

# Planificación de una red de acceso 5G en Poblete (Ciudad Real).

UOC

Universitat Oberta  
de Catalunya

---

**David García Consuegra**

Máster Universitario en  
Ingeniería de  
Telecomunicación

Área TFM: Sistemas de  
comunicación

**Tutor/a de TFM**

Rubén Molina Casanovas

**Profesor/a responsable de  
la asignatura**

Carlos Monzo Sánchez

**10/06/2024**



Esta obra está sujeta a una licencia de Reconocimiento NoComercial-SinObraDerivada [3.0 España de Creative Common](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/)

# Ficha del Trabajo Final

<b>Título del trabajo:</b>	Planificación de una red de acceso 5G en Poblete (Ciudad Real).
<b>Nombre del autor/a:</b>	David García Consuegra
<b>Nombre del Tutor/a de TF:</b>	Rubén Molina Casasnovas
<b>Nombre del/de la PRA:</b>	Carlos Monzo Sánchez
<b>Fecha de entrega:</b>	10/06/2024
<b>Titulación o programa:</b>	Máster Universitario en Ingeniería de Telecomunicación
<b>Área del Trabajo Final:</b>	Sistemas de comunicación.
<b>Idioma del trabajo:</b>	Castellano.
<b>Palabras clave</b>	5G, Poblete, XIRIO, cobertura.

## Resumen del Trabajo

El presente trabajo fin de máster pretende estar alineado con el objetivo del Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital del Gobierno de España para impulsar el despliegue del 5G en zonas rurales. Su finalidad es servir como una pequeña guía en la planificación de una red de acceso radio de nueva generación mediante la tecnología 5G en un pequeño pueblo de la provincia de Ciudad Real llamado Poblete.

Se introducirán previamente, otras tecnologías celulares existentes en Poblete, como son: 2G, 3G, LTE, etc., para acabar describiendo las características, ventajas, aplicaciones, arquitectura del 5G y situación actual y futura del despliegue de esta tecnología.

Para la planificación de la red de acceso 5G, se seleccionarán las antenas y materiales necesarios para la implementación de la cobertura móvil 5G, se estudiará el terreno donde se localiza Poblete, se calcularán diversos parámetros necesarios para configurar XIRIO Online y finalmente se realizará el estudio de cobertura 5G usando la aplicación anterior.

Los resultados y conclusiones de este trabajo derivarán en posibles trabajos futuros en la planificación de cualquier red de acceso 5G en zonas rurales.

## Abstract

This Master's Dissertation pretend to be aligned with the objective of the Ministry of Economic Affairs and digital transformation of Spanish government to promote the deployment 5G in rural areas. The purpose of this Master's Dissertation is to use as a small guide of planning a new generation radio access network using 5G technology in a small village called Poblete in the Ciudad Real province.

In this Master's Dissertation will be previously introduced other existing technology in Poblete about cellular communications, such as: 2G, 3G, 4G...Finally, it will be described characteristics, advantages, uses, 5G architecture and the current and future situation of this technology deployment.

For the 5G radio access network planning, necessary materials and antennas will be selected to 5G coverage implementation and finally, it will be made a study of 5G coverage with XIRIO Online application.

The results and conclusions of this thesis will lead to a future thesis about planning of others 5G access network in rural areas.

# Índice

<b>1.</b>	<b><i>Introducción</i></b> .....	<b>1</b>
1.1.	Contexto y justificación del trabajo.....	1
1.2.	Objetivos del trabajo.....	5
1.3.	Impacto en sostenibilidad, ético-social y de diversidad.....	6
1.4.	Enfoque y método seguido.....	8
1.5.	Planificación del trabajo.....	9
1.6.	Breve descripción del resto de capítulos.....	12
<b>2.</b>	<b><i>Estado del arte</i></b> .....	<b>13</b>
2.1.	<b>Descripción de las tecnologías móviles existentes en Poblete</b> .....	<b>13</b>
2.1.1.	Segunda generación (2G).....	14
2.1.2.	Tercera generación (3G).....	15
2.1.3.	Cuarta generación (4G).....	16
2.2.	<b>Descripción de la quinta generación (5G)</b> .....	<b>16</b>
2.2.1.	Bandas de frecuencias del 5G y arquitecturas.....	18
2.2.2.	Aplicaciones del 5G y casos de uso del 5G en zonas rurales.....	20
2.3.	<b>Situación actual y a corto plazo en el despliegue del 5G en las zonas rurales de España</b> .....	<b>22</b>
2.4.	<b>Otros proyectos relacionados con el trabajo</b> .....	<b>22</b>
<b>3.</b>	<b><i>Diseño y propuesta</i></b> .....	<b>24</b>
3.1.	Descripción y situación de Poblete.....	24
3.2.	Propuesta de emplazamiento.....	26
3.3.	Búsqueda y selección de los materiales.....	28
3.4.	Elección y cálculo de parámetros para el estudio.....	34
3.5.	Descripción del software de simulación de cobertura.....	49
<b>4.</b>	<b><i>Estudio de cobertura y resultado</i></b> .....	<b>51</b>
4.1.	Configuración de los parámetros en XIRIO.....	51
4.2.	Resultado del estudio de cobertura en Poblete.....	61
4.3.	Presupuesto de los materiales.....	65
<b>5.</b>	<b><i>Conclusiones y trabajos futuros</i></b> .....	<b>67</b>
5.1.	Conclusiones.....	67

---

5.2.	<b>Trabajos futuros.....</b>	<b>68</b>
6.	<b><i>Glosario.....</i></b>	<b>70</b>
7.	<b><i>Bibliografía.....</i></b>	<b>72</b>
8.	<b><i>Anexos.....</i></b>	<b>79</b>

# Lista de Figuras

Figura 1. Localización de la BTS en Poblete. [2].....	2
Figura 2. Cobertura 4G en Poblete. [3].....	2
Figura 3. Cobertura 4G+ en Poblete. [3].....	3
Figura 4. Cobertura 5G en Poblete. [3].....	3
Figura 5. Porcentaje de cobertura 5G implementada en los hogares. [4] .....	4
Figura 6. Cobertura nacional y rural de 4G y 5G. [4].....	4
Figura 7. Diagrama de Gantt. [elaboración propia con Microsoft Office Project Profesional 2021].....	11
Figura 8. Evolución de las comunicaciones móviles. [9] .....	13
Figura 9. Bandas de frecuencia 5G y sus características. [23] .....	18
Figura 10. Arquitectura NSA 5G. [25].....	19
Figura 11. Arquitectura SA 5G. [25].....	20
Figura 12. Grupos de las diferentes aplicaciones o servicios que hacen uso del 5G. [28] .....	21
Figura 13. Evolución de la población por año en Poblete. [50] .....	24
Figura 14. Superficie construida en Poblete. [Apple Maps].....	25
Figura 15. Vista satélite de Poblete. [Apple Maps] .....	26
Figura 16. Emplazamiento existente de la BTS (señalado con un punto azul). [2]. .....	26
Figura 17. Fotografía I: emplazamiento de la BTS existente. [elaboración propia].....	27
Figura 18. Fotografía II: emplazamiento de la BTS existente. [elaboración propia].....	27
Figura 19. Fotografía III: construcciones alrededor de la BTS existente. [elaboración propia].....	28
Figura 20. Fotografía IV: construcciones alrededor de la BTS existente. [elaboración propia].....	28
Figura 21. Equipos de una BTS genérica. [elaboración propia].....	29
Figura 22. Antena modelo 10P-4L6M-D5, marca: COMMSCOPE. [57].....	29
Figura 23. RRU 5258. [58].....	30
Figura 24. Cable coaxial de ½ pulgadas flexible para RRU. [59] .....	30
Figura 25. Fibra óptica monomodo con conector LC-LC. [60].....	30
Figura 26. Antena COMMSCOPE RR-65C-R2VB-V2. [61] .....	31
Figura 27. Tubo TF-MSS-4 COMMSCOPE para soporte de la antena en la torre. [62].....	32
Figura 28. Parte superior del Kit Downtilt BSAMNT-1 COMMSCOPE. [63] .....	32
Figura 29. Parte inferior del Kit Downtilt BSAMNT-1 COMMSCOPE. [63].....	32
Figura 30. Huawei RRU 5512t (4x80 W) multibanda 700-900 MHz. [64].....	33
Figura 31. Conector 4.3/10 macho recto y atornillado. [65].....	33
Figura 32. Cable Coaxial RF 1/2" 50 Ohmios. [66].....	33
Figura 33. Fibra óptica CPRI LC-LC. [60].....	33
Figura 34. Cable de alimentación de RRU a convertidor CC/CA. [67] .....	34
Figura 35. Bloques uplink y downlink de la banda 700 MHz. [68] .....	35
Figura 36. Atenuación del cable coaxial RF. [66] .....	37
Figura 37. Especificaciones eléctricas de la antena según el estándar BASTA. [61] .....	38

Figura 38. Los dos array de la antena COMMSCOPE con polarización cruzada $\pm 45$ . [elaboración propia] .....	39
Figura 39. Detalle alzado de la Torre con altura de las antenas. [elaboración propia].....	40
Figura 40. Área de los sectores de las antenas. [Google Earth] .....	40
Figura 41. Azimut del Sector 1. [Google Earth] .....	41
Figura 42. Azimut del Sector 2. [Google Earth] .....	41
Figura 43. Detalle planta del emplazamiento con sector de las antenas. [elaboración propia].....	42
Figura 44. Concepto de downtilt. [elaboración propia] .....	42
Figura 45. Cálculo del downtilt. [elaboración propia] .....	43
Figura 46. 1ª Referencia del Sector 1. [Google Earth] .....	44
Figura 47. Perfil del terreno de la 1ª referencia del Sector 1. [Google Earth].....	44
Figura 48. 2ª Referencia del Sector 1. [Google Earth] .....	45
Figura 49. Perfil de terreno de la 2ª referencia del Sector 1. [Google Earth] .....	45
Figura 50. 3ª Referencia del Sector 1. [Google Earth] .....	45
Figura 51. Perfil del terreno de la 3ª referencia del Sector 1. [Google Earth].....	46
Figura 52. 1ª Referencia del Sector 2. [Google Earth] .....	46
Figura 53. Perfil del terreno de la 1ª referencia del Sector 2. [Google Earth].....	46
Figura 54. 2ª Referencia del Sector 2. [Google Earth] .....	47
Figura 55. Perfil del terreno de la 2ª referencia del Sector 2. [Google Earth].....	47
Figura 56. 3ª Referencia del Sector 2. [Google Earth] .....	47
Figura 57. Perfil del terreno de la 3ª referencia del Sector 2. [Google Earth].....	48
Figura 58. Especificaciones del ordenador utilizado. [elaboración propia].....	51
Figura 59. Creación de un nuevo estudio de cobertura 5G. [elaboración propia] .....	52
Figura 60. Nombre y descripción del estudio de cobertura. [elaboración propia].....	52
Figura 61. Propiedades de la Banda de Frecuencia. [elaboración propia].....	53
Figura 62. Nombre y ubicación del sector. [elaboración propia].....	53
Figura 63. Sectorización del transmisor. [elaboración propia].....	54
Figura 64. Propiedades de la antena. [elaboración propia].....	54
Figura 65. Resumen de las propiedades de la antena. [elaboración propia] .....	55
Figura 66. Configuración de los parámetros de los sectores. [elaboración propia].....	55
Figura 67. Configuración de parámetros del terminal. [elaboración propia] .....	56
Figura 68. Cartografía y método de propagación. [elaboración propia] .....	57
Figura 69. Configuración del área de cálculo. [elaboración propia].....	57
Figura 70. Configuración de los rangos de señal, SS-RSRP. [elaboración propia].....	58
Figura 71. Generación del estudio de cobertura. [elaboración propia].....	58
Figura 72. Leyenda de toda la configuración. [elaboración propia] .....	59
Figura 73. Configuración de los parámetros 5G. [elaboración propia] .....	59
Figura 74. Leyenda de los puntos de interés. [elaboración propia] .....	60
Figura 75. Ubicación de los puntos de interés. [elaboración propia].....	60
Figura 76. Resultado del cálculo del primer sector. [elaboración propia].....	61
Figura 77. Punto de interés 1 (Ayuntamiento) para el sector primero. [elaboración propia] .....	61
Figura 78. Punto de interés 2 (Viviendas Noroeste) para el sector primero. [elaboración propia].....	62



Figura 79. Punto de interés 3 (Viviendas Norte) para el sector primero. [elaboración propia].....	62
Figura 80. Resultado del cálculo del segundo sector. [elaboración propia] .....	62
Figura 81. Punto de interés 1 (Ayuntamiento) para el sector segundo. [elaboración propia].....	63
Figura 82. Punto de interés 2 (Viviendas Noroeste) para el sector segundo. [elaboración propia].....	63
Figura 83. Punto de interés 4 (Viviendas Sur) para el segundo sector. [elaboración propia].....	63
Figura 84. Punto de interés 5 (Viviendas Suroeste) para el segundo sector. [elaboración propia].....	64
Figura 85. Resultado del cálculo de los dos sectores de forma simultánea. [elaboración propia].....	64
Figura 86. Vista satélite del resultado del cálculo de los dos sectores de forma simultánea. [elaboración propia].....	64

# Lista de Tablas

Tabla 1. Clasificación e implicación de forma positiva o negativa de los diferentes ODS en las 3 dimensiones. [elaboración propia] .....	8
Tabla 2. Algunas ventajas principales del 5G frente al 4G. [19] y [20] .....	17
Tabla 3. Bloques nº2 de la banda de frecuencia de 700 MHz. [elaboración propia] .....	36
Tabla 4. Numerología. [69] .....	36
Tabla 5. Resumen del resultado del estudio de cobertura 5G en Poblete. [elaboración propia] .....	65
Tabla 6. Presupuesto de materiales. [elaboración propia] .....	66

# 1. Introducción.

El siguiente trabajo trata sobre la realización de una planificación de una red de acceso radio 5G en un pueblo llamado Poblete, localizado en la provincia de Ciudad Real.

Este capítulo comenzará con la justificación del desarrollo del trabajo y posteriormente se resaltarán los objetivos que se deben alcanzar. El siguiente punto consistirá en la descripción de los impactos positivos o negativos del desarrollo de este trabajo con el “compromiso ético y global” de la UOC.

Se describirá de forma resumida y sencilla la metodología empleada en el desarrollo de este trabajo y se empleará un diagrama de Gantt con la finalidad de mostrar las tareas (capítulos) y tiempos empleados en cada uno de los capítulos de este trabajo.

Por último, se acabará resumiendo los diferentes capítulos del trabajo.

## 1.1. Contexto y justificación del trabajo.

Según la Orden CIN/355/2009 [1] de 9 de febrero, el Ingeniero de Telecomunicación tiene diversas competencias o capacidades, que le otorgan atribuciones profesionales. Algunas de sus capacidades, son:

*“Capacidad de proyectar, calcular, diseñar productos, procesos e instalaciones en todos los ámbitos de la ingeniería de telecomunicación”.*

*“Capacidad para desarrollar sistemas de radiocomunicaciones: diseño de antenas, equipos y subsistemas, modelado de canales, cálculo de enlaces y planificación.”*

*“Capacidad para la elaboración, dirección, coordinación, y gestión técnica y económica de proyectos sobre: sistemas, redes, infraestructuras y servicios de telecomunicación...”*

Este trabajo fin de máster pretende familiarizarse con las atribuciones profesionales del Ingeniero de Telecomunicación y resolver una necesidad de la sociedad. Es decir, se pretende planificar una red de acceso 5G en un pueblo de la provincia de Ciudad Real, llamado Poblete.

Poblete es un pueblo que tiene menos de 3.000 habitantes censados y la máxima tecnología de comunicaciones móviles implementada en el pueblo es el 4G.

Según el portal infoantenas [2] del Ministerio para la Transformación Digital y de la Función Pública, al realizar una búsqueda sencilla para conocer la cantidad de estaciones base de telefonía móvil (BTS) que dispone Poblete, muestra como resultado: una única BTS existente.

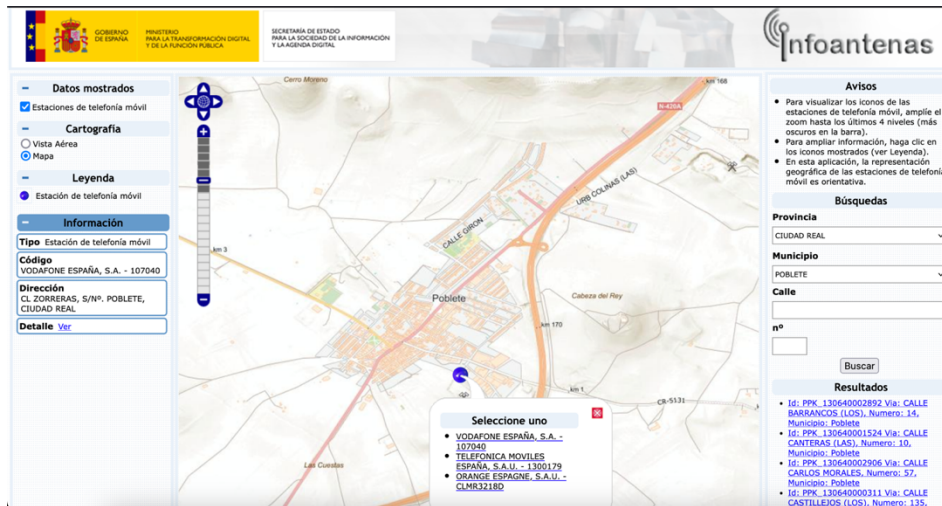


Figura 1. Localización de la BTS en Poblete. [2]

En el mismo portal, por ejemplo, se puede comprobar la cobertura que ofrece el operador Vodafone [3] en Poblete para 4G, 4G+ y 5G.

Nos muestra lo siguiente para la cobertura 4G:



Figura 2. Cobertura 4G en Poblete. [3]

Para la cobertura 4G+:

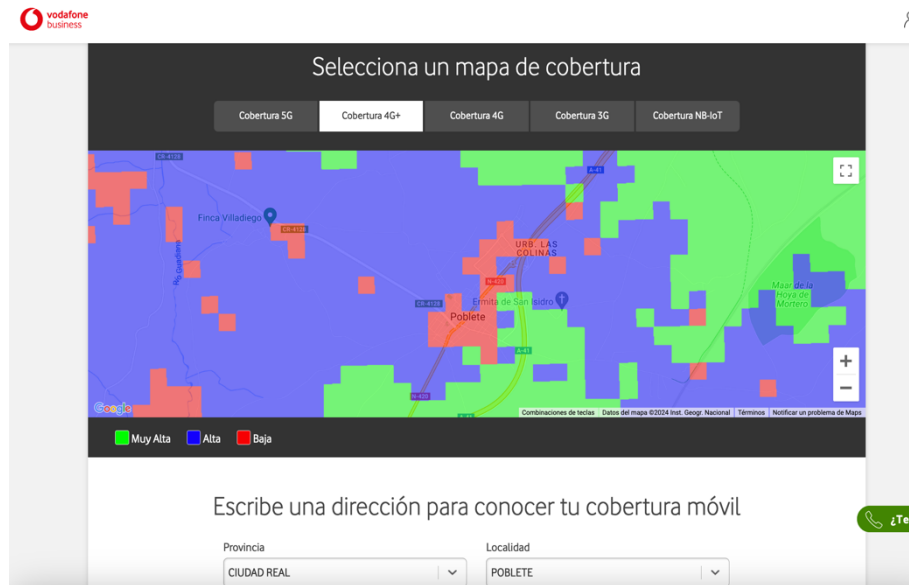


Figura 3. Cobertura 4G+ en Poblete. [3]

Para la cobertura 5G:

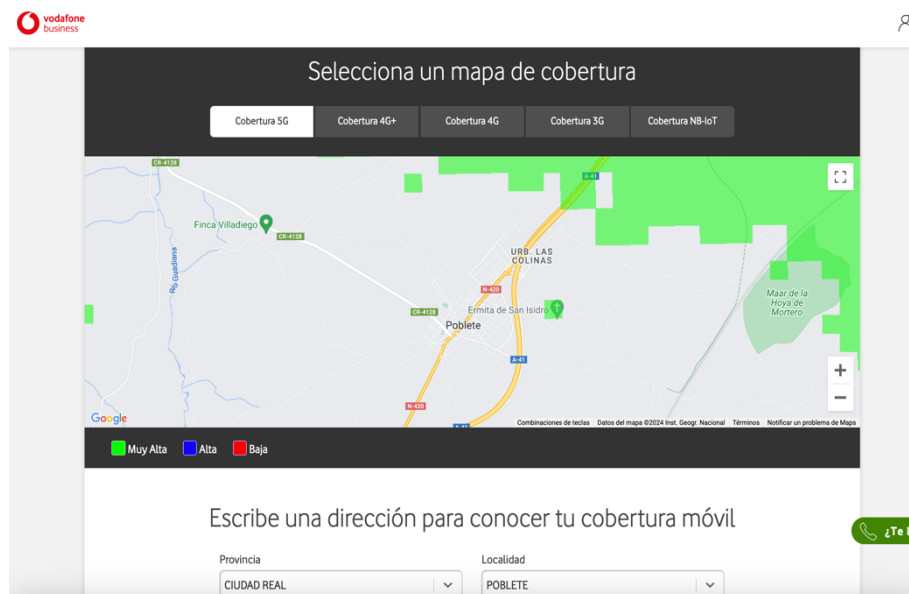


Figura 4. Cobertura 5G en Poblete. [3]

Los resultados obtenidos son buenos (muy alta/alta calidad de señal) para cobertura 4G y algo inferior para cobertura 4G+. Finalmente, se comprueba que no hay cobertura 5G por no disponer de infraestructura que soporte dicha tecnología.

Se resalta que en la Ermita de San Isidro (Poblete) si hay señal 5G. Esto es debido a que la ermita se encuentra en la cima de una montaña (su localización es predominante) y obtiene

cobertura de antenas próximas a Ciudad Real, pero no de la estación base del propio municipio de Poblete.

Aunque existen otros operadores de telecomunicaciones dando servicio móvil en Poblete, como son: Orange, Movistar, etc. ninguno de ellos ofrece cobertura 5G por no haberse actualizado la infraestructura de comunicaciones.

Por tanto, este trabajo surge por la necesidad de mejorar las comunicaciones móviles existentes e implementar la quinta generación (5G). Tecnología, que ya se encuentra incorporada en los módems de los dispositivos actuales: móviles, dispositivos IoT (internet of things), sensores, etc.

Según el informe “cobertura de banda ancha en España en 2022” [4], realizado por la Agenda Digital España 2026, al finalizar el año 2022, como se observa en la figura 5, el 5G se encuentra implementado en el 82% de los hogares.

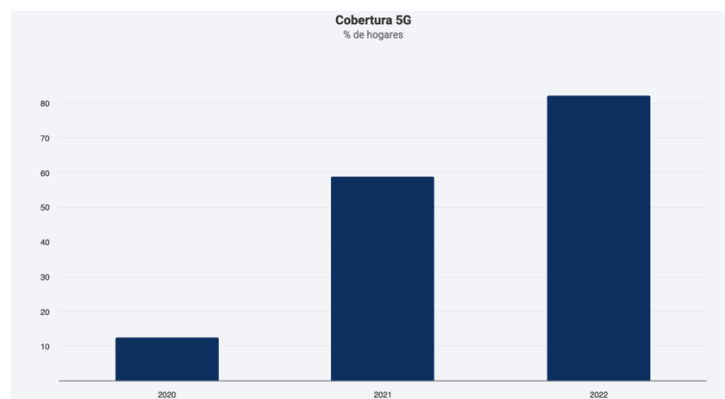


Figura 5. Porcentaje de cobertura 5G implementada en los hogares. [4]

Sin embargo, según este informe, el porcentaje de cobertura de 5G en hogares rurales alcanza el 50,42% y en 1.096 de 6.685 municipios (rurales) la cobertura es superior a 70%.

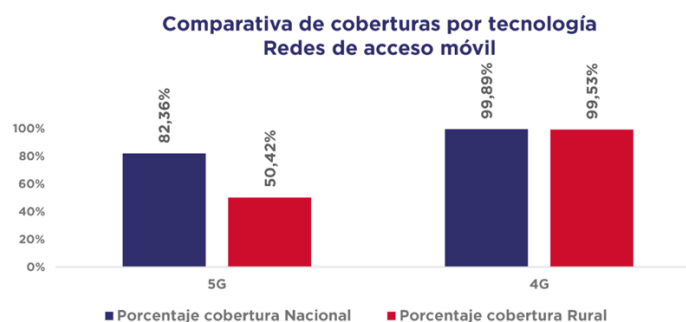


Figura 6. Cobertura nacional y rural de 4G y 5G. [4]

Cifras que no han aumentado mucho en el año 2023, por lo que aún quedan municipios y viviendas rurales que no disponen de cobertura 5G.

Como resultado, el Ministerio de Transformación Digital y Función Pública lanzó en el segundo semestre de 2023, una convocatoria de ayuda de 544 millones de euros, llamada “UNICO 5G

Redes Activas” [5] que pretende dotar de infraestructura activa y pasiva 5G a municipios rurales con menos de 10.000 habitantes.

El simple hecho de realizar un trabajo de planificación de una red de acceso radio 5G en una zona rural como puede ser Poblete, se encuentra alineado al objetivo nacional del Ministerio [6] y con la Agenda España Digital, para desplegar esta tecnología en las zonas rurales.

Por otro lado, la idea de desarrollo de este trabajo surge también, por la voluntad de concienciar de las ventajas que puede suponer esta tecnología para ámbitos como: la agricultura, ganadería, turismo, etc. en las zonas rurales.

También supone, que un rápido despliegue de la tecnología 5G tanto en zonas urbanas como zonas rurales permitirá disponer de más tiempo para planificar y prepararse para la siguiente tecnología móvil que es el 6G, permitiendo sacar lecciones aprendidas de la planificación 5G para el despliegue del 6G.

Al finalizar este trabajo se pretende conseguir lo siguiente:

- Familiarizarse con el ejercicio profesional del Ingeniero de Telecomunicación.
- Convertirse en una guía para planificar una red de acceso en zonas rurales.
- Planificar una red de acceso 5G en una zona rural, en este caso en Poblete (C. Real).
- Obtener conclusiones y posibles trabajos futuros para la mejora de la planificación realizada en Poblete.

## 1.2. Objetivos del trabajo.

Los objetivos que se pretenden alcanzar con el desarrollo de este trabajo son los siguientes:

- Planificar una red de acceso 5G en una zona rural, ofreciendo cobertura a todas las viviendas.
- Descripción de las tecnologías existentes en Poblete.
- Descripción de las ventajas, aplicaciones y arquitectura del 5G.
- Análisis de la situación actual y futura del despliegue del 5G en España.
- Búsqueda de otros proyectos o trabajos similares a esta temática.
- Descripción de la zona rural (Poblete) donde se necesita cobertura 5G.
- Uso de herramientas de planificación temporal de proyectos (diagrama de Gantt).
- Selección de elementos radiantes (antenas) para el 5G y otros elementos para la estación base (BTS).
- Cálculo del *downtilt*, selección de la banda de frecuencia 5G, altura de las antenas, sectores, selección del método de propagación y otros parámetros.
- Estudio de cobertura 5G desde el emplazamiento de la BTS, mediante la aplicación XIRIO Online.

## 1.3. Impacto en sostenibilidad, ético-social y de diversidad.

El desarrollo de este trabajo tiene de forma general, impactos positivos en: sostenibilidad, en aspectos ético-sociales y de diversidad. Estas 3 dimensiones agrupan e incluyen a casi todos los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) [7].

A continuación, se procederá a mencionar los impactos positivos debido al desarrollo de este trabajo según las 3 dimensiones anteriores y algunos posibles impactos negativos.

También, se mencionarán los posibles ODS ligados a las diferentes dimensiones.

### 1) Sostenibilidad.

Según Vicente, A. de la columna de opinión de El Español [8], el 5G permitirá que las ciudades y pueblos, sean más sostenibles según el ODS nº 11: "Comunidades y ciudades sostenibles".

Esta tecnología beneficiará al bienestar del habitante, permitirá una mejor eficiencia de recursos, disminuirá la contaminación, mejorará la eficiencia energética, etc.

El uso de una menor latencia por parte de la tecnología 5G permitirá un mayor ahorro de energía en dispositivos y como consecuencia un menor uso de la electricidad para cargar las baterías de los dispositivos. Por tanto, se reduce la huella de carbono y la contaminación.

La planificación y estudio de una red de acceso 5G permitirá analizar y seleccionar antenas más eficientes que las actuales.

Además, el uso de la tecnología 5G en un pueblo, permitirá que habitantes, ganaderos y agricultores puedan usar múltiples sensores compatibles con el 5G con la finalidad de ahorrar en consumo de agua y electricidad.

En definitiva, el desarrollo de este trabajo final causa un gran impacto positivo, sobre todo en el ahorro energético del pueblo, reduciendo la huella de carbono y mejorando la productividad en la agricultura y ganadería. Por tanto, se encuentra ligado al ODS nº7: "energía asequible y no contaminante", ODS nº13: "Acción por el clima", ODS nº12: "producción y consumo responsables" y el ODS nº11: "Comunidades y ciudades sostenibles".

### 2) Comportamiento ético y responsabilidad social (RS).

Promover el desarrollo de un trabajo para planificar una red de acceso 5G en un pueblo, aporta múltiples beneficios de forma ético-social.

La implementación de la última generación de comunicaciones móviles (5G) en zonas rurales como Poblete, aporta beneficio económico a todo el pueblo: mejorando la productividad del



sector primario (agricultura y ganadería) mediante la monitorización por sensores o por drones de los cultivos y explotaciones ganaderas. Se encuentra alineado de forma positiva con el ODS nº1: “fin de la pobreza” y ODS nº2: “hambre cero”.

Además, aportar 5G a un medio rural, fomenta que los lugares menos poblados (“La España vaciada”) incrementen la población con trabajadores de empresas que prefieran teletrabajar en áreas donde no haya tanta contaminación, ruido, etc. como ocurre en las grandes ciudades. También puede generar nuevas oportunidades de negocio para los habitantes del pueblo al tener una mejor conexión de internet.

Se encuentra alineado de forma positiva con el ODS nº8: “trabajo decente y crecimiento económico”.

Por último, la implementación de las nuevas generaciones de comunicaciones móviles en la zona rural fomenta que se continúe con el derecho de acceso a internet para todas las personas, beneficiándose del avance tecnológico. Sin olvidar obviamente, que todo ciudadano debe hacer un uso ético-responsable adecuado de la red sin dañar de alguna forma al medio ambiente, personas y animales.

El uso de la tecnología 5G para cometer delitos telemáticos, sí que podría afectar al beneficio económico individual o del propio pueblo, a la seguridad de los datos (privacidad) o incluso afectar de forma reputacional a la imagen de Poblete en los medios de comunicación. Por tanto, la implementación de una tecnología disruptiva como es el 5G sí tendría posibilidad de que generará un impacto negativo si no se realiza un uso adecuado y no se redactan y adoptan leyes sancionadoras. Podría afectar de forma negativa, si no se crean leyes o departamentos regionales contra los delitos telemáticos. Esto afectaría al ODS 16: “paz, justicia e instituciones fuertes”.

### 3) Diversidad y derechos humanos.

Los resultados de este trabajo tendrán un impacto positivo en cualquier género y diversidad (raza, cultura, religión, etc.). Todas las personas se beneficiarán del resultado de la planificación de la red de acceso 5G.

Una vez implementado el 5G en Poblete, cualquier habitante que pretenda usar esta tecnología se beneficiará de aspectos como: mejora del ancho de banda, baja latencia en la red de acceso, etc.

La tecnología 5G no tiene restricciones de género o de diversidad, es una tecnología disruptiva para cualquiera. Fomenta la accesibilidad y el pleno derecho a que cualquier persona pueda tener acceso a internet y a todas las aplicaciones multimedia que ofrecen los diversos operadores de telecomunicaciones.

Además, cualquier habitante de Poblete se beneficiará de un mejor rendimiento o accesibilidad a las aplicaciones de: realidad virtual, realidad aumentada, inteligencia artificial, etc.

El desarrollo de este trabajo impacta de forma positiva en el ODS nº5: “Igualdad de género” y también en el ODS nº10: “Reducción de las desigualdades”.

Resumen de los ODS ligados a las 3 dimensiones debido al desarrollo y resultados de este trabajo:

	Impacto positivo	Posible impacto negativo
<b>Sostenibilidad</b>	-ODS 7: “energía asequible y no contaminante”. -ODS 11: “comunidades y ciudades sostenibles”. -ODS 12: “producción y consumos responsables” -ODS13: “acción por el clima”	(No encontrado)
<b>Comportamiento ético y responsabilidad social</b>	-ODS 1: “fin de la pobreza” -ODS 2: “hambre cero” -ODS 8: “trabajo decente y crecimiento económico”	-ODS 16: “paz, justicia e instituciones fuertes”.
<b>Diversidad y Derechos humanos</b>	-ODS 5: “igualdad de género” -ODS 10: “reducción de las desigualdades”	(No encontrado)

Tabla 1. Clasificación e implicación de forma positiva o negativa de los diferentes ODS en las 3 dimensiones. [elaboración propia]

## 1.4. Enfoque y método seguido.

Aunque este trabajo es académico, se ha intentado seguir una metodología profesional como si realmente se quisiera implementar una red de acceso 5G a una zona rural.

Se pretende realizar este trabajo para que se pueda ofrecer al Ayuntamiento de Poblete, con la finalidad de concienciar de la necesidad de implementar cobertura 5G al pueblo y también dar a conocer: el material necesario y la cobertura que puede ofrecer la red de acceso.

Lo que se pretende conseguir con este trabajo a grandes rasgos, primero: describir las tecnologías existentes en Poblete. A continuación, proseguir con una descripción del 5G de forma completa. Por último, planificar y diseñar la red de acceso 5G que aportará cobertura a Poblete.

Se realizará una selección de los materiales necesarios para implementar la red de acceso 5G en la estación base móvil y se realizará el estudio de cobertura con las características de los materiales elegidos.

La aplicación XIRIO permitirá generar el resultado del estudio de cobertura. Pudiendo verificar si es necesario añadir más localizaciones de redes de acceso 5G para cubrir todo Poblete.

Por último, se obtendrán conclusiones de los resultados de esta planificación y posibles trabajos futuro.

Se considera que esta metodología de concienciar de los beneficios de la tecnología 5G y planificar una red de acceso mediante software de simulación como puede ser XIRIO, es la forma correcta para mostrar que es posible ofrecer cobertura 5G en un pueblo y esta tecnología disruptiva no se encuentra solamente al alcance de las ciudades.

## 1.5. Planificación del trabajo.

En el desarrollo de este trabajo se usarán recursos bibliográficos de fuentes abiertas (páginas web, libros, etc.) para redactar la memoria y también se usará la aplicación XIRIO online, que es una aplicación que puede usarse de forma gratuita, aunque con algunas limitaciones.

Con estos recursos se han planificado las siguientes tareas (que se componen de subtareas) para el desarrollo de este trabajo:

### Tarea 1: Definición y alcance

Corresponde con la introducción, justificación, metodología seguida, planificación y resumen de los capítulos restantes.

### Tarea 2: Estado del arte

Corresponde con la descripción de las tecnologías existentes, descripción de forma completa del 5G, situación actual y futura del 5G en zonas rurales y mención de otros proyectos relacionados con este trabajo.

### Tarea 3: Diseño y propuesta

Corresponde con el cálculo de diferentes parámetros y elección de los materiales para la red de acceso.

### Tarea 4: Estudio de cobertura y resultado

Corresponde con la obtención del estudio de cobertura, la evaluación del resultado y presupuesto de los materiales.

### Tarea 5: Conclusiones y trabajos futuros

Corresponde con la conclusiones y posibles trabajos futuros.

### Tarea 6: Desarrollo de la memoria

Corresponde con la redacción final y revisión de la memoria.

### Tarea 7: Preparación de la defensa

Corresponde con la elaboración, preparación y revisión de la presentación para la defensa. Al finalizar cada tarea se establece un hito que se corresponde con la entrega de la prueba de evaluación continua (PEC) de dicha tarea. Excepto la tarea 3, 4 y 5 que corresponde con el hito de la entrega de la PEC 3. La finalización de la tarea 6 y 7 corresponde a los hitos de la entrega de la PEC 4 y PEC 5, correspondiente.

La fecha que aparece en cada uno de los hitos es la fecha máxima para entregar las diferentes PEC. Por tanto, se ha planificado cada tarea para no sobrepasar la fecha del hito correspondiente.

Se ha desarrollado un Diagrama de Gantt según la planificación anterior mediante Microsoft Office Project Profesional 2021.

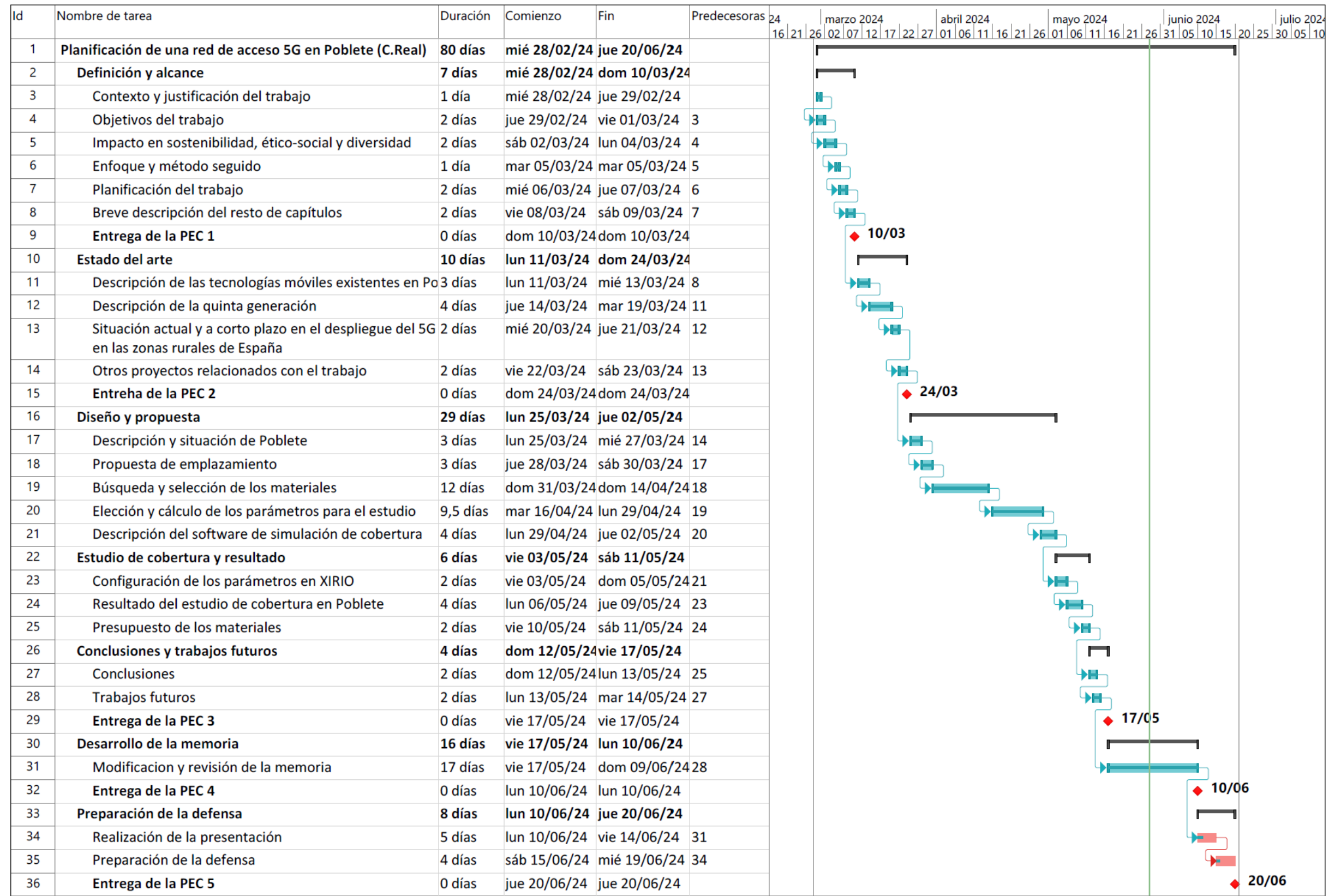


Figura 7. Diagrama de Gantt. [elaboración propia con Microsoft Office Project Profesional 2021]

## 1.6. Breve descripción del resto de capítulos.

El capítulo 2, que se titula: Estado del arte, trata de aportar una idea global de las tecnologías existentes en Poblete y muestra la tecnología más actual (5G).

Además, se describe la situación actual y futura (a corto plazo) del despliegue del 5G en zonas rurales en España.

Por último, se describen y se referencian otros trabajos relacionados con la planificación de redes de acceso radio.

El capítulo 3, que se titula: Diseño y propuesta, describe los diferentes pasos que se han llevado a cabo en la planificación de la red de acceso radio 5G en Poblete. Primero, se describirá el pueblo (Poblete) y el terreno donde se encuentra; segundo, se propondrá el emplazamiento del nodo de acceso; tercero, se realizará una búsqueda de los materiales necesarios y se seleccionarán para su implementación; cuarto, se elegirán y calcularán los parámetros característicos para el estudio de cobertura; por último, se describirá la herramienta que se utilizará en el siguiente capítulo para la simulación del estudio de cobertura 5G.

El capítulo 4, que se titula: Estudio de cobertura y resultado, es el capítulo donde se obtiene el estudio de cobertura a través de la herramienta XIRIO. Para obtener el resultado, previamente se ha tenido que incorporar en XIRIO, los distintos parámetros calculados en el capítulo 3.

Además, se ofrecerá un presupuesto de los materiales necesarios (sin mano de obra) para hacerse una idea del coste de los materiales que puede suponer la implementación de una red de acceso 5G en Poblete.

Por último, el capítulo 5, se titula: Conclusiones y trabajos futuros. Se expondrán las conclusiones derivadas del desarrollo y resultado de este trabajo y se mencionarán algunos posibles trabajos futuros para complementar a esta planificación de red de acceso radio.

## 2. Estado del arte.

En el primer punto de este capítulo se describirán las comunicaciones o tecnologías celulares que existen en Poblete. Los siguientes subapartados tratarán sobre el 5G, en los cuales se introducirá esta nueva tecnología, la arquitectura y las posibles aplicaciones para una zona rural.

Se pretende que el lector tenga una imagen actual de las tecnologías existentes en Poblete y sea capaz de comprobar por sí mismo de las ventajas que aportaría la planificación de una red de acceso 5G en Poblete. Es decir, estos subapartados aportan al lector una idea global y actual de la temática de este trabajo.

Por último, se detalla la situación actual y futura (a corto plazo) del despliegue del 5G en las zonas rurales de España y se realizará una búsqueda de otros proyectos o trabajos relacionados en este ámbito.

### 2.1. Descripción de las tecnologías móviles existentes en Poblete.

A fecha de marzo de 2024, en Poblete existen diversas tecnologías móviles definidas por la 3GPP (3rd Generation Partnership Project). Estas generaciones de comunicaciones celulares se han ido implementado en este pueblo a lo largo de los años.

La evolución y aparición de estas generaciones de tecnologías móviles ha sido la siguiente:

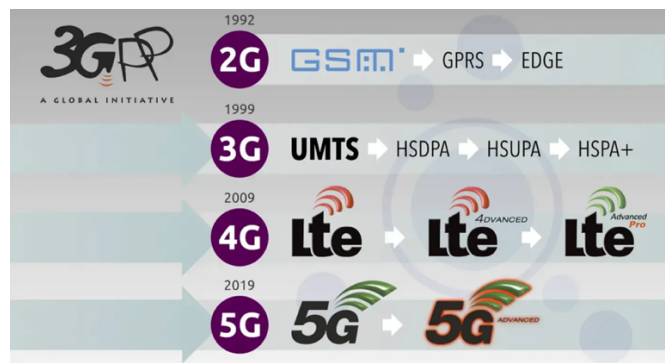


Figura 8. Evolución de las comunicaciones móviles. [9]

Como se observa en la figura 8, a partir de 2019 se debería haber comenzado a implementar el 5G en Poblete, sin embargo, en 2024 todavía no se ofrece dicha cobertura de quinta generación en este pueblo.

A continuación, se describirá de forma breve las tecnologías celulares que son ofrecidas por los diferentes operadores de telecomunicaciones en Poblete.

### 2.1.1. Segunda generación (2G).

Según Huidobro, J.M. [10], la diferencia con la primera generación radica que las comunicaciones de la segunda generación son totalmente digitales.

El 2G comenzó con GSM (Global System for Mobile Communications) cuya banda de trabajo era los 900 MHz y 1800 MHz para Europa (1900 MHz para Estados Unidos).

Esta tecnología, permite transmitir y recibir voz y datos. Para una llamada de voz, la velocidad es 13 Kbps y la velocidad de datos es de 9,6 Kbps. Aunque la velocidad de datos es pequeña, es suficiente para aplicaciones de monitorización (mediciones temperatura, presión, etc.).

La modulación usada por GSM es GMSK.

Como menciona Alonso-Zárate, J. [11], GSM usa el duplexado en frecuencia (FDD), es decir transmite en una frecuencia y recibe en otra distinta. Esto hace que los dispositivos deban ser multifrecuencia (operar en varias bandas de frecuencia) para transmitir y recibir a la vez. Aunque también pueden funcionar en duplexado en tiempo (TDD), para simplificar la tecnología de los dispositivos.

El acceso al medio o canal es a través de TDMA u OFDMA. Es decir, acceso múltiple por división de tiempo o frecuencia.

Los servicios que ofrece GSM son: llamadas de voz, datos y SMS de hasta 160 caracteres.

General Packet Radio Service, GPRS (2.5G) es la mejora de GSM, con velocidad media de 56 Kbit/s (usando 8 slots).

GPRS es muy parecido a las especificaciones de GSM excepto que añade dos características, que son:

- Puede asignar más de un slot de tiempo por canal a un usuario.
- Uso de técnicas adaptativas de codificación.

La mejora de GPRS es EDGE (2.75G), Enhanced Data Rates for GSM Evolution. EDGE, permite velocidades pico al usuario de 384 Kbps (usando un canal 200 kHz) y velocidad media de 115 Kbps por usuario.

Según Huidobro, J.M. [10], EDGE es una tecnología que soporta mayor capacidad y mejora el rendimiento por usuarios. Soporta mayor número de usuarios en un intervalo o periodo de tiempo. En general tiene una mejora de eficiencia espectral.

Por último, los autores Rifa, H., Gallego, R. y Huertas, V. [12] mencionan que tanto GPRS como EDGE usan conmutación por paquetes (IP). Sin embargo, GSM utiliza conmutación por circuitos.



## 2.1.2. Tercera generación (3G).

Según Huidobro, J.M. [10], la tercera generación comienza con UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) y nace como la primera tecnología diseñada para servicios multimedia (videollamadas, acceso a internet y servicios de datos de banda ancha-MBB).

La versión definitiva de las características técnicas de UMTS por el 3GPP fue la *Release 99 (2000)*.

El autor Huidobro, J.M. [10] y Alonso-Zárate, J. [11] relatan que UMTS trabaja alrededor de los 2 GHz y usa una modulación del espectro ensanchado por código (CDMA). Al igual que la segunda generación, el 3G puede funcionar con tecnologías FDD o TDD.

En lo referente al acceso al canal, usa WCDMA (acceso múltiple por división de código de banda ancha), donde la información está contenida en un ancho de banda de 5 MHz y es lo requerido para cada portadora.

La velocidad máxima de transmisión de UMTS es 2 Mbps.

Posteriormente, se mejora UMTS y surge HSPA (High Speed Packet Access) que engloba tanto HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) y HSUPA (High Speed Uplink Packet Access), cuyos *Releases* definitivos especificados por 3GPP son 5 y 6, respectivamente.

HSDPA (considerada 3.5G) tiene una velocidad máxima descendente de 14 Mbps y HSUPA (considerada 3.75G) tiene una velocidad máxima ascendente de 5 Mbps.

Según Huidobro, J.M. [10], tanto HSDPA como HSUPA tienen las siguientes características mejoradas:

- Mejor ajuste de tiempo en la asignación de canales a los diferentes usuarios cada 2 ms, mejorando la eficiencia.
- Posibilidad de uso de una modulación de mayor magnitud: 16-QAM (16-Quadrature Amplitude Modulation) para downlink en vez de QPSK (Quadrature Phase Shift Keying), mejorando así la transmisión de mayores bits por símbolo.
- Mejores técnicas para analizar los canales de comunicación y asignación de los canales más libres a los usuarios que lo puedan necesitar.
- Mejor adaptación de los enlaces a los fallos: permite usar diferentes métodos de control de error.

En 2008 surge una nueva evolución de la tecnología anterior, conocida como: HSPA+ [13].

Esta tecnología sigue las especificaciones de la *Release 7* de 3GPP, cuyas mejoras son: uso de la modulación 64QAM (downlink) y 16QAM (uplink) y el empleo de MIMO 2X2 (Multiple Input Multiple Output), usando dos transmisores de igual frecuencia para que el receptor pueda reconstruir mejor la señal cuando viaja por diferentes caminos. Con esto se consigue velocidades de 21,6 - 42 Mbps.

### 2.1.3. Cuarta generación (4G).

Según wikipedia [14], la cuarta generación o LTE (Long Term Evolution) surge a partir de 2009. Consiste en una mejora de HSPA+ y está definida por la *Release 8*. Las mejoras son las siguientes:

- La velocidad se incrementa. Entre 100 Mbps a 1 Gbps, dependiendo del área donde se transmita y se recepcione la señal.
- Uso de la modulación OFDM, Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDMA para enlace downlink y SC-FDMA para enlace uplink). Se sigue empleando MIMO como en HSPA+.
- Mejora de la Calidad de Servicio (QoS).
- Menor latencia en la red de acceso (de 100 ms a 10 ms).

El autor Huidobro, J.M. [10], relata que la evolución de LTE es LTE Advanced (realmente es la que se puede denominar 4G). Surge en 2011 con la *Release 10* de 3GPP y es la que según el IMT Advanced (grupo creado por la UIT, Unión Internacional de Telecomunicaciones) cumple con los requisitos del 4G.

Es capaz de llegar a una velocidad de 1 Gbps (enlace downlink) y 500 Mbps (enlace uplink). Además, la latencia baja hasta 5 ms.

Por último, según Valero, C. [15], menciona que antes de evolucionar a la quinta generación (5G) surge LTE Advanced Pro (4G+) en 2016 con la *Release 13* de 3GPP.

Es una tecnología que Incluye mejoras técnicas que se usarán en el 5G, como son: modulación 256-QAM, massive MIMO, uso de bandas de frecuencia sin licencia, etc. Además, ofrece velocidades máximas de 3 Gbps (enlace downlink) y latencia aproximada de 5 ms.

## 2.2. Descripción de la quinta generación (5G).

La quinta generación (5G) surgió en 2017-2018 con la *Release 15* (aprobada en 2018) de 3GPP.

Esta tecnología móvil surge con la necesidad de aumentar la velocidad, bajar la latencia y mejorar la flexibilidad de uso de los dispositivos, así como potenciar aplicaciones como la inteligencia artificial, realidad aumentada, realidad virtual, etc.

Hasta el 2024, las diferentes especificaciones aprobadas del 5G por 3GPP son: según Sacristán, L. [16], 3GPP [17] y [18], Llorach, J. [9], la *Release 15* que surge para mejorar el ancho de banda móvil (eMBB) con aprovechamiento de la propia infraestructura de la LTE para posteriormente avanzar hacia 5G NR (New Radio) que es el 5G propiamente dicho.

La siguiente es, la *Release 16* (2020), que pretende que el 5G se pueda aplicar a nuevos casos de usos (enfocada a la industria), además continúa mejorando las especificaciones del 5G (aumento de velocidad, cobertura, menor latencia, etc.).

Algunos de los nuevos casos de usos son:

- 5G para espectro sin licencia.
- Uso de arquitectura de red no pública (privadas).
- Redes sensibles al tiempo (TSN): para aplicar a la Industria 4.0.
- Mejora en la conducción autónoma.
- Posicionamiento de alta precisión.
- Network slicing: segmentación de la red de forma virtual para diferentes usos y servicios.

Posteriormente se implementa la *Release 17*. Fue aprobada y finalizada finalmente en 2022. Algunas especificaciones y características son:

- Soporte para bandas de frecuencia mayor de 52,6 GHz.
- Soporte de aplicaciones de realidad extendida (juegos online).
- Soporte y mejora de RAN slicing (segmentación de la Red de Acceso Radio 5G).
- Mejora de la tecnología MIMO.
- Ahorro de energía en los dispositivos (UE, User Equipment) para la nueva arquitectura New Radio.
- Mejora de cobertura y posicionamiento.
- Mejora del network slicing.

La *Release 18*, se espera que finalice (de forma definitiva) en el primer cuatrimestre de 2024. Esta *release* introduce el 5G Advanced, que es el 5.5G previo al 6G. Algunas novedades son:

- Mantenimiento de la sesión y conexión 5G cuando el usuario se mueve excesivamente rápido.
- Posicionamiento en interiores hasta una precisión del orden de centímetros.
- Menor consumo de batería.
- Mejora de la cobertura.

Algunas ventajas principales del 5G frente al 4G son las siguientes, según Valero, C. [19] y Plokiko [20]:

	4G	5G
Conectividad masiva de dispositivos	Limitada	Billones de dispositivos. Solución a IoT de forma masiva.
Velocidad máxima	3 Gbps	10-20 Gbps
Latencia	5 ms	1 ms
Network Slicing	No	Sí
Uso de aplicaciones de realidad aumentada, realidad virtual, inteligencia artificial, etc.	Básica/Limitada	Sí

Tabla 2. Algunas ventajas principales del 5G frente al 4G. [19] y [20]

### 2.2.1. Bandas de frecuencias del 5G y arquitecturas.

La quinta generación puede implementarse usando las bandas de frecuencias que utilizan las tecnologías anteriores (2G, 3G, etc.), sin embargo, todos los operadores de telecomunicaciones siguen usando estas bandas de frecuencia para estas tecnologías y por tanto se encuentran ocupadas.

Según Arrow.com [21] y Rodríguez de Luis, E. [22], la ITU (International Telecommunication Union) definió las siguientes bandas de frecuencia para el despliegue del 5G. Estas son:

- Frecuencia de banda baja: 700 Mhz (703 MHz -788 MHz). Es la banda n28. Se caracteriza porque prevalece la cobertura (mayor alcance) sobre la velocidad (menor ancho de banda). El objetivo de esta banda es que se use en núcleos no urbanos, es decir zonas rurales. Es capaz de penetrar mejor en obstáculos como las paredes.
- Frecuencia de banda media: 3,5 GHz (3,5 GHz -3,7 GHz), es la banda n78. Obtiene velocidades más altas, de al menos 1 Gbps. Esta banda de frecuencia se usa sobre todo en zonas urbanas. Como la longitud de onda es menor que la banda de 700 MHz, el alcance será menor y tendrá una peor penetración en los obstáculos (menor penetración en interiores).
- Frecuencia de banda alta o banda milimétrica (mmWave): 26 GHz (24,25 GHz – 27,50 GHz). Es la banda n258. Se considera la banda de frecuencia que tiene una alta tasa de transferencia de datos, y un gran ancho de banda. Se requerirá el uso del Beamforming para conseguir una buena cobertura y un enlace eficiente. La desventaja de esta banda de frecuencia es su menor cobertura.

Esta imagen ofrece un resumen de las diferentes bandas de frecuencia:

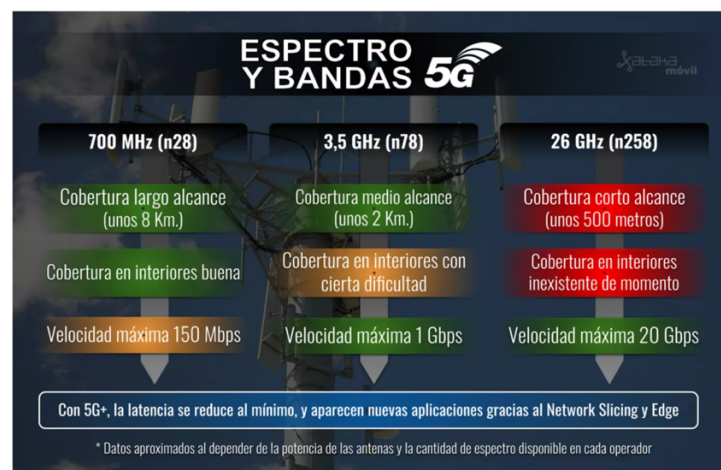


Figura 9. Bandas de frecuencia 5G y sus características. [23]

Con respecto a las arquitecturas que puede implementarse en el 5G son dos. Según Darah, D. [24] y Tknika.eus [25], podemos encontrarnos diferentes arquitecturas y estas son:

### 1) NSA 5G (Non Stand Alone 5G).

Considerada la primera arquitectura 5G (definida por la *Release 15* de 3GPP). Es una arquitectura diseñada para convivir con la arquitectura de cuarta generación (4G).

En esta arquitectura existen dos redes de acceso radio (LTE y 5G) y el núcleo de red que es el EPC (Evolved Packet Core) del 4G. El terminal usuario (UE) se conecta en un primer momento a la red de acceso radio 4G (E-UTRAN o eNodeB) donde realiza toda la señalización y determina sus permisos de usuario/red con el núcleo EPC. Si el terminal de usuario (UE) soporta 5G y tiene buena calidad de señal 5G, entonces se conectará también a la red de acceso radio 5G (5G NR) y así aumentará la velocidad de subida y bajada, es decir complementa la capa de datos del 4G. El UE, por tanto, se encontrará conectado a los dos nodos de acceso radio.

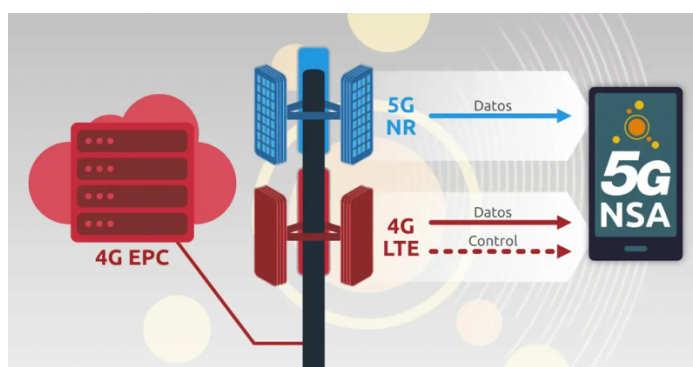


Figura 10. Arquitectura NSA 5G. [25]

Desventajas:

- No ofrece las capacidades que puede tener una red pura 5G: baja latencia tanto en la red de acceso como en la red de núcleo, network slicing, etc.
- Aumento de consumo de energía para alimentar redes de acceso radio 5G cuando se encuentra en una infraestructura 4G.

Ventajas:

- Costes reducidos en infraestructura: solo se instalan antenas compatibles con 5G.
- Rápido despliegue: solo hace falta implementar un nodo de acceso radio 5G.
- Permite mejorar el ancho de banda móvil (eMBB) y la latencia de solo la red de acceso.

### 2) SA 5G (Stand Alone 5G).

Todos los elementos de la red son 5G, es decir: el acceso radio 5G (5G NR) y el núcleo de la red (5G CN). Esta arquitectura sería la 5G+, que es la arquitectura que saca todo el beneficio de la tecnología 5G.

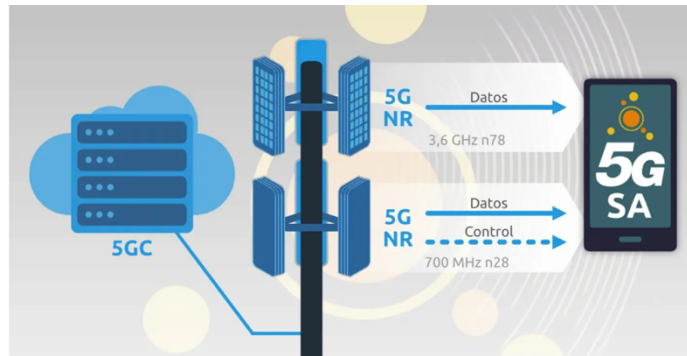


Figura 11. Arquitectura SA 5G. [25]

Al disponer esta arquitectura de un núcleo de red 5G y una red de acceso radio 5G, toda la red mejorará la latencia y por tanto el UE obtendrá una latencia muy baja. Además, el núcleo de red aportará las ventajas de network slicing, mejor rendimiento y eficiencia energética (solo un método de conectividad celular con respecto a NSA 5G). Sin olvidar que el núcleo de red será capaz de suministrar un gran ancho de banda y como consecuencia una velocidad ultrarrápida.

Según Llorach, J. [26], en España esta arquitectura solamente se ha desplegado en las grandes ciudades como: Ávila, Barcelona, Castellón, Ferrol, Madrid, Málaga, Palma de Mallorca, Las Palmas de Gran Canaria, Segovia, Sevilla y Vigo.

### 2.2.2. Aplicaciones del 5G y casos de uso del 5G en zonas rurales.

Diversas aplicaciones y servicios pueden hacer uso del 5G, beneficiándose de las características de esta tecnología inalámbrica. Según la ITU [27], se pueden agrupar las aplicaciones o servicios que hacen uso del 5G, en 3 grupos o categorías. Algunos de estos servicios se pueden beneficiar de las características de varios grupos o categorías. Los grupos son:

- eMBB (enhanced Mobile BroadBand): Banda de ancha móvil.
- mMTC (massive Machine-Type Communications): Comunicación de tipo de máquina masiva.
- URLLC (Ultra-Reliable Low-Latency Communications): Comunicaciones de baja latencia ultra confiables.

La figura siguiente muestra de forma resumida algunas aplicaciones o servicios clasificados según los diferentes grupos.

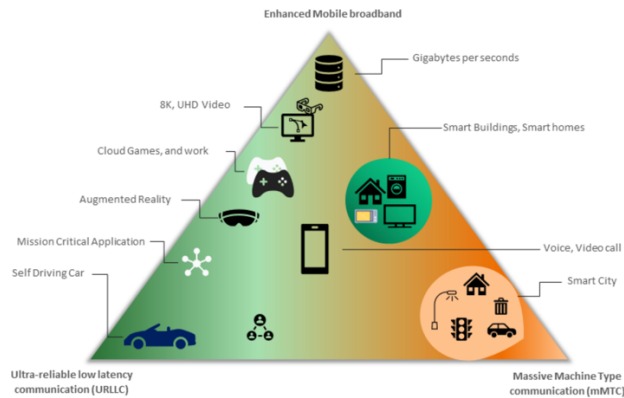


Figura 12. Grupos de las diferentes aplicaciones o servicios que hacen uso del 5G. [28]

**mMTC:** esta categoría está destinada para aplicaciones masivas del Internet de las Cosas (IoT) y máquina a máquina (M2M). Se caracteriza por uso y despliegue de una gran red de sensores de baja potencia en zonas urbanas y rurales. El servicio de red mMTC, tiene como requisito dar soporte a más de 1 billón de dispositivos por kilómetro cuadrado.

**URLLC:** Esta categoría está destinada a dar soporte a las aplicaciones y comunicaciones críticas que necesitan una latencia de extremo a extremo lo más baja posible (1 ms). La latencia baja y la ultra fiabilidad beneficiarán a los sistemas de transporte inteligentes (conducción autónoma).

**eMBB:** Esta categoría pretende dar cobertura con un gran ancho de banda a zonas altamente pobladas, con una tasa máxima de transferencia de 20 Gbps en enlace *downlink* y hasta 10 Gbps en el enlace *uplink*. Permitirá que los usuarios disfruten de un *streaming* de alta velocidad en zonas densamente pobladas.

Algunos casos de uso del 5G en zonas rurales son:

- Multitud de diferentes sensores conectados con precisión: Como menciona Lobillo, E. [29], empresas como Cellnex junto con Nokia, Quobis y Masmóvil, lideraron un proyecto de integración de multitud de sensores conectados mediante 5G que monitorizaban distintos parámetros como: humedad del aire y suelo, temperatura, luz ultravioleta e infrarroja en diversas parcelas cultivadas en la localidad de Matanza de Soria.
- Vigilancia de zonas rurales con 5G y el UAS (Unmanned Aerial System) TARSIS: Aertec [30] en su blog relata que Vodafone ha integrado conectividad 5G al sistema UAS TARSIS, con la finalidad de asegurar un ancho de banda y una mínima latencia en la transmisión de imágenes en tiempo real y de alta calidad, así como la emisión de órdenes de control en tiempo real. Esto permitirá obtener un mejor rendimiento en el uso del dron para vigilar zonas rurales y mejorar la lucha contra incendios.

## 2.3. Situación actual y a corto plazo en el despliegue del 5G en las zonas rurales de España.

Algunas noticias sobre la situación actual (desde el segundo semestre de 2023 hasta el primer semestre de 2024, ambos incluidos) del despliegue del 5G en zonas rurales en España:

- Según Ferrer, V. [31], el Gobierno aprobó una inversión de 500 millones de euros para el despliegue de infraestructura 5G en las zonas rurales de España para el año 2024. Se espera que estas ayudas se reciban en el primer semestre de 2024 para empezar con el despliegue de la infraestructura necesaria para el 5G.
- El periódico de El Español [32] emitió una noticia en febrero de 2024, sobre 15 nuevos pueblos de Castilla- La Mancha que ya disponen de cobertura 5G. El despliegue del 5G fue en la banda de 700 MHz (n28), los pueblos son: Mahora y Cenizate, (Albacete); Agudo, La Solana y Navas de Estena, (Ciudad Real); Casasimarro, Vellisca, Huerta del Marquesado, Boniches y Tarancón, (Cuenca); Alustante y Terzaga, (Guadalajara); y Santa Cruz del Retamar, Santa Cruz de la Zarza y Mazarambroz, (Toledo).

Con respecto a la situación futura-cercana (desde el segundo semestre del 2024 hacia adelante) del despliegue del 5G en las zonas rurales, estas son algunas noticias:

- García, M. [33] menciona que Vodafone España pretende alcanzar una cobertura 5G en el 82% de la población española a finales del 2024. El plan de Vodafone España pretende expandir el 5G en 147 poblaciones de 1.000 habitantes y en 553 poblaciones de hasta 50.000 habitantes.
- Según López, N [34] escribió una noticia que todos los pueblos de la provincia de Almería tendrían conexión rápida a internet en 2025. No solamente banda ancha ultrarrápida por fibra óptica, sino también cobertura 5G que ya se encuentra en pleno despliegue.

Como se comprueba con estas noticias, los trabajos del despliegue del 5G en las zonas rurales de España no finalizarán hasta por lo menos el año 2025, pudiendo quedar algún pueblo sin cobertura 5G a partir del año 2026, porque no reúna requisitos como la cantidad mínima de habitantes y no sea rentable o no se hayan finalizado los trabajos debido a retrasos en su despliegue.

## 2.4. Otros proyectos relacionados con el trabajo.

Existen proyectos similares que se encuentran relacionados con la temática de este trabajo fin de máster. Se pueden encontrar tanto proyectos realizados por ingenieros como trabajos académicos como este TFM.



Algunos proyectos realizados por ingenieros y empresas son:

- Estudio realizado por WAIN Desarrollo Sostenible S.L. [35], titulado: *“Estudio de cobertura de telefonía móvil para el municipio de GILET”*. Este informe se realizó el 7 de enero de 2016. Es un estudio encargado por el Ayuntamiento de Gilet a WAIN Desarrollo Sostenible S.L. con el fin de seleccionar emplazamientos adecuados para las estaciones base móvil para dar cobertura al municipio.
- Proyecto realizado por el Ingeniero Técnico Industrial (Nº col: 2.689 C.O.P.I.T.I.CO) Ortiz de Viguera, J.L. [36], titulado: *“Proyecto de actuación para instalación de una estación base de telefonía móvil”* (proyecto realizado con fecha 1 de junio de 2020 y con registro de entrada en el Ayuntamiento de Villanueva de San Juan el día 4 de agosto de 2020). Este proyecto se realiza para un pueblo de la provincia de Sevilla, Villanueva de San Juan.
- Proyecto realizado por el Ingeniero Técnico Industrial (Nº col: 11.159 COGITISE) Nevado Pulgarín, J.M. [37], titulado: *“Proyecto técnico para instalación de una estación base de telefonía móvil”* (proyecto realizado con fecha 12 de enero de 2021). Este proyecto se realiza para un pueblo de la provincia de León, Villablino.

Trabajos académicos similares a este TFM son:

- Ramírez Panduro, M. [38], titulado: *“Análisis de cobertura en estaciones base para antenas de 4G y 5G”*.  
Es un TFM de la UOC sobre estudios de cobertura con diferentes estaciones base móvil de 4G y 5G en diferentes localizaciones. Para la simulación de cobertura la autora lo realiza con el software ATOLL.
- Redondo Pinardo, G. [39], titulado: *“Proyecto de despliegue de una nueva red 5G por un operador de telecomunicaciones”*.  
Es un Trabajo Fin de Grado (TFG) sobre la viabilidad de desplegar una red de acceso 5G con estimación de costes, selección de materiales y características.
- Castro Sánchez, D. [40], titulado: *“Diseño de una red de acceso radio 5G (RAN-5G) aplicado a la zona portuaria de Valencia”*.  
Es un TFG sobre el diseño y despliegue simulado de varias estaciones base 5G usando software de simulación en el puerto logístico de Valencia.

Otros proyectos dedicados a mejorar la cobertura 5G son [41] [42] [43] [44] [45] [46] [47] y [48].

### 3. Diseño y propuesta.

Este capítulo describe los diferentes pasos que se han llevado a cabo en la planificación de la red de acceso radio 5G en Poblete. Primero, se describirá el pueblo (Poblete) y el terreno donde se encuentra; segundo, se propondrá el emplazamiento del nodo de acceso; tercero, se realizará una búsqueda de los materiales necesarios y se seleccionarán para su implementación; cuarto, se elegirán y calcularán los parámetros característicos para el estudio de cobertura; por último, se describirá la herramienta que se utilizará en el siguiente capítulo para la simulación del estudio de cobertura 5G.

#### 3.1. Descripción y situación de Poblete.

El Ayuntamiento de Poblete en su página web [49] menciona datos relevantes sobre su municipio: historia, geografía y localización. Estos son los siguientes: el nombre de Poblete proviene del término “Poblet”, que significa: pueblo pequeño. Poblete, se encuentra en el Campo de Calatrava cercano al río Jabalón y al río Guadiana, con una altitud de 627 metros.

Poblete se encuentra incluido en la comarca de Montes Norte, que agrupa a 16 pueblos del noroeste de la provincia de Ciudad Real.

Aproximadamente, la extensión municipal es de  $27,5 \text{ Km}^2$ . Poblete limita al norte con Ciudad Real, al Sur con Corral de Calatrava, al Este con Miguelturra y al Oeste con Alcolea de Calatrava.

Poblete tiene dos vías de comunicación por carretera: la carretera N-420 que atraviesa el término municipal de Poblete y la autovía A-41 que se encuentra en el exterior de Poblete.

Según datos oficiales del INE (Instituto Nacional de Estadística) [50], la población ha ido ligeramente creciendo en Poblete desde el año 2009 hasta el año 2023. Con una población en el año 2023 de 2.863 habitantes censados. Con esta tendencia se puede prever que este año 2024 al menos tendrá la misma cantidad de habitantes o será ligeramente superior sin llegar a 3.000 habitantes.

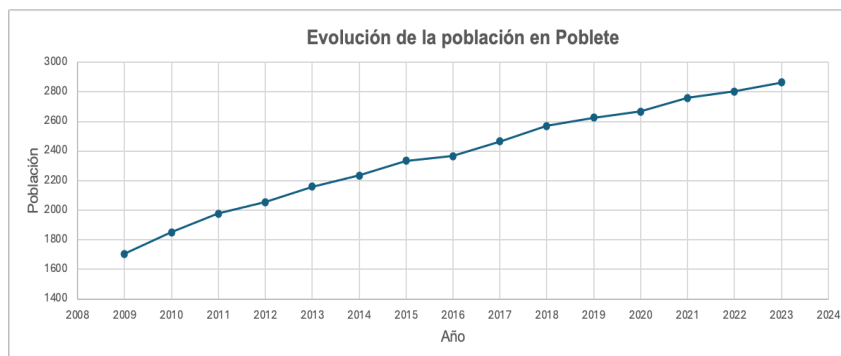


Figura 13. Evolución de la población por año en Poblete. [50]

Poblete es un pueblo que se encuentra ligeramente en expansión debido a que tiene diversas ventajas como: precios más bajos para adquirir una vivienda de obra nueva o segunda mano y porque se encuentra próximo a Ciudad Real. Poblete, se puede considerar como un pueblo dormitorio en la que una parte de su población trabaja en Ciudad Real u otras partes.

Con los últimos datos publicados por la Agencia Tributaria [51], Poblete se encuentra en la posición 781 de renta bruta media a nivel nacional y en la posición 33 de renta bruta media a nivel autonómico. La renta bruta media es de 26.731 euros, según el cálculo de 1.332 declaraciones de la renta presentadas el año 2021.

El sector primario y sector terciario son el eje económico central de Poblete. Hay diversas empresas agrícolas y ganaderas que elaboran quesos manchegos como son: Quesería Villadiego [52], Finca Fuentillejos [53] y Quesos Campollano [54]. Además, Poblete cuenta con una panadería tradicional (Productos Peláez [55]) y una pastelería artesanal (Pastelería María Magdalena [56]). También hay diversos comercios como: pequeños supermercados, ferretería, farmacia, etc.

Con respecto al ámbito educativo, Poblete cuenta con un colegio de educación primaria y no cuenta con institutos de educación secundaria.

Por último, Poblete tiene servicio de Policía Local y cuenta con un consultorio médico de la seguridad social.

Con respecto a la geografía, Poblete no se encuentra en una zona montañosa por lo que no hay demasiada pendiente en el terreno. Hay vegetación alrededor del pueblo como: encinas, olivos, pinos, arbustos, etc.

Tiene un clima continental con temperatura demasiado baja en invierno y alta en verano. La humedad también es muy baja por lo que hay riesgo en verano de que puedan producirse incendios aislados.

#### Planos de Situación general.

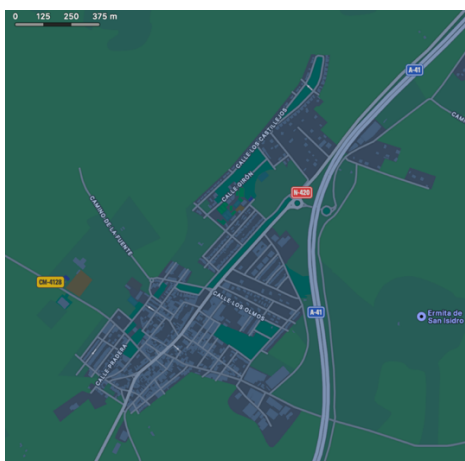


Figura 14. Superficie construida en Poblete. [Apple Maps]



Figura 15. Vista satélite de Poblete. [Apple Maps]

## 3.2. Propuesta de emplazamiento.

Poblete cuenta con una única estación base móvil (BTS) como se mencionó en el primer capítulo.



Figura 16. Emplazamiento existente de la BTS (señalado con un punto azul). [2].

Los datos de este emplazamiento son los siguientes.

- Coordenadas UTM: 30S 415177 4309819
- Cota del terreno: 634 m
- Altura aproximada de la torre de celosía de la BTS: 35 metros.
- Altura total (cota + torre): 669 m.
- Ubicación: Calle Zorreras S/N. (Poblete)

Al lado del emplazamiento de la BTS se encuentran varias naves industriales y en su cercanía hay diversas viviendas adosadas de dos plantas. No hay obstáculos como: árboles, montañas, etc. que puedan hacer apantallamiento a la BTS.

Con respecto al resto de edificaciones que tiene Poblete: viviendas, ayuntamiento, naves industriales, etc. se considera que no superan los 15 metros, siendo la torre de celosía de la BTS, predominante.

Se tomaron algunas fotografías del emplazamiento de la estación base existente y su alrededor, con la finalidad de aportar más información. Estas son:



Figura 17. Fotografía I: emplazamiento de la BTS existente. [elaboración propia]



Figura 18. Fotografía II: emplazamiento de la BTS existente. [elaboración propia]



Figura 19. Fotografía III: construcciones alrededor de la BTS existente. [elaboración propia]



Figura 20. Fotografía IV: construcciones alrededor de la BTS existente. [elaboración propia]

Teniendo en cuenta que Poblete no es un pueblo extenso, no supera los 3.000 habitantes, las diferentes edificaciones existentes no superan 15 metros aproximadamente y Poblete se encuentra en una llanura (sin pendientes), se considera que el emplazamiento de la BTS existente, es ideal para establecer el emplazamiento de la red de acceso radio 5G o nodo 5G.

En esta BTS se encuentran las antenas que dan cobertura 2G, 3G y 4G a Poblete, por lo que se considera que las antenas 5G que se instalen deberían dar cobertura también, a todo el pueblo. Se trata de actualizar la BTS para que soporte 5G.

### 3.3. Búsqueda y selección de los materiales.

En este apartado se pretende buscar y seleccionar los diferentes equipos y elementos necesarios para llevar a cabo la planificación de la red de acceso radio 5G en el emplazamiento descrito anteriormente.

Para el emplazamiento de la Calle Zorreras S/N, se necesitarán menos equipos y elementos, puesto que ya existe la infraestructura de telecomunicaciones (BTS), como: la torre de celosía, el equipo de climatización, el suministro de energía, etc. Por tanto, solamente será necesario buscar y seleccionar los equipos y electrónica de red imprescindibles para dar cobertura 5G: las antenas, cables de fibra óptica y coaxiales, el equipo de radio frecuencia (Radio Remote Unit, RRU) y otros elementos.

Antes de empezar a buscar y seleccionar los diferentes materiales para el emplazamiento, se describirá de forma general y aproximada las diferentes partes de una BTS genérica: equipos, la electrónica de red de una estación base móvil y otros elementos de una BTS.

La siguiente figura muestra las diferentes partes de una BTS genérica:

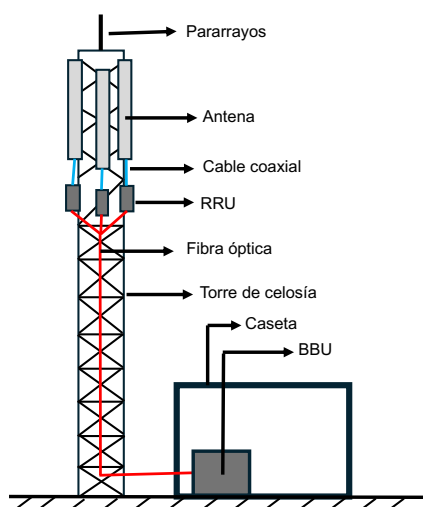


Figura 21. Equipos de una BTS genérica. [elaboración propia]

- **Pararrayos:** necesario para que cualquier rayo que caiga sobre la estación BTS derive la carga eléctrica a tierra y no se pueda estropear ningún equipo electrónico.
- **Antena:** pueden ser antenas sectoriales, omnidireccionales o antenas beamforming.



Figura 22. Antena modelo 10P-4L6M-D5, marca: COMMSCOPE. [57]

- **RRU (Radio Remote Unit):** equipo de radio frecuencia (RF) que se instala junto a la antena. Es un equipo exterior como la antena. Procesa la señal de la BBU y se encarga de convertir la señal óptica de entrada (de la fibra óptica) en señal eléctrica (cable coaxial). Es decir, se encarga de transmitir y recibir señales de diferentes portadoras y modulaciones hacia la BBU (BaseBand Unit) y la Antena, usando un protocolo de comunicaciones como es: CPRI (Common Public Radio Interface). También se encarga de transmitir la ganancia necesaria para conformar el diagrama de radiación que necesita la Antena, polarización, ancho de banda, la eficiencia que debe tener la antena, etc. Por último, realiza funciones de filtrado de señal y de amplificación.

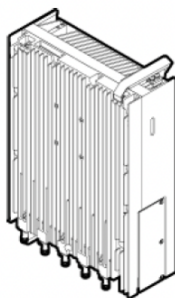


Figura 23. RRU 5258. [58]

- **Cable coaxial de ½ pulgadas:** Cable coaxial usado desde la RRU hacia la Antena.



Figura 24. Cable coaxial de ½ pulgadas flexible para RRU. [59]

- **Fibra óptica:** enlaza la BBU con las RRU,s. Se utiliza fibra óptica monomodo y conectores LC-LC. Usará el protocolo de comunicaciones de datos y control CPRI, usado para comunicaciones FrontHaul (entre BBU y RRU).



Figura 25. Fibra óptica monomodo con conector LC-LC. [60]

- **BBU (BaseBand Unit):** Unidad de Banda Base. Procesa las señales en banda base del exterior para trasmitirla a la Antena a través de la RRU o recibir la señal de la Antena y procesarla nuevamente en banda base.



- **Torre de Celosía:** Estructura metálica de acero donde se ubican casi todos los equipos de la BTS. Puede tener una altura variable según la estación BTS: 30m, 35m, 40m, etc.
- **Caseta:** donde se ubica la BBU, el equipo de climatización (opcional), la fuente de energía (batería o red eléctrica) y convertidor CA/CC para los diferentes equipos de la BTS.

Puede haber un elemento más en las BTS debido al uso de redes de acceso radio 4G TDD y 5G TDD. Estas redes de acceso radio TDD, usan el receptor GPS, que es un elemento necesario para realizar una correcta sincronización del tiempo de las tramas enviadas y recibidas entre los nodos y los diferentes UE.

Otros equipos necesarios en una BTS son: los equipos suministradores de energía eléctrica o baterías, equipos de climatización (opcional), convertidores AC/CC para alimentar las RRU y la BBU, antenas de microondas para sincronizar con otras BTS.

Una vez descrito las diferentes partes de una BTS, serán seleccionados los diferentes equipos necesarios para el emplazamiento.

### **Emplazamiento de Calle Zorreras S/N.**

- x2 antenas COMMSCOPE modelo RR-65C-R2VB-V2 [61].  
Detalles:
  - 2 puertos RET (Remote Electrical Tilt): permite ajustar de forma remota la inclinación eléctrica.
  - 4 puertos de banda baja: 694-960 MHz.
  - Ganancia de 694-790 MHz: 15,8 dBi.
  - MIMO 4X4 (4T4R).



Figura 26. Antena COMMSCOPE RR-65C-R2VB-V2. [61]

NOTA: *Datasheet* en los Anexos.

- x2 Tubos TF-MSS-4 COMMSCOPE [62] soporte de 1,6m para antena. Es un soporte para cada una de las antenas para que se pueda enganchar en la torre de celosía. Es compatible con Antenas COMMSCOPE.

NOTA: *Datasheet* en los Anexos.



Figura 27. Tubo TF-MSS-4 COMMSCOPE para soporte de la antena en la torre. [62]

- x2 Kit de montaje completo Downtilt BSAMNT-1 COMMSCOPE [63]. Se utilizará 1 Kit Downtilt por cada antena. Necesario para orientar la antena de forma mecánica con un ángulo en el plano vertical.

NOTA: Datasheet en los Anexos.

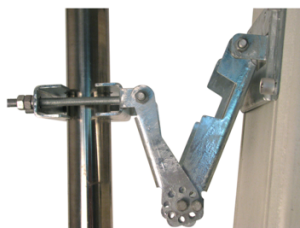


Figura 28. Parte superior del Kit Downtilt BSAMNT-1 COMMSCOPE. [63]



Figura 29. Parte inferior del Kit Downtilt BSAMNT-1 COMMSCOPE. [63]

- x2 RRU Huawei RR5512t [64]. Una RRU por cada Antena. La RRU se puede anclar a la misma torre de celosía y se coloca por la parte de atrás de la antena o por debajo de la antena.

Detalles:

- Puertos RF multibanda (700 MHz, 800 MHz y 900 MHz): UMTS, LTE y 5G NR (banda baja).
- Potencia máxima de transmisión: 4x80W.
- Soporta MIMO 4X4 (4T4R).
- 1 entrada Fibra óptica CPRI.
- 1 entrada fuente de alimentación 48V DC



Figura 30. Huawei RRU 5512t (4x80 W) multibanda 700-900 MHz. [64]

- x16 Conectores 4.3/10 RF macho recto atornillado para cable coaxial [65]: 4 conectores/RRU y 4 conectores/antena. Tanto la antena como las RRU tienen una entrada hembra, por lo que se necesitan conectores macho.



Figura 31. Conector 4.3/10 macho recto y atornillado. [65]

- 16m Cable Coaxial RF 1/2" de 50 Ohmios [66]: Por cada RRU y Antena habrá 4 tiradas de cable coaxial de 2 metros cada una. Un total de 16 metros necesarios.



Figura 32. Cable Coaxial RF 1/2" 50 Ohmios. [66]

- 80 metros de fibra óptica monomodo dúplex LC a dúplex LC [60]. Aplicación CPRI: 40 metros por cada RRU a BBU.



Figura 33. Fibra óptica CPRI LC-LC. [60]

- x2 Cable de alimentación RRU 48 V DC impermeable [67]: es un cable de alimentación por cada RRU, para conexión a la red eléctrica o batería dentro de la Caseta, a través de un convertidor CC/CA.



Figura 34. Cable de alimentación de RRU a convertidor CC/CA. [67]

Estos serán los equipos y materiales necesarios para crear la red de acceso radio 5G. Se respetarán el resto de las antenas, equipos RF y materiales que ya existen en la BTS, necesarios para trabajar con el resto de las tecnologías móviles.

### 3.4. Elección y cálculo de parámetros para el estudio.

Se elegirán y calcularán algunos parámetros necesarios para generar el estudio de cobertura en este subapartado.

Algunos de los parámetros vendrán determinados por los *Datasheet* (se encuentran en los Anexos de este TFM) de los materiales elegidos en el apartado anterior y otros serán necesario calcularlos como, por ejemplo: el tilt mecánico (*downtilt*) o los sectores de las antenas.

Estos parámetros son:

- Banda de frecuencia.
- Numerología.
- Potencia de transmisión.
- Atenuación cable coaxial RF.
- Atenuación conectores RF 4.3/10.
- Ganancia de la antena.
- Polarización.
- MIMO.
- Altura de las antenas y sectores.
- Cálculo del *downtilt* mecánico.
- Método de cálculo de propagación.
- Parámetros de recepción del terminal.

A continuación, se desarrollan:

#### 1) **Banda de frecuencia.**

Como se puede comprobar la antena COMMSCOPE (modelo RR-65C-R2VB-V2) elegida puede trabajar en solamente una banda. En este caso, es una banda de frecuencia baja (694-960 MHz).

La banda baja 5G (n28, 700 MHz) es la destinada para que el 5G pueda ofrecerse en zonas rurales, por lo que este modelo de antena es suficiente para cumplir con los requisitos. Además, esta banda de frecuencia permite obtener una mayor cobertura que bandas superiores del 5G.

Aunque la banda de frecuencia inferior de la antena es 694 MHz y la banda superior 960 MHz, nos centraremos en la banda n28 (700 MHz) para el 5G.

Para el 5G, la banda de 700 MHz queda limitada de la siguiente manera: el tramo inferior de la banda es 703 MHz y el tramo superior es 788 MHz.

En esta banda, existen 4 bloques de frecuencia *uplink* y 4 bloques de frecuencia *downlink*. En la figura se muestran estos bloques.

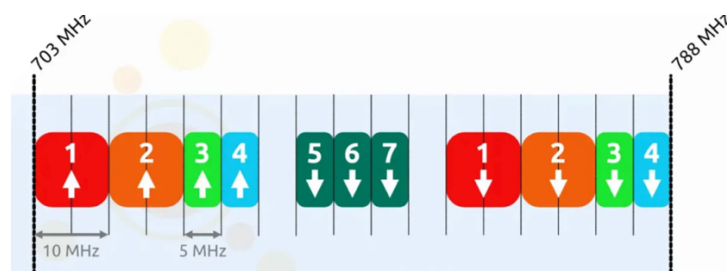


Figura 35. Bloques *uplink* y *downlink* de la banda 700 MHz. [68]

Los bloques 1 y 2 tienen un ancho de banda de 10 MHz y los bloques 3 y 4 tienen un ancho de banda de 5 MHz. Por tanto, los bloques *uplink* (1,2,3 y4) tendrá un ancho de banda total de 30 MHz (desde 703 MHz hasta 733 MHz) y para los bloques *downlink* (1,2,3 y 4) otros 30 MHz (desde 758 MHz hasta 788 MHz).

Tras la subasta de espectro 5G realizada por el Gobierno, los bloques 1 fueron asignados a un operador de telecomunicaciones y los bloques 2 a otro. Los bloques 3 y 4 fueron asignados a un mismo operador de telecomunicaciones, por lo que podría considerarse como un único bloque de 10 MHz.

Los bloques *downlink* 5, 6 y 7 (de 5 MHz cada uno) no fueron asignados a ningún operador de telecomunicaciones, por tanto, son bloques reservados para el gobierno de España.

En este trabajo, para que la simulación sea lo más real posible, se debe escoger un bloque *uplink* y el mismo bloque para *downlink*. Por ejemplo, escogeremos el bloque 2 (tanto para *uplink* como para *downlink*).

Se podía haber escogido otro par de bloques, pero con el que se ha elegido es suficiente, ya que lo que se trata es que la red de acceso radio 5G de Poblete haga uso de la banda 700

MHz y sea compatible con la antena COMMSCOPE elegida y se pueda generar el estudio de cobertura 5G.

En la tabla se muestran los datos del Bloque 2: los límites de la banda de frecuencia, ancho de banda y frecuencia portadora. Estos datos se usarán posteriormente.

BLOQUE 2 DE LA BANDA 700 MHz.				
	Tramo inferior (MHz)	Tramo superior (MHz)	Frecuencia portadora (MHz)	Ancho de Banda (MHz)
<b>Uplink</b>	713	723	718	10
<b>Downlink</b>	768	778	773	10

Tabla 3. Bloques nº2 de la banda de frecuencia de 700 MHz. [elaboración propia]

Como se puede intuir, la red de acceso radio 5G de Poblete trabajará en FDD, tendrá una frecuencia para el enlace de subida y otra frecuencia para el enlace de bajada.

## 2) Numerología.

A partir de la *Release 15*, se introdujo un concepto nuevo en el 5G, llamado: numerología. La numerología, según 3GPP [69], es el espaciado entre subportadoras y duración del prefijo cíclico. La numerología tiene un valor asignado y se encuentra ligado al espaciado entre subportadoras. La tabla representa los valores de la numerología:

$\mu$	$\Delta f = 2^\mu \cdot 15$ [kHz]	Cyclic prefix
0	15	Normal
1	30	Normal
2	60	Normal, Extended
3	120	Normal
4	240	Normal

Tabla 4. Numerología. [69]

Es necesario usar numerología en la tecnología 5G para cubrir los diferentes servicios en todo el espectro de frecuencia del 5G (sub-6 GHz y banda mmWave). También para ofrecer un buen rendimiento en la red y que la señal sea más fuerte contra el ruido y sea más eficiente. Se puede usar la misma numerología para todo el espectro 5G, aunque es recomendable variarlo según el propósito y según la banda de frecuencia.

Atendiendo al documento de 3GPP, usaremos una numerología con un valor bajo, puesto que es recomendable usarlo para la banda de frecuencia sub-6 GHz, para introducir la mayor cantidad posible de subportadoras en una banda limitada, como es la banda n28 (700 MHz) y para aumentar la cobertura.

Con un espaciado pequeño entre subportadora, la duración del prefijo cíclico será largo y la propagación de la señal será menos vulnerable a multitrayectos. Con un espaciado grande entre subportadoras (120 kHz, 240 kHz), la latencia será menor y menos vulnerable al efecto

*Doppler* (porque transmisor y receptor se muevan rápidamente). Un espaciado grande entre subportadoras se debe usar para banda mmWave.

Escogemos el valor de  $\mu = 1$  (con un espaciado entre subportadoras de 30 kHz), debido a que el valor de espaciado entre subportadoras de 15 kHz es usado por la tecnología LTE.

### 3) Potencia de transmisión.

La antena es pasiva y por tanto la potencia de transmisión vendrá dada por la potencia que puede suministrar la RRU a la salida de sus puertos RF. En este caso, la RRU elegida determina que la máxima potencia de salida para sus 4 puertos RF es de 80 W.

Para que no sea una potencia de transmisión alta, escogeremos una potencia de transmisión intermedia-baja. Se escoge 30 W.

Se ha tomado este valor según la estimación dada de potencia de transmisión en las BTS por el artículo del Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación [70].

### 4) Atenuación cable coaxial RF.

Sí nos fijamos en las especificaciones técnicas (se encuentra en los Anexos) del cable coaxial RF escogido, nos aparece la atenuación por tramos de 100 m de cable y por la frecuencia:

ATTENUATION		
Frequency	Attenuation dB/100 m	Power rating kW
10	0.669	12
30	1.17	6.9
50	1.51	5.3
88	2.02	4.0
100	2.16	3.7
108	2.25	3.6
174	2.88	2.8
200	3.09	2.6
300	3.83	2.1
400	4.45	1.8
450	4.74	1.7
500	5.01	1.6
512	5.08	1.6
600	5.53	1.4
700	6.01	1.3
800	6.45	1.2
850	6.67	1.2

Figura 36. Atenuación del cable coaxial RF. [66]

Para la banda de frecuencia de 700 MHz tiene una atenuación de 6,01 dB/100m. Por tanto, la atenuación para un metro será 0,0601 dB/m.

Sabiendo que los tramos de cable coaxial RF que se usarán entre la RRU y la antena tienen una longitud máxima de 2 m, entonces la atenuación total (L) por tramo será:

$$L_{cable} = 2m * 0,0601 \frac{dB}{m} = 0,12 dB$$

### 5) Atenuación conectores RF 4.3/10.

Teniendo en cuenta las especificaciones técnicas (se encuentra en los Anexos) de los conectores 4.3/10 elegidos. Estos conectores tienen unas pérdidas de inserción de 0,05 dB.

Como usaremos un total de 2 conectores por tramo de cable coaxial RF, entonces tendremos unas pérdidas por inserción total por tramo de:

$$L_{conector} = 2 * 0,05 dB = 0,1 dB$$

### 6) Ganancia de la antena.

En el *Datasheet* (se encuentra en los Anexos) de la antena COMMSCOPE elegida, aparece la banda de frecuencia de trabajo de la antena dividida en 3 tramos.

La antena COMMSCOPE sigue el estándar BASTA creado por la Next-Generation Mobile Networks Alliance, para unificar los resultados de las mediciones que son presentadas en las especificaciones de las antenas. Son especificaciones más reales, de las capacidades que tiene la antena.

En este caso, tenemos las siguientes especificaciones eléctricas siguiendo el estándar BASTA.

#### Electrical Specifications, BASTA

Frequency Band, MHz	694-790	790-890	890-960
Gain by all Beam Tilts, average, dBi	15.8	16.2	16.6
Gain by all Beam Tilts Tolerance, dB	±0.4	±0.3	±0.3
Beamwidth, Horizontal Tolerance, degrees	±4.9	±3	±4.1
Beamwidth, Vertical Tolerance, degrees	±0.4	±0.5	±0.2
CPR at Boresight, dB	24	25	25

Figura 37. Especificaciones eléctricas de la antena según el estándar BASTA. [61]

La banda de la red de acceso radio 5G que se quiere implementar estaría incluido en la banda de 694-790 MHz. En esta banda, la ganancia media de todas las inclinaciones posibles de los haces de la antena sería 15,8 dBi con una tolerancia de ±0,4 dBi.

Se escogerá un valor medio de ganancia para que la simulación de cobertura no se haga con los límites superior e inferior de la tolerancia y sea lo más real posible. En este caso, se escogerá el valor de 15,8 dBi como la Ganancia de la antena.

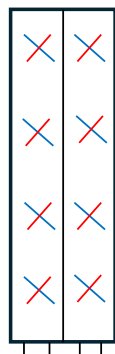
### 7) Polarización.

Según el *Datasheet* (se encuentra en los Anexos), la antena tiene una polarización cruzada ortogonal a ±45°. Esto permite que el plano vertical de radiación y el plano de la horizontal se encuentren inclinado en +45° y -45°. Con esto se consigue que la antena obtenga menos ruido

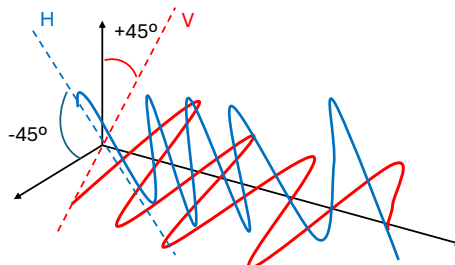


e interferencia de antenas próximas que usen solamente polarización vertical u horizontal. Siendo la eficiencia de la antena mayor.

La siguiente figura muestra la polarización que usa la antena propuesta.



(a) Los dos array de la antena con la polarización.



(b) Polarización cruzada  $\pm 45$

Figura 38. Los dos array de la antena COMMSCOPE con polarización cruzada  $\pm 45$ .  
[elaboración propia]

## 8) MIMO.

En este caso, la antena COMMSCOPE sectorial tiene la capacidad de funcionar con MIMO 4X4, por lo que se escogerá esta tecnología.

Esta tecnología permite mediante 4 antenas transmisoras y 4 antenas receptoras, transmitir y recibir una señal simultáneamente que ha seguido múltiples trayectorias (propagación multicamino), permitiendo mejorar la tasa de transmisión de datos, disminuir la tasa de errores y mejorar la eficiencia espectral.

Esta tecnología se aplica tanto en enlace ascendente como descendente. Es importante que el terminal del usuario 5G también soporte la tecnología MIMO 4x4.

## 9) Altura de las antenas y sectores.

Teniendo en cuenta que la torre de celosía puede medir aproximadamente 35 metros y las antenas disponibles (las que se encuentran actualmente) están situadas en lo más alto de la torre de celosía, es decir a 34 metros (dejando un margen de 1 metro por la parte superior), sería conveniente bajar estas antenas, en altura y situar las antenas COMMSCOPE propuestas para el 5G a la misma altura donde se encontraban las anteriores.

Sería suficiente bajar las antenas existentes unos 4 metros, situándolas a 30 metros.

Esto se hace con la finalidad de situar las antenas propuestas en lo más alto de la torre de celosía, para así ganar en cobertura.

Quedando de esta forma, la altura de las antenas:

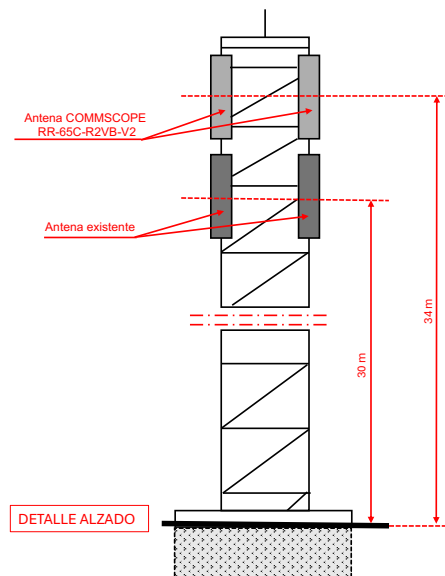


Figura 39. Detalle alzado de la Torre con altura de las antenas. [elaboración propia]

Posteriormente, hay que calcular mediante plano, el sector de las dos antenas COMMSCOPE.

El método que se ha seguido para calcular los sectores ha sido:

- 1) Mediante un plano de Poblete (a través de Google Earth, Google Maps o similar), se agrupan mediante áreas, las edificaciones o viviendas. El número máximo de áreas vendrá determinado por la cantidad de antenas. En este caso, tenemos dos antenas, por tanto, habría que agrupar las viviendas en dos áreas con la finalidad de que los haces de las antenas se solapen de forma parcial.

Según el *Datasheet* de la antena, tiene un ángulo de ancho de haz de media potencia (HPBW) de  $65^\circ$  calculado al 50% de la potencia radiada (-3 dB). Con esta referencia, se puede aproximar la anchura de los lados de los sectores o áreas.

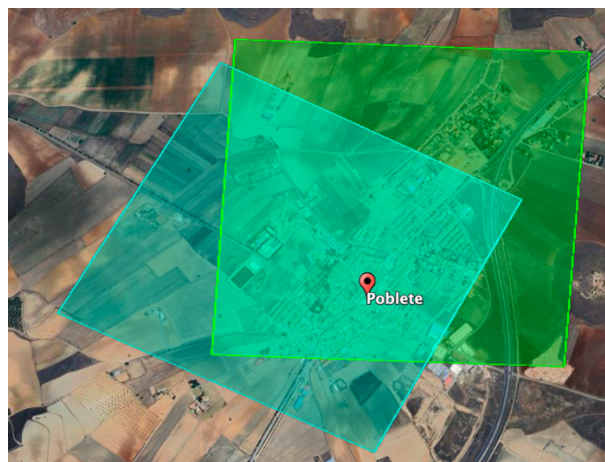


Figura 40. Área de los sectores de las antenas. [Google Earth]

- 2) Una vez representado las dos áreas, se calcularía el sector de las antenas. Para calcular el sector de las antenas, primero, se uniría mediante una línea desde el emplazamiento de la BTS hasta el punto medio del lado más lejano del área rectangular. Segundo, el ángulo que forme el norte magnético con la línea representada sería el ángulo del sector de la antena o Azimut.

Para el Sector 1:



Figura 41. Azimut del Sector 1. [Google Earth]

Como se comprueba en la figura, la línea forma un ángulo de  $0,07^\circ$  aproximadamente. Por tanto, asumimos que el Azimut de  $S1 = 0^\circ$ .

Para el Sector 2:



Figura 42. Azimut del Sector 2. [Google Earth]

Como se comprueba en la figura, la línea forma un ángulo de  $303.27^\circ$  aproximadamente. Por tanto, asumimos que el Azimut de  $S2 = 303^\circ$ .

Finalmente, representamos los dos sectores en una vista en planta:

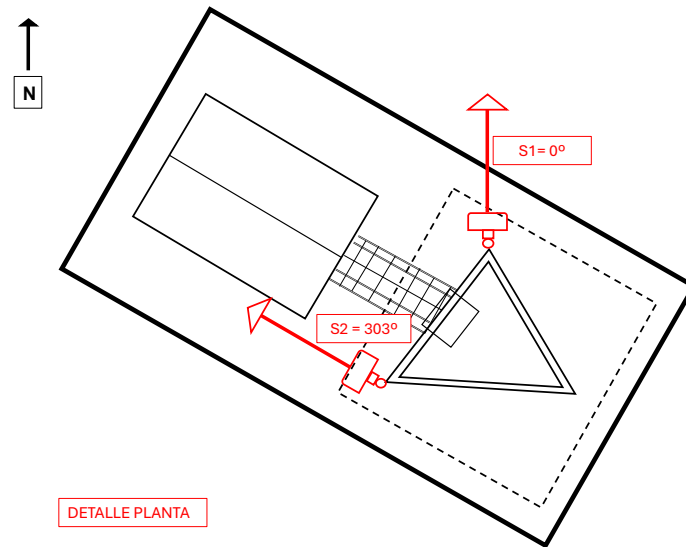


Figura 43. Detalle planta del emplazamiento con sector de las antenas. [elaboración propia]

### 10) Cálculo del downtilt mecánico.

Se calculará el *downtilt*, que es el ángulo necesario para inclinar la antena hacia abajo (de forma mecánica) para iluminar con su haz principal una referencia que se encuentra a menor altura que la antena.

El ángulo resultante (*downtilt*), sería el ángulo formado desde el plano horizontal imaginario de 0° (que formaría la antena sin inclinarse hacia abajo) hasta la línea imaginaria que pasa por la mitad del ancho del haz principal de la antena (a -3 dB).

La figura representa el concepto del *downtilt*:

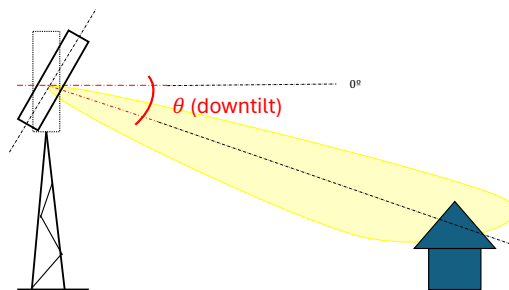


Figura 44. Concepto de *downtilt*. [elaboración propia]

El mecanismo que llevará a la antena a inclinarse hacia abajo será el material elegido: Kit de montaje completo Downtilt BSAMNT-1 COMMSCOPE, que fue nombrado en el apartado 3.3 de este TFM.

Para calcular el *downtilt* de las dos antenas, se seguirá la siguiente metodología y regla:

- 1) Cada antena tendrá un *downtilt* diferente, que corresponde a su área correspondiente. Es decir, para el sector 1, se calculará el *downtilt* de esa área y para el sector 2, el *downtilt* de la otra área.
- 2) Buscamos referencias como viviendas y otras edificaciones a lo largo de la dirección (sector o azimut) de la antena que calculamos anteriormente.

Buscaremos un total de 3 referencias o edificaciones para calcular el ángulo *downtilt*. La primera se encontrará cercana a la antena, la segunda un poco más alejada y la tercera, lo más alejado posible de la antena. En cada una, calcularemos el *downtilt*.

Representamos el perfil del terreno desde la BTS hasta la referencia encontrada.

En el perfil del terreno, se tendrá que sumar la altura del terreno y la altura de la edificación, para que sea lo más real posible. Se toma como una altura promedio de edificación de 12 metros (dato aproximado) y la altura de la antena de la BTS, 34 metros (como se mencionó anteriormente).

- 3) Mediante la figura y las fórmulas [(1), (2), (3)], se calculará el ángulo del *downtilt* (4) para cada sector.

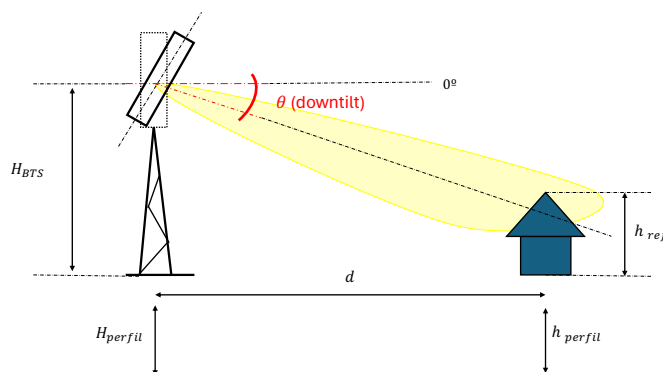


Figura 45. Cálculo del *downtilt*. [elaboración propia]

$H_{BTS} = 34m$  (altura de la antena de la BTS)

$H_{perfil}$  = altura sobre el terreno del emplazamiento de la BTS.

$h_{ref} = 12m$  (altura de la referencia, edificación)

$h_{perfil}$  = altura sobre el terreno de la referencia, edificación.

$d$  = distancia desde el emplazamiento de la BTS hasta la referencia, edificación.

$$H_{TOTAL} = H_{BTS} + H_{perfil} \quad (1)$$

$$h_{TOTAL} = h_{ref} + h_{perfil} \quad (2)$$

$$x = H_{total} - h_{total} \quad (3)$$

$$\theta [^\circ] = \arctag\left(\frac{x}{d}\right) \quad (4)$$

- 4) Hacemos la media de todos los ángulos (*downtilt*) calculados, para ajustar el *downtilt* de la antena y que sea más preciso.

Empezamos con el Sector 1. Se buscan 3 referencias (edificaciones), se calculan sus ángulos y por último se realiza la media de esos ángulos.

Sector 1: 1ª Referencia.

Referencia coordenadas: 30S 415179 4310034



Figura 46. 1ª Referencia del Sector 1. [Google Earth]

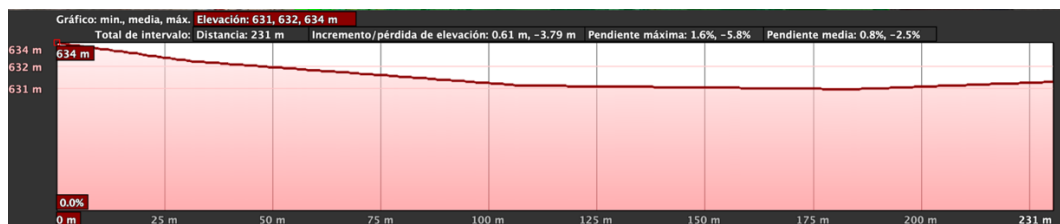


Figura 47. Perfil del terreno de la 1ª referencia del Sector 1. [Google Earth]

$$\begin{aligned}
 H_{TOTAL} &= H_{BTS} + H_{perfil} = 34m + 634m = 668m \\
 h_{TOTAL} &= h_{ref} + h_{perfil} = 12m + 631m = 643m \\
 x &= H_{total} - h_{total} = 668m - 643m = 25m \\
 \theta [^\circ] &= \arctag\left(\frac{x}{d}\right) = \arctag\left(\frac{25m}{231m}\right) = 6,17^\circ
 \end{aligned}$$

Sector 1: 2ª Referencia.

Referencia coordenadas: 30S 415183 4310470

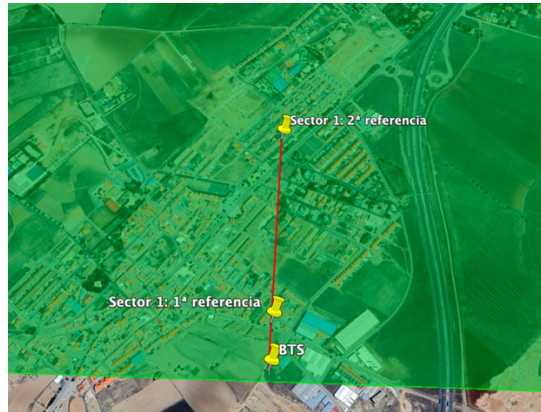


Figura 48. 2ª Referencia del Sector 1. [Google Earth]

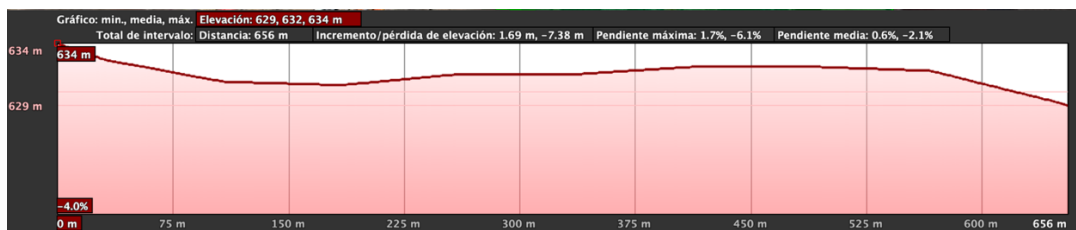


Figura 49. Perfil de terreno de la 2ª referencia del Sector 1. [Google Earth]

$$\begin{aligned}
 H_{TOTAL} &= H_{BTS} + H_{perfil} = 34m + 634m = 668m \\
 h_{TOTAL} &= h_{ref} + h_{perfil} = 12m + 629m = 641m \\
 x &= H_{total} - h_{total} = 668m - 641m = 27m \\
 \theta [^\circ] &= \arctag\left(\frac{x}{d}\right) = \arctag\left(\frac{27m}{656m}\right) = 2,35^\circ
 \end{aligned}$$

Sector 1: 3ª Referencia.

Referencia coordenadas: 30S 415186 4310843



Figura 50. 3ª Referencia del Sector 1. [Google Earth]

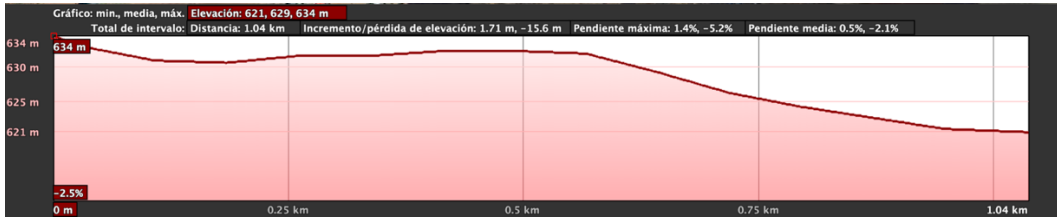


Figura 51. Perfil del terreno de la 3ª referencia del Sector 1. [Google Earth]

$$\begin{aligned}
 H_{TOTAL} &= H_{BTS} + H_{perfil} = 34m + 634m = 668 m \\
 h_{TOTAL} &= h_{ref} + h_{perfil} = 12m + 621m = 633 m \\
 x &= H_{total} - h_{total} = 668m - 633m = 35 m \\
 \theta [^\circ] &= \arctag\left(\frac{x}{d}\right) = \arctag\left(\frac{35m}{1040m}\right) = 1,92^\circ
 \end{aligned}$$

Como se observa, el ángulo será menor cuanto más lejos se encuentre la referencia. El *downtilt* del Sector 1, será la media de los 3 ángulos. En este caso es: 3,4 °.

Ahora lo hacemos para el Sector 2:

Sector 2: 1ª Referencia.

Referencia coordenadas: 30S 414977 4309949



Figura 52. 1ª Referencia del Sector 2. [Google Earth]

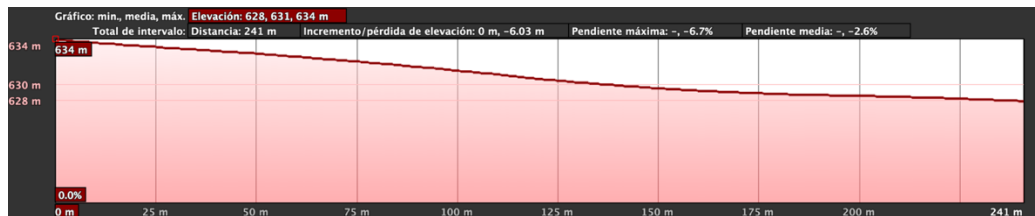


Figura 53. Perfil del terreno de la 1ª referencia del Sector 2. [Google Earth]

$$\begin{aligned}
 H_{TOTAL} &= H_{BTS} + H_{perfil} = 34m + 634m = 668 m \\
 h_{TOTAL} &= h_{ref} + h_{perfil} = 12m + 628m = 640 m \\
 x &= H_{total} - h_{total} = 668m - 640m = 28 m
 \end{aligned}$$



$$\theta[^\circ] = \arctag\left(\frac{x}{d}\right) = \arctag\left(\frac{28m}{241m}\right) = 6,62^\circ$$

Sector 2: 2ª Referencia.

Referencia coordenadas: 30S 414717 4310122



Figura 54. 2ª Referencia del Sector 2. [Google Earth]



Figura 55. Perfil del terreno de la 2ª referencia del Sector 2. [Google Earth]

$$H_{TOTAL} = H_{BTS} + H_{perfil} = 34m + 634m = 668m$$

$$h_{TOTAL} = h_{ref} + h_{perfil} = 12m + 622m = 634m$$

$$x = H_{total} - h_{total} = 668m - 634m = 34m$$

$$\theta[^\circ] = \arctag\left(\frac{x}{d}\right) = \arctag\left(\frac{34m}{553m}\right) = 3,51^\circ$$

Sector 2: 3ª Referencia.

Referencia coordenadas: 30S 414451 4310265



Figura 56. 3ª Referencia del Sector 2. [Google Earth]

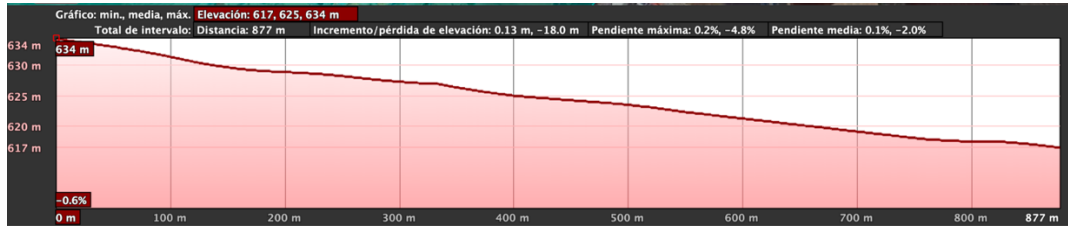


Figura 57. Perfil del terreno de la 3ª referencia del Sector 2. [Google Earth]

$$H_{TOTAL} = H_{BTS} + H_{perfil} = 34m + 634m = 668m$$

$$h_{TOTAL} = h_{ref} + h_{perfil} = 12m + 617m = 629m$$

$$x = H_{total} - h_{total} = 668m - 629m = 39m$$

$$\theta[^{\circ}] = \arctag\left(\frac{x}{d}\right) = \arctag\left(\frac{39m}{877m}\right) = 2,54^{\circ}$$

El *downtilt* del Sector 2 será la media de los ángulos de las referencias. En este caso, es:  $4,2^{\circ}$ .

Resumiendo, el *downtilt* para cada una de las antenas o sectores es:

- Sector 1:  $3,4^{\circ}$
- Sector 2:  $4,2^{\circ}$

### 11) Método de cálculo de propagación.

Existen diversos modelos de propagación para señal celular. Algunos modelos, son mejores para calcular la propagación de la señal en entornos rurales, otros en zonas urbanas y algunos se pueden utilizar en ambos. De forma general, todo depende si estos modelos tienen en cuenta los datos de altura y perfil del terreno para que sea lo más real y ajustado posible.

Para no extender demasiado este trabajo, la simulación de cobertura se realizará mediante el modelo conocido de Okumura-Hata [71].

Es el modelo de propagación de punto a zona, más utilizado y conocido. Se trata de un modelo para frecuencias comprendidas entre 150 MHz y 1,5 GHz, distancias de propagación no superiores a 20 Km y tiene en cuenta las alturas de las antenas (transmisor y receptor). Además, introduce un factor de corrección de altura del dispositivo móvil (receptor).

Se puede usar en zona urbana, suburbana y rural. Los cálculos en la zona rural serán más efectivos si es una zona aproximadamente plana y abierta, es decir no es montañosa o con grandes desniveles.

### 12) Parámetros de recepción del terminal.

Existen diversas marcas y modelos de dispositivos móviles que tiene características parecidas.

Para generar un resultado de cobertura es necesario determinar algunos parámetros de recepción del receptor, como las características de las antenas receptoras y la potencia de transmisión del dispositivo móvil.

Se asume que el dispositivo móvil es compatible con la tecnología 5G, cuya antena tiene las siguientes especificaciones:

- Ganancia: 2 dBi.
- Antena omnidireccional.
- Polarización vertical.

Se asumirá que el dispositivo móvil tiene una Potencia de transmisión: 23 dBm (200 mW).

Estos datos se han escogido de los valores informados por la Federación Española de Municipios y Provincias [72] y el resto de los datos, del artículo de Ojaroudi, N., Mohamed, H y otros [73].

### 3.5. Descripción del software de simulación de cobertura.

El software que se usará para realizar la simulación de cobertura será: XIRIO Online de la empresa APTICA.

La empresa APTICA [74] define su producto como: la forma rápida y económica para realizar estudios de cobertura radioeléctrica en cualquier lugar. Es un SaaS (Software as a Service), no requiere instalación y actualizaciones, para planificar y calcular cualquier planificación de redes de acceso radio.

Además, XIRIO Online incluye numerosa cartografía rural y urbana de gran resolución para calcular los estudios de cobertura radioeléctrica.

Tiene la capacidad de simular cualquier tecnología inalámbrica como: 5G, LTE, WiMAX, etc. Los resultados se pueden compartir por red a otros usuarios.

Según el manual de XIRIO [75], esta herramienta permite generar estudios de:

- Enlace: el estudio de enlace de microondas entre dos puntos fijos.
- Red de transporte: resultado general de una agrupación de enlaces radioeléctricos que forman una red de transporte.
- Cobertura: estudio radioeléctrico de un transmisor dentro de un área seleccionada.
- Cobertura multitransmisor: conjunto de estudio de coberturas (varios transmisores) dentro de un área seleccionada.

Depende del estudio escogido (cobertura, enlace, etc.) se obtendrán unos resultados u otros, dependiendo de si se hace uso de la licencia gratuita o de pago. Algunos de ellos son:

- Enlace: gráfica del enlace, informe, informe de interferencias, etc.
- Red de transporte: cálculo de red, informes variados (calidad de señal, interferencia, etc).
- Cobertura: resultado de calidad de señal y cobertura sobre plano.
- Cobertura multitransmisor: resultado de calidad de señal, solapamiento de cobertura sobre plano y mejor servidor.

## 4. Estudio de cobertura y resultado.

Una vez se han escogido los materiales necesarios para ofrecer una red de acceso 5G y calculados los parámetros del 5G, se procederá a incorporar estos parámetros en XIRIO Online para obtener el estudio de cobertura.

Por último, se ofrecerá un presupuesto de los materiales (sin mano de obra) que se han elegido en el capítulo anterior para tener una idea sobre el coste de los materiales necesarios cuando se pretenda implantar el 5G en Poblete.

### 4.1. Configuración de los parámetros en XIRIO.

XIRIO puede ser usado por cualquier ordenador y cualquier sistema operativo. No es un software que requiera ser usado por ordenadores específicos o potentes, ya que consume pocos recursos.

En este caso, se ha usado un MacBook Pro (2019) para ejecutar XIRIO:



Figura 58. Especificaciones del ordenador utilizado. [elaboración propia]

A continuación, se procederá a describir los pasos realizados en la herramienta XIRIO:

XIRIO se accede a través del siguiente enlace:

<https://www.xirio-online.com/web/home/Login.aspx>

Para acceder a la aplicación, previamente, el usuario se ha tenido que registrar mediante una dirección de correo electrónico.

XIRIO puede ser usado de forma gratuita con limitaciones de uso o mediante pago sin restricciones. Se usará XIRIO, con la licencia gratuita.

Una vez se accede a la aplicación XIRIO, se crea un nuevo estudio. El estudio será de cobertura para un servicio móvil 5G.

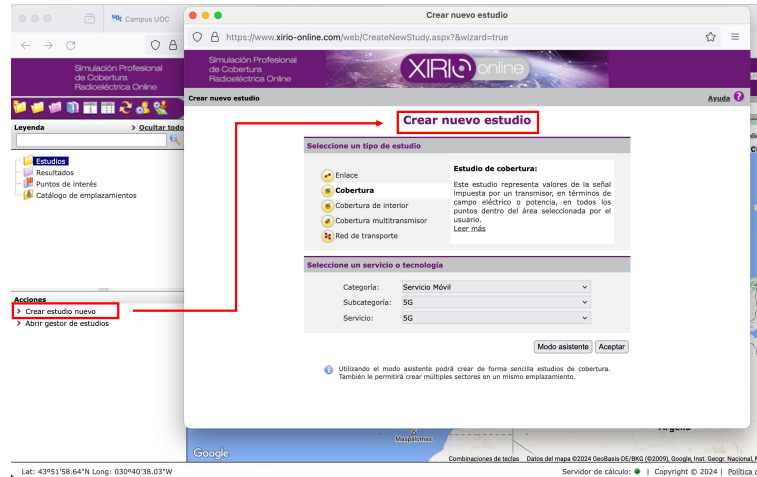


Figura 59. Creación de un nuevo estudio de cobertura 5G. [elaboración propia]

Para facilitar la generación del estudio de cobertura, XIRIO posee de un modo asistente, con la finalidad de guiar al usuario en todo el proceso de planificación de una red de acceso radio.

Al darle al modo asistente, aparece la siguiente pantalla:



Figura 60. Nombre y descripción del estudio de cobertura. [elaboración propia]

En esta pantalla, se procede a dar un nombre al estudio (en este caso, “Estudio\_de\_cobertura\_Poblete”) y una descripción (“Planificación de una red de acceso radio 5G en Poblete.”).

En la misma pantalla aparece “Banda”, donde se elegirá la banda de frecuencia que trabajará la red de acceso 5G en Poblete y se configurará según el Punto 1 del Apartado 4 del Capítulo 3 de este TFM:

Figura 61. Propiedades de la Banda de Frecuencia. [elaboración propia]

En la siguiente pantalla, se tiene que localizar el emplazamiento de la torre o BTS:

Figura 62. Nombre y ubicación del sector. [elaboración propia]

XIRIO da la opción de sectorizar el emplazamiento. Por tanto, se realizará una sectorización del estudio en dos sectores (Sector 1 y Sector 2) con sus ángulos en azimut (según punto 9 del apartado 4 del Capítulo 3) y el *downtilt* (punto 10 del apartado 4 del Capítulo 3):

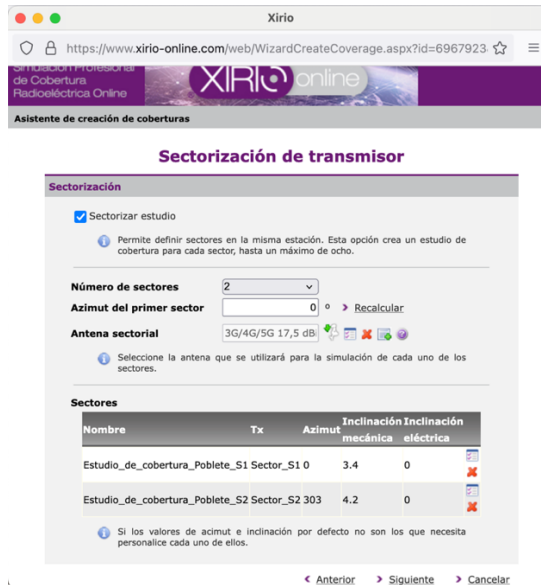


Figura 63. Sectorización del transmisor. [elaboración propia]

XIRIO propone una Antena tipo 5G con una determinada ganancia y frecuencia de trabajo, pero en esa misma pantalla, se puede configurar las antenas según el *Datasheet* de las Antenas COMMSCOPE elegidas en el Capítulo 3: ganancia de la antena, la polarización (cruzada), peso, dimensiones y las frecuencias inferior y superior que puede trabajar la antena.

Se dejará el diagrama de radiación de la antena propuesto por XIRIO por no disponer de él.

La configuración de la antena se muestra en la siguiente pantalla:



Figura 64. Propiedades de la antena. [elaboración propia]



Cuando se aplica y acepta la configuración, aparece un pequeño resumen de las propiedades de la antena:

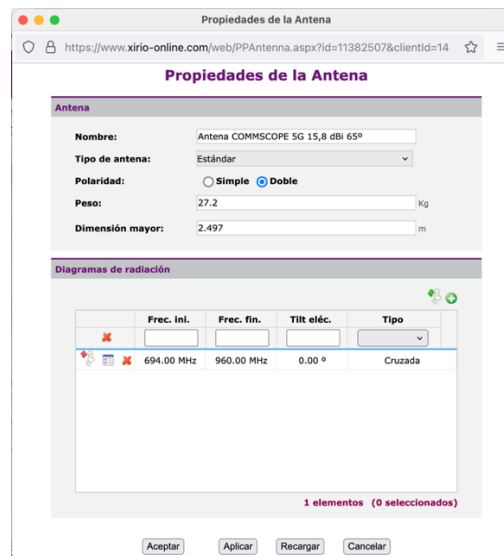


Figura 65. Resumen de las propiedades de la antena. [elaboración propia]

La siguiente pantalla, muestra la configuración de los parámetros de los sectores de las antenas:

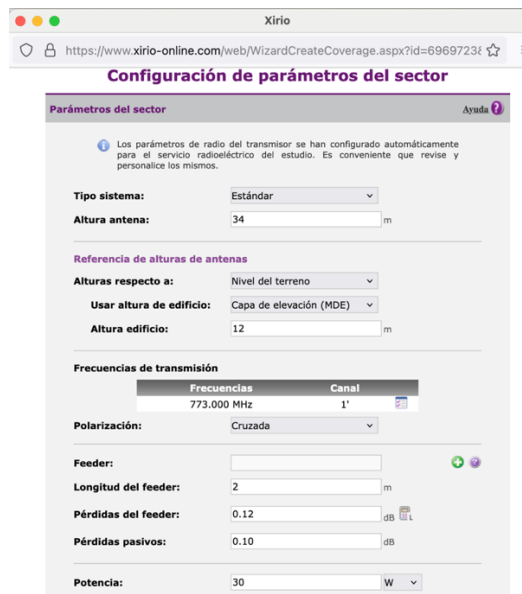


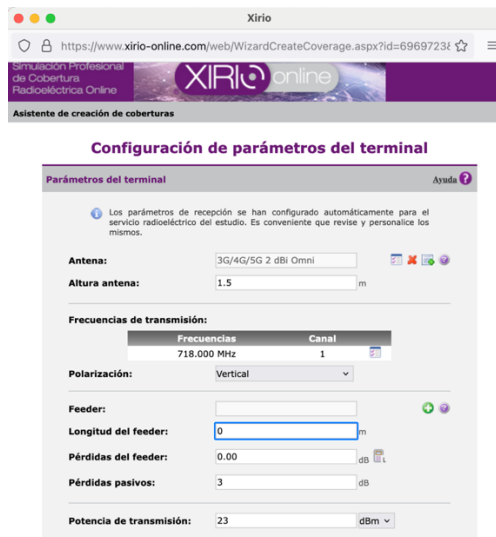
Figura 66. Configuración de los parámetros de los sectores. [elaboración propia]

Estos parámetros son:

- Altura de la antena: las antenas se encuentran a 34 metros sobre el terreno, como se comentó en el Punto 9 del Apartado 4 del Capítulo 3.
- Alturas respecto al nivel del terreno. No se dispone capa de elevación por tratarse de una licencia gratuita XIRIO, se necesitaría cartografía y capas de alta resolución. Aun así, se ha configurado la altura tipo de las edificaciones: 12 metros.

- Frecuencia de transmisión: 773 MHz (XIRIO pone esta frecuencia como canal 1', asociado al enlace *downlink*). Se trata del enlace descendente.
- Polarización usada en la transmisión: en este caso es cruzada (doble polarización a  $\pm 45^\circ$ )
- Longitud del Feeder: se trata de la longitud del cable RF usado desde la RRU a la Antena.
- Pérdidas del Feeder: la atenuación del tramo del cable RF, calculado en el Punto 4 del Apartado 4 del Capítulo 3.
- Pérdidas pasivas: se trata de la atenuación introducida por los conectores RF usados. Calculado en el Punto 5 del Apartado 4 del Capítulo 3.
- Potencia de transmisión de las Antenas: 30 W. Valor elegido en el Punto 3 del Apartado 4 del Capítulo 3.

La siguiente pantalla, muestra la configuración del terminal móvil necesario para recibir (enlace *downlink*) y transmitir (enlace *uplink*) la señal de la BTS:



The screenshot shows a web browser window titled 'Xirio' with the URL 'https://www.xirio-online.com/web/WizardCreateCoverage.aspx?id=69697234'. The page header includes 'Simulación Profesional de Coberturas Radioeléctrica Online' and 'XIRIO online'. The main content is titled 'Configuración de parámetros del terminal' and contains the following fields:

- Antena:** 3G/4G/5G 2 dBi Omni
- Altura antena:** 1.5 m
- Frecuencias de transmisión:** A table with two columns: 'Frecuencias' and 'Canal'. The first row shows '718.000 MHz' and '1'.
- Polarización:** Vertical
- Feeder:** (empty field)
- Longitud del feeder:** 0 m
- Pérdidas del feeder:** 0.00 dB
- Pérdidas pasivos:** 3 dB
- Potencia de transmisión:** 23 dBm

Figura 67. Configuración de parámetros del terminal. [elaboración propia]

Estos parámetros son los elegidos en el Punto 12 del Apartado 4 del Capítulo 3, excepto la frecuencia de transmisión (Punto 1 del Apartado 4 del Capítulo 3):

- Antena del terminal móvil: Antena multibanda (3G/4G/5G) con Ganancia 2 dBi y Omnidireccional.
- Frecuencia de transmisión: frecuencia del enlace *uplink* (718 MHz).
- Polarización de la antena móvil: vertical.
- Potencia de transmisión: 23 dBm.

El resto de los parámetros: altura de la antena y pérdidas pasivos, son dados por defecto por la aplicación XIRIO.

A continuación, se tiene que elegir el método de propagación (Okumura-Hata, según Punto 11 del Apartado 4 del Capítulo 3) y la cartografía.

Al ser una licencia gratuita de XIRIO solamente se puede realizar el estudio de cobertura, usando la cartografía disponible gratuita (modelo de terreno a nivel mundial del año 2006).

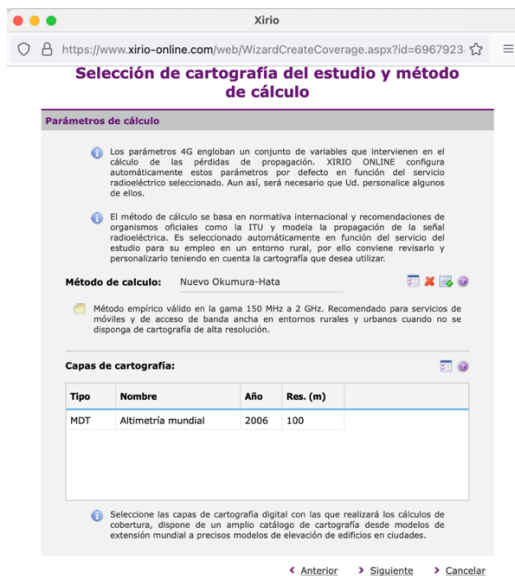


Figura 68. Cartografía y método de propagación. [elaboración propia]

En la siguiente pantalla, hay que configurar el sector o área de cálculo de cobertura. Se escogen unas distancias razonables, acorde al área del pueblo y que ocupen la totalidad de las viviendas.

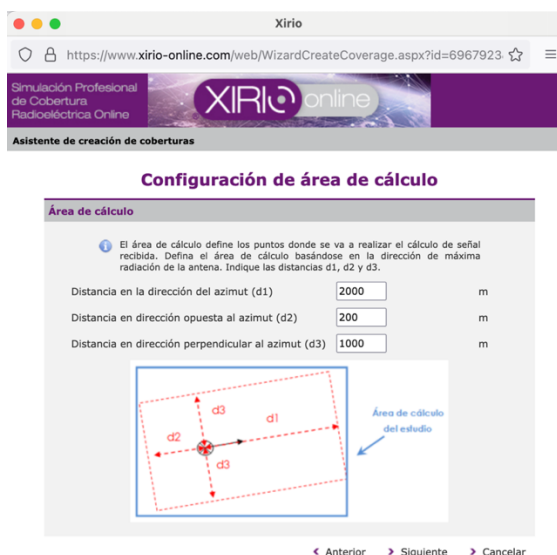


Figura 69. Configuración del área de cálculo. [elaboración propia]

Posteriormente, se determinan los rangos de potencia de señal junto con la descripción de cada uno y los colores que los identifican.



Figura 70. Configuración de los rangos de señal, SS-RSRP. [elaboración propia]

Estos rangos de señal [dBm] determinan la SS-RSRP (Synchronization Signal-Reference Signal Received Power). Se trata de la medida de potencia de la señal sincronizada recibida 5G por un terminal móvil desde una celda identificada o BTS.

Con la medición SS-RSRP, se conoce la calidad de la red e intensidad de la señal recibida. Además, contribuye a las decisiones de traspaso o *handover*, cuando el terminal usuario se encuentra en movimiento y obtiene una señal de mayor intensidad en una celda diferente a la que se encontraba y por tanto se transfiere o traspasa la comunicación, para continuar manteniendo el servicio o mejorar su calidad.

Los rangos de señal [76] que se han configurado en XIRIO permiten evaluar los resultados del estudio de cobertura móvil 5G de Poblete.

Una vez se ha terminado de configurar los rangos de señal, se habría terminado con el modo asistente de XIRIO y aparece la siguiente pantalla:



Figura 71. Generación del estudio de cobertura. [elaboración propia]

Tras la finalización, la configuración general del estudio realizado se representa con una arquitectura en forma de árbol:

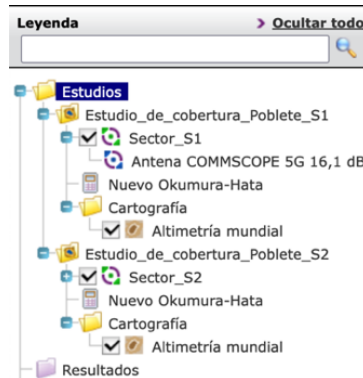


Figura 72. Leyenda de toda la configuración. [elaboración propia]

Antes de generar el resultado del estudio de cobertura, se tiene que modificar y configurar una serie de parámetros del 5G en cada uno de los sectores para que pueda generarse el resultado.

A modo de ejemplo, se muestra la configuración modificada en el *Sector\_S1* (la misma para el *Sector\_S2*), resaltado por recuadro de color rojo. El resto de los valores de los parámetros viene determinado por defecto por la propia aplicación XIRIO, con lo que no se modifican.

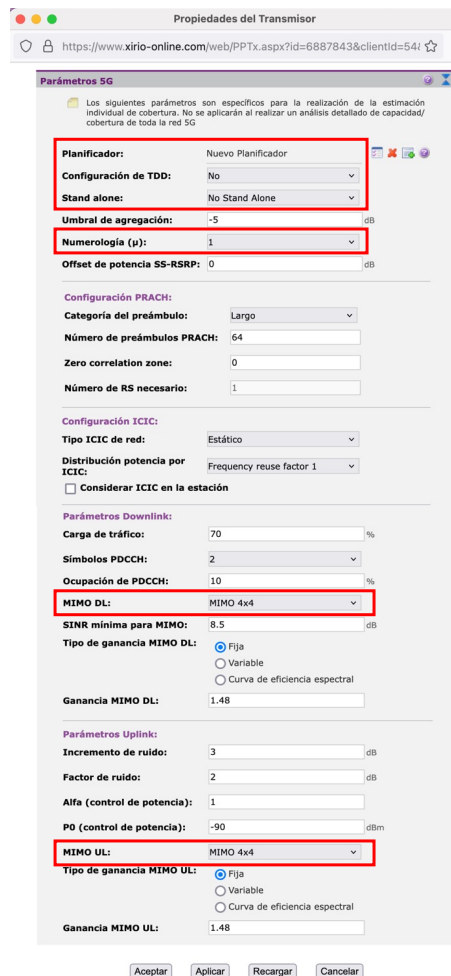


Figura 73. Configuración de los parámetros 5G. [elaboración propia]

Parámetros modificados:

- Planificador: Se crea un planificador para que el 5G sea FDD, puesto que trabajará con dos frecuencias (enlace *downlink* y *uplink*).
- Configuración de TDD: al trabajar en FDD, se modifica para que no trabaje en TDD.
- Stand Alone: la arquitectura que se encuentra implementada actualmente en Poblete con el resto de las tecnologías inalámbricas hace que la red de acceso radio 5G trabaje en NSA.
- Numerología: según el Punto 2 del Apartado 4 del Capítulo 3, se ha escogido  $\mu = 1$ .
- MIMO DL: la antena COMMSCOPE trabajará con MIMO 4X4 (según Punto 8 del Apartado 4 del Capítulo 3).
- MIMO UL: al igual que las antenas COMMSCOPE funcionan con MIMO 4X4, el terminal usuario también funcionará con MIMO 4X4 para que sea recíproco.

Con la configuración anterior sobre los parámetros 5G se habría terminado de configurar la aplicación XIRIO.

Pero antes de obtener los resultados, se crearán diversos puntos característicos o referencias sobre el plano para que sea de ayuda al evaluar los resultados del estudio de cobertura y se pueda distinguir la potencia de señal que se recibe en esos sitios. Estos son los siguientes:

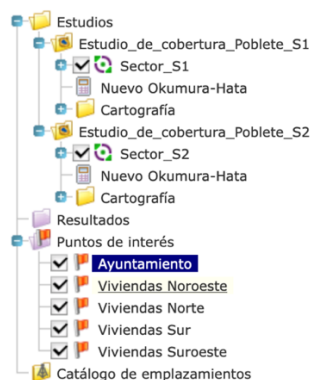


Figura 74. Leyenda de los puntos de interés. [elaboración propia]

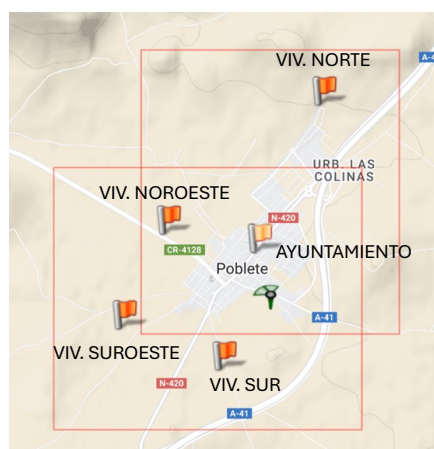


Figura 75. Ubicación de los puntos de interés. [elaboración propia]

## 4.2. Resultado del estudio de cobertura en Poblete.

Para obtener el estudio de cobertura 5G de Poblete, primero, la aplicación XIRIO tiene que validar toda la configuración realizada anteriormente, para saber si es correcta y viable. La validación se tiene que hacer para los dos sectores creados.

Posteriormente, sí la validación es conforme, se podrá calcular el estudio de cobertura. Al ser una licencia gratuita, XIRIO dispone solamente de cálculo a baja resolución, pero será suficiente para conocer si se ha cumplido con el objetivo de dar cobertura 5G a Poblete. En primer lugar, se realizará el cálculo por sectores y después de forma conjunta. Se mantendrán visibles y activados los puntos de interés o referencias para facilitar la evaluación del resultado.

Una vez ejecutado el cálculo, XIRIO mostrará de forma gráfica la cobertura 5G por colores y una descripción de cada color. En el caso del cálculo de cobertura, XIRIO mostrará también el valor SS-RSRP.

Los resultados son los siguientes:

### Resultado para el Primer Sector:

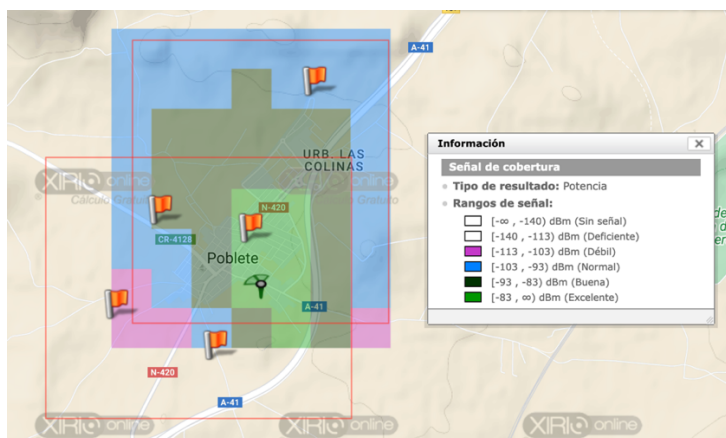


Figura 76. Resultado del cálculo del primer sector. [elaboración propia]

Se observa lo siguiente:

- 1) El punto de interés 1 (Ayuntamiento), obtiene una excelente calidad de señal (área de color verde claro). Con una SS-RSRP de al menos  $-83$  dBm, en el peor de los casos. La figura muestra el SS-RSRP en ese punto:

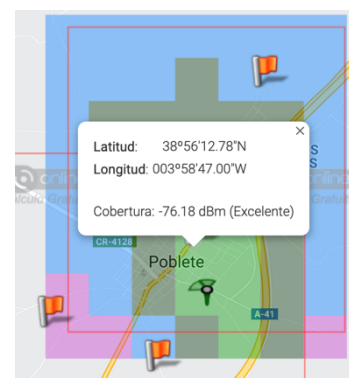
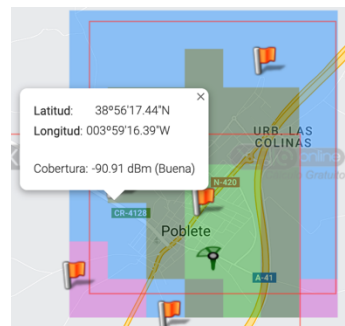


Figura 77. Punto de interés 1 (Ayuntamiento) para el sector primero. [elaboración propia]

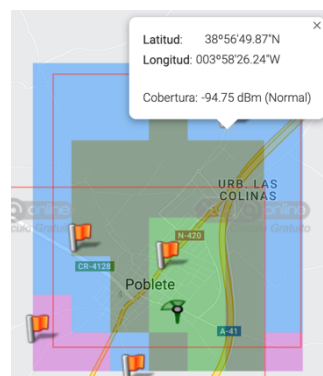
- 2) El punto de interés 2 (Viviendas Noroeste), obtiene una calidad de señal intermedia entre normal (área de color azul) y buena (área de color verde oscuro). Siendo en el peor de los casos con una SS-RSRP de -103 dBm y en el mejor de los casos, -84 dBm. La figura muestra el SS-RSRP en ese punto:

Figura 78. Punto de interés 2 (Viviendas Noroeste) para el sector primero. [elaboración propia]



- 3) El punto de interés 3 (Viviendas Norte), obtiene una calidad de señal normal (área de color azul) aunque las viviendas que se encuentran por debajo del punto de interés pueden obtener una calidad de señal buena (área de color verde oscuro). Siendo en el peor de los casos una SS-RSRP de -103 dBm y en el mejor de -84 dBm. La figura muestra el SS-RSRP en ese punto:

Figura 79. Punto de interés 3 (Viviendas Norte) para el sector primero. [elaboración propia]



- 4) Los puntos de interés 4 (Viviendas Sur) y 5 (Viviendas Suroeste), no obtienen señal 5G o es prácticamente débil/deficiente.

### Resultado para el Segundo Sector:

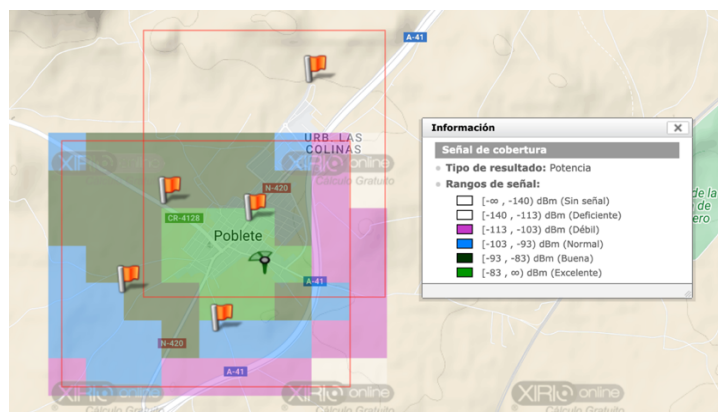


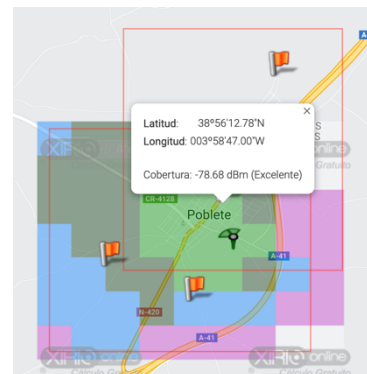
Figura 80. Resultado del cálculo del segundo sector. [elaboración propia]

Se observa lo siguiente:



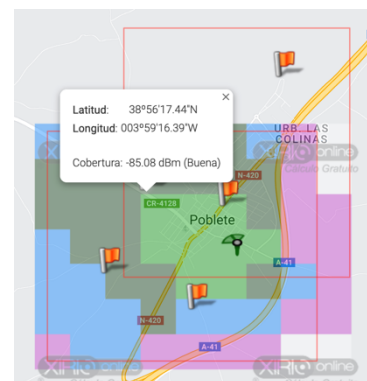
- 1) El punto de interés 1 (Ayuntamiento), obtendría nuevamente una calidad de señal 5G excelente (área de color verde claro). Tendría en el peor de los casos una SS-RSRP de -83 dBm. La figura muestra el SS-RSRP en ese punto:

Figura 81. Punto de interés 1 (Ayuntamiento) para el sector segundo. [elaboración propia]



- 2) El punto de interés 2 (Viviendas Noroeste), obtiene una calidad de señal buena (área de color verde oscuro). En el mejor de los casos obtendría una SS-RSRP de -84 dBm y en el peor de los casos de -93 dBm. La figura muestra el SS-RSRP en ese punto:

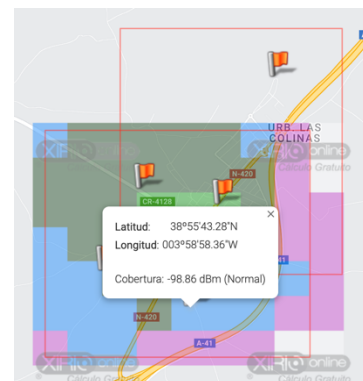
Figura 82. Punto de interés 2 (Viviendas Noroeste) para el sector segundo. [elaboración propia]



- 3) En el punto de interés 3 (Viviendas Norte) según el área de cálculo, no obtendría señal 5G, aunque se estima que podría llegarle de este sector una señal deficiente o nula.

- 4) En el punto de interés 4 (Viviendas Sur), se obtiene una calidad de señal normal (área de color azul), aunque puede obtener calidad de señal buena (área de color verde oscuro). En el mejor de los casos se obtendría una SS-RSRP de -84 dBm y en el peor de los casos, -103 dBm. La figura muestra el SS-RSRP en ese punto:

Figura 83. Punto de interés 4 (Viviendas Sur) para el segundo sector. [elaboración propia]



- 5) En el punto de interés 5 (Viviendas Suroeste), se obtiene una señal buena (color verde oscuro). En el mejor de los casos, se obtendría una SS-RSRP de -84 dBm y en el peor de los casos, -93 dBm. La figura muestra el SS-RSRP en ese punto:

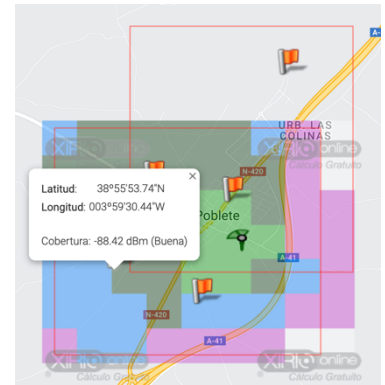


Figura 84. Punto de interés 5 (Viviendas Suroeste) para el segundo sector. [elaboración propia]

**Resultado con los dos sectores:**

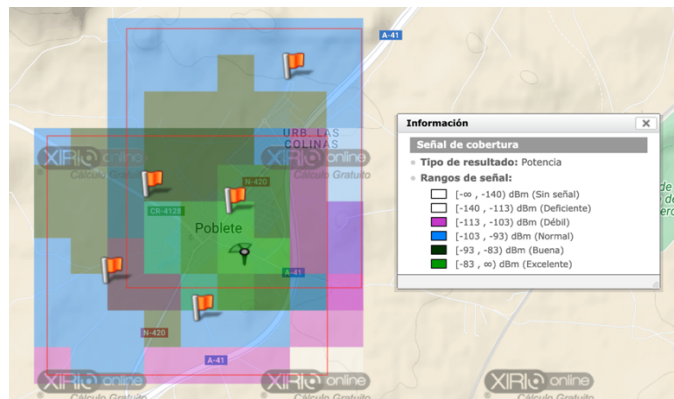


Figura 85. Resultado del cálculo de los dos sectores de forma simultánea. [elaboración propia]

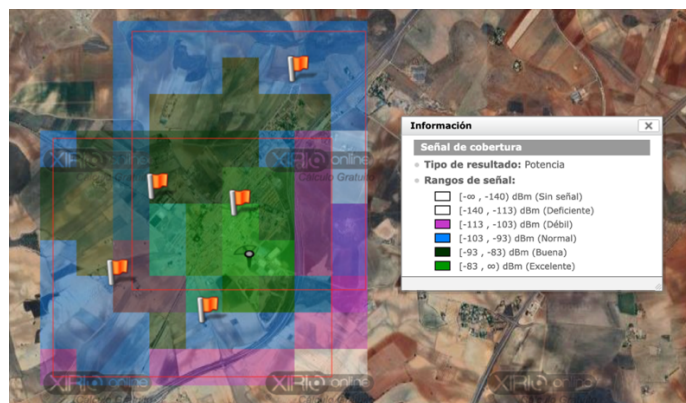


Figura 86. Vista satélite del resultado del cálculo de los dos sectores de forma simultánea. [elaboración propia]

Se observa que todo Poblete tiene señal 5G con diferentes calidades de señal. En general, Poblete tendrá calidad de señal 5G excelente, buena o normal. En el peor de los casos, si el usuario se encuentra fuera del pueblo (a más de 2 Km aproximadamente por la zona del Norte y Noroeste) podría obtener una calidad de señal débil, deficiente o sin señal.

Las dos antenas orientadas con su azimut e inclinación correspondiente son suficiente para planificar una red de acceso radio 5G en este pueblo.

Muchos de los puntos de interés se encuentran solapados por los dos sectores de las antenas, aunque hay otros como por ejemplo el punto de interés 3 (Viviendas Norte), que solo es posible que tenga cobertura 5G por la antena del sector primero.

Qué algunos puntos de interés solo tengan cobertura por un sector en concreto, no significa que los terminales de usuario no dispongan de cobertura 5G, ya que por este motivo se realizó una planificación de una red de acceso de forma sectorial.

La siguiente tabla muestra un resumen de los distintos puntos de interés con su calidad de señal aproximada, nivel SS-RSRP en cada uno de los sectores y determina el mejor sector para obtener mejor calidad de señal (la antena o sector al cual se conectará el terminal del usuario 5G).

Punto de interés	Sector 1 (0°)	Sector 2 (303°)	Mejor Sector
1 (Ayuntamiento)	<b>Excelente (-76,18 dBm)</b>	<b>Excelente (-76,68 dBm)</b>	1 o 2
2 (Viviendas Noroeste)	Buena / Normal (-90,91 dBm)	<b>Buena (-85,08 dBm)</b>	2
3 (Viviendas Norte)	<b>Buena / Normal (-94,75 dBm)</b>	Deficiente o Sin señal	1
4 (Viviendas Sur)	Débil / Deficiente o Sin señal	<b>Buena / Normal (-98,86 dBm)</b>	2
5 (Viviendas Suroeste)	Débil / Deficiente o Sin señal	<b>Buena (-88, 42 dBm)</b>	2

Tabla 5. Resumen del resultado del estudio de cobertura 5G en Poblete. [elaboración propia]

### 4.3. Presupuesto de los materiales.

En este subapartado se muestra el coste estimado de los materiales que han sido necesarios para la planificación de esta red de acceso radio 5G en Poblete.

En la bibliografía se encuentran las fuentes donde se ha encontrado el coste para cada uno de los materiales elegidos.

No se realizará un presupuesto de la mano de obra y coste del proyecto, por no disponer de información relativa al asunto. La mano de obra puede variar dependiendo de la empresa instaladora de telecomunicaciones que se elija para el despliegue y montaje. El coste del proyecto técnico puede variar también porque se necesita el coste de ejecución de obra (por ejemplo: presupuesto de estudio de seguridad y salud).

La siguiente tabla muestra el presupuesto de los materiales necesarios para la implementación de la red de acceso radio 5G:

Material	Cantidad	Coste unitario	Coste total
Antena COMMSCOPE modelo RR-65C-R2VB-V2 [77]	2	1769,23 €	3.538,46€
Tubos TF-MSS-4 COMMSCOPE [78]	2	282,11 € (303,35 \$) *	564,23€
Kit de montaje completo Downtilt BSAMNT-1 COMMSCOPE [79]	2	64,64 € (69,51 \$) *	129,28€
RRU Huawei RR5512t	2	2325 € (2500 \$) *	4.650€
Conectores 4.3/10 RF macho recto atornillado para cable coaxial	16	10,05 €	160,80€
Cable Coaxial RF ½" de 50 Ohmios	16 m	7,30 €/m	116,80 €
Fibra óptica monomodo dúplex LC a dúplex LC	80 m	37,78 €/m	3.022,40 €
Cable de alimentación RRU 48 V DC impermeable	2	186 € (200 \$) *	372 €
<b>TOTAL</b>			<b>12.553,97 €</b>

Tabla 6. Presupuesto de materiales. [elaboración propia]

\*Conversión dólar- euro (1 dólar a 0,93€) a 5 de mayo de 2024.

El coste total de todos los materiales asciende a 12.553,97 € aproximadamente, sin contar mano de obra (personal, grúas, etc.) y coste del proyecto técnico. Este coste de los materiales es orientativo y ayuda a evaluar los presupuestos de las diferentes empresas instaladoras de telecomunicaciones.

## 5. Conclusiones y trabajos futuros.

En este último capítulo del TFM, se expondrán las conclusiones derivadas del desarrollo y resultado de este trabajo y se mencionarán algunos posibles trabajos futuros para complementar a esta planificación de red de acceso radio.

### 5.1. Conclusiones.

Este TFM ha pretendido ser una guía para la elaboración de un proyecto de planificación de una red de acceso radio 5G en una zona rural y además, ser un trabajo académico-profesional, es decir, por una parte, es académico porque es una asignatura del plan de estudios del Máster Universitario en Ingeniería de Telecomunicación y ha contribuido a profundizar la teoría de las comunicaciones móviles junto con diversos conceptos aprendidos en diferentes asignaturas y por la otra parte, es un trabajo profesional puesto que se ha pretendido seguir la metodología desarrollada en algunas memorias técnicas realizadas por ingenieros.

Con el desarrollo de este trabajo, se logró el objetivo principal que era planificar una red de acceso radio que fuese válida para ofrecer cobertura 5G en Poblete. Además, se analizó la situación actual de tecnologías existentes en Poblete y se profundizó en las tecnologías incluidas en el 5G.

Cabe mencionar que el emplazamiento BTS existente en Poblete era suficiente para ofrecer una amplia cobertura 5G en el pueblo y no se necesitaban añadir otros emplazamientos. Contar con emplazamientos ya existentes resulta en un abaratamiento en costes: de materiales de telecomunicaciones, de ejecución de obra civil y otros.

Algunos aspectos importantes para una buena planificación de cualquier red de acceso radio, son el cálculo de la orientación (Azimut), la inclinación (*downtilt*) y la altura de la antena. Ya que para conseguir una buena cobertura de la tecnología inalámbrica que se quiere implementar, depende sí se ha calculado de forma precisa la orientación e inclinación de los materiales radiantes, es decir sus sectores. En el caso de Poblete, su población se distribuye principalmente en dos ejes (Norte y Noroeste), por lo que solo era necesario dos sectores para radiar.

La ganancia y el ancho del haz de la antena también es determinante para obtener la cobertura que se necesita. Disponer de una antena con baja ganancia puede suponer que la cobertura quede recortada y no se alcancen (en distancia) viviendas que se encuentren en la periferia del pueblo.

Además, emplear materiales (cables coaxiales, conectores, fibra óptica, etc.) de buena calidad, permite minimizar las atenuaciones, dispersiones y reflexiones de las ondas al transmitirse y recibirse por las líneas de transmisión.

En definitiva, una buena selección de los materiales es decisivo para la planificación de cualquier red de acceso radio.

La banda de frecuencia n28 (700 MHz) para 5G es la mejor banda que se puede emplear en zonas rurales, ya que permite obtener una mayor cobertura en distancia, puesto que las bandas bajas de frecuencia ofrecen una mayor penetración en cualquier tipo de edificación u obstáculo, sin embargo, las bandas medias y altas están pensadas para utilizarse en ciudades o zonas con una gran aglomeración de personas.

Poblete es una zona rural que se encuentra localizado en una zona geográfica donde no hay grandes pendientes, montañas, zonas boscosas, etc. esto ha permitido que la señal 5G no sufra de los llamados desvanecimientos de la señal y, por tanto, no sufra de una gran atenuación durante la propagación de la señal. Además, la potencia de transmisión de las antenas ha sido suficiente para radiar a las viviendas que se encuentran más alejadas de la BTS.

A pesar de no contar con cartografía y capas de modelo de elevación de edificios de la zona donde se encuentra Poblete, con la herramienta XIRIO se ha comprobado que la señal 5G puede recibirse con una calidad de señal excelente (con una SS-RSRP de hasta -83 dBm), calidad de señal buena (SS-RSRP desde -84 dBm hasta -93 dBm) o calidad de señal normal (SS-RSRP desde -94 dBm hasta -103 dBm). Es de suponer, que sí se hubiera contado con cartografía de alta resolución y de capas de modelo de elevación de edificio, la calidad de señal sería más precisa y es posible que pudiera empeorar un poco con respecto al resultado obtenido en este trabajo. Aunque, es probable que no hubiera grandes cambios en la calidad de la señal debido: a las alturas predominantes de las antenas y que no hay sombras del terreno o de grandes obstáculos, entre otros motivos. Por lo que las diferentes calidades de la señal 5G obtenidas por la aplicación XIRIO con licencia gratuita podría ser muy aproximada y bastante real.

## 5.2. Trabajos futuros.

Para mejorar este trabajo y que sea más parecido a un proyecto técnico, habría que añadir la siguiente información:

- Como en todo proyecto técnico realizado por un ingeniero, habría que desarrollar un capítulo de seguridad y salud referido a la prevención de riesgos laborales al implementar la red de acceso radio 5G en Poblete.
- Conocer el coste total de ejecución de la obra civil y el resto de mano de obra.
- Generación de planos mediante un software de diseño asistido por ordenador, CAD.

Con respecto a mejorar la cobertura 5G en Poblete, se podría planificar otro emplazamiento más, al existente. Por ejemplo, la nueva BTS podría localizarse en la zona Norte de Poblete, con la finalidad de mejorar la calidad de señal 5G en toda la zona Norte y, además, que los

diferentes operadores de telecomunicaciones se encuentren preparados para ofrecer 5G en caso de que la población aumente en un futuro.

Para la red de acceso radio se han seleccionado distintos materiales como antenas, cables, equipos de radio frecuencia, etc. El tipo de antena elegida, aunque solamente se ha usado para transmitir y recibir señal 5G en la banda n28 (700 MHz), podría haberse usado también para trabajar simultáneamente con otras bandas de frecuencia y otras tecnologías como el 3G o 4G, puesto que la banda de trabajo de la antena abarca desde los 694 MHz hasta los 960 MHz. Por tanto, se podría desarrollar un trabajo para implementar otras tecnologías celulares con las antenas 5G que fueron seleccionadas en este TFM.

Aunque las antenas elegidas en este trabajo son actuales (no es un modelo producido hace varios años), son antenas pasivas. Se podrían seleccionar antenas activas para trabajo futuro y beneficiarse de que no haga falta comprar equipos de RF como las RRU, puesto que estos equipos se encontrarían integrados en las propias antenas activas. El sistema de comunicación sería más simple, no se contaría con un bloque intermedio externo, la RRU y tampoco la línea de transmisión (cable coaxial) desde la RRU a la antena. Se minimizaría la pérdida de potencia de señal antes de ser transmitida por la antena, el ruido interno y la distorsión. Además, las antenas activas 5G están preparadas para hacer uso óptimo del *beamforming* y del *massive MIMO*, pudiendo mejorar la eficiencia espectral y la cobertura.

## 6. Glosario.

**QAM:** Quadrature Amplitude Modulation (Modulación de Amplitud por Cuadratura).

**2G:** segunda generación móvil.

**3G:** tercera generación móvil.

**3GPP:** 3rd Generation Partnership Project.

**4G:** cuarta generación móvil.

**4G+:** cuarta generación móvil mejorada.

**5G:** quinta generación móvil.

**5G+:** quinta generación móvil mejorada.

**5G NR:** 5G New Radio.

**5G CN:** 5G Core Network.

**BBU:** BaseBand Unit (Unidad de Banda Base).

**Beamforming:** Haz estrecho conformado por la antena 5G.

**BTS:** Base Transceiver Station (estación base móvil).

**CDMA:** Code Division Multiple Access (Acceso Múltiple por División de Código).

**CPRI:** protocolo Common Public Radio Interface.

**EDGE:** Enhanced Data Rates for GSM Evolution. (Tasa de Datos Mejorada para la Evolución de GSM).

**eMBB:** enhanced Mobile BroadBand (Ancho de Banda Móvil mejorada).

**EPC:** Evolved Packet Core (Red de Núcleo).

**E-UTRAN o eNodeB:** Red de Acceso Radio 4G o Nodo de Acceso 4G.

**FDD:** Frequency Division Duplexing (Duplexación por División de Frecuencia).

**GPRS:** General Packet Radio System (Servicio General de Paquetes vía Radio)

**GSM:** Global System for Mobile Communications (Sistema Global para comunicaciones móviles).

**HPBW:** Half Power Beam Width (Ancho de Haz de Media Potencia)

**HSPA:** High Speed Packet Access (Acceso por Paquete de Alta Velocidad).

**HSDPA:** High Speed Downlink Packet Access (Acceso por Paquete de Descarga de Alta Velocidad).

**HSUPA:** High Speed Uplink Packet Access (Acceso por Paquete de Subida de Alta Velocidad).

**INE:** Instituto Nacional de Estadística.

**IoT:** Internet of Things (internet de las cosas).

**ITU:** International Telecommunication Union

**LTE:** Long Term Evolution.

**LTE Advanced:** Long Term Evolution Advanced.

**LTE Advanced Pro:** Long Term Evolution Advanced Pro.

**MIMO:** Multiple Input Multiple Output (Múltiple Entrada Múltiple Salida).

**mMTC:** massive Machine-Type Communications (Comunicaciones masivas de tipo máquina).

**M2M:** Machine to Machine (de Máquina a Máquina)

**mmWave:** Banda milimétrica o banda de alta frecuencia.

**Network Slicing:** Segmentación de red.

**NSA 5G:** Non-Stand Alone 5G (5G No Autónomo)

**ODS:** Objetivo de Desarrollo Sostenible.



**OFDM:** Orthogonal Frequency Division Multiplexing (Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales).

**OFDMA:** Orthogonal Frequency Division Multiple Access (Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal).

**QAM:** Quadrature Amplitude Modulation (Modulación de Amplitud por Cuadratura).

**QPSK:** Quadrature Phase Shift Keying (Modulación por Desplazamiento de Fase en Cuadratura).

**QoS:** Quality of Service (Calidad de Servicio).

**RAN:** Radio Access Network (Red de Acceso Radio).

**RET:** Remote Electrical Tilt (puerto Remoto para Tilt Eléctrico).

**RRU:** Radio Remote Unit (Unidad remota de Radio Frecuencia).

**SA 5G:** Stand Alone 5G (5G Autónomo).

**SaaS:** Software as a Service.

**SS-RSRP:** Synchronization Signal- Reference Signal Received Power.

**TDD:** Time Division Duplexation (Duplexación por División de Tiempo).

**TDMA:** Time Division Multiple Access (Acceso Múltiple por División de Tiempo).

**TSN:** Time-Sensitive Networking (Redes Sensibles al Tiempo).

**UAS:** Unmanned Aerial System (Sistema Aéreo No Tripulado).

**UE:** User Equipment (Dispositivo del usuario).

**UIT:** Unión Internacional de Telecomunicaciones.

**UMTS:** Universal Mobile Telecommunications System (Sistema Universal de Telecomunicaciones móviles).

**URLLC:** Ultra-Reliable Low-Latency Communications (Comunicaciones de baja latencia ultra confiables).

**WCDMA:** Wideband Code Division Multiple Access (Acceso Múltiple por División de Código de Banda ancha).

## 7. Bibliografía.

- [1] Orden CIN/355/2009, de 9 de febrero, por la que se establecen los requisitos para la verificación de los títulos universitarios oficiales que habiliten para el ejercicio de la profesión de Ingeniero de Telecomunicación. Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado. [https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2009-2897](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2009-2897) [Consultado 28-02-2024].
- [2] Portal Infoantenas. Ministerios para la transformación digital y de la función pública. <https://geoportal.minetur.gob.es/VCTEL/vcne.do> [Consultado 29-02-2024].
- [3] Mapa de cobertura móvil Vodafone. Vodafone. <https://www.vodafone.es/c/conocenos/es/vodafone-espana/mapa-cobertura-movil/> [Consultado 29-02-2024].
- [4] (marzo 2023). Informe de Cobertura de Banda Ancha en España en 2022. España Digital 2026. Ministerio para la Transformación Digital y de la Función Pública. [https://avancedigital.mineco.gob.es/banda-ancha/cobertura/Documents/Informe\\_Cobertura\\_BA\\_2022.pdf](https://avancedigital.mineco.gob.es/banda-ancha/cobertura/Documents/Informe_Cobertura_BA_2022.pdf) [Consultado 29-02-2024].
- [5] (10 de octubre de 2023). Publicada la convocatoria de ayudas UNICO 5G Redes Activas, dotada con 544 millones de euros. España Digital. <https://espanadigital.gob.es/actualidad/publicada-la-convocatoria-de-ayudas-unico-5g-redes-activas-dotada-con-544-millones-de> [Consultado 29-02-2024].
- [6] (17 de julio de 2023). El gobierno acelera el despliegue del 5G en zonas rurales y publica la resolución provisional del programa que llevará la fibra óptica hasta las torres de telecomunicación. La Moncloa. <https://www.lamoncloa.gob.es/serviciosdeprensa/notasprensa/asuntos-economicos/Paginas/2023/170723-despliegue-5g-zonas-rurales.aspx> [Consultado 29-02-2024].
- [7] 17 Objetivos para transformar nuestro mundo. Objetivos de Desarrollo Sostenible. Naciones Unidas. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/> [Consultado 02-03-2024].
- [8] Vicente, A. (25 de abril de 2023). El 5G, nuestra garantía de un futuro mejor. El Español. [https://www.elspanol.com/enclave-ods/opinion/20230425/garantia-futuro-mejor/757304275\\_13.html](https://www.elspanol.com/enclave-ods/opinion/20230425/garantia-futuro-mejor/757304275_13.html) [Consultado 02-03-2024].
- [9] Llorach, J. (21 de mayo de 2023). 5G Advance hará posible el 5.5G, paso intermedio antes del 6G. Bandaancha.eu. <https://bandaancha.eu/articulos/5g-ya-tiene-logo-5g-advanced-paso-10023> [Consultado 11-03-2024].
- [10] Huidobro, J.M. (septiembre de 2014). Comunicaciones móviles Sistemas GSM, UMTS y LTE. Ra-Ma. Madrid.
- [11] Alonso-Zárate, J. (2019). Comunicaciones celulares. UOC
- [12] Rifa, H., Gallego, R. y Huertas, V. (septiembre de 2019). Contexto actual y evolución hacia las redes de nueva generación. UOC

- [13] *Comparativa de la velocidad de internet móvil HSPA+ de Movistar y Vodafone en Madrid y Barcelona*. Bandaancha.eu. <https://bandaancha.eu/especial/comparativa-velocidad-hspa-plus> [Consultado 13-03-2024].
- [14] *LTE* (telecomunicaciones). Wikipedia. [https://es.wikipedia.org/wiki/LTE\\_\(telecomunicaciones\)](https://es.wikipedia.org/wiki/LTE_(telecomunicaciones)) [Consultado 13-03-2024].
- [15] Valero, C. (13 de marzo de 2018). *5G vs 4G LTE-Advanced Pro, diferencias entre conexiones móviles de máxima velocidad*. Adslzone.net. <https://www.adslzone.net/2018/03/13/5g-vs-4g-lte-advanced-pro/> [Consultado 13-03-2024].
- [16] Sacristán, L. (3 de julio de 2020). *El 5G pasa de fase: con Release 16 3GPP se impulsarán nuevos servicios y más eficiencia en el consumo*. Xakatamovil.com. <https://www.xakatamovil.com/conectividad/5g-pasa-fase-release-16-3gpp-se-impulsaran-nuevos-servicios-eficiencia-consumo> [Consultado 15-03-2024].
- [17] *Release 17*. 3GPP.org. <https://www.3gpp.org/specifications-technologies/releases/release-17> [Consultado 15-03-2024].
- [18] *Release 18*. 3GPP.org. <https://www.3gpp.org/specifications-technologies/releases/release-18> [Consultado 15-03-2024].
- [19] Valero, C. (8 de marzo de 2024). *5G: qué es, ventajas y cobertura-comparativa 4G vs 5G*. Adslzone.net. <https://www.adslzone.net/reportajes/telefonía/5g/#365576-5g> [Consultado 16-03-2024].
- [20] Plokiko. (18 de febrero de 2023). *Movistar, Vodafone, Orange y MásMóvil juegan al despiste con el 5G real: esto es lo que aporta realmente el 5G+ y 5G Advanced*. Xakatamovil.com. <https://www.xakatamovil.com/conectividad/movistar-vodafone-orange-masmovil-juegan-al-despiste-5g-real-esto-que-aporta-realmente-5g-5g-advanced> [Consultado 16-03-2024].
- [21] (6 de abril de 2023). *Bandas de frecuencia 5G: las 3 principales bandas 5G y cuando usarlas*. Arrow.com. <https://www.arrow.com/es-mx/research-and-events/articles/5g-frequency-bands-explained> [Consultado 17-03-2024].
- [22] Rodríguez de Luis, E. (18 de febrero de 2024). *Estas son las bandas de frecuencia en España: qué operadoras las usan y qué aplicaciones ofrecen*. Xakatamovil.com. <https://www.xakatamovil.com/conectividad/estas-bandas-frecuencia-espana-que-operadoras-usan-que-aplicaciones-ofrecen> [Consultado 17-03-2024].
- [23] Plokiko. (7 de octubre de 2023). *Cómo saber el tipo de 5G al que estás conectado, si es real y qué velocidad máxima podrás alcanzar en tu móvil*. Xakatamovil.com. <https://www.xakatamovil.com/conectividad/como-saber-tipo-5g-al-que-estas-conectado-real-que-velocidad-maxima-podras-alcanzar-tu-movil> [Consultado 17-03-2024].
- [24] Darah, D. (26 de octubre de 2023). *5G NSA vs. SA: How do the deployment modes differ?*. Techtarget.com. <https://www.techtarget.com/searchnetworking/feature/5G-NSA-vs-SA-How-does-each-deployment-mode-differ> [Consultado 18-03-2024].
- [25] (20 de marzo de 2023). *5G NSA vs SA*. Tknika.eus. <https://tknika.eus/cont/5g-nsa-vs-sa-2/> [Consultado 18-03-2024].

- [26] Llorach, J. (5 de noviembre de 2023). *El 5G+ de Movistar tiene cobertura 5G SA en 11 ciudades y puede utilizarse con móviles Xiaomi*. Bandaancha.eu. <https://bandaancha.eu/articulos/5g-movistar-oficial-estas-son-primeras-10582> [Consultado 19-03-2024].
- [27] 5G. ITU. [https://www.itu.int/en/ITU-T/Workshops-and-Seminars/standardization/20170402/Documents/S2\\_4.%20Presentation\\_IMT%202020%20Requirements-how%20developing%20countries%20can%20cope.pdf](https://www.itu.int/en/ITU-T/Workshops-and-Seminars/standardization/20170402/Documents/S2_4.%20Presentation_IMT%202020%20Requirements-how%20developing%20countries%20can%20cope.pdf) [Consultado 19-03-2024].
- [28] Patel, V. (21 de marzo de 2022). *An Introduction to 5G Spectrum and Service Grades*. Emnify.com. <https://www.emnify.com/blog/5g-spectrum-service-grades> [Consultado 19-03-2024].
- [29] Lobillo, E. (7 de abril de 2021). *5G sostenible para impulsar el desarrollo de las zonas rurales*. El País. <https://elpais.com/tecnologia/digitalizacion/2021-04-07/5g-sostenible-para-impulsar-el-desarrollo-de-las-zonas-rurales.html> [Consultado 19-03-2024].
- [30] *Vigilancia de zonas rurales con 5G y TARSIS*. Aertecsolutions.com. <https://aertecsolutions.com/2021/02/24/vigilancia-de-zonas-rurales-con-5g-y-tarsis/> [Consultado 19-03-2024].
- [31] Ferrer, V. (27 de noviembre de 2023). *5G rural: estos son los planes del Gobierno para superar las barreras de conexión de la España más remota*. 20minutos.es. <https://www.20minutos.es/tecnologia/actualidad/5g-rural-500-millones-para-su-despeque-sera-definitivo-5193136/> [Consultado 20-03-2024].
- [32] (8 de febrero de 2024). *Estos son los 15 nuevos pueblos de Castilla-La Mancha que ya tienen cobertura 5G*. El Español.es [https://www.elespanol.com/eldigitalcastillalamancha/region/20240208/nuevos-pueblos-castilla-la-mancha-cobertura/831167278\\_0.html](https://www.elespanol.com/eldigitalcastillalamancha/region/20240208/nuevos-pueblos-castilla-la-mancha-cobertura/831167278_0.html) [Consultado 20-03-2024].
- [33] García, M. (19 de febrero de 2024). *Vodafone España alcanzará una cobertura 5G del 82% de población a finales de año*. Zonamovilidad.es. <https://www.zonamovilidad.es/vodafone-espana-cobertura-5g-82-por-ciento-poblacion> [Consultado 21-03-2024].
- [34] López, N. (19 de enero de 2024). *Todos los pueblos de Almería tendrán conexión rápida a internet en 2025*. Diariodealmeria.es [https://www.diariodealmeria.es/provincia/pueblos-Almeria-conexion-internet-rapida\\_0\\_1758425942.html](https://www.diariodealmeria.es/provincia/pueblos-Almeria-conexion-internet-rapida_0_1758425942.html) [Consultado 21-03-2024].
- [35] WAIN Desarrollo Sostenible S.L. (7 de enero de 2016). *Estudio de cobertura de telefonía móvil para el municipio de Gilet*. WAIN Desarrollo Sostenible S.L. [https://www.gilet.es/sites/www.gilet.es/files/u14/informe\\_cobertura\\_gilet\\_wain.pdf](https://www.gilet.es/sites/www.gilet.es/files/u14/informe_cobertura_gilet_wain.pdf) [Consultado 22-03-2024].
- [36] Ortiz de Viguera, J.L. (1 de junio de 2020). *Proyecto de actuación para instalación de una estación base de telefonía móvil*. ORVICOM INGENIERÍA S.L. <https://transparencia.villanuevadesanjuan.es/export/sites/villanuevadesanjuan/es/transparencia/.galleries/IND-57-/0.-PROYECTO-ACTUACION.pdf> [Consultado 22-03-2024].

[37] Nevado Pulgarín, J.M. (12 de enero de 2021). *Proyecto técnico para instalación de una estación base de telefonía móvil*. VANTAGE TOWERS S.L. <https://www.aytovillablino.com/wp-content/uploads/2022/07/Proyecto-t%C3%A9cnico-para-instalaci%C3%B3n-de-una-estaci%C3%B3n-base-de-telefon%C3%ADa-m%C3%B3vil-1.pdf> [Consultado 23-03-2024].

[38] Ramírez Panduro, M. (30 de enero de 2023). Análisis de cobertura en estaciones base para antenas de 4G y 5G. UOC. <https://openaccess.uoc.edu/bitstream/10609/147465/5/monicaarpTFM0123memoria.pdf> [Consultado 23-03-2024].

[39] Redondo Pinardo, G. (junio de 2020). *Proyecto de despliegue de una nueva red 5G por un operador de telecomunicaciones*. UPM. [https://oa.upm.es/63009/1/TFG\\_GREGORIO\\_REDONDO\\_PINARDO.pdf](https://oa.upm.es/63009/1/TFG_GREGORIO_REDONDO_PINARDO.pdf) [Consultado 23-03-2024].

[40] Castro Sánchez, D. (julio de 2021). *Diseño de una red de acceso radio 5G (RAN-5G) aplicado a la zona portuaria de Valencia*. UPM. <https://oa.upm.es/70542/> [Consultado 23-03-2024].

[41] V. M. Baeza, A. G. Armada, W. Zhang, M. El-Hajjar and L. Hanzo, "A Noncoherent Multiuser Large-Scale SIMO System Relying on M-Ary DPSK and BICM-ID," in *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 67, no. 2, pp. 1809-1814, Feb. 2018, doi: 10.1109/TVT.2017.2750114.

[42] V. M. Baeza and A. G. Armada, "Performance and Complexity Tradeoffs of Several Constellations for Non Coherent Massive MIMO," 2019 22nd International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC), Lisbon, Portugal, 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/WPMC48795.2019.9096091.

[43] Baeza, V.M.; Armada, A.G. Noncoherent massive MIMO. In *Wiley 5G Ref: The Essential 5G Reference Online*; John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA, 2019; pp. 1–28.

[44] V. M. Baeza, "Incorporating Spatial Modulation for Non-Coherent Massive MIMO With DPSK Schemes," in *IEEE Wireless Communications Letters*, doi: 10.1109/LWC.2024.3424286.

[45] Monzon Baeza, V.; Ha, V.N.; Querol, J.; Chatzinotas, S. Non-Coherent Massive MIMO Integration in Satellite Communication. In *Proceedings of the 39th International Communications Satellite Systems Conference (ICSSC 2022)*, Stresa, Italy, 18–21 October 2022.

[46] Baeza, V.M. Multiuser Non Coherent Massive MIMO Schemes Based on Dpsk for Future Communication Systems. Ph.D. Thesis, Universidad Carlos III de Madrid, Getafe, Spain, 2019.

- [47] Botran Fernandez, X. (2022). Implementación de un prototipo de receptor para canal PDSCH de 5G NR sobre dispositivo comercial de bajo coste RTL-SDR.
- [48] V. M. Baeza, "Multiple Access in Constellation Domain by Non-Coherent Massive MIMO," 2023, arXiv preprint arXiv:2303.06499. doi: 10.48550/arXiv.2303.06499.
- [49] Poblete, Puerta de Alarcos: Historia, geografía y localización. Ayuntamiento de Poblete. <https://poblete.es/historia> [Consultado 26-03-2024].
- [50] Cifras oficiales de población de los municipios españoles en aplicación de la Ley de Bases del Régimen Local (Art. 17). Instituto Nacional de Estadística. <https://www.ine.es/jaxiT3/Tabla.htm?t=2866&L=0> [Consultado 26-03-2024].
- [51] Posicionamiento de los municipios mayores de 1.000 habitantes por Renta bruta media. Agencia Tributaria. <https://sede.agenciatributaria.gob.es/AEAT/Contenidos Comunes/La Agencia Tributaria/Estadísticas/Publicaciones/sites/irpfmunicipios/2021/jrubik90ae83991146960352dc69bb31fd1601593c7eb.html> [Consultado 26-03-2024].
- [52] Quesos Villadiego. <https://quesosvilladiego.com/> [Consultado 27-03-2024].
- [53] Finca Fuentillezjos. <https://www.fincafuentillezjos.com/> [Consultado 27-03-2024].
- [54] Quesos Campollano. <https://quesoscampollano.com/> [Consultado 27-03-2024].
- [55] Productos Peláez. <https://www.productospelaez.es/> [Consultado 27-03-2024].
- [56] Pastelería María Magdalena. <https://pasteleriamariamagdalena.com/> [Consultado 27-03-2024].
- [57] Antena sectorial modelo 10P-4L6M-D5. COMMSCOPE. <https://www.commscope.com/product-type/antennas/base-station-antennas-equipment/base-station-antennas/item10p-4l6m-d5/> [Consultado 01-04-2024].
- [58] Duena, J. (febrero de 2021). Estándar de instalación Claro 5G. Huawei. [https://es.slideshare.net/LuisEnriqueCazasPaiv/estandar-de-instalacion-5gclaro2021v11-1-1pdf?from\\_action=download&slideshow\\_id=255624053](https://es.slideshare.net/LuisEnriqueCazasPaiv/estandar-de-instalacion-5gclaro2021v11-1-1pdf?from_action=download&slideshow_id=255624053) [Consultado 03-04-2024].
- [59] Cable coaxial para RRU. AliExpress. <https://es.aliexpress.com/i/1005003731943910.html> [Consultado 04-04-2024].
- [60] Fibra óptica LC a LC. Aplicación CPRI. Aliexpress. <https://es.aliexpress.com/i/4000055792024.html> [Consultado 05-04-2024].

- [61] *Antena COMMSCOPE RR-65C-R2VB-V2.* COMMSCOPE. <https://www.commscope.com/product-type/antennas/base-station-antennas-equipment/base-station-antennas/itemrr-65c-r2vb-v2/> [Consultado 06-04-2024].
- [62] *Tubo TF-MSS-4 COMMSCOPE soporte para antena.* COMMSCOPE. <https://www.commscope.com/product-type/structural-support-tools-accessories/structural-support-equipment/structural-mounts/co-location-mounts/itemtf-mss-4/> [Consultado 10-04-2024].
- [63] *Kit completo Downtilt BSAMNT-1 COMMSCOPE.* COMMSCOPE. <https://www.commscope.com/product-type/structural-support-tools-accessories/structural-support-equipment/structural-mounts/tilt-mounts/itembsamnt-1/> [Consultado 12-04-2024].
- [64] *RRU Huawei RR5512t.* Seeker. <https://www.seeker816.com/sale-36784711-huawei-rru5512t-4x80w-for-multi-mode-700mhz-900mhz-wd5m5512t789-02312ymw.html> [Consultado 12-04-2024].
- [65] *Conector 4.3/10 macho recto, L4HM-D.* epirsa. <https://epirsa.com/conectores/conectores-coaxiales-rf/serie-43-10/27-conector-43-10-macho-recto-.html> [Consultado 14-04-2024].
- [66]. *Cable coaxial 1/2" 50 Ohmios.* Cetronic. <https://www.cetronic.es/sqlcommerce/disenos/plantilla1/seccion/producto/DetalleProducto.jsp?idIdioma=&idTienda=93&codProducto=142700010&cPath=468> [Consultado 14-04-2024].
- [67] *Cable alimentación RRU 48 V DC.* Seeker. <https://www.seeker816.com/sale-14171235-pwr-96515-48v-dc-power-cable-for-zxsdr-b8200-b8300-bbu-rru-zte-do-chv1-sdu2-pm2.html> [Consultado 14-04-2024].
- [68] Llorach, J. (31 de mayo de 2021). *La subasta de los 700 MHz arranca el 21 de julio a un precio más barato y sin obligación de compartir el 5G con OMV.* Bandaancha.eu. <https://bandaancha.eu/articulos/subasta-700mhz-arranca-21-julio-precio-9919> [Consultado 18-04-2024].
- [69] (10 de octubre de 2018). *3GPP TS 38.211 version 15.3.0 Release 15.* 3GPP. [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/138200\\_138299/138211/15.03.00\\_60/ts\\_138211v150300p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/138200_138299/138211/15.03.00_60/ts_138211v150300p.pdf) [Consultado 18-04-2024].
- [70] (octubre de 2001). *Informe sobre emisiones electromagnéticas de los sistemas de telefonía móvil y acceso fijo inalámbrico.* Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación. [https://avancedigital.mineco.gob.es/inspeccion-telecomunicaciones/niveles-exposicion/DocumentacionOtros/Colegio%20Oficial%20Ingenieros%20de%20Telecomunicaci%C3%B3n%20\(COIT\)/2001\\_COIT\\_EfectosSaludExposicionCEM\\_InformeNormativa.pdf](https://avancedigital.mineco.gob.es/inspeccion-telecomunicaciones/niveles-exposicion/DocumentacionOtros/Colegio%20Oficial%20Ingenieros%20de%20Telecomunicaci%C3%B3n%20(COIT)/2001_COIT_EfectosSaludExposicionCEM_InformeNormativa.pdf) [Consultado 20-04-2024].
- [71] *Modelo Okumura-Hata.* XIRIO Online. <https://www.xirio-online.com/web/help/es/okumura-hata.htm> [Consultado 27-04-2024].

[72] ¿Cuál es la potencia emitida por un teléfono móvil? Federación Española de Municipios y Provincias. FEMP. <http://femp.femp.es/files/3580-576-fichero/P.21.pdf> [Consultado 27-04-2024].

[73] Ojaroudi, N., Mohamed, H et al. (marzo de 2023). *An efficient antenna system with improved radiation for multi-estándar/multi-mode 5G cellular communications*. National Library of Medicine. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10011579/> [Consultado 28-04-2024].

[74] XIRIO Online. APTICA. <https://aptica.es/que-hacemos/productos/xirio-online/> [Consultado 30-04-2024].

[75] *Manual Online*. XIRIO Online. <https://www.xirio-online.com/web/help/es/index.htm> [Consultado 01-05-2024].

[76] *Metodología de recolección de datos para la elaboración del estudio bienal de la calidad de servicio en zonas rurales*. Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia. [https://www.cnmc.es/sites/default/files/editor\\_contenidos/Telecomunicaciones/Consultas%20p%C3%BAblicas/20240220\\_Metodolog%C3%ADa\\_Informe\\_bienal-version\\_para\\_consulta\\_p%C3%BAblica\\_-14-2-2024%20\(2\).PDF](https://www.cnmc.es/sites/default/files/editor_contenidos/Telecomunicaciones/Consultas%20p%C3%BAblicas/20240220_Metodolog%C3%ADa_Informe_bienal-version_para_consulta_p%C3%BAblica_-14-2-2024%20(2).PDF) [Consultado 04-05-2024].

[77] *Antena COMMSCOPE modelo RR-65C-R2VB-V2*. EPIRSA. <https://epirsa.com/antenas/antenas-estaciones-base-bts/sectoriales/308-antena-sectorial-de-4-puertos-694960-mhz-rr-65c-r2vb-v2.html> [Consultado 10-05-2024].

[78] *Tubos TF-MSS-4 COMMSCOPE*. Neobits. [https://www.neobits.com/commscope\\_tf\\_mss\\_4\\_2\\_3\\_8to4\\_1\\_2\\_tower\\_frame\\_mount\\_p18955136.html?atc=gbs](https://www.neobits.com/commscope_tf_mss_4_2_3_8to4_1_2_tower_frame_mount_p18955136.html?atc=gbs) [Consultado 10-05-2024].

[79] *Kit de montaje completo Downtilt BSAMNT-1 COMMSCOPE*. AllData Resource. [https://www.alldataresource.com/Commscope-BSAMNT-1-Wide-Profile-Antenna-Downtilt-Mounting-Kit-for-24--45-in-60--115-mm-OD-round-members-Kit-contains-one-scissor-top-bracket-set-and-one-bottom-bracket-set\\_p\\_375633.html](https://www.alldataresource.com/Commscope-BSAMNT-1-Wide-Profile-Antenna-Downtilt-Mounting-Kit-for-24--45-in-60--115-mm-OD-round-members-Kit-contains-one-scissor-top-bracket-set-and-one-bottom-bracket-set_p_375633.html) [Consultado 10-05-2024].



## 8. Anexos.

### RR-65C-R2VB-V2



4-port sector antenna, 4x 694–960 MHz, 65° HPBW, 2x RET

- All Internal RET actuators are connected in “Cascaded SRET” configuration
- Retractable tilt indicator rods
- Uses the 4.3-10 connector which is 40 percent smaller than the 7-16 DIN connector

#### General Specifications

<b>Antenna Type</b>	Sector
<b>Band</b>	Single band
<b>Color</b>	Light Gray (RAL 7035)
<b>Grounding Type</b>	RF connector inner conductor and body grounded to reflector and mounting bracket
<b>Performance Note</b>	Outdoor usage
<b>Radome Material</b>	Fiberglass, UV resistant
<b>Radiator Material</b>	Aluminum
<b>Reflector Material</b>	Aluminum
<b>RF Connector Interface</b>	4.3-10 Female
<b>RF Connector Location</b>	Bottom
<b>RF Connector Quantity, low band</b>	4
<b>RF Connector Quantity, total</b>	4

#### Remote Electrical Tilt (RET) Information

<b>RET Hardware</b>	CommRET v2
<b>RET Interface</b>	8-pin DIN Female   8-pin DIN Male
<b>RET Interface, quantity</b>	1 female   1 male
<b>Input Voltage</b>	10–30 Vdc
<b>Internal RET</b>	Low band (2)
<b>Power Consumption, active state, maximum</b>	10 W
<b>Power Consumption, idle state, maximum</b>	2 W
<b>Protocol</b>	3GPP/AISG 2.0 (Single RET)

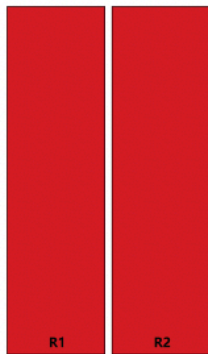
#### Dimensions

<b>Width</b>	427 mm   16.811 in
--------------	--------------------

# RR-65C-R2VB-V2

<b>Depth</b>	157 mm   6.181 in
<b>Length</b>	2497 mm   98.307 in
<b>Net Weight, antenna only</b>	27.6 kg   60.848 lb

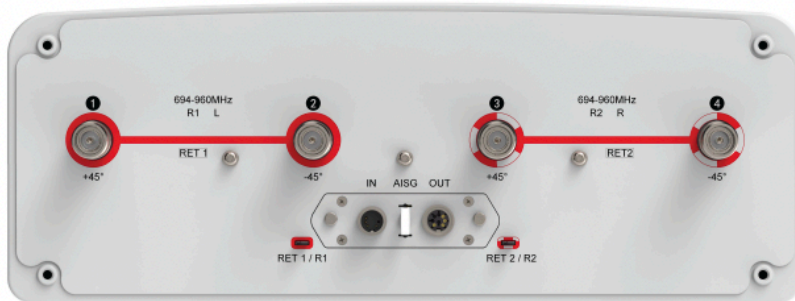
## Array Layout



Array ID	Frequency (MHz)	RF Connector	HPBW	RET (SRET)	AISG No.	AISG RET UID
R1	694-960	1 - 2	65°	1	AISG1	CPxxxxxxxxxxxxxxxxR1
R2	694-960	3 - 4	65°	2	AISG1	CPxxxxxxxxxxxxxxxxR2

(Sizes of colored boxes are not true depictions of array sizes)

## Port Configuration



## RR-65C-R2VB-V2

### Electrical Specifications

<b>Impedance</b>	50 ohm
<b>Operating Frequency Band</b>	694 – 960 MHz
<b>Polarization</b>	±45°
<b>Total Input Power, maximum</b>	800 W

### Electrical Specifications

Frequency Band, MHz	694–790	790–890	890–960
<b>Gain, dBi</b>	16.1	16.5	16.8
<b>Beamwidth, Horizontal, degrees</b>	66	61	58
<b>Beamwidth, Vertical, degrees</b>	8.7	7.9	7.4
<b>Beam Tilt, degrees</b>	0–10	0–10	0–10
<b>USLS (First Lobe), dB</b>	22	25	26
<b>Front-to-Back Ratio, Copolarization 180° ± 30°, dB</b>	27	29	28
<b>Isolation, Cross Polarization, dB</b>	25	25	25
<b>Isolation, Inter-band, dB</b>	25	25	25
<b>VSWR   Return loss, dB</b>	1.5   14.0	1.5   14.0	1.5   14.0
<b>PIM, 3rd Order, 2 x 20 W, dBc</b>	-153	-153	-153
<b>Input Power per Port, maximum, watts</b>	300	300	300

### Electrical Specifications, BASTA

Frequency Band, MHz	694–790	790–890	890–960
<b>Gain by all Beam Tilts, average, dBi</b>	15.8	16.2	16.6
<b>Gain by all Beam Tilts Tolerance, dB</b>	±0.4	±0.3	±0.3
<b>Beamwidth, Horizontal Tolerance, degrees</b>	±4.9	±3	±4.1
<b>Beamwidth, Vertical Tolerance, degrees</b>	±0.4	±0.5	±0.2
<b>CPR at Boresight, dB</b>	24	25	25

### Mechanical Specifications

<b>Wind Loading @ Velocity, frontal</b>	965.0 N @ 150 km/h (216.9 lbf @ 150 km/h)
<b>Wind Loading @ Velocity, lateral</b>	402.0 N @ 150 km/h (90.4 lbf @ 150 km/h)
<b>Wind Loading @ Velocity, rear</b>	1,174.0 N @ 150 km/h (263.9 lbf @ 150 km/h)
<b>Wind Speed, maximum</b>	200 km/h (124 mph)

### Packaging and Weights

Page 3 of 4

# RR-65C-R2VB-V2

<b>Width, packed</b>	522 mm   20.551 in
<b>Depth, packed</b>	277 mm   10.906 in
<b>Length, packed</b>	2697 mm   106.181 in
<b>Weight, gross</b>	38.8 kg   85.539 lb

## Regulatory Compliance/Certifications

Agency	Classification
CHINA-ROHS	Below maximum concentration value
ISO 9001:2015	Designed, manufactured and/or distributed under this quality management system
REACH-SVHC	Compliant as per SVHC revision on <a href="http://www.commscope.com/ProductCompliance">www.commscope.com/ProductCompliance</a>
ROHS	Compliant
UK-ROHS	Compliant



### \* Footnotes

<b>Performance Note</b>	Severe environmental conditions may degrade optimum performance
-------------------------	---

# TF-MSS-4



Tower Face Mount Stiff Arm Strut Support

## Product Classification

**Product Type** Tower face mount

## General Specifications

**Mounting** Pipe, 114.3 mm (4-1/2 in) OD

**Pipe, quantity** 1

## Dimensions

**Height** 1,600.2 mm | 63 in

**Width** 254 mm | 10 in

**Pipe Length** 1,600.2 mm | 63 in

**Pipe Outer Diameter** 60.96 mm | 2.4 in

## Material Specifications

**Material Type** Hot dip galvanized steel

## Mechanical Specifications

**Wind Rating** 120 mph (BWS) at 100 ft AGL

**Wind Rating Test Method** TIA/EIA-222

## Packaging and Weights

**Included** Crossover plates | Pipes

**Packaging quantity** 1

**Weight, net** 21.818 kg | 48.1 lb

## Regulatory Compliance/Certifications

Agency	Classification
CHINA-ROHS	Above maximum concentration value

# BSAMNT-1



Wide Profile Antenna Downtilt Mounting Kit for 2.4 - 4.5 in (60 - 115 mm) OD round members. Kit contains one scissor top bracket set and one bottom bracket set.

## Product Classification

**Product Type** Downtilt mounting kit

## General Specifications

**Application** Outdoor

**Color** Silver

## Dimensions

**Compatible Diameter, maximum** 114.3 mm | 4.5 in

**Compatible Diameter, minimum** 61 mm | 2.402 in

**Weight, net** 6 kg | 13.228 lb

## Material Specifications

**Material Type** Galvanized steel

## Packaging and Weights

**Included** Brackets | Hardware

**Packaging quantity** 1

**Weight, gross** 6.2 kg | 13.669 lb

## Regulatory Compliance/Certifications

Agency	Classification
CE	Compliant with the relevant CE product directives
CHINA-ROHS	Above maximum concentration value
ISO 9001:2015	Designed, manufactured and/or distributed under this quality management system
ROHS	Compliant/Exempted
UK-ROHS	Compliant/Exempted

# Ficha Técnica

## CABLE COAXIAL RF 1/2"



### CONSTRUCTION

Inner conductor	Copper-clad aluminium wire	Ø 4.8 mm
Dielectric	Cellular polyethylene	Ø 12.1 mm
Outer conductor	Corrugated copper tube	Ø 13.9 mm
Jacketing	See table below	Ø 16.0 mm
Marking	NK Cables, cable type, manufacture week, year, batch number and meter mark	

### ELECTRICAL CHARACTERISTICS at +20°C

Characteristic impedance	50 ± 1 Ω
Return loss 24 dB for 100 m cable with NKC connectors	
Bands according to customer's specifications	
• 380–500 MHz	
• 805–960 MHz	
• 1710–1880 MHz	
• 1900–2170 MHz	
Other bands also available on request	
Attenuation	see table
Velocity factor	0.88
Capacitance	76 pF/m
Maximum frequency	10 000 MHz
Max power rating	see table
Peak RF voltage rating	1.80 kV
Peak power rating	31.8 kW
DC resistance	
• Inner conductor	1.43 Ω/km
• Outer conductor	1.99 Ω/km

### ATTENUATION

Frequency	Attenuation dB/100 m	Power rating kW
10	0.669	12
30	1.17	6.9
50	1.51	5.3
88	2.02	4.0
100	2.16	3.7
108	2.25	3.6
174	2.88	2.8
200	3.09	2.6
300	3.83	2.1
400	4.45	1.8
450	4.74	1.7
500	5.01	1.6
512	5.08	1.6
600	5.53	1.4
700	6.01	1.3
800	6.45	1.2
850	6.67	1.2
890	6.84	1.2
900	6.88	1.2
950	7.09	1.1
960	7.13	1.1
1000	7.29	1.1
1200	8.05	0.99
1400	8.77	0.90
1600	9.44	0.84
1800	10.1	0.79
1900	10.4	0.76
2000	10.7	0.74
2200	11.3	0.70
2400	11.9	0.66
2600	12.4	0.63
2800	12.9	0.61
3000	13.5	0.58
3400	14.5	0.54
6000	20.2	0.39
8800	25.5	0.31

### JACKETING OPTIONS

TYPE	CODE	JACKET	IEC 60754 -1/-2 halogen free, non corrosive	IEC 61034 low smoke emission	IEC 60332-3 C fire retardant	UV retardancy	Min. installation temperature
RF 1/2"-50	NKRF01200	Black polyethylene, halogen free	yes	no	no	yes	-40°C
RF 1/2"-50 GHF	NKRF01201	Grey, halogen free fire retardant thermoplastic	yes	yes	yes	no	-5°C
RF 1/2"-50 BHF	NKRF01202	Black, halogen free fire retardant thermoplastic	yes	yes	yes	yes	-5°C
RF 1/2"-50 BHF (UL) CATVR E205016	NKRF01204	Black, halogen free fire retardant thermoplastic	yes	yes	yes	yes	-5°C

### MECHANICAL CHARACTERISTICS

Weight	250 kg/km
Maximum pulling force	2550 N
Minimum bending radius	
• Single bending	70 mm
• Repeated bending	120 mm
Operating temperature range	-55...+80°C
Crush resistance	2.0 kg/mm
Bending moment	3.8 Nm
Recommended clamp distance	1.0 m

### STANDARD DRUM

Cable type	Standard drum name	Standard length m	Outer diam. cm	Outer width cm	Drum weight kg	Total weight kg	Drum freight volume m3
RF 1/2"	P11D	500	114	55	43	168	0.71

Certificado CE Comunidad Europea

# L4HM-D



4.3-10 Male for 1/2 in AL4RPV-50, LDF4-50A, HL4RPV-50 cable

## Product Classification

<b>Product Type</b>	Wireless and radiating connector
<b>Product Brand</b>	HELIAX®
<b>Product Series</b>	LDF4-50A
<b>Ordering Note</b>	CommScope® standard product (Global)

## General Specifications

<b>Body Style</b>	Straight
<b>Cable Family</b>	LDF4-50A
<b>Inner Contact Attachment Method</b>	Captivated
<b>Inner Contact Plating</b>	Silver
<b>Interface</b>	4.3-10 Male
<b>Mounting Angle</b>	Straight
<b>Outer Contact Attachment Method</b>	Clamp
<b>Outer Contact Plating</b>	Trimetal

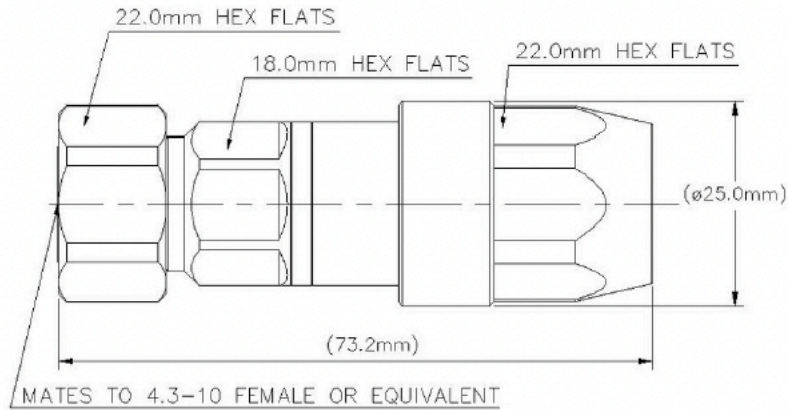
## Dimensions

<b>Length</b>	73.15 mm   2.88 in
<b>Diameter</b>	24.89 mm   0.98 in
<b>Nominal Size</b>	1/2 in



# L4HM-D

## Outline Drawing



## Electrical Specifications

<b>3rd Order IMD at Frequency</b>	-116 dBm @ 910 MHz
<b>3rd Order IMD Dynamic Test Method</b>	Two +43 dBm carriers
<b>Insertion Loss Coefficient, typical</b>	0.05
<b>Average Power at Frequency</b>	600.0 W @ 900 MHz
<b>Cable Impedance</b>	50 ohm
<b>Connector Impedance</b>	50 ohm
<b>dc Test Voltage</b>	2500 V
<b>Inner Contact Resistance, maximum</b>	1 mOhm
<b>Insulation Resistance, minimum</b>	5000 MOhm
<b>Operating Frequency Band</b>	0 – 8800 MHz
<b>Outer Contact Resistance, maximum</b>	1 mOhm
<b>Peak Power, maximum</b>	22.5 kW
<b>RF Operating Voltage, maximum (vrms)</b>	884 V
<b>Shielding Effectiveness</b>	-110 dB

Page 2 of 4

# L4HM-D

## VSWR/Return Loss

Frequency Band	VSWR	Return Loss (dB)
45–1000 MHz	1.02	40.09
1000–2700 MHz	1.025	38.17
2700–3800 MHz	1.065	30.04
3800–6000 MHz	1.106	25.96

## Mechanical Specifications

<b>Attachment Durability</b>	25 cycles
<b>Connector Retention Tensile Force</b>	889.64 N   200 lbf
<b>Connector Retention Torque</b>	5.42 N-m   47.998 in lb
<b>Coupling Nut Proof Torque</b>	10 N-m   88.507 in lb
<b>Coupling Nut Retention Force</b>	449.98 N   101.16 lbf
<b>Interface Durability</b>	100 cycles
<b>Mechanical Shock Test Method</b>	IEC 60068-2-27

## Environmental Specifications

<b>Operating Temperature</b>	-55 °C to +85 °C (-67 °F to +185 °F)
<b>Storage Temperature</b>	-55 °C to +85 °C (-67 °F to +185 °F)
<b>Corrosion Test Method</b>	IEC 60068-2-11
<b>Immersion Depth</b>	1 m
<b>Immersion Test Mating</b>	Mated
<b>Immersion Test Method</b>	IEC 60529:2001, IP68
<b>Moisture Resistance Test Method</b>	IEC 60068-2-3
<b>Thermal Shock Test Method</b>	IEC 60068-2-14
<b>Vibration Test Method</b>	IEC 60068-2-6
<b>Water Jetting Test Mating</b>	Mated
<b>Water Jetting Test Method</b>	IEC 60529:2001, IP66

## Packaging and Weights

<b>Weight, net</b>	122.9 g   0.271 lb
--------------------	--------------------

## Regulatory Compliance/Certifications

