tener un gran ancho de banda para los datos, dotándola de la flexibilidad el ancho de banda y confinando el espectro en múltiples servicios con la misma portadora. El acceso múltiple para NR al igual que LTE admite la separación del enlace descendente y ascendente, tanto en el tiempo (TDD) y/o frecuencia (FDD) y están sujetado a la operación semidúplex o full dúplex.
- Con el aumento del rango de radiofrecuencia en el que opera la tecnología 5G (700MHz a 30 GHz), la numerología va ascendiendo a medida que las frecuencias son más altas y el ancho de las subportadoras son mucho más ancha debido a que son menos susceptibles al ruido. Mediante la numerología se controla el número de intervalos por subtrama y el número de símbolos por subtrama; los símbolos son de tres tipos (Downlink, Uplink y

Flexible); esto hace que mejore notablemente la eficiencia espectral, la velocidad de⁸⁹ navegación y la coexistencia con las demás tecnologías.

- Los despliegues comerciales a nivel mundial y suramericano de 5G, más las pruebas pilotos en el territorio colombiano; está claro que con la llegada de 5G todos los que logren estar en la evolución de esta tecnología tendrán las ventajas y los beneficios tanto tecnológicos como económicos que ofrece los diferentes servicios de esta nueva generación.
- El modelo de propagación que se utilizó para las dos simulaciones de los diseños de la red móvil 5G en el Software Xirio Online fue el recomendado por 3GPP TR 38.901; ABG es un método que está diseñado para sistemas de comunicaciones inalámbricos en escenarios urbanos de micro o macro celda. Y para las simulaciones de los diseños de Radio Mobile fue empleado el método de Longley-Rice que es el que viene determinado para el software.
- El diseño se basó en la conectividad dual de 4G y 5G, también conocida como ENDC (E-UTRAN New Radio-Dual Connectivity), la cual se trata en el núcleo LTE y la red de acceso de radio NR; esta combinación proporciona una mayor área de cobertura, velocidad de datos mejoradas y capacidad masiva de dispositivos conectados. La expansión de la red 5G es eminente, tanto para escenarios con radio de cobertura de macro celda y también para celdas pequeñas; las cuales son desplegadas en faroles, postes de luz, telefonía e inteligentes.
- El resultado de los mapas de cobertura de los dos diseños, se evidencio de la operatividad de los equipos de radio que están diseñados bajo las especificaciones y características que debe cumplir la tecnología 5G NR. La unión de los diferentes escenarios de despliegue contribuyó a que se llegara al resultado esperado.

Bibliografía

- 3gpp. (26 de Abril de 2019). *The mobile broadband standard*. Obtenido de <https://www.3gpp.org/release-15#:~:text=The%20Mobile,Standard&text=After%20initial%20delivery%20in%20late,3GPP%20submission%20towards%20IMT%2D2020>.
- 3gpp. (s.f.). *Iee Spectrum* . Obtenido de <https://spectrum.ieee.org/telecom/wireless/3gpp-release-15-overview>
- Alvarez., M. (2015). *Cursso LTE*. Madris.: Universidad Politécnica de Madrid.
- ANE. (2018). *Resolucion 0774* . Bogota: N.A.
- Aptica. (09 de Septiembre de 2021). *Xirio Online*. Obtenido de <https://www.xirio-online.com/web/secure/LoginXirio.aspx>
- Aptica. (N.A. de N.A. de N.A.). *Xirio Online*. Obtenido de https://www.xirio-online.com/web/help/es/index.htm?lte_scheduler.htm
- Association, S. I. (N.A.). *5G Wireless Infrastructure Semiconductor Analysis*.
- Ávila, A. (21 de Junio de 2020). *Unocero*. Obtenido de <https://www.unocero.com/smartphones/que-es-5g-nsa-sa-sub-6-mmwave/>
- BBVA. (27 de Agosto de 2019). *BBVA Tecnología*. Obtenido de <https://www.bbva.com/es/redes-5g-cuales-son-sus-ventajas-sobre-el-4g/>
- Brayan Ruiz, O. G. (2020). *Análisis y comparación de la interfaz de radio de las redes de comunicaciones móviles celulares de 4G y 5G*. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Brito, J. (2019). *Evolución de las redes moviles hasta hoy en dia y el impacto de la red móvil de quinta generación*. Sinaloa: Universidad Autonoma de Sinaloa.
- C, P. (s.f.). *Pedroc.co.uk*. Obtenido de <https://www.pedroc.co.uk/content/ee-5g-masts>
- C, P. (s.f.). *pedroc.co.uk* . Obtenido de <https://www.pedroc.co.uk/content/vodafone-5g-masts>
- Carrillo, F. (10 de Septiembre de 2020). *Roams telefonía* . Obtenido de <https://roams.es/companias-telefonicas/orange/cobertura/5g/>
- Cevallos, S. (2018). *Determinación del tamaño muestral basado en el rendimiento del modelo de propagación Longley-Rice en la frontera nororiente del Ecuador*. Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas.
- Ciena. (N.A.). 5G Glossary of Terms. *Ciena*, 7.
- Claro. (27 de Agosto de 2020). *Claro Colombia*. Obtenido de <https://www.claro.com.co/personas/soporte/mapas-de-cobertura/>
- Claro, O. (19 de Noviembre de 2020). *Claro*. Obtenido de <https://www.claro.com.co/institucional/implementacion-de-tecnologia-5g/>
- Cobertura y capacidad en redes 2G, 3. y. (2019). *Doni Constain*. Armenia.
- Col, C. (20 de Febrero de 2018). *Claro* . Obtenido de <https://www.claro.com.co/institucional/4g-mas-veloz/>
- Colombia, C. (N.A. de N.A. de 2020). *Claro*. Obtenido de <https://www.claro.com.co/empresas/sectores/noticias-interes/5g-colombia/>
- Commscope. (2021). *SSP 65T F V3*. N.A.: N.A.

- Comunicaciones, C. d. (2019). Análisis y Hoja de Ruta regulatoria para su modernización . 91
Redes móviles en Colombia, 108.
- comunicaciones, M. d. (2020). *Asignación del espectro para uso de pruebas técnicas 5g*. Bogotá: MinTic.
- Comunicaciones, M. d. (24 de Abril de 2020). *Colombia TIC*. Obtenido de <https://colombiatic.mintic.gov.co/679/w3-article-135691.html>
- Comunicaciones, M. d. (02 de Abril de 2020). *MinTic*. Obtenido de <https://www.mintic.gov.co/portal/inicio/Sala-de-Prensa/Noticias/126447:MinTIC-publica-convocatoria-para-el-desarrollo-de-pilotos-5G-en-Colombia>
- comunicaciones, M. d. (2020). *Resolución número 001039*. Bogotá: MinTic.
- Constain., D. (N.A.). *Cobertura y capacidad en redes 2G, 3G y 4G*. Armenia: N.A.
- Consulting, B. M. (2020). 5G y el rango 3,3-3,8GHz en America Latina. *GSMA*, 48-53.
- Consulting, B. M. (2020). 5G y el rango 3,3-3,8GHz en America Latina. *GSMA* , 3.
- Delgado, E. (2016). *Optimización de la recomendación ITU-RP.1812-3, para la predicción de pérdidas de propagación en sistema de televisión digital terrestre*. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Delgado., D. (2020). *Evaluación de redes móviles 5G en entornos con aplicaciones IoT*. Cataluña.: Universidad Abierta de Cataluña.
- Díaz Vilches, V. A. (2018). *Implementación de los modelos de propagación de gran escala entre 0.5GHz y 100GHz de acuerdo a las especificaciones del 3gpp para aplicaciones móviles 5g*. Lima.
- Douglas, S. (21 de Octubre de 2019). *Spirent*. Obtenido de <https://www.spirent.com/blogs/breakthrough-5g-experiences-exploring-fronthauls-role>
- ETSI. (2018). *User Equipment (UE) radio transmission and reception*. N.A.: 3GPP 5G.
- Fernández, D. (12 de Julio de 2018). *Think big / Empresas*.
- García, P. (2006). *Manual de uso de Radio Mobile*. N.A.: N.A. .
- Gemalto. (12 de Noviembre de 2019). *Gemalto*. Obtenido de <https://www.gemalto.com/latam/telecom/inspiracion/5g>
- Goñi, C. A. (2020). *Despliegue de sistema de comunicaciones ópticas en emplazamiento situado en cliente Empresa para implementación de la tecnología 5G*. Sevilla: Universidad de Sevilla .
- GSM, A. (2019). La economiá móvil en América Latina 2019. *GSMA Intelligence* , 9.
- GSMA. (28 de Marzo de 2019). *GSMA*. Obtenido de <https://www.gsma.com/futurenetworks/wiki/5g-implementation-guidelines/>
- Gsma. (2021). *La economía movil* . Londres: Gsma Head Office.
- Helix, E. (10 de Diciembre de 2017). *Medium* . Obtenido de <https://medium.com/5g-nr/5g-nr-the-new-radio-interface-for-5g-2b769a59ea80>
- Heraldo. (11 de Junio de 2019). *Heraldo.es*. Obtenido de <https://www.heraldo.es/noticias/sociedad/2019/06/10/que-es-el-5g-y-cuales-son-sus-ventajas-1319555.html>
- Huawei. (s.f.).
- Huawei. (2019). 5G Ultra-Lean Site. *White Paper*, 1-28.
- Huawei. (2019). *Partnering with the industry for 5g security assurance* . Bantian: Huawei Technologies Co.
- Huawei. (2019). The 5G Ultra-Lean. *White Paper*, 2.

- HUB, E. T. (31 de Marzo de N.A.). *5G HUB* . Obtenido de <https://5ghub.us/5g-en-dc-architecture-and-interfaces/>
- Ingeniería., F. d. (N.A.). *Redes móviles de Tercera*. Mexico.: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Intel. (2018). *5G NR-Driving wireless evolution into new vertical domains*. Usa.
- Intel, O. G. (09 de Febrero de 2018). *International Olympic Committee*. Obtenido de <https://olympics.com/ioc/news/fans-of-the-olympic-winter-games-2018-to-experience-world-s-first-broad-scale-5g-network>
- ITU. (2017). Abrir sendas hacia 5g. *ItuNews Magazine*, 17.
- Larsson, E. G. (2017). *Massive MIMO for 5G* . Reino Unido.
- Lopes, M. (27 de Febrero de 2020). *Digital trend es*. Obtenido de <https://es.digitaltrends.com/celular/que-es-la-red-5g/>
- Lopez, I. (2020). *Valor agregado que aportan los beneficios tecnologías de una red 5G y casos practicos de aplicaciones que pudieran ser implementadas por WOM S.A. en la region metropolitana*. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- Luis Peñafiel, F. C. (2016.). *La convivencia de la tecnología 4G con 4G y 2G en Ecuador*. N.A.: Investigatio.
- Lumbaque, G. (2021). *Cotizacion*. N.A.: Besttelecom.
- Mezquita, J. (2013). *Estudio y analisis de las herramientas para el cálculo de cobertura raadioeléctrica Linkplanner, RadioGis y Xirio Online*. Gandia: Univeridad Politecnica de Valencia.
- Miguel Mayorga, E. E. (2020). 5G en America: Antecedentes y analisis de despliegue. *Universidad Militar Nueva Granada*, 8-10.
- MinTic. (2019). *Plan 5G*.
- N.a. (N.A.). *Diseño de una red de transmisión de acceso UMTS (UTRAN) con Radio Mobile*. N.A.: N.A. .
- Nelson Pérez, J. H. (2011). Modelo de propagación en las ciudaes de Mérida(Venezuela) y Cúcuta(Colombia) para redes wlan, operando en 2,4GHz, en ambientes exteriores. *Univesidad, Ciencia y Tecnología*, 56.
- News, I. (12 de Febrero de 2018). *ITU Nes*. Obtenido de <https://news.itu.int/kt-showcase-5g-olympics/>
- news, T. (21 de Febrero de 2018). *Vodafone*. Obtenido de <https://www.vodafone.com/news/technology/5g-nsa-standard>
- Nohrborg, M. (2008). *3gpp global initiative*.
- Operador Movil Claro. (01 de Diciembre de 2020). *Claro*. Obtenido de <https://www.claro.com.co/institucional/redes-5g/>
- Orgaz, C. J. (31 de Mayo de 2019). 3 Grandes ventajas que traerá la tecnología 5g y que cambiarán radicalmente nuestras experiencia en internet. *BBC News Mundo*.
- Pérez, N. (28<https://roams.es/companias-telefonicas/blog/telefonía/cobertura-5g/> de Octubre de 2020). *Roams telefonía*.
- Pertinez, I. (2015). *Planificación radioeléctrica de una red de comunicaciones móviles LTE en Sevilla con Xirio Online*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Peru, C. (22 de Mayo de 2019). *Claro* . Obtenido de <https://www.claro.com.pe/institucional/centro-de-prensa/claro-pruebas-5g/>

- Pillco, R. (2011). *Implementacion de un sistema de telefonía celular en la población la Mamor-Tarija*. La Paz: Universidad Mayor e San Andres.
- POCO. (N.A. de N.A. de N.A.). *Xiomi*. Obtenido de <https://www.poco.co/es/product/poco-m3-pro-5g/specs>
- Population.City. (2015). *City Populations WorldWide*. Obtenido de [http://poblacion.population.city/colombia/pamplona/#:~:text=Responder%3A%20Pamplona%2C%20Colombia%20\(unidad,2020%20ser%C3%ADa%3A%2059%20432*](http://poblacion.population.city/colombia/pamplona/#:~:text=Responder%3A%20Pamplona%2C%20Colombia%20(unidad,2020%20ser%C3%ADa%3A%2059%20432*).
- Poynting. (28 de Mayo de 2021). *Poynting making wireless happen*. Obtenido de <https://poynting.tech/pt/articles/signal-strength-measure-rsrp-rsrq-and-sinr-reference-for-lte-cheat-sheet/>
- Qualcomm. (N.A. de N.A. de 2017). *Qualcomm*. Obtenido de <https://www.qualcomm.com/5g/what-is-5g>
- Qualcomm. (2019). *Future of 5G*.
- Riaño, R. (2020). *Implementación de un prototipo de estación base 5G mediante la transmisión con USRP's*. Valencia: Universidad Politecnica de Valencia.
- Rueda Francisco, J. G. (2016). *Modelos de propagación para comunicaciones móviles 4g y 5g*. Lima.
- Sbani Rincon, A. G. (2008). *Fundamentos de las comunicaciones móviles*. Cartagena : Universidad Tecnología de Bolívar.
- Tabbane, S. (2019). *5g networks and 3gpp release 15*. Nadi.
- Technologies, H. (N.A.). *Massive MIMO AAU5613*. N.A.: N.A.
- Technologies, K. (2020). *Engineering the 5G world*. Usa.
- Thales, G. (2019). *Thales*. Obtenido de <https://www.thalesgroup.com/es/countries/americas/latin-america/dis/movil/inspiracion/5g>
- Tyco, s. (17 de Junio de 2019). *Johson controls blog*. Obtenido de <https://blogseguridad.tyco.es/noticias/ventajas-de-5g/>

Glosario

en-gNB: Nodo que proporciona terminaciones de protocolo del plano de usuario y del plano de control de la 5G NR hacia el UE, y que actúa como nodo secundario en el Acceso a Radio Terrestre Evolucionado-Universal-Nuevo Radio (EN-DC).

Conectividad dual EN-DC E-UTRA (LTE) a 5G NR: Una arquitectura en la que tanto el eNodeB de LTE como el gNB de NR se desplegarán conjuntamente, permitiendo al UE establecer simultáneamente dos portadores de radio, cada uno de ellos a los respectivos NodeB.

NSA (5G Non-Standalone Architecture): Forma temprana de redes 5G, en la que la red se apoya en la infraestructura 4G existente. La señalización de control está anclada al EPC de 4G.

5G NR (New Radio): El estándar de radio de quinta generación del Proyecto de Asociación de Tercera Generación (3GPP) que aprovecha las ondas milimétricas, las células pequeñas mejoradas, la entrada masiva y la salida masiva (MIMO), la formación de haces, el espectro con o sin licencia y las tecnologías inalámbricas full-duplex.

3GPP (3rd Generation Partnership Project): Grupo de siete organizaciones de desarrollo de estándares de telecomunicaciones (ARIB, ATIS, CCSA, ETSI, TSDSI, TTA, TTC), conocidas como Socios Organizativos; proporciona a sus miembros un entorno estable para producir informes y especificaciones que definen las tecnologías de redes de telecomunicaciones celulares, incluyendo el acceso por radio, la red de transporte central y las capacidades de servicio.

C-RAN (red de acceso a la radio centralizada/en la nube): Centralización y virtualización del procesamiento de la BBU de 4G o de la unidad centralizada (CU) de 5G, que mejora la coordinación de las células, la programación, la agrupación de recursos y el equilibrio de la carga.

BBU (Baseband Unit): Unidad de los sistemas de telecomunicaciones que procesa las señales⁹⁵ de banda base y puede desplegarse de forma distribuida (D-RAN) o centralizada/nube (C-RAN).