

PROYECTO INVESTIGACIÓN
ESTUDIO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED INALÁMBRICA IOT DE
BANDA ESTRECHA EN 5 COMUNAS DE MEDELLÍN- ANTIOQUIA.

MICHAEL DAVID HERRERA TORO

PROGRAMA DE INGENIERÍA TELECOMUNICACIONES
ESCUELA DE CIENCIAS BÁSICAS TECNOLOGÍA E INGENIERÍA
UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA
MEDELLÍN
2022

**ESTUDIO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED INALÁMBRICA IOT DE
BANDA ESTRECHA EN 5 COMUNAS DE MEDELLÍN- ANTIOQUIA.**

MICHAEL DAVID HERRERA TORO

Trabajo De Grado Presentado Como Requisito Para Optar Al Título De
Ingeniero Telecomunicaciones

Directora

DRA. Mónica Andrea Rico Martínez

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA

INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES

ESCUELA DE CIENCIAS BÁSICAS, TECNOLOGÍA E INGENIERÍA

MEDELLIN

2022

Nota de Aceptación

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

Medellín, 2022

Agradecimientos.

A la Doctora Mónica Andrea Rico Martínez por su asesoría, en ocasiones presenté fallas, en otras intente tirar la toalla, pero ella siempre me dio el empujón que necesitaba durante el desarrollo del proyecto de investigación de corazón se lo agradezco.

A los señores Ingenieros Andrés Buchelli evaluador de la propuesta del trabajo de grado, y Freddy Mayo jurado en la sustentación del trabajo de grado, por la oportunidad, orientación y evaluación del proyecto de investigación y trabajo de grado.

Gracias a mi familia, en especial a mi abuela, siempre me apoyaste sin esperar nada a cambio, eres mi padre, madre, amiga y ejemplo a seguir.

A los pocos que estuvieron a mi lado, por su paciencia y comprensión. Gracias.

A todos, mil gracias.

CONTENIDO

1	CAPÍTULO I GENERALIDADES.....	21
1.	1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	21
2.	1.2 JUSTIFICACIÓN.....	23
3.	1.3 OBJETIVOS.....	25
	1.3.1 Objetivo general.....	25
	1.3.2 Objetivos específicos.....	26
4.	1.4 METODOLOGÍA.....	26
	1.4.1 Concebir.....	26
	1.4.2 Diseñar.....	27
	1.4.3 Implementar.....	27
5.	1.5 MARCO CONCEPTUAL Y TEÓRICO.....	28
	1.5.1 Marco conceptual.....	28
	1.5.2 Internet of Things - IoT.....	28
	1.5.3 Narrowband.....	29
	1.5.4 Wifi.....	30
	1.5.5 NB-IoT.....	31
	1.5.6 NB -IoT en las redes de telefonía móvil celular.....	32
6.	1.6 ESTADO DEL ARTE.....	32
	1.6.1 Análisis ciudades inteligentes con sistema NB-IoT.....	32
	1.6.2 NB-IoT en España.....	33
	1.6.3 NB-IoT en china.....	34
	1.6.4 NB-IoT en Estados Unidos.....	34
	1.6.5 NB-IoT en otros lugares.....	35

7. 1.7	ESTADO DEL ARTE RELACIONADO CON LA TECNOLOGÍA NB-IOT	36
8. 1.8	ESTADO DEL ARTE EN COLOMBIA	37
2	CAPÍTULO 2. INDICADORES DE DESEMPEÑO EN UNA RED NB-IOT	39
9. 2.1	NB-IoT.....	39
10.2.2	CARACTERÍSTICAS DE RED NB-IOT	40
2.2.1	Bajo consumo de energía	40
2.2.2	Gran alcance en cobertura.....	41
2.2.3	Conexiones	41
2.2.4	Bajo costo	41
2.2.5	Especificaciones técnicas de red NB-IoT.....	41
11.2.3	MODOS DE IMPLEMENTACIÓN NB-IOT	43
2.3.1	Stand-alone (Despliegue autónomo)	43
2.3.2	Guard-band (Implementación de la banda de protección)	43
2.3.3	Inband (Implementación en banda)	43
12.2.4	CANALES NB-IOT	44
13.2.5	CANALES FISICOS.....	45
2.5.1	NPBCH	45
2.5.2	NPDCCH.....	45
2.5.3	NPDSCH.....	45
14.2.6	SEÑALES FISICAS	46
2.6.1	NRS	46
15.2.7	NPSS Y NSSS.....	47
2.7.1	NPSS	47
2.7.2	NSSS	48
16.2.8	TRATAMIENTO DE SEÑALES DOWNLINK NB-IOT.....	49
17.2.9	TRATAMIENTO DE SEÑALES UPLINK NB-IOT	50

18.2.10	INDICADORES	DE	DESEMPEÑO	EN	NB-IOT	
	52					
2.10.1	Escalabilidad:	.....				52
2.10.2	Cobertura:	.....				52
2.10.3	Infraestructura:	.....				53
2.10.4	Velocidad de transmisión.	.....				54
19.2.11	COMPARACIÓN	DE	LAS	TECNOLOGÍAS	LPWA	
	56					
2.11.1	Alianza Lora	.....				57
2.11.2	Sigfox	.....				57
2.11.3	LTE-M.....	.....				57
2.11.4	LTE-M VS NB-IoT	.....				60
3	CAPÍTULO 3. DISEÑO DE LOS ESCENARIOS DE PRUEBA, PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED NB-IOT EN LA CIUDAD DE MEDELLÍN.					64
20.3.1	CARACTERIZACIÓN DE LAS COMUNAS DE LA CIUDAD DE MEDELLÍN.					64
3.1.1	Popular	.....				67
3.1.2	Doce de octubre.....	.....				68
3.1.3	Belén.....	.....				69
3.1.4	Poblado.....	.....				70
3.1.5	Guayabal.....	.....				71
21.3.2	CARACTERIZACIÓN DE COBERTURA MÓVIL EN MEDELLÍN					72
3.2.1	Doce de octubre.....	.....				73
3.2.2	Popular	.....				74
3.2.3	Poblado.....	.....				76
3.2.4	Guayabal.....	.....				77
3.2.5	Belén.....	.....				78
22.3.3	5G EN COLOMBIA					79
4	CAPÍTULO IV. DISEÑO DE COBERTURA DE LA RED NB-IOT, EMPLEANDO LA HERRAMIENTA XIRIO					80

23.4.1 DISEÑO DE LA RED NB-IOT	80
24.4.2 EQUIPO TRANSMISOR I	81
4.2.1 Cálculo niveles de ganancia y potencia antena splash	83
4.2.2 Configuraciones en Xirio antena splash.....	84
25.4.3 CONFIGURACIÓN EN PATRONES DE RADIACIÓN	88
26.4.4 CONFIGURACIÓN PATRONES DE RADIACIÓN ANTENA SPLATCH	90
27.4.5 CONFIGURACIÓN I DEL EQUIPO DE RECEPCIÓN DE USUARIO	92
4.5.1 Umbrales de recepción	92
4.5.2 Configuración del receptor.....	93
28.4.6 EQUIPO TRANSMISOR II	94
4.6.1 Cálculo niveles de ganancia y potencia antena LSP69001299TR.....	96
4.6.2 Configuraciones Xirio antena LSP	97
4.6.3 Configuración patrones de radiación antena LSP	100
4.6.4 Configuración II equipo recepción de usuario.....	102
4.6.5 Rangos de señales	103
5 CAPÍTULO V. SIMULACIONES EN XIRIO DE NB-IOT EN LAS COMUNAS SELECCIONADAS DE LA CIUDAD DE MEDELLÍN.	104
5.1.1 SIMULACIÓN I (ANTENA SP610) EN COMUNAS DE MEDELLÍN A POTENCIA 35DBM.....	104
5.1.2 Popular	104
5.1.3 Información cobertura sin señal	107
5.1.4 Doce de octubre.....	108
5.1.5 Belén.....	111
5.1.6 Guayabal.....	113
5.1.7 Poblado.....	115
5.1.8 Simulación II (antena LSP) en comunas de Medellín a potencia 28dBm.....	118
5.1.9 Popular	118
5.1.10 Doce de octubre	121
5.1.11 Belén	123

5.1.12	Guayabal.....	126
5.1.13	Poblado.....	127
6	CAPÍTULO VI. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS SIMULACIONES	130
29.6.1	ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS	130
30.6.2	ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS CON (RSSI) “EXCELENTE”. 131	
6.2.1	Popular	133
6.2.2	Doce de octubre.....	136
6.2.3	Belen.....	138
6.2.4	Guayabal.....	140
6.2.5	Poblado.....	142
31.6.3	ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS CON (RSSI) “INTERMEDIO”. 145	
6.3.1	Popular	145
6.3.2	Doce de octubre.....	148
6.3.3	Belén.....	150
6.3.4	Poblado.....	153
32.6.4	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS FINALES.....	155
7	CONCLUSIONES	156
8	REFERENCIAS	158

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Internet de las cosas	29
Figura 2. Narrowband vs ultrawideband.....	3030
Figura 3. Narrowband-IoT	3131
Figura 4. NB-IoT en el mundo	33
Figura 5. Arquitectura red NB-IoT	40
Figura 6. especificaciones técnicas NB-IoT	42
Figura 7. Modos de implementación NB-IoT	4444
Figura 8. canales NB-IoT	4646
Figura 9. señal física NRS de NB-IoT	47
Figura 10. señal física NPSS de NB-IoT	48
Figura 11. señal física NSSS de NB-IoT	49
Figura 12. subportadoras de señal OFDMA.....	50
Figura 13. frecuencias OFDMA y SC-FDMA.....	51
Figura 14 Datos técnicos red NB-IoT	53
Figura 15. Infraestructura NB-IoT.....	54
Figura 16. comparativa transmisión LTE VS NB-IoT.....	55
Figura 17. Comparativa entre tecnologías de red	58
Figura 18. densidad espectral LTE vs NB-IoT.....	63
Figura 19. Vista Medellín.....	65
Figura 20. Comunas de Medellín	66

Figura 21. Comuna popular.....	67
Figura 22. Comuna Doce de octubre	68
Figura 23. Comuna Belén	69
Figura 24. Comuna Poblado	70
Figura 25. Comuna Guayabal	71
Figura 26. señales de telefonía ilustradas en los planos.....	73
Figura 27. Señales telefonía móvil claro	74
Figura 28. Señales telefonía móvil Tigo	74
Figura 29. Señales telefonía móvil claro	75
Figura 30. Señales telefonía móvil Tigo	75
Figura 31. Señales telefonía móvil claro	76
Figura 32. Señales telefonía móvil Tigo	76
Figura 33. Señales telefonía móvil claro	77
Figura 34. Señales telefonía móvil Tigo	77
Figura 35 Señales de telefonía movil claro	78
Figura 36. Señales de telefonía móvil tigo	78
Figura 37. estructura NB-IoT en diagrama de bloques.....	80
Figura 38. Antena splatch sp610.....	82
Figura 39. Configuración en xirio estudio técnico.....	85
Figura 40. Configuración en xirio propiedades de estudio de cobertura	86
Figura 41. Configuración en xirio propiedades del transmisor	87
Figura 42. Configuración en xirio propiedades del método de calculo	88

Figura 43. Configuración en parámetros de radio en xirio.....	89
Figura 44. Modos de radiación antena splatch sp610	89
Figura 45. Patrones de radiación antena splatch sp610	90
Figura 46. Configuración xirio propiedades del diagrama de radiación.....	91
Figura 47. rangos de señal.....	92
Figura 48. Parámetros de radio en xirio	94
Figura 49. antena LSP69001299TR.....	95
Figura 50. Simulación estudio de cobertura	98
Figura 51. configuración xirio propiedades de calculo.....	99
Figura 52. Configuraciones generales en xirio	100
Figura 53. diagramas de radiación antena LSP	101
Figura 54. Propiedades del diagrama de radiación en xirio	101
Figura 55. Parámetros de radio en xirio	102
Figura 56. Simulación antena sp610 popular	105
Figura 57. Simulación antena LSP guayabal	108
Figura 58. Simulación antena sp610 guayabal	108
Figura 59. Simulación antena sp610 doce de octubre	109
Figura 60. Simulación antena sp610 Belén.....	111
Figura 61. Simulación antena sp610 guayabal	114
Figura 62. Simulación antena sp610 Poblado.....	116
Figura 63. Simulación antena LSP popular	119
Figura 64. Simulación antena LSP doce de octubre	121

Figura 65. Simulación antena LSP Belén.....	124
Figura 66. Simulación antena LSP Guayabal.....	126
Figura 67. Simulación antena LSP Poblado.....	128
Figura 68. Estadística comparativa I entre simulaciones en popular	135
Figura 69 Estadística comparativa I entre simulaciones en doce de octubre.....	137
Figura 70. Estadística comparativa I entre simulaciones en Belén	139
Figura 71. Estadística comparativa I entre simulaciones en Guayabal	141
Figura 72. Estadística comparativa I entre simulaciones en Poblado	144
Figura 73. Estadística comparativa II entre simulaciones en popular	147
Figura 74. Estadística comparativa II entre simulaciones en doce de octubre.....	149
Figura 75. Estadística comparativa II entre simulaciones en Belén	152
Figura 76. Estadística comparativa II entre simulaciones en Poblado	154

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Países con aplicación NB-IoT	35
Tabla 2. Indicadores de desempeño de NB-IoT en el mundo	56
Tabla 3. información técnica de tecnologías LPWA.....	59
Tabla 4. comparativa de tecnologías NB-IoT vs LTE-M.....	61
Tabla 5. Simulación telefonía móvil en comuna doce de octubre	74
Tabla 6. Simulación telefonía móvil en comuna popular	75
Tabla 7. Simulación telefonía móvil en comuna poblado	76
Tabla 8. Simulación telefonía móvil en comuna guayabal.....	77
Tabla 9. Simulación telefonía móvil en comuna Belén	78
Tabla 10. Información técnica antena splatch sp610	82
Tabla 11. Valores RSSI.....	92
Tabla 12. Información técnica antena LSP69001299TR.....	95
Tabla 13. Puntos de popular con RSSI excelente.....	105
Tabla 14. Puntos de popular con RSSI intermedio	106
Tabla 15. ejemplo de simulación sin correlación en cobertura sin señal.....	108
Tabla 16. Puntos en doce de octubre con RSSI excelente	109
Tabla 17. Puntos en doce de octubre con RSSI intermedio.....	110
Tabla 18. Puntos de Belén con RSSI excelente.....	112
Tabla 19. Puntos de Belén con RSSI intermedio	112
Tabla 20. Puntos de Guayabal con RSSI excelente.	114

Tabla 21. Puntos de Poblado con RSSI excelente.....	116
Tabla 22. Puntos de Poblado con RSSI intermedio	117
Tabla 23. Puntos de popular con RSSI excelente.....	119
Tabla 24. Puntos de popular con RSSI intermedio	120
Tabla 25. Puntos en doce de octubre con RSSI excelente	122
Tabla 26. Puntos en doce de octubre con RSSI intermedio.....	122
Tabla 27. Puntos de Belén con RSSI excelente.....	124
Tabla 28. Puntos de Belén con RSSI intermedio	125
Tabla 29. Puntos de Guayabal con RSSI excelente.	127
Tabla 30. Puntos de Poblado con RSSI excelente.....	128
Tabla 31. Puntos de Poblado con RSSI intermedio	129
Tabla 32.calculo desviación estándar	132
Tabla 33. comparativa de resultados excelentes en popular	134
Tabla 34. Resultado desviación estándar en popular	135
Tabla 35.comparativa de resultados excelentes en doce de octubre.....	136
Tabla 36. Resultado desviación estándar en doce de octubre.....	137
Tabla 37. comparativa de resultados excelentes en Belén	138
Tabla 38. Resultado desviación estándar en Belén	140
Tabla 39. comparativa de resultados excelentes en Guayabal.....	140
Tabla 40. Resultado desviación estándar Guayabal	142
Tabla 41. comparativa de resultados excelentes en Poblado	142
Tabla 42. Resultado desviación estándar en Poblado	144

Tabla 43. comparativa de resultados intermedio en popular	145
Tabla 44. Resultado desviación estándar en popular	147
Tabla 45. comparativa de resultados intermedio en Doce de octubre.....	148
Tabla 46. Resultado desviación estándar en Doce de octubre	150
Tabla 47. comparativa de resultados intermedio en Belén.....	150
Tabla 48 Resultado desviación estándar en Belén	152
Tabla 49. comparativa de resultados intermedio en Poblado.....	153
Tabla 50. Resultado desviación estándar en Poblado	155

RESUMEN

NarrowBand IoT (NB-IoT) es una tecnología de red (LPWAN-Low Power Wide Area Networks: Redes de área amplia de baja potencia) que se caracteriza por brindar largo alcance de cobertura y una mayor penetración en los edificios o lugares de difícil acceso. además de contar con la gran ventaja de dar acceso a un gran número de dispositivos que transmiten poca cantidad de datos.

NB-IoT en operación tiene gran alcance en cobertura de señal. Ante esto se plantea como herramienta ante el objetivo de Realizar un estudio técnico para la implementación de IoT de banda estrecha en 5 comunas de la ciudad de Medellín utilizando como metodología el enfoque CDIO.

Entre los resultados principales se destaca que entre mayor sea potencia de transmisión mejor será el alcance, a su vez juega un papel importante la ubicación de la antena, implementarla en la cima de una montaña hará que el nivel de propagación de la señal mucho mayor en dirección del relieve de descenso permitiendo que la señal tenga fuerte expansión en sus niveles de cobertura.

ABSTRACT

NarrowBand IoT (NB-IoT) is a network technology (LPWAN-Low Power Wide Area Networks: Low Power Wide Area Networks) that is characterized by providing long-range coverage and greater penetration in buildings or places that are difficult to access. In addition to having the great advantage of giving access to a large number of devices that transmit little amount of data.

NB-IoT in operation has great signal coverage range. Given this, it is proposed as a tool with the objective of carrying out a technical study for the implementation of narrowband IoT in five communes of the city of Medellín using the CDIO approach as a methodology.

Among the main results, it stands out that the higher the transmission power, the better the range, in turn the location of the antenna plays an important role, implementing it on the top of a mountain will make the level of signal propagation much higher in direction of the relief of descent allowing the signal to have a strong expansion in its coverage levels.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día las redes de telecomunicaciones presentan una gran evolución, sin embargo, hay factores que todavía faltan ser cubiertos, como, por ejemplo, la cobertura. Este factor es crítico en Colombia, y además genera molestia a la población en general e insatisfacción del servicio, ya que hay varios puntos o zonas del país donde no se consigue tener señal.

En Colombia, aún no se implementa por completo una tecnología que permita tener una conectividad para Internet de las cosas. Teniendo en cuenta que el ancho de banda que emplearía cualquier dispositivo al conectarse a la red no es mayor, han surgido diferentes tecnologías que habilitan a los dispositivos conectarse.

Narrowband-IoT es de los últimos proyectos estudiados por la 3GPP (3rd Generation Partnership Project: Proyecto Asociación de Tercera Generación) en los que se dispone de banda estrecha para la tecnología de internet de las cosas. Este proyecto de investigación surge del proyecto titulado: “Metodología para la implementación de un sistema de transmisión de datos que emplea redes 5G-NR e IoT de banda estrecha”, con el fin de analizar, hacer pruebas de cobertura en ciertos lugares de Medellín y verificar la posibilidad de implementación.

En el desarrollo del proyecto, el capítulo 1 incluye los aspectos generales de la propuesta del proyecto aprobada, incluyendo investigaciones acerca de la tecnología Narrowband-IoT e implementación de la tecnología en otros países. El capítulo 2, se describe la tecnología Narrowband-IoT, las características principales e indicadores de desempeño, de igual forma se expone algunas de las aplicaciones de la tecnología y comparaciones con otras tecnologías similares empleadas para IoT. En el capítulo 3, se plantea el diseño de los escenarios de

prueba en las que se escoge las localidades o comunas donde se planea la simulación, en estas se hace el estudio del perfil socio demográfico para identificar factores como extensión del terreno, población y cobertura de telefonía móvil según los operadores móviles actuales. En el capítulo 4, se define el diseño, en cuanto a la selección de antenas reales que manejen comunicación NB-IoT con diferentes niveles de potencia dBm (decibelios-mili vatios) a partir de sus datos técnicos. Es importante mencionar que en este proyecto se configuró la herramienta software con los parámetros de una implementación real. se hace de las antenas en las comunas y la configuración correspondiente. El capítulo 5 evidencia las simulaciones en Xirio de NB-IoT en las comunas seleccionadas en las que se realizan dos simulaciones con antenas diferentes en cada una de las 5 comunas. En el capítulo 6, se realiza un análisis comparativo de las simulaciones en las que se desarrolla las comparativas con sus graficas de alcance, analizando los niveles de potencia en cada una de las dos simulaciones, y la desviación estándar.

1 CAPÍTULO I GENERALIDADES

En el desarrollo de este capítulo se presenta las generalidades de la propuesta de investigación en la cual se expondrá el planteamiento del problema, la metodología justificación, objetivos, marco conceptual y teórico, estado del arte del proyecto planteado.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad el internet ha tenido un gran despliegue en sus usos, este pasa a implementación en tecnología de conectividad de las cosas, en las cuales la comunicación y la aplicación de diversas tareas pueden ser ejecutadas desde un móvil o pc por medio del wifi.

En investigaciones presentadas por el colombiano Botero Natalia Estefanía (2013). revela que Medellín esta entre las ciudades de Colombia que cuenta con la mayor proporción de usuarios conectados a internet en diferentes tecnologías y lugares como transporte público, hogares o en la calle, además de esto luego de la época de pandemia se intensifico el uso de internet para trabajo remoto, clases virtuales, videoconferencias, búsqueda y subidas de información en la nube.

Por otra parte, Medellín está ubicada en un valle lo que implica que habrá zonas tanto bajas como altas debido a esto algunas áreas tienen mala señal de telefonía y de prestación de servicios de internet.

Teniendo en cuenta la geografía de la ciudad hay zonas que tienen puntos a favor como lo es la localidad de guayabal, la cual cuenta con territorio plano y buena

recepción de señales inalámbricas permitiendo que esta localidad sea donde más se presenta aglomeración de público ya que está dividida en zonas industrial (fabricas), entretenimiento (centros comerciales) y transporte (aeropuerto, terminal intermunicipal).

Existen otras localidades como: popular, 12 de octubre, belén y parte del poblado, las cuales son zonas residenciales, que están ubicadas en terrenos altos, están en algo de desventaja ya que las antenas de telecomunicaciones se ubican en lo más alto de la montaña para lograr la mayor cobertura posible, pero en la ruta de descenso hay desniveles en el terreno, existencia de vegetación, construcciones que representan obstáculos para la recepción de señal y ocasionan que la señal inalámbrica sea poca o nula.

Además de esto, como se mencionó previamente Medellín cuenta con una gran cantidad de habitantes lo que genera el uso de múltiples dispositivos, por tanto, se ve la necesidad de mejorar la capacidad de las redes inalámbricas, de aquellos dispositivos que necesiten conectarse a la red sin tener un ancho de banda amplio. Por tanto, la aplicación de tecnologías como NB-IoT podría proporcionar una mejora, ya que actualmente la ciudad no tiene un estudio técnico dedicado a la implementación de esta tecnología.

Según estudios en cobertura móvil registrados en la página web www.datos.gov Ministerio TIC Oficina TI Gestión de Información (2022). Se evidencia una comparación en diferentes zonas geográficas de Medellín en los cuales se detalla los usos de las tecnologías desde la 2G hasta la 4G, en estos se observa que la tecnología 4G es la que más presenta déficit en coberturas con un 30% de mala cobertura; la 3G con un 20% de mala cobertura y la tecnología 2G con un 10% de pésima cobertura. Con base en esto, se evidencia que existe una infraestructura de comunicación inalámbrica móvil insuficiente en las comunas Doce de octubre, popular, poblado, guayabal y belén de la ciudad de Medellín – Antioquia.

Finalmente, en este proyecto da respuesta a la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo se realiza un estudio técnico para la implementación de la tecnología NB-IoT en 5 comunas de Medellín, que permita analizar los indicadores de desempeño de dicha tecnología?

1.2 JUSTIFICACIÓN

El estándar de radio móvil IoT de banda estrecha (NB-IoT para abreviar), hace parte de las redes de baja potencia (LPWA” Low Power Wide Area/Área amplia de baja potencia”), estos son cada vez más importantes para permitir la implementación de IoT. Esta tecnología presenta las siguientes ventajas: bajos costos, alta escalabilidad y buena penetración en edificios, que hacen que el estándar sea la tecnología ideal para una amplia gama de campos de aplicación; este estándar se extiende en continentes como Asia, Europa y Norteamérica. Pickdata (2020).

Siendo más específicos la NB-IoT es una extensión de la tecnología LTE y utiliza la arquitectura de comunicaciones móviles existentes con respecto a antenas, y bandas de frecuencia. Esto ocasiona que sea eficiente para los operadores móviles, en cuanto a implementación y costos. Asimismo, esta tecnología posibilita una buena penetración de señal en los edificios y a su vez brinda un bajo consumo de energía en los dispositivos transmisores.

La característica principal de Narrowband-IoT es el bajo ancho de banda, el cual fue diseñado para el manejo de volúmenes pequeños, por ejemplo, datos de estaciones meteorológicas, datos de metrología entre otros. NB-IoT frente a otras tecnologías es importante porque representa un beneficio para la industria a la hora de implementarlo ya que es equivalente a menor inversión.

Con la aplicación de NB-IoT se busca expandir la cobertura sin limitación de obstáculos (árboles, construcciones, etc.) en el recorrido de la señal inalámbrica proporcionando máxima disponibilidad en zonas exteriores e interiores, estando privilegiadas las empresas, instituciones educativas, hospitales y en general toda la comunidad que hace uso de la red ya que, NB-IoT es una red de área amplia que funciona a baja potencia y permite la comunicación en lugares de difícil acceso. La implementación de esta tecnología permitirá una amplia cobertura sin importar su nivel demográfico y la conectividad de muchos dispositivos, un aproximado de 50.000 por antena.

En el desarrollo de la investigación con sus respectivos estudios correspondientes en la implementación de NB-IoT mediante simulaciones en las cuales se analiza la cobertura de una red banda estrecha en diferentes espacios geográficos. Para realizar las simulaciones, es necesario definir las localidades para realizar el estudio.

En la mayoría de las comunas la penetración del internet no es muy buena ya que hay varios factores que no favorecen la llegada de las señales. Operar con 4G su cobertura es limitada ocasionando la desventaja de que no pueda ser utilizada en cualquier lugar allí es donde entra en juego el nivel geográfico, número de antenas instaladas por operadores móviles y desarrollo urbano con respecto a la cantidad de construcciones y las que faltan por venir. Ante los problemas de conectividad en la ciudad de Medellín, la secretaria de innovación digital genero un estudio en el cual arroja resultados desalentadores confirmando que 13 de las 16 comunas en Medellín tiene déficit de conexión a internet el cual es superior al 18%. Cristian Álvarez (2022).

Teniendo en cuenta las siguientes razones expuestas a continuación, se seleccionan las siguientes comunas de Medellín: 12 de octubre, popular, guayabal, belén, y poblado.

1. Se tiene experiencia de campo en algunas de las localidades y se identifica de primera mano la falencia en las señales inalámbricas.
2. Se hace una hipótesis de la cobertura de los operadores en esas zonas y se nota con claridad la fallas en cobertura de las localidades, por eso es de suma importancia la simulación de cobertura de la red NB-IoT.
3. Otra de las características para la elección de las comunas es tipo de nivel territorial ya que son diferentes, algunas horizontal, otras cóncavas, unas con más relieve que otras; con el fin de realizar una comparativa y bajo los resultados, tener datos de cobertura de la red NB-IoT como sería la implementación de redes inalámbricas en diferentes niveles geográficos para futuros proyectos.

Para finalizar, teniendo en cuenta que Medellín es la primera ciudad de Colombia con un programa gubernamental fiel al modelo y principios de ciudades inteligentes (Paula Andrea Ramírez (2020). y que Medellín es la segunda ciudad más importante de Colombia, con cerca de 3 millones de habitantes, es importante la implementación de tecnologías emergentes para continuar con el plan de Medellín digital que inició en 2020.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Realizar un estudio técnico para la implementación de IoT de banda estrecha en 5 comunas de la ciudad de Medellín – Antioquia, mediante el análisis de los indicadores de desempeño de la red.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Caracterizar los indicadores de desempeño en una red NB-IoT, de conformidad con los estándares internacionales establecidos.
2. Diseñar los escenarios de prueba, donde se medirán los indicadores de desempeño de la red de acceso.
3. Realizar simulaciones mediante la herramienta Xirio en las comunas de la ciudad de Medellín seleccionadas.
4. Analizar los resultados de simulación, mediante la comparación de los resultados obtenidos.
5. Documentar el estudio técnico y sus componentes, de acuerdo con la revisión del estado del arte referentes teóricos, y simulaciones.

1.4 METODOLOGÍA

El desarrollo del presente trabajo sigue en su metodología el enfoque CDIO. A continuación, se presenta las etapas siguiendo dicho enfoque con las respectivas actividades.

1.4.1 Concebir

En esta etapa se concibe la problemática en la cual nos centramos en los aspectos principales.

Problema general

zonas afectadas

Componentes aplicativos

Posibles soluciones

1.4.2 Diseñar

En esta etapa se desarrollarán los siguientes objetivos con sus actividades.

- Caracterizar los indicadores de desempeño en una red NB-IoT, de conformidad con los estándares internacionales establecidos.

Estudio de características de red NB-IoT

Estudio especificaciones técnicas de red NB-IoT

Análisis ciudades inteligentes con sistema NB-IoT,

Diseñar los escenarios de prueba, donde se medirán los indicadores de desempeño de la red de acceso.

- Diseñar los escenarios de prueba, donde se medirán los indicadores de desempeño de la red de acceso.

Estudio plano de las comunas seleccionadas.

Establecimiento límites donde llegara la cobertura principal.

Datos de estudios anteriores penetración del internet en comunas.

Datos de cobertura de operadores.

1.4.3 Implementar

En esta etapa se desarrollarán los siguientes objetivos con sus actividades.

- Realizar simulaciones mediante la herramienta Xirio en las comunas de la ciudad de Medellín seleccionadas

- Analizar los resultados de simulación, mediante la comparación de los resultados obtenidos.
- Documentar el estudio técnico y sus componentes, de acuerdo con la revisión del estado del arte referentes teóricos, y simulaciones.

1.5 MARCO CONCEPTUAL Y TEÓRICO

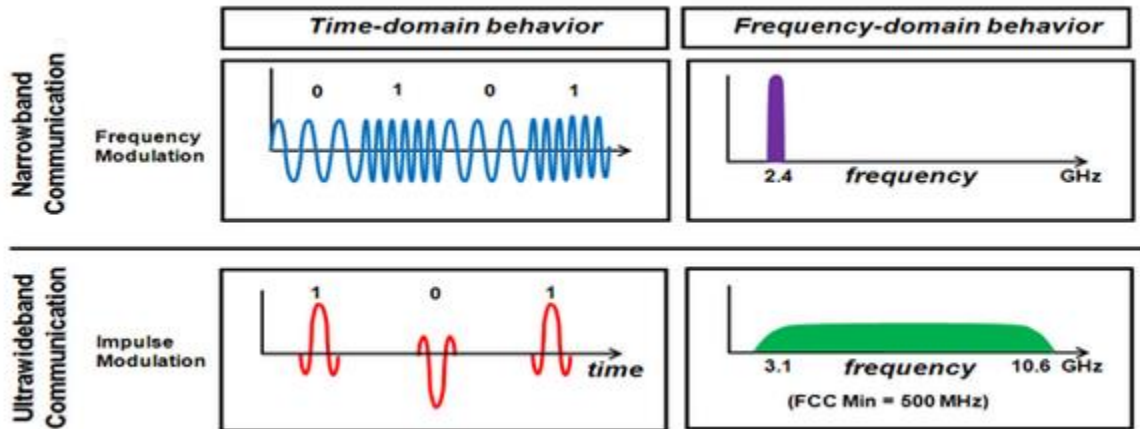
A continuación, se presentan los principales conceptos y teorías relacionados con los objetivos propuestos, que ayudan a dar un contexto del proyecto.

1.5.1 Marco conceptual

1.5.2 Internet of Things - IoT

Internet de las cosas es la conexión de cualquier elemento a internet para ciertas funciones, en la cual está conformada por un elemento “lámpara”, a esta se le añade un circuito electrónico que realizará funciones de actuador en el objeto, además, entre sus características hará enlace inalámbrico a un dispositivo con funciones de asistente online. La finalidad de esta conexión vía wifi es que este objeto conectado a la internet pueda realizar funciones programadas con anterioridad por orden del asistente como encendido y apagado a determinadas horas o ejecución de órdenes remotas ejecutadas por el usuario a través del internet con el asistente online como intermediario. Oracle (2022). Como se observa en la figura 1 el esquema del internet de las cosas en el cual podemos evidenciar la asociación de los múltiples dispositivos que van a estar conectados a la red.

Figura 2. Narrowband vs ultrawideband



Nota: comparativa modulación de frecuencias entre narrowband (banda estrecha) y ultrawideband (banda ultra ancha). Tomada: (Amarnath Jaiswal, 2017). <https://www.anses.net.in/index.php/2017/07/05/wideband-communication-and-narrowband-communication/>

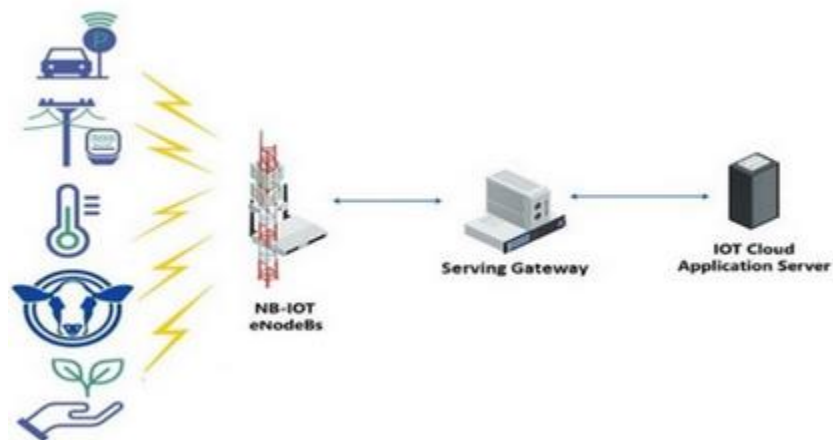
1.5.4 Wifi

Es el modo de transmisión inalámbrico de datos para internet, en el cual la transmisión se inicia desde el dispositivo de red "Access point" conectado a internet por medio de cable de red, el dispositivo por medio de la antena distribuye las señales inalámbricas. Tibor moes (2014).

1.5.5 NB-IoT

Es una red de banda estrecha la cual permite conectarse a Internet y así los dispositivos en parte de la IoT puedan ser monitoreados y controlados desde cualquier lugar y a cualquier hora. con la ventaja de tener un bajo consumo en el uso de datos. Claro (2020). Como se observa en la figura 3 el modelo de arquitectura de Narrowband-IoT desde el servidor IoT en aplicación desde la nube hasta el usuario final.

Figura 3. Narrowband-IoT



Nota: esquema de funcionamiento de red Narrowband-IoT. Tomado de: (Anónimo, 2005). <https://www.indiamart.com/proddetail/narrow-band-internet-of-things-nb-iot-service-17328372288.html>

1.5.6 NB -IoT en las redes de telefonía móvil celular

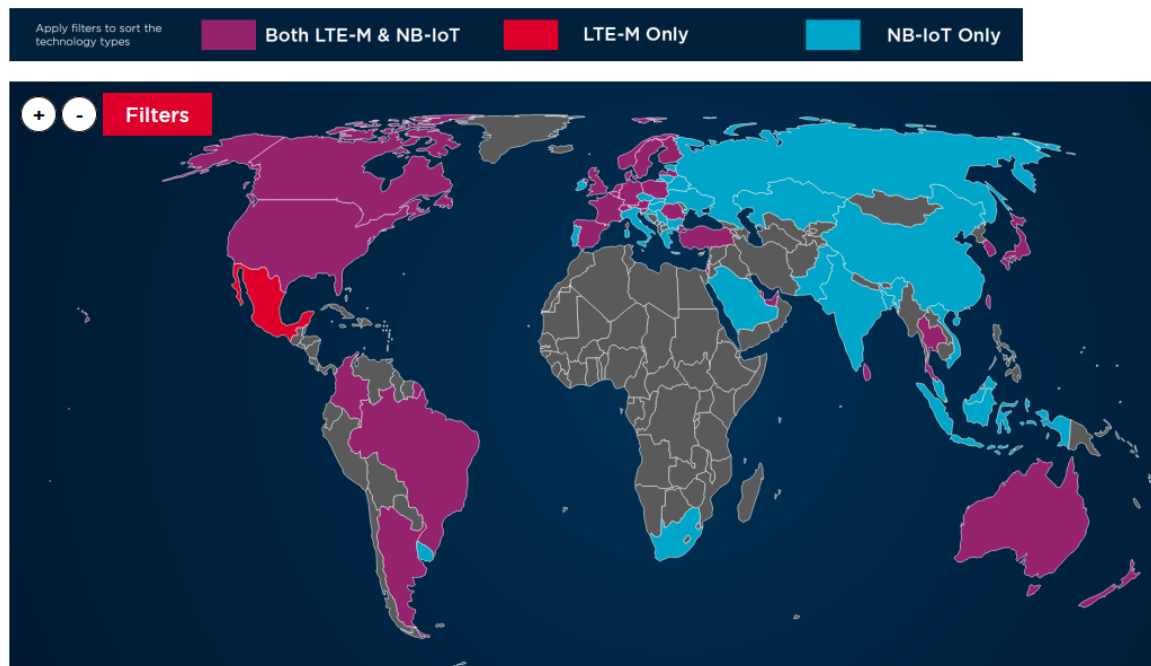
Para la aplicación NB -IoT en telefonía móvil se instala una sim en el dispositivo celular pero la transmisión de datos se comporta de una manera diferente; se añaden los datos transmitidos a otras frecuencias cercanas esto con el fin de aumentar la velocidad de carga y descarga en los dispositivos. Smart digital machine (2022).

1.6 ESTADO DEL ARTE

1.6.1 Análisis ciudades inteligentes con sistema NB-IoT.

NB-IoT es una tecnología en desarrollo que poco a poco se ha estado distribuyendo alrededor del mundo haciendo poner en marcha su implementación en las ciudades convirtiéndolas en inteligentes como se observa en la figura 4 los países resaltados en azul y purpura los cuales ya se está aplicando la tecnología Narrowband-IoT.

Figura 4. NB-IoT en el mundo



Nota: Coberturas de redes LTE-M, NB-IoT en el mundo. Tomado de: (Anónimo, 2022) <https://www.gsma.com/iot/deployment-map/#deployments>

Se aprecia en la figura 4 en que países se ha implementado las redes NB-IoT el cual se encuentra operando a la par con la tecnología de red LTE. De algunos de los países señalados en el mapa, hacemos la mención de algunos y de sus implementaciones con la red NB-IoT.

1.6.2 NB-IoT en España

En España la implementación de red NB-IoT tiene un gran auge teniendo algunas áreas como Madrid y valencia 100% de cobertura con NB-IoT.

se logra manejar de manera exitosa proyectos como la integración IOT en motos eléctricas asociadas por empresas de motosharing logrando incorporarlas en 4000 motos y también en industrias como Nestlé para supervisar producción de café y aumentar la eficiencia tanto en producción como satisfacción de los clientes

1.6.3 NB-IoT en china

En china se maneja de excelente manera la integración de redes de baja frecuencia NB-IoT siendo la primera en el mundo que alcanza los 100 millones de conexiones siendo entre sus aplicaciones las conexiones de contadores de agua y gas reduciendo costos trabajos complejos por acceso a lugares difíciles.

De igual manera se ha implementado en diferentes servicios como empresariales y en la agricultura para el logro de esto se ha hecho despliegue de 400.000 estaciones base brindando 98% de cobertura en china.

1.6.4 NB-IoT en Estados Unidos

Estados Unidos no se queda atrás con la implementación de la NB-IoT en la cual la marca de operador AT&T ha puesta en operación la red de banda estrecha. Esto lo ha logrado gracias a la actualización en las zonas de red LTE ya existentes teniendo primero la implementación en temas de seguridad como detectores de humo, cerraduras de puertas y en usos empresariales como monitores industriales y usos agrícolas inteligentes y que prontamente será aplicado en México.

1.6.5 NB-IoT en otros lugares

Además de la propagación de la NB-IoT en el mundo visto en la figura anterior y las ciudades mencionadas hay otras que también tiene en operación la NB-IoT gracias a la implementación de los operadores de telefonía que vieron el potencial de las redes de banda estrechas aplicados a tecnologías IoT acá vemos en la Tabla 1 un listado de ciudades con su operador móvil y la tecnología de red que implementan.

Tabla 1. Países con aplicación NB-IoT

Operador	País	Tecnología
3	Hong Kong, SAR China	NB-IoT
A1	Austria Bielorrusia Bulgaria Croacia Bélgica	NB-IoT
	Eslovenia	LTE-M & NB-IoT
AIS	Tailandia	LTE-M & NB-IoT
América Móvil	México	LTE-M
Antel	Uruguay	NB-IoT

APTG	Taiwán, Provincia de China	LTE-M & NB-IoT
Altice	Portugal	NB-IoT
AT&T	México Estados Unidos	LTE-M
	Estados Unidos	NB-IoT
BASE (Telenet)	Bélgica	NB-IoT
Bell	Canadá	LTE-M

Nota: ciudades y operadores móviles con su tecnología de red. Tomado de: (Anónimo, 2022). <https://www.gsma.com/iot/mobile-iot-commercial-launches/>

1.7 ESTADO DEL ARTE RELACIONADO CON LA TECNOLOGÍA NB-IOT

A continuación, se presentan los trabajos o artículos en el ámbito internacional encontrados referentes a la tecnología NB-IoT.

Combining Lora WAN and NB-IoT for Edge-to-Cloud Low Power Connectivity Leveraging on Fog Computing. (Peruzzo G, Pozzebon A, 2022, artículo).

En el desarrollo del artículo se realiza una explicación detallada del Lora WAN-NB-IoT con el fin de despejar todas las dudas acerca de los servicios que prestan, arquitectura de la red, así como sus componentes, pruebas y resultado

LoRaWAN versus NB-IoT: Transmission Performance Analysis Within Critical Environments. (Peruzzo G, Pozzebon A, Lombardo A y Parrino S. 2022, artículo).

En el desarrollo del artículo se hace estudio y comparación entre la red Lora WAN y Narrowband dirigido hacia tecnologías IoT en el cual hacen pruebas de cobertura en campo para medir las pérdidas atribuidas a los medios y la comparativa para conclusiones.

Signal coverage analysis with link adaptation in Narrowband-IoT (R Gnanaselvam, M,S Vasanthi. 2022, Artículo).

En el desarrollo del artículo se hace el análisis de la cobertura en señal de NB-IoT en el cual hacen énfasis en la eficiencia e impacto de tiempo en la transmisión

A link adaptation scheme for reliable downlink communications in narrowband IoT (Farshid Sanei, Hamed Farbeh. 2021, Artículo).

En el desarrollo del artículo vemos la definición de NB-IoT, las ventajas en sus modos de transmisión al definirla bajo sus modos de modulación y codificación

A Systematic Analysis of Narrowband IoT Quality of Service. (Fernandez-Prieto, Jose-Angel. 2020, artículo).

En el desarrollo del artículo expresan la definición de NB-IoT, la implementación de esta tecnología por los operadores móviles y la evaluación de la transmisión de información y la calidad del servicio.

1.8 ESTADO DEL ARTE EN COLOMBIA

A continuación, se presentan los trabajos en el ámbito nacional encontrados referentes a la tecnología NB-IoT.

Simulación y análisis de protocolos de transmisión para IoT al utilizar herramientas de simulación de redes inalámbricas (Juan Felipe Arévalo Peña-Edgar Andrés García Bernal, Tesis)

En el desarrollo de este proyecto se realizaron simulaciones en Xirio de diferentes protocolos de redes en las cuales se comparan los diferentes resultados para encontrar los mejores modelos de transmisión.

Xirio: Herramienta para la planeación de redes de comunicaciones móviles celulares.

(Juan David Rodríguez, Juan Carlos Bautista, Lorena Sotomonte, tesis)

En el desarrollo del artículo bajo simulación en Xirio se toma un modelo de antena en particular para la aplicación de una red 4G en las cuales se resaltan las ventajas en la implementación de estas antenas modelos de propagación Okumura-Hata y Walfisch-Bertoni.

Análisis de tecnologías radio para la transmisión de información al usuario de un sistema de control De flotas. (maría Alejandra palacios Ibarra, stehany lucía zúñiga Pérez, tesis)

En la actualidad el rápido envío y recepción de datos es un aspecto importante tanto para los operadores como para los usuarios. En el desarrollo del artículo se realiza la simulación en Xirio y análisis en tecnologías de radio, que ofrezcan facilidad de transmisión al usuario el cual estará orientado a un sistema de control de flotas, bajo el marco de Ciudad Inteligente.

2 CAPÍTULO 2. INDICADORES DE DESEMPEÑO EN UNA RED NB-IOT

En el desarrollo de este capítulo se definen los indicadores de desempeño, en una red NB-IoT, se indican las características más importantes de los estándares internacionales con referencia a los indicadores de desempeño, se indican las características más importantes de NB-IoT referente a 4G y 5G.

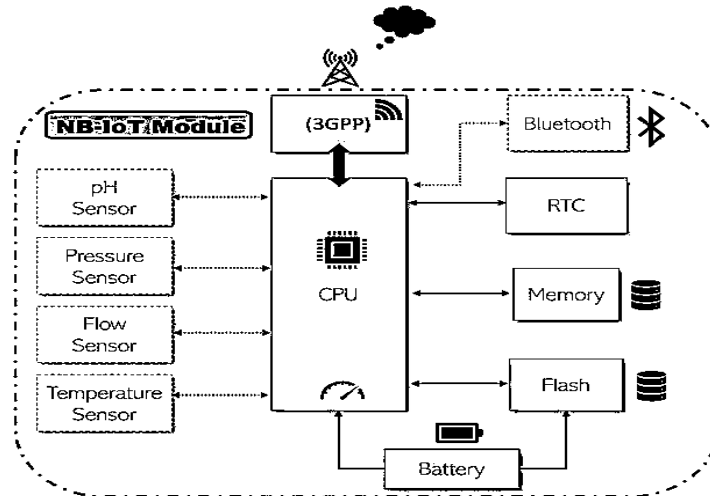
2.1 NB-IoT

La telecomunicación día a día va tomando grandes dimensiones por su desarrollo en el mundo. Gran parte de población está conectada a las redes a través de diferentes medios de transmisión, siendo ellos alámbricos e inalámbricos. Los medios inalámbricos son indispensables hoy en día porque permiten la portabilidad y movilidad en un mundo que está en constante evolución y movimiento.

En la evolución de las telecomunicaciones nace Narrowband el cual es una red de banda estrecha la cual permite que en la transmisión de señales inalámbricas haya menos ruido e interferencias que entorpezcan la señal; gracias a estas ventajas se ha convertido en la ideal hacia la tecnología IoT siendo conocida NB-IoT. (Octavio Castillo, SF)

En la figura 5 se evidencia la arquitectura de una red NB-IoT general, allí se observan cómo interactúan los módulos NB-IoT con la red móvil y el equipo de usuario final

Figura 5. Arquitectura red NB-IoT



Nota: Esquema en hardware de modulo NB-IoT. Tomado de: (Anónimo, S.F)
<https://uvax.es/es/uvax-nb-iot/>

2.2 CARACTERÍSTICAS DE RED NB-IOT

Las características más importantes de esta tecnología son

2.2.1 Bajo consumo de energía

En el consumo de energía en el manejo de información en los paneles es poco, que medida en escalas sería 1 de gasto por 10 de capacidad, además el tiempo de duración de la batería en el módulo terminal puede ser hasta de 10 años (Pang Guoming, 2018).

2.2.2 Gran alcance en cobertura

La frecuencia de NB-IoT se mejora en 20dB (decibelios) en comparación de la red GSM (“Global System For Mobile Communication” Sistema Global para las Comunicaciones Móviles) existente, dando como resultado que las señales de cobertura se amplíen 100 veces más (Pang Guoming, 2018).

2.2.3 Conexiones

NB-IoT puede soportar 50,000 conexiones por panel permitiendo no tener límites en la integración de dispositivos antiguos y nuevos en las zonas donde se aplique la red lo que daría amplio margen de conexiones en las ciudades (Pang Guoming, 2018).

2.2.4 Bajo costo

La tolerabilidad en tecnología celular, se debe integrar la sim o chip la cual está a costo de \$ 1 a \$ 2 proporcionando economía a los usuarios que deseen conectarse a la red.

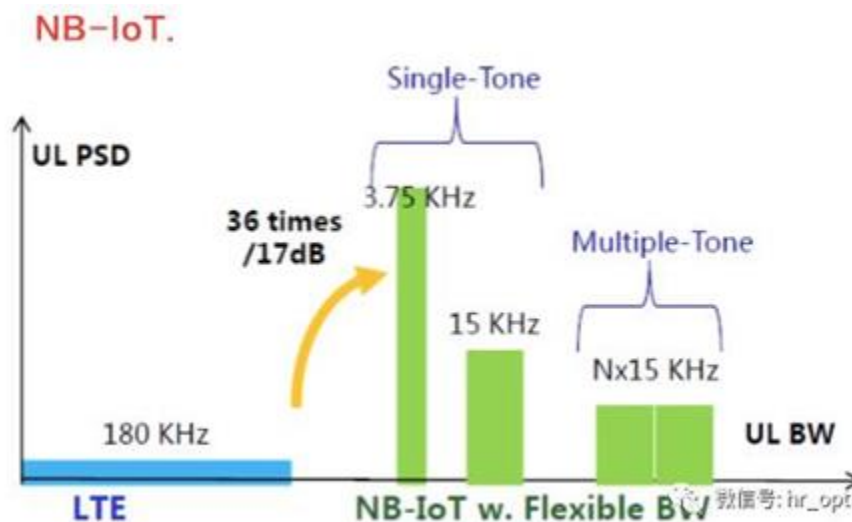
2.2.5 Especificaciones técnicas de red NB-IoT

Para el adecuado manejo NB-IoT, 3GPP (3rd Generation Partnership Project: Proyecto Asociación de Tercera Generación) ha establecido el uso de reléase que son plataformas para el manejo de bandas las cuales se pueden ir añadiendo nuevas y diversas funciones. Para el manejo de ciertas bandas, se usa 3GPP TS 36.101 de Rel-13 la cual proporciona la lista de las bandas admitidas, que son: 1, 2, 3, 5, 8, 12, 13, 17, 18, 19, 20, 26, 28, 66. (Anón, 2018).

Para el manejo de la Rel-14 se agregaron otras bandas: 11, 25, 31 y 70; y finalmente para la Rel-15 de 3GPP se determinaron las bandas: 4, 14, 71, 72, 73, 74 y 85 (Anón, 2018).

El ancho de banda es de 180 kHz, lo cual en el manejo de esta se realiza la separación entre sub portadoras asignando 15kHz, para el enlace descendente y de 3.75 kHz a 15 kHz para el ascendente como se observa en la figura 6. (Anón, 2018).

Figura 6. Especificaciones técnicas NB-IoT



Nota: gráficos de enlaces ascendente y descendente de red NB-IoT en comparativa Con LTE Tomado de: (Anónimo,S.F).
<https://www.programmerclick.com/article/7098818298/>

2.3 MODOS DE IMPLEMENTACIÓN NB-IOT

Para la implementación de NB-IoT hay 3 modos de operación:

2.3.1 Stand-alone (Despliegue autónomo)

Este modo de implementación es usado en una banda de frecuencia independiente para así poder volver a cultivar la banda de frecuencia GSM (“Global System For Mobile Communication” Sistema Global para las Comunicaciones Móviles).

2.3.2 Guard-band (Implementación de la banda de protección)

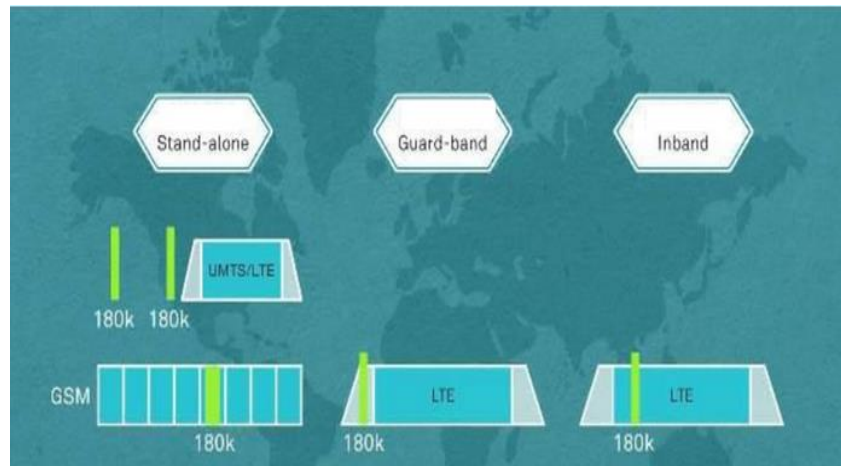
Este modo de implementación usa bandas de frecuencia innecesarias en el borde del sistema LTE.

2.3.3 Inband (Implementación en banda)

En este modo de implementación se puede utilizar cualquier bloque de recursos en medio de una portadora LTE.

Como se observa en la figura 7 se observa con claridad los modos de implementación de NB-IoT en el uso de frecuencias.

Figura 7. Modos de implementación NB-IoT



Nota: modos de implementación de las bandas de frecuencia de red NB-IoT. Tomado de: (Anónimo, 2021) <https://forum.huawei.com/enterprise/es/todos-aprenden-iot-acceso-masivo-inal%C3%A1mbrico-y-de-banda-estrecha-2/thread/759573-100761>

2.4 CANALES NB-IOT

Para NB-IoT y el manejo de enlace descendente, se han establecido canales físicos y señales físicas.

2.5 CANALES FISICOS

2.5.1 NPBCH

(Narrowband Physical Broadcast Channel, Canal de transmisión física de banda estrecha) la cual se encuentra en la banda cero y es utilizada en la entrega del bloque de información principal (MIB) de NB-IoT, que entrega información principal para que el UE de NB-IOT opere en la red. (Pang Guoming, 2018).

2.5.2 NPDCCH

(Physical Downlink Control Channel, Canal de control de enlace descendente físico de banda estrecha). (Pang Guoming, 2018).

2.5.3 NPDSCH

Canal compartido de enlace descendente físico de banda estrecha el cual es usada para transportar datos de unidifusión desde la estación base al dispositivo NB-IoT. (Pang Guoming, 2018).

Como se observa en la figura 8 la división en tramas de los canales de NB-IoT.

Figura 8. Canales NB-IoT

even numbered frame	subframe number									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	NPBCH	NPDCCH or NPDSCH	NPDCCH or NPDSCH	NPDCCH or NPDSCH	NPDCCH or NPDSCH	NPSS	NPDCCH or NPDSCH	NPDCCH or NPDSCH	NPDCCH or NPDSCH	NSSS
odd numbered frame	subframe number									
	NPBCH	NPDCCH or NPDSCH	NPDCCH or NPDSCH	NPDCCH or NPDSCH	NPDCCH or NPDSCH	NPSS	NPDCCH or NPDSCH	NPDCCH or NPDSCH	NPDCCH or NPDSCH	NPDCCH or NPDSCH

Nota: Canales en señal de transmisión NB-IoT. Tomado de: (Anonimo, S.F).
<https://www.programmerclick.com/article/7098818298/>

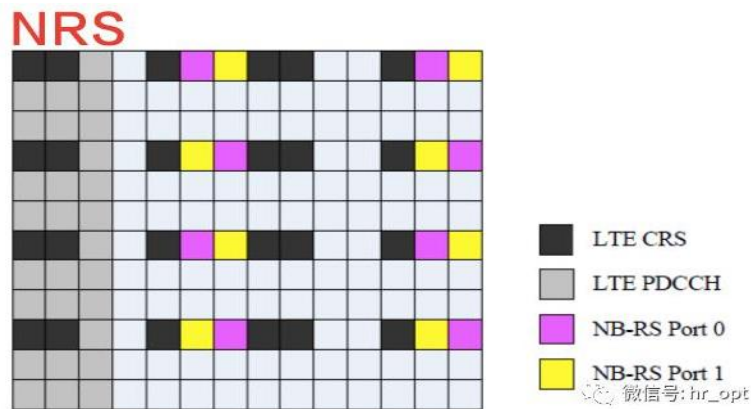
2.6 SEÑALES FÍSICAS

2.6.1 NRS

Señal de referencia de banda estrecha la cual se usa para la medición de calidad del canal del enlace descendente.

Como se observa en la figura 9, las señales de referencia específica de celda de las tecnologías LTE y NB-IoT (Pang Guoming, 2018).

Figura 9. Señal física NRS de NB-IoT



Nota: Señales físicas NRS (señal de referencia específica de celda) de LTE y NB-IoT Tomado de: (Anónimo, S.F).
<https://www.programmerclick.com/article/7098818298/>

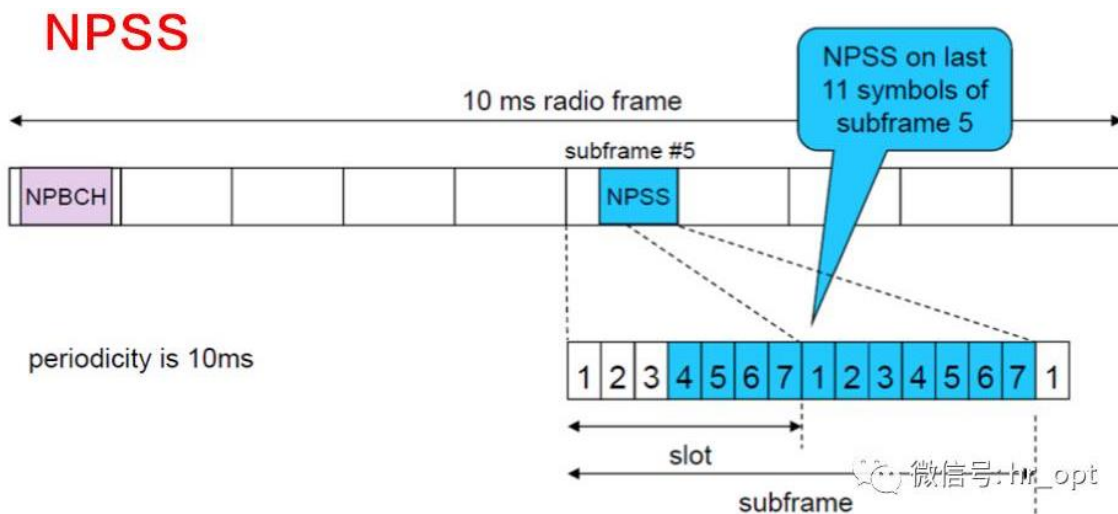
2.7 NPSS Y NSSS

Señal de sincronización principal y señal de sincronización auxiliar las cuales son usadas para la búsqueda de celdas. (Pang Guoming, 2018).

2.7.1 NPSS

Se encuentra en la 5ta subtrama en cada trama de radio de 10 ms, usando los últimos once símbolos OFDM (Orthogonal frequency-division multiplexing) en cada subtrama como se observa en la figura 10.

Figura 10. Señal física NPSS de NB-IoT

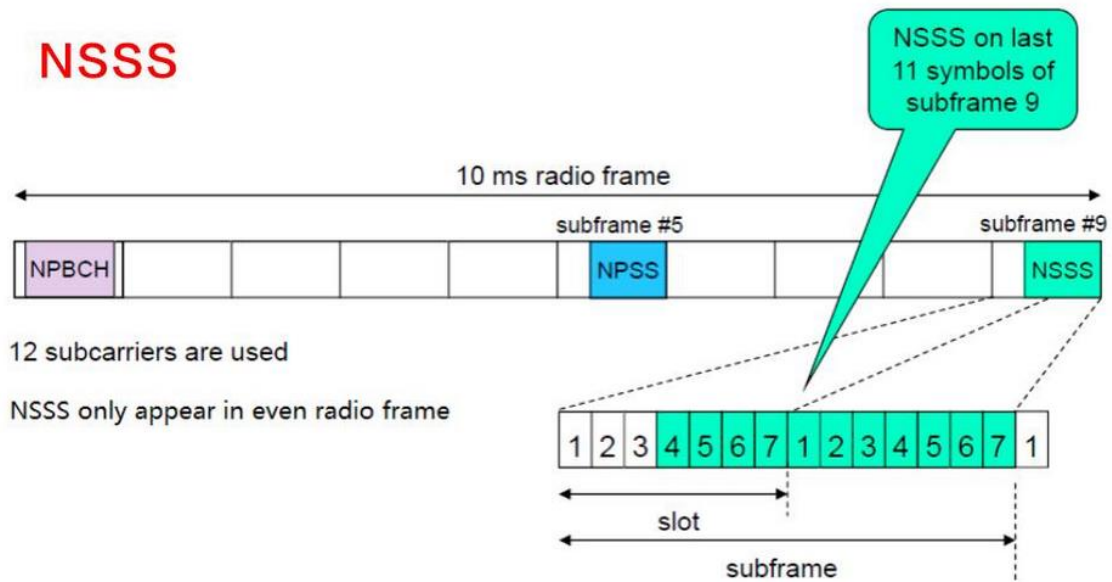


Nota: señal física NPSS (señal de sincronización primaria para una trama de enlace descendente) de NB-IoT. Tomado de: (Anónimo, S.F). <https://www.programmerclick.com/article/7098818298/>

2.7.2 NSSS

Se encuentra en la novena subtrama y tiene un período de 20 ms(mili segundos). Aparece solo en tramas pares y también utiliza los últimos 11 símbolos OFDM en cada subtrama como se observa en la figura 11.

Figura 11. Señal física NSSS de NB-IoT

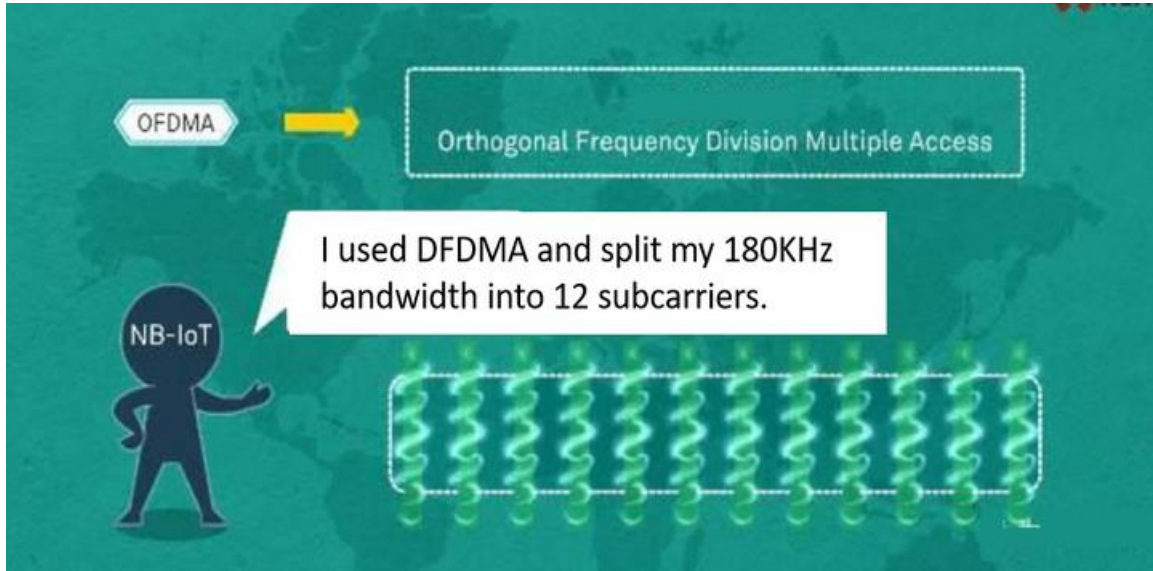


Nota: señal física NSSS (señal de sincronización secundaria para una trama de enlace descendente) de NB-IoT Tomado de: (Anónimo, S.F). <https://www.programmerclick.com/article/7098818298/>

2.8 TRATAMIENTO DE SEÑALES DOWNLINK NB-IOT

Entre las señales existentes, NB-IoT utiliza la OFDMA (orthogonal frequency-division multiple access) la cual es la combinación de tecnologías OFDM (Orthogonal frequency-division multiplexing) y FDMA (frequency division multiple access), en su modo de operación a partir de OFDM realiza subportadora en un canal y después carga los datos de transmisión en algunas subportadoras y usando OFDMA divide el ancho de banda en 180 kHz en 12 subportadoras como se observa en la figura 12 y cada una cuenta con 15 kHz. (Pang Guoming, 2018).

Figura 12. Subportadoras de señal OFDMA



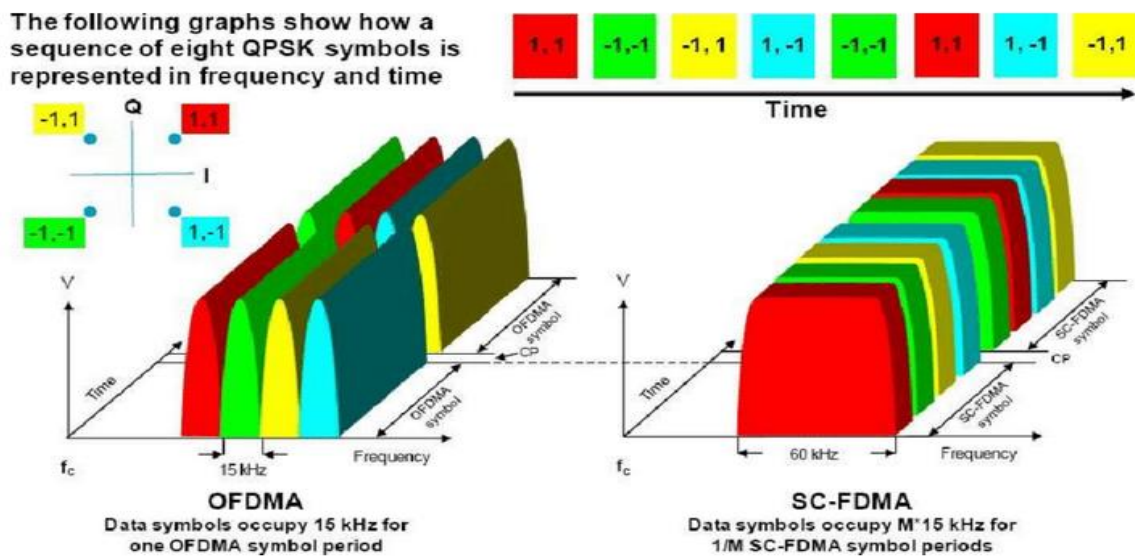
Nota: división en sub-portadoras por la frecuencia de división múltiple OFDMA para transmisión NB—IoT. Tomado de: (Anónimo, 2021) <https://forum.huawei.com/enterprise/es/todos-aprenden-iot-acceso-masivo-inal%C3%A1mbrico-y-de-banda-estrecha-2/thread/759573-100761>

2.9 TRATAMIENTO DE SEÑALES UPLINK NB-IOT

En el manejo de señales uplink NB-IoT maneja otro tipo de señal esta es SC_FDPA (acceso múltiple por división de frecuencia de una sola portadora) la cual es un esquema de acceso múltiple que realiza la modulación y demodulación para la asociación de subportadoras.

Como se observa en la figura 13 es un diagrama de secuencias de frecuencias representadas de OFDMA y SC-FDMA en tiempo por frecuencia. (Pang Guoming, 2018).

Figura 13. Frecuencias OFDMA y SC-FDMA



OFDMA and SC-FDMA Subcarrier allocation

Nota: diagrama de secuencias de frecuencias representadas en tiempo. Tomado de: (karthik kumar, NookLA Venu, 2021) https://www.researchgate.net/figure/ODFDMA-and-SC-FDMA-Subcarrier-allocation_fig2_355237048

2.10 INDICADORES DE DESEMPEÑO EN NB-IOT

2.10.1 Escalabilidad:

En el manejo de envío y recepción de la información, NB-IoT tiene buenas características, primeramente, una red de fácil escalabilidad ya que tiene la capacidad para 55,000 dispositivos por célula conectada; una cobertura mejorada ya que el MCL (pérdida máxima de acoplamiento) maneja valores de 164 dB, 20dB más fuerte que GSM. Pang Guoming (2018).

2.10.2 Cobertura:

NB-IoT permite que los dispositivos en la red banda estrecha puedan comunicarse en largos periodos de tiempo, la cobertura de una celda es de 3 a 5 km aproximadamente además de tener acceso a sitios de difícil acceso gracias a su excelente nivel de penetración; esto nos ofrece continuidad en la transmisión permitiendo enlace sin interrupciones ni perdida de información, para ello se maneja una velocidad de datos en la capa física NPDSCH en la cual tiene una velocidad máxima de datos $680 \text{ bits}/3 \text{ ms} = 226,7 \text{ kbps}$ de la misma manera en la capa física NPUSCH se maneja una velocidad de $1000 \text{ bits} / 4 \text{ ms} = 250 \text{ kbps}$.

En la figura 14 se exponen los datos técnicos red NB-IoT en enlaces ascendente 15KHz y descendente 3.75 KHz.

Figura 14. Datos técnicos red NB-IoT

Numerology	15 kHz	3.75 kHz
(1) Transmit power (dBm)	23.0	23.0
(2) Thermal noise density (dBm/Hz)	-174	-174
(3) Receiver noise figure (dB)	3	3
(4) Occupied channel bandwidth (Hz)	15000	3750
(5) Effective noise power = (2) + (3) + 10*log ((4)) (dBm)	-129.2	-135.3
(6) Required SINR (dB)	-11.8	-5.7
(7) Receiver sensitivity = (5) + (6) (dBm)	-141.0	-141.0
(8) Max coupling loss = (1) - (7) (dB)	164.0	164.0

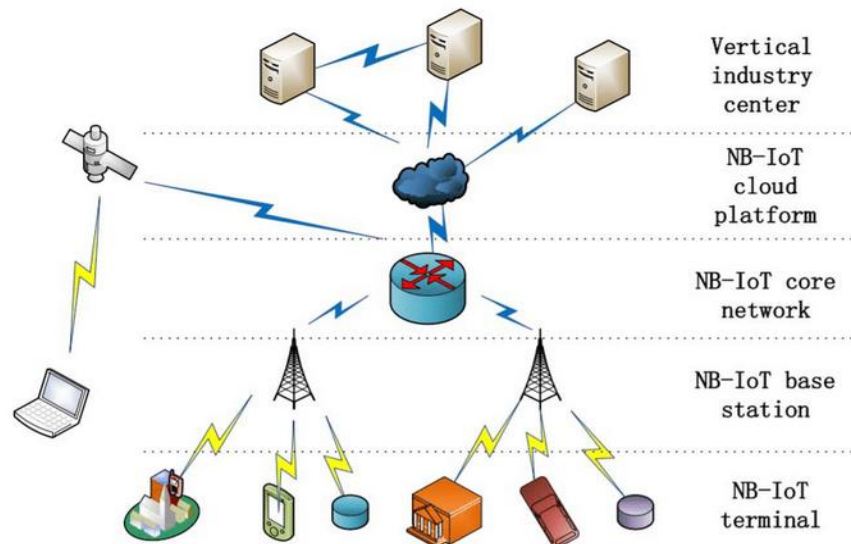
Nota: datos técnicos red NB-IoT en enlaces ascendente y descendente. Tomado de: (Anónimo, S.F). <https://www.programmerclick.com/article/7098818298/>

2.10.3 Infraestructura:

NB-IoT para las señales de banda baja puede implementarse en tecnologías GSM y LTE, esto significa que es posible ser utilizada en redes de operadores móviles desde 2G hasta la 5G. Como se mencionó anteriormente, esta tecnología es ampliamente compatible con la tecnología LTE en la cual comparte sus características técnicas y utiliza la conversión de la frecuencia FDD LTE incluyendo la estructura de la trama: enlace descendente OFDMA, enlace ascendente SC-FDMA, codificación de canales, entre otros, haciéndola prácticamente una versión simplificada FDD LTE.

En la figura 15 se presenta la distribución de la infraestructura de una red NB-IoT desde el emisor hasta el receptor final.

Figura 15. Infraestructura NB-IoT

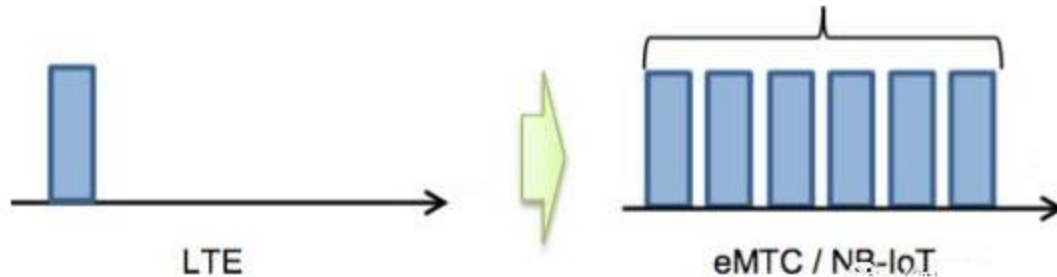


Nota: infraestructura emisor-receptor NB-IoT. Tomado de: (Muhammad Imam, Arrizky Ayu, 2020) https://www.researchgate.net/figure/The-architecture-of-NB-IoT-10_fig2_343646720

2.10.4 Velocidad de transmisión.

NB-IoT está técnicamente articulado con LTE ya que en los modos de transmisión maneja los mismos tipos de enlaces ascendente y descendente, de la misma manera la codificación de canales; sin embargo, la manera de transmisión de tramas es un poco diferente ya que usa la retransmisión es decir transmitir un bloque en múltiples subtramas, al retransmitir 2 veces puede aumentar 3db ($\text{Repetition Gain} = 10 \log \text{Repetition Times}$). NB-IoT permite hasta 2048 retransmisiones en enlace descendente y 128 en enlace ascendente como se observa en la figura 16.

Figura 16. Comparativa transmisión LTE VS NB-IoT



Nota: Retransmisión en múltiples subtramas en NB-IoT en comparativa con LTE.
Tomado de: (Anónimo, S.F).
<https://www.programmerclick.com/article/7098818298/>

NB-IoT se ha desplegado en gran escala en diversos países por el mundo entre los diferentes operadores de telefonía que se han adaptado a la nueva tecnología de telecomunicaciones según las especificaciones técnicas, pero en algunos casos hacen sus variantes con respecto a potencia, ancho de banda o señal de espectro según las áreas que necesitan cubrir o los niveles usuarios conectados a la red.

Teniendo en cuenta estos aspectos se realiza cuadro comparativo de algunos países con la implementación de la red NB-IoT como se observa en la tabla 2. En la tabla también es posible observar la velocidad de transmisión de los datos en esta tecnología.

Tabla 2. Indicadores de desempeño de NB-IoT en el mundo

País	Escalabilidad	Cobertura	transmisión	Infraestructura
España	8.600 celdas	100% de todo el país	60 Kbps	Aplicado a LTE de operador Vodafone
Estados Unidos	110 estaciones base	60% de todo el país	64 Kbps	Aplicado a LTE de operador AT&T
China	565.000 estaciones base	98% de todo el país	15.625 Kbps	Aplicado a LTE de operador China telecom

Fuente: HERRERA TORO, Michael.

2.11 COMPARACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS LPWA

LPWA (Low-Power Wide-Area, rea amplia de baja potencia), es la definición general de las redes las cuales realizan las comunicaciones de forma inalámbrica con un nivel de potencia más bajo que otras redes como wifi, telefonía, etc. (Fernando Campos,2020). NB-IoT hace parte de estas tecnologías, no obstante, existen otras como:

2.11.1 Alianza Lora

Conocido como protocolo Lora WAN es una red de área amplia de largo alcance y baja potencia. Está diseñada para usarse en topología de estrella extendida, en donde los dispositivos se conectan a puertas de enlace y a su vez hacen conexión a través de redes IP. (Fernando Campos,2020)

2.11.2 Sigfox

Red LPWA que utiliza frecuencia sin licencia en las bandas de 868 MHz o 902 MHz. esta opera con transmisiones de radio de banda ultra estrecha y tiene cobertura la cual alcanza grandes distancias, pero con una tasa de transferencia de datos baja. (Fernando Campos,2020)

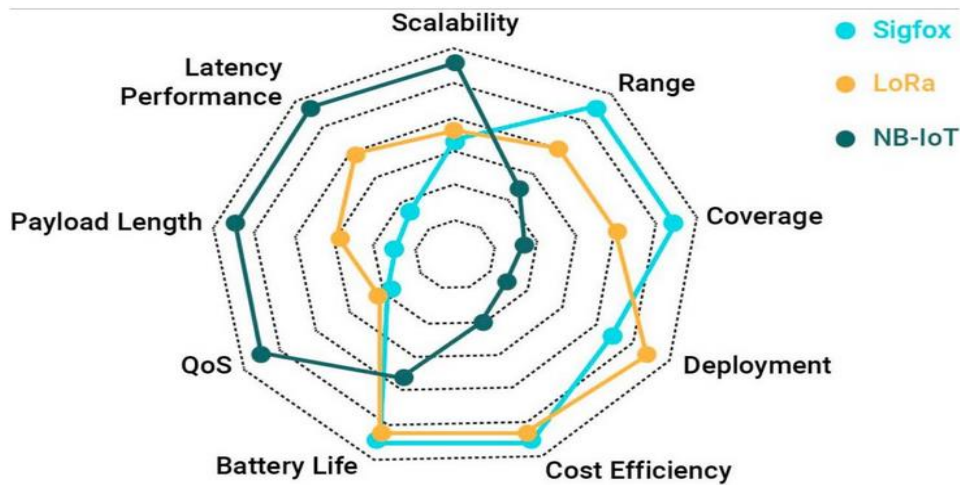
2.11.3 LTE-M

LTE CatM1 es una tecnología de área amplia de baja potencia proporciona una cobertura extendida, que es de fácil implementación gracias a la reutilización de las bases instaladas de LTE, con un manejo de ancho de banda de 1.4 MHz; de igual manera que NB-IoT es orientada a telefonía móvil que permite IoT. (Octavio castillo, SF). en comparativa con NB-IoT en sus modos de implementación en sus bandas de frecuencia solo puede usar inband (Implementación en banda) a diferencias de NB-IoT que usa 3 (stand alone, guard-band, inband).

En el desarrollo e implementación de redes baja potencia cada una de las redes de banda estrecha tiene sus características particulares que juegan un papel

fundamental al momento de elegir la red que mejor se adapte a las necesidades del consumidor.

Figura 17. Comparativa entre tecnologías de red



Nota: comparativa de indicadores de desempeño entre tecnologías sigfox, lora y NB-IoT. Tomado de: (Alejandra Perez, 2020). <https://bismark.net.co/sigfox-lora-nb-iot-redes-lpwan-para-iot/>

Entre tecnologías LPWA en la figura 17. Se tiene una comparativa que en ciertos rasgos muestra indicadores muy notables, se habla de las características de Sigfox que sobrepasa a todos en rango y cobertura además de otros aspectos como tiempo de batería y costo de eficiencia.

Lorawan no se queda muy atrás y lo sobrepasa en el indicador de despliegue además de que tiene mejores mediciones en cuanto a manejo de información en

la transmisión con buenos rangos en rendimiento de latencia escalabilidad y calidad de servicio.

En comparativo de NB-IoT con los dos mencionados, está por debajo en los indicadores de rango y cobertura pero la diferencia es que en manejo de información, calidad de servicio y tiempos de entrega de mensaje los supera por mucho ya que la tecnología NB-IoT tiene mejor manejo en la transmisión de información eso lo demuestra sus altos estándares en rendimiento de latencia el cual se refiere a los tiempos en que tarda en llevar un mensaje (paquete de datos) en la red, escalabilidad, capacidad incrementar el número de operaciones sin disminuir su nivel de servicio y calidad de servicio entre otros.

Ante las comparativas mencionadas las tecnologías se presenta tabla de valores con sus especificaciones técnicas como se observa en la tabla 3, donde gracias a los detalles técnico donde en comparativa se puede clasificar en las tecnologías que tengan mejor desempeño.

Tabla 3. Información técnica de tecnologías LPWA

LPWA				
	NO CELULAR		CELULAR	
	LORAWAN	SIGFOX	NB-IoT	LTE-M
Ancho de banda	125kHz	100Hz	200kHz	1.08MHz
cobertura	165dB	165dB	164dB	156dB
Capacidad de celdas	40,000	1 millón	200,000	1 millón

Capacidad de carga útil	243 bytes	12/8 bytes (UL/DL)	1600 bytes	-
Duración de la batería	15 años	15 años	10 años	10 años
rendimiento	50kbps	600bps	200kbps	1mbps
Comunicaciones bidireccionales	Si	SI	SI	SI
seguridad	AES 128 bit	AES 128 bit	3GPP(128-256 bit)	3GPP(128-256 bit)
localización	SI (TDOA)	SI (RSSI)	SI (3GPP Rel 14)	SI (3GPP Rel 14)

Nota: datos técnicos tecnología lpwan. tomado de: <https://i1.wp.com/enterpriseiotinsights.com/wp-content/uploads/2019/08/ABI-LPWA-Technical-1024x642.png?resize=1024%2C642>

2.11.4 LTE-M VS NB-IoT

LTE-M y NB-IoT son tecnologías de red orientadas a sistemas móviles para el manejo del público en general teniendo la opción de operaciones remotas para sistemas IoT.

Entre los manejos de las tecnologías de red LTE-M y NB-IoT, hay diferencias sobresalientes entre las dos. LTE-M posee unos mejores estándares en cuanto a sus especificaciones técnicas en comparativa con NB-IoT señalando algunas como sus tiempos de latencia siendo de 10-15 ms para LTE y de 1.6- 10 s,

velocidades uplink/downlink de 1 Mbps para LTE—M contra 250kbps para NB-IoT siendo notables las velocidades de manejo en la cual LTE-M supera a NB-IoT. Cada tecnología según sus detalles técnicos como se observa en la tabla 4 tiene sus ventajas y desventajas. Dependiendo de la gestión de red que se necesita es posible identificar cual red se acondiciona mejor a las necesidades del usuario.

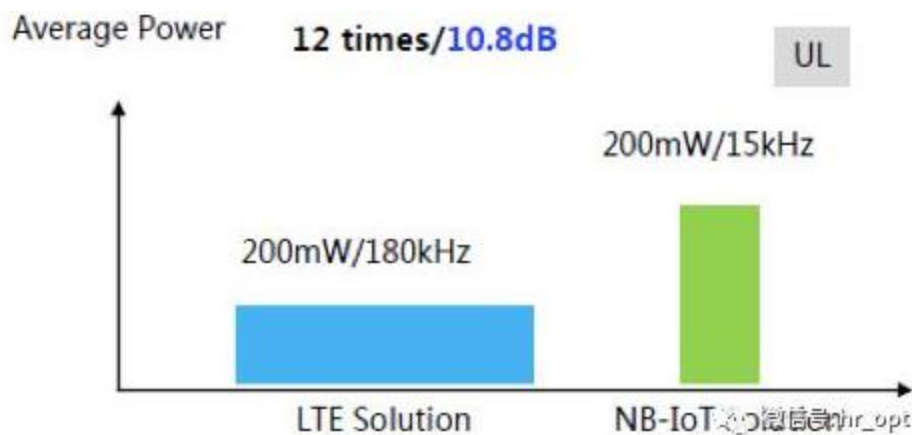
Tabla 4. Comparativa de tecnologías NB-IoT vs LTE-M

Comparación de tecnologías de red		
	NB-IoT	LTE-M
Ancho de banda	180KHz	1.4MHz
Velocidad max de datos	<100	384Kbps
Velocidad bajada/subida	27.2/62.5 Kbps (DL/UL)	Hasta 1 Mbps
latencia	1.5-10 segundos	50-100 ms
Duración de batería	+10 años (según el caso de uso)	10 años (según el caso de uso)
Consumo de energía	Mejor a velocidad de datos de bajada	Mejor a velocidad de datos media
Coste por modulo	5-10 dólares	10-15 dólares
Despliegue de frecuencia	Flexible	En Banda LTE
Penetración en interiores	Excelente	Buena
voz	No	Si, VoLTE

Nota: comparativa de indicadores de desempeño entre tecnologías LTE y NB-IoT.
Tomado de: (Anónimo. S.F) <https://accent-systems.com/es/diferencias-nb-iot-lte-m/>

En LTE el manejo de los enlaces ascendente y descendente a pesar de ser enviado en un ancho de banda estrecho, la ganancia de la densidad de espectro de potencia en la potencia de transmisión es superior lo cual ocasiona la reducción de los requisitos para la demodulación del receptor, en cambio La densidad espectral de potencia del enlace ascendente NB-IoT aumenta en 17 Db (decibelios); teniendo en cuenta que la potencia de transmisión del terminal GSM puede llegar hasta los 33dBm (decibelios-mili vatios) en comparativa al de NB-IoT es 23dBm como límite, da como resultado que la densidad espectral de potencia de NB-IoT es 7dB más alta que la GSM como se observa en la figura 18, la densidad espectral en comparativa de LTE con NB-IoT en las cuales muestra las tramas de las dos tecnologías en comparativa.

Figura 18. Densidad espectral LTE vs NB-IoT



Nota: comparativa de densidad espectral entre tecnologías LTE y NB-IoT. Tomado de: (Anónimo, S.F). <https://www.programmerclick.com/article/7098818298/>

Aunque las características de manejo de datos y velocidades son mejores en LTE-M esto indica que está más enfocado en trabajo con ancho de banda se puede identificar que tiene 1.4 MHz (mega-Hertz) siendo un ancho de banda apto para servicio de internet móvil. Javier more (2016). Bajo esto es notorio que la tecnología LTE-M está más orientado a usos de dispositivos móviles para clientes hogar o aplicaciones masivas o personales en comparativa con NB-IoT que está orientado para clientes empresariales.

3 CAPÍTULO 3. DISEÑO DE LOS ESCENARIOS DE PRUEBA, PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED NB-IOT EN LA CIUDAD DE MEDELLÍN.

En el desarrollo del capítulo se verá el diseño del escenario donde se realizarán las simulaciones, la identificación de las comunas en las que se verá territorio, población y registro de simulación de en cobertura de telefonía móvil por los operadores móviles claro y Tigo en los escenarios de prueba.

3.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS COMUNAS DE LA CIUDAD DE MEDELLÍN.

Entre las principales características de Medellín se encuentra la geografía, ya que se caracteriza por ser un valle como se observa en la figura 19, es decir se encuentra rodeado de montañas lo que la hace ideal para la realización de los estudios en cobertura NB-IoT.

Figura 19. Vista Medellín



Nota: vista Medellín desde parque de los deseos. Tomado de: (punto propiedad, 2022) <https://www.puntopropiedad.com/noticias/5-razones-vivir-medellin/>

Medellín está conformada por comunas como se observa en la figura 20. Entre las 16 comunas que conforman Medellín resultan llamativas algunas comunas en especial para la realización de la simulación en Xirio para el estudio de NB-IoT en la ciudad de Medellín debido a que en algunos de estos lugares tienen bajos nivel de recepción de señal y otras comunas tienen relieves donde la cobertura es deficiente.

Figura 20. Comunas de Medellín



Nota: mapa de comunas en Medellín. Tomado de: (Anón, SF) <http://medellintespera.blogspot.com/p/mapa-de-medellin-con-barrios-y-comunas.html>

Una vez analizadas las 16 comunas, se procede a hacer su caracterización en cuanto a su tamaño, demografía y población, con el fin de seleccionar 5 comunas en las cuáles se realizará el estudio de cobertura para el despliegue de NB-IoT. a continuación, se presentan las 5 comunas seleccionadas, teniendo en cuenta que éstas comunas son las más pobladas, tienen un relieve de difícil acceso de la señal, entre otros, como se justifica en cada de ellas.

3.1.1 Popular

Comuna 1, se encuentra ubicada en la zona nororiental en la parte alta teniendo límites con la cima del valle como lo visto en la figura 21 , con una distancia de 3.09 Km² y una población de 132.891, es escogida ya su superficie está en zonas altas y cuenta con mala recepción de señal en operadores móviles lo cual la hace indicada para la realización de la simulación.

Figura 21. Comuna popular

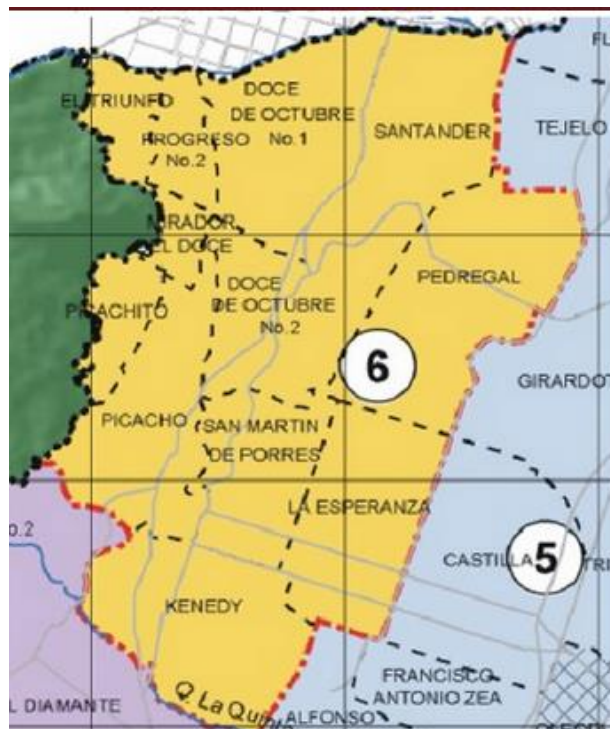


Nota: Barrios comuna popular en Medellín. Tomado de: (Alcaldía de Medellín, SF)
<https://hemerotecabpp.wordpress.com/2013/09/02/bibliografia-recomendada-comuna-1-de-medellin/>

3.1.2 Doce de octubre

Comuna 6 ubicada Se encuentra ubicada en la zona noroccidental. En la parte alta teniendo límites con la cima del valle y el municipio de bello como lo visto en la figura 22, con una distancia de 3.835 Km² y una población de 195.800, es escogida ya su superficie está en zonas altas y cuenta con mala recepción de señal en operadores móviles lo cual la hace indicada para la realización de la simulación.

Figura 22. Comuna Doce de octubre

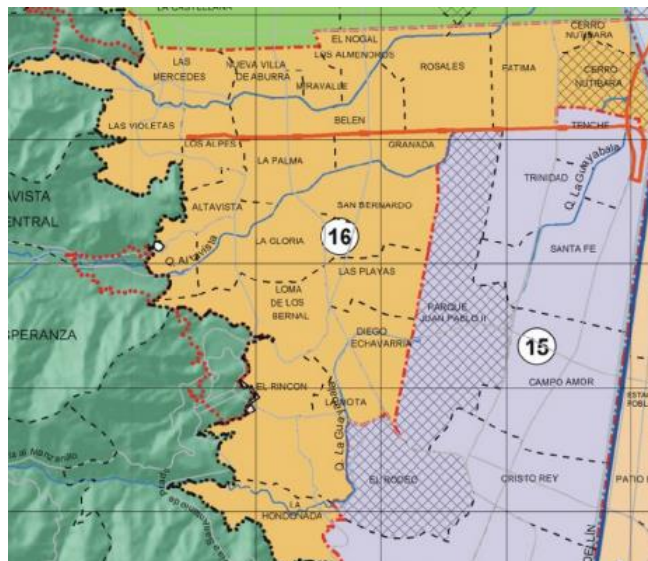


Nota: Barrios comuna Doce de octubre en Medellín. Tomado de: (Carlos Mario Sierra Londoño, 1995)
<https://hemerotecabpp.wordpress.com/2013/08/20/bibliografia-recomendada-comuna-6-de-medellin/>

3.1.3 Belén

Comuna 16 ubicada Se encuentra ubicada en la zona suroccidental de la ciudad. Limita con otras comunas como Laureles – Estadio, Guayabal y Corregimiento de AltaVista. como lo visto en la figura 23, con una distancia de 8.83 Km^2 y una población de 197.625 es escogida ya su superficie está con un relieve más plano en y se busca hacer la simulación y comparativa con las demás comunas

Figura 23. Comuna Belén

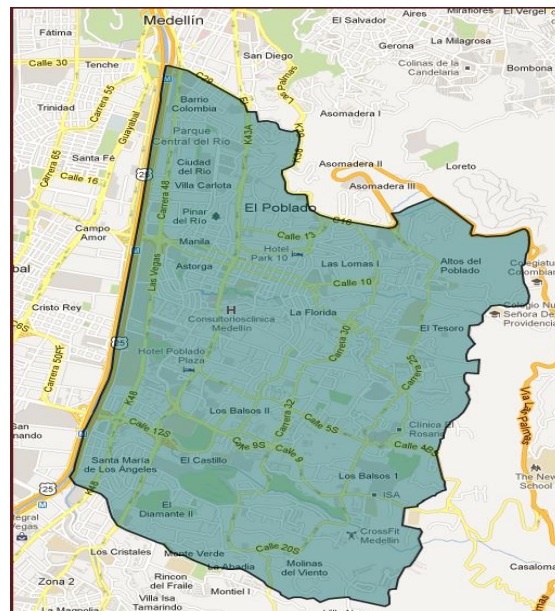


Nota: Barrios comuna Belén en Medellín. Tomado de: (Anón, SF) <https://hemerotecabpp.files.wordpress.com/2013/06/mapa-comuna-16.png?w=640&h=437>

3.1.4 Poblado

Comuna 14 la cual limita con el corregimiento de Santa Elena y con las comunas La Candelaria Buenos Aires, Guayabal y con el municipio de Envigado como lo visto en la figura 24, con una distancia de 23 Km² y una población de 134.873 es escogida ya su superficie está con un relieve intermedio, se busca hacer la simulación y comparativa con las demás comunas.

Figura 24. Comuna Poblado

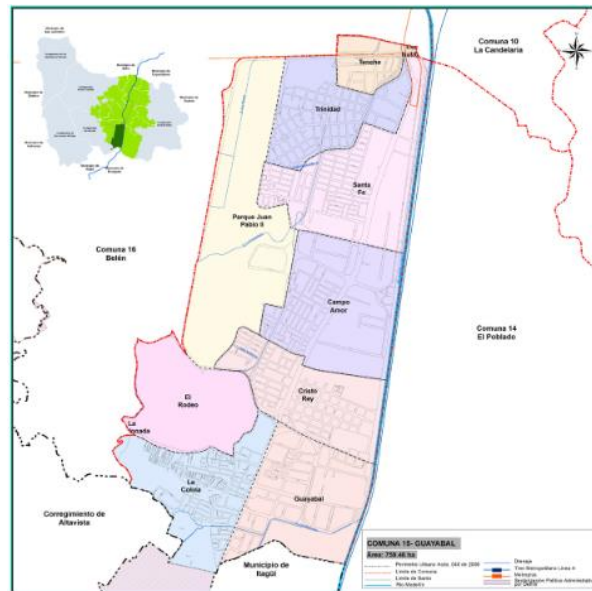


Nota: Barrios comuna Poblado en Medellín. Tomado de: (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2005) <https://hemerotecabpp.wordpress.com/2013/05/31/bibliografia-recomendada-comuna-14-de-medellin/>

3.1.5 Guayabal

Comuna 14 la cual Limita con el corregimiento de Santa Elena y con las comunas La Candelaria Buenos Aires, Guayabal y con el municipio de Envigado como lo visto en la figura 25, con una distancia de 76.033 Km² y una población de 96462 personas, es escogida ya su superficie está con un relieve plano a nivel de suelo y se busca hacer la simulación y comparativa con las demás comunas

Figura 25. Comuna Guayabal



Nota: Barrios comuna Guayabal en Medellín. Tomado de: (Departamento Administrativo de Planeación, 2015) https://www.medellin.gov.co/ndesarrollo/wp-content/uploads/Archivos_ND/CD_PDLS/COMUNA_15/PDL/COMUNA%2015%20-%20Guayabal.pdf

En la ciudad de Medellín se hace selección de comunas entre las cuales tenemos como punto de partida las que se encuentran en zonas más altas y han tenido más problemas en la recepción de señal en telefonía y en algunos casos en prestaciones de servicio de internet; se seleccionan también algunas adicionales en las cuales cuentan con diferentes relieves, se busca realizar simulación de red para medir las coberturas de las comunas, luego del análisis de resultados se hará una comparativa entre ellas.

3.2 CARACTERIZACIÓN DE COBERTURA MÓVIL EN MEDELLÍN

Entre los componentes que se revisaron para el diseño inicial de la simulación fue la cobertura de las redes móviles en la ciudad de Medellín, la cual permitió junto con la caracterización de las 16 comunas, seleccionar las comunas seleccionadas para este estudio.

A través del simulador que se encuentra en la página web <https://www.nperf.com/es/map/CO/>, se procedió a realizar la simulación de LTE 4G para las comunas de la ciudad de Medellín. El color naranja representa la cobertura en la frecuencia de 4G y el color rojo representa la cobertura en la frecuencia 4G+, el color azul representa frecuencia 2G la verde representa 3G y el color morado representa frecuencia 5G como se observa en la figura 26.

Figura 26. Señales de telefonía ilustradas en los planos





Nota: Señales de telefonía en Colombia. Tomado de: (Anón, SF)
<https://www.nperf.com/es/map/CO/>

A continuación, en cada una de las tablas se muestra la cobertura de los operadores Tigo y claro para las comunas seleccionadas.

3.2.1 Doce de octubre

En la tabla 5, se observan la cobertura de operadores móviles en la comuna doce de octubre en la cual sobresale la falta de cobertura en ciertas zonas la cuales se supone son residenciales, la tecnología que mayormente tiene cubrimiento es la 4G seguido de la 4G+.

Tabla 5. Simulación telefonía móvil en comuna doce de octubre

<p>Figura 27. Señales telefonía móvil claro</p>  <p>Tomado de: https://www.nperf.com/es/map/CO-/198197.Claro-Movil/signal/?ll=6.132191569963388&lg=-75.60267448425294&zoom=14</p>	<p>Figura 28. Señales telefonía móvil Tigo</p>  <p>Tomado de: https://www.nperf.com/es/map/CO-/11016.Tigo-Movil/signal/?ll=6.132191569963388&lg=-75.60267448425294&zoom=14</p>
---	---

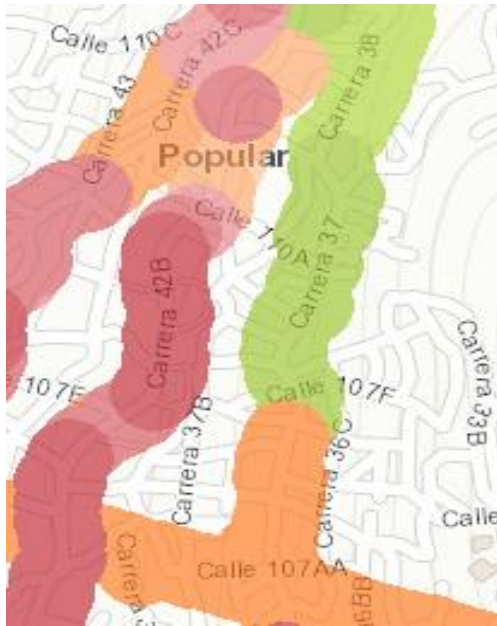
Fuente: HERRERA TORO, Michael.

3.2.2 Popular

En la tabla 6, se observan la cobertura de operadores móviles en la comuna popular la cual sobresale la falta de cobertura en especial en Tigo en ciertas zonas la cuales se supone son residenciales, la tecnología que mayormente tiene cubrimiento es la 4G + seguido de la 4G y 3G.

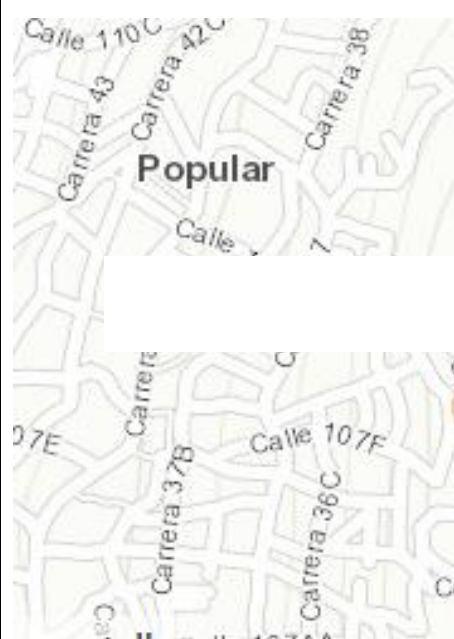
Tabla 6. Simulación telefonía móvil en comuna popular

Figura 29. Señales telefonía móvil claro



Tomado de:
<https://www.nperf.com/es/map/CO/-/198197.Claro-Movil/signal/?ll=6.132191569963388&lg=-75.60267448425294&zoom=14>

Figura 30. Señales telefonía móvil Tigo



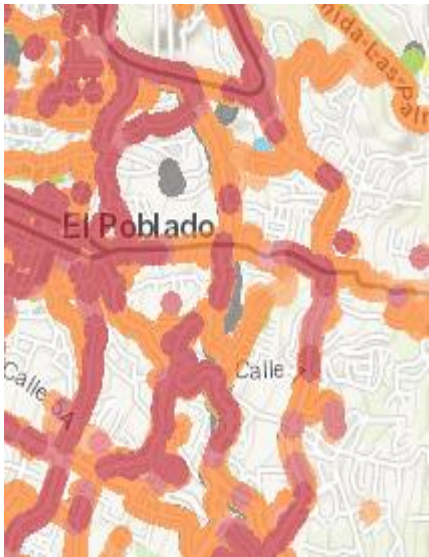
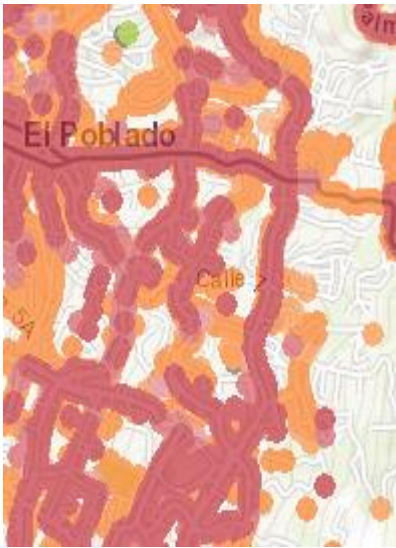
Tomado de:
<https://www.nperf.com/es/map/CO/-/11016.Tigo-Movil/signal/?ll=6.132191569963388&lg=-75.60267448425294&zoom=14>

Fuente: HERRERA TORO, Michael.

3.2.3 Poblado

En la tabla 7 Se observan las frecuencias de operadores móviles en la comuna poblado comuna de mucha movilidad en donde hay zonas descubiertas falta de cobertura en ciertas zonas la cuales se supone son residenciales, la tecnología que mayormente tiene cubrimiento es la 4G + seguido de la 4G.

Tabla 7. Simulación telefonía móvil en comuna poblado


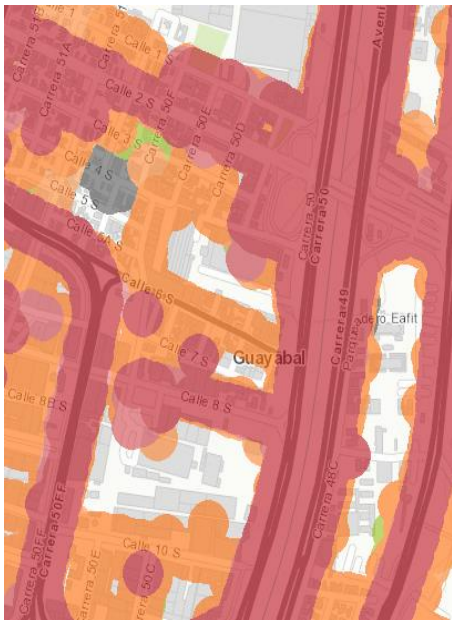
<p>Figura 31. Señales telefonía móvil claro</p>  <p>Tomado de: https://www.nperf.com/es/map/CO/-/198197.Claro-Movil/signal/?ll=6.132191569963388&lg=-75.60267448425294&zoom=14</p>	<p>Figura 32. Señales telefonía móvil Tigo</p>  <p>Tomado de: https://www.nperf.com/es/map/CO/-/11016.Tigo-Movil/signal/?ll=6.132191569963388&lg=-75.60267448425294&zoom=14</p>
--	--

Fuente: HERRERA TORO, Michael.

3.2.4 Guayabal

En la tabla 8 se identifica buena señal de las frecuencias 4G y 4G+ en la comuna guayabal, pero se identifican ciertas zonas sin recepción de señal indicativo de que están sin cobertura aun así la tecnología que mayormente tiene cubrimiento es la 4G +.

Tabla 8. Simulación telefonía móvil en comuna guayabal



<p>Figura 33. Señales telefonía móvil</p>  <p>claro</p> <p>Tomado de: https://www.nperf.com/es/map/CO/-/198197.Claro-Movil/signal/?ll=6.132191569963388&lg=-75.60267448425294&zoom=14</p>	<p>Figura 34. Señales telefonía móvil</p>  <p>Tigo</p> <p>Tomado de: https://www.nperf.com/es/map/CO/-/11016.Tigo-Movil/signal/?ll=6.132191569963388&lg=-75.60267448425294&zoom=14</p>
---	---

Fuente: HERRERA TORO, Michael.

3.2.5 Belén

En la tabla 9 los dos operadores se identifica buena señal de las frecuencias 4G y 4G+ pero ciertas zonas están sin recepción de señal, aun así, la tecnología que predomina es la 4G+ por encima de la 4G.

Tabla 9. Simulación telefonía móvil en comuna Belén

<p>Figura 35 Señales de telefonía movi claro</p>	<p>Figura 36. Señales de telefonía móvil tigo</p>
	
<p>Tomado de: https://www.nperf.com/es/map/CO/-/198197.Claro-Movil/signal/?ll=6.132191569963388&lg=-75.60267448425294&zoom=14</p>	<p>Tomado de: https://www.nperf.com/es/map/CO/-/11016.Tigo-Movil/signal/?ll=6.132191569963388&lg=-75.60267448425294&zoom=14</p>

Fuente: HERRERA TORO, Michael.

3.3 5G EN COLOMBIA

Actualmente la tecnología 5G no está implementada en Colombia, no obstante, se encuentra en desarrollo de acuerdo con el ministerio de las tecnologías de la información y las comunicaciones (El colombiano, 2019), se ha puesto un plan piloto en marcha en el cual se harán los estudios técnicos con respecto a esta tecnología. En 2020 se desarrolló la identificación del espectro con el análisis para la coexistencia con las redes actuales y próximamente se adoptarán los estándares y despliegue de la infraestructura. Por esta razón no se realizó una simulación de la cobertura como se hizo con las otras tecnologías.

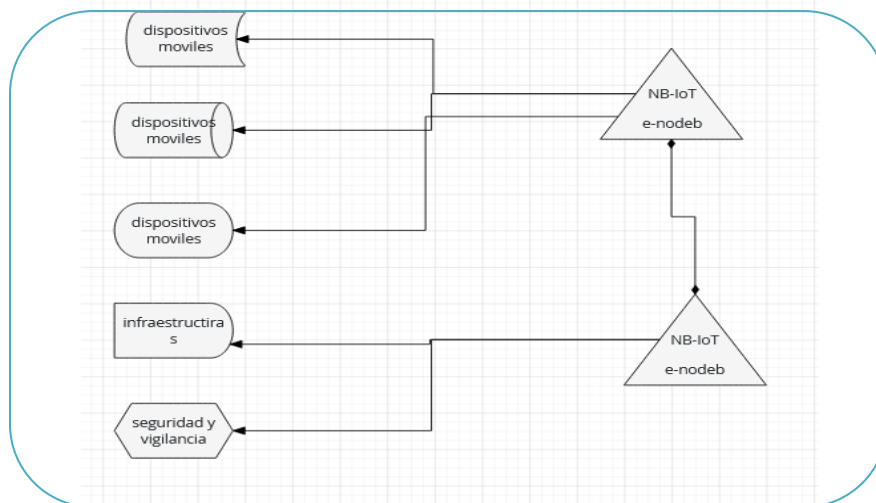
4 CAPÍTULO IV. DISEÑO DE COBERTURA DE LA RED NB-IOT, EMPLEANDO LA HERRAMIENTA XIRIO

En el desarrollo de este capítulo se realizará las configuraciones en software online xirio a partir de la información técnica de equipos reales.

4.1 DISEÑO DE LA RED NB-IOT

La red que se va a simular contempla la red de acceso RAN (Roaming Automático Nacional) y está demarcada con el rectángulo azul, como se ve observa en la figura 37, está compuesta por un emplazamiento que se compone un transductor (transmisor y receptor) ubicado en una estación base e-nodeb (equipo de la estación base) y un equipo terminal que también es transductor.

Figura 37. Estructura NB-IoT en diagrama de bloques



Fuente: HERRERA TORO, Michael.

En el diseño de cobertura se realizan dos simulaciones en las que se usan diferentes antenas de transmisión NB-IoT, las cuales se diferencian por los niveles de potencia de transmisión. Adicionalmente, se configuró un solo receptor, siendo el objetivo de este capítulo exponer la configuración empleada. El diseño que se realiza, tomó en cuenta antenas reales y se simuló los parámetros cercanos a una implementación real.

4.2 EQUIPO TRANSMISOR I

El primer equipo seleccionado es la antena de transmisión splatch sp610, de marca Lynx, esta antena permite baja frecuencia para LTE integrado y aplicaciones de IoT celular (LTE-M y NB-IoT). Las razones por las cuales fue elegida es que permite la implementación de baja frecuencia para aplicaciones NB-IoT y por ser una antena omnidireccional. Entre los parámetros de configuración se toma como referencia la tabla 10 que indica la información técnica de la antena y se emplean dichos parámetros para la simulación. La figura 38 expone una imagen de la antena real.

Figura 38. Antena splatch sp610



Tomado de: (Linx Technology, 2019)
https://cdn.ozdisan.com/ETicaret_Dosya/588906_7009014.pdf

Tabla 10. Información técnica antena splatch sp610

Característica	Información técnica
Banda LTE	5,8,20
Rango de frecuencia	791 MHz to 960 MHz
VSWR	$\leq 3.4 : 1$
Ganancia máxima	5.1dBi
Ganancia promedio	-2.4dBi

eficiencia	60%
polarización	lineal
Radiación	omnidireccional

Tomado de: (Linx Technology, 2019)
https://cdn.ozdisan.com/ETicaret_Dosya/588906_7009014.pdf

Teniendo en cuenta los estándares internacionales para la implementación de NB-IoT, la simulación se realiza en la banda de 800 MHz a 900MHz. Se establece como frecuencia de la antena transmisora la frecuencia de 868.000 MHz.

4.2.1 Cálculo niveles de ganancia y potencia antena splash

De acuerdo con los estándares internacionales, la potencia de transmisión para NB-IoT se encuentra en un rango entre 20 a 43 dBm (decibelios-milivatios); a partir de la tabla 10 se calcula el valor de potencia del transmisor

Se realiza conversión de dBi (ganancia de antena) a watts para luego realizar la conversión en dBm

Formula conversión dBi en Watts

$$G = 10^{(G_{db}/10)} \quad (1)$$

$$G = 10^{\left(\frac{5}{10}\right)} = 3.16$$

$$G = 3.16 \text{ w}$$

Con los valores obtenidos, se realiza la conversión de watts a dBm para comprobar el nivel de potencia.

Formula conversion watts a dBm

$$dBm = 10 \log_{10}(P_{watts}/1W) + 30 \quad (2)$$

$$dBm = 10 \log_{10}\left(\frac{3.16}{1}\right) + 30 = 34.99$$

$$dBm = 35 \text{ dBm}$$

4.2.2 Configuraciones en Xirio antena splatch

Para la simulación de transmisión NB-IoT en la ciudad de Medellín, se debe tener en cuenta que el proyecto a realizar es un estudio de cobertura, seleccionando las opciones para categoría, subcategoría como: internet de las cosas y la opción servicio como NB-IoT Stand alone. En la figura 39 se observa la configuración de los primeros parámetros.

Figura 39. Configuración en xirio estudio técnico

The screenshot shows the 'Crear nuevo estudio' (Create new study) page in the XIRIO online software. The page has a purple header with the text 'Simulación Profesional de Cobertura Radioeléctrica Online' and the 'XIRIO online' logo. Below the header, there are buttons for 'Crear nuevo estudio' and 'Ayuda'. The main content area is titled 'Crear nuevo estudio' and is divided into two sections: 'Seleccione un tipo de estudio' and 'Seleccione un servicio o tecnología'. In the first section, there are five radio button options: 'Enlace', 'Cobertura' (which is selected), 'Cobertura de interior', 'Cobertura multitransmisor', and 'Red de transporte'. To the right of these options is a text box titled 'Estudio de cobertura:' containing the text: 'Este estudio representa valores de la señal impuesta por un transmisor, en términos de campo eléctrico o potencia, en todos los puntos dentro del área seleccionada por el usuario.' and a link 'Leer más'. The second section, 'Seleccione un servicio o tecnología', contains three dropdown menus: 'Categoría:' with 'Internet de las cosas' selected, 'Subcategoría:' with 'Internet de las cosas' selected, and 'Servicio:' with 'NB-IoT Stand alone' selected. At the bottom of this section are two buttons: 'Modo asistente' and 'Aceptar'. Below the form, there is a small information icon and a paragraph: 'Utilizando el modo asistente podrá crear de forma sencilla estudios de cobertura. También le permitirá crear múltiples sectores en un mismo emplazamiento.'

Tomado de: (Xirio-online, 2022)

Para todas las simulaciones se ubica la antena transmisora en la zona centro de cada comuna, porque la radiación es omnidireccional, de tal forma que la señal principal tenga mayor cobertura. Con el fin de abordar el problema, se realizan las configuraciones necesarias en estudio de cobertura, transmisor y antena como se observa en la figura 40.

Figura 40. Configuración en xirio propiedades de estudio de cobertura

Propiedades del estudio de Cobertura

Estudio

Nombre: 12 octubre

Grupo: [dropdown]

Servicio: NB-IoT Stand alone

Banda: [dropdown] [icon]

Descripción: Estudio de cobertura...

Fecha de última puesta en servicio/apagado: [calendar icon] 31

Estado: [dropdown]

Extremos

Transmisor: transmisor_c_12octubre [icon]

Parámetros de recepción: [icon]

Parámetros de cálculo

Método de cálculo: Nuevo Okumura-Hata [icon]

Método empírico válido en la gama 150 MHz a 2 GHz. Recomendado para servicios de móviles y de acceso de banda ancha en entornos rurales y urbanos cuando no se disponga de cartografía de alta resolución.

Capas de cartografía: [icon]

Tipo	Nombre	Año	Res. (m)
MDT	Colombia Docente	2015	50

Tomado de: (Xirio-online, 2022)

Entre las opciones de estudio de cobertura se modifica la ubicación del emplazamiento, mediante la opción transmisor se eligen las coordenadas en las cuales estará ubicada la antena que dará cobertura de NB-IoT en las comunas como se observa en la figura 41.

Figura 41. Configuración en xirio propiedades del transmisor

Propiedades del transmisor

Transmisor	
Nombre:	<input type="text" value="transmisor_c_12octubre"/>
Emplazamiento	
Emplazamiento:	<input type="text"/>  
Coordenadas      	
Latitud:	<input n"="" type="text" value="06°18'03.01"/>
Longitud:	<input type="text" value="075°35'04.96" w"=""/>

Tomado de: (Xirio-online, 2022)

Como se ve en la figura 42, entre las opciones de estudio de cobertura se elige en el método de cálculo la opción Okumura-Hata porque es uno de los modelos más utilizados para la predicción de la pérdida de propagación en áreas rurales y urbanas y como mejor método de planificación de sistemas móviles.

En la opción resolución de la figura 42, se designan los valores de pixeles por cuadro; no se escoge la opción factor K ya que éste es el indicador que permite estimar la capacidad de soportar los efectos térmicos (Anón, SF) y éste no influiría en el desarrollo del proyecto.

Entre las siguientes opciones se definen las propiedades del entorno que son urbano para referirnos a ciudad y tamaño de esta.

Figura 42. Configuración en xirio propiedades del método de calculo

Propiedades del Método de Cálculo

Método de cálculo

Nombre:

Método de propagación:

Método empírico válido en la gama 150 MHz a 2 GHz. Recomendado para servicios de móviles y de acceso de banda ancha en entornos rurales y urbanos cuando no se disponga de cartografía de alta resolución.

Resolución: m/pixel

Limitar la distancia máxima del cálculo

Límite: m

Parámetros básicos

Cálculo automático de factor K

Factor K:

Usar margen de desvanecimiento desde clutter

Margen de desvanecimiento: dB

Propiedades de Okumura-Hata

Medio:

Tipo ciudad:

Tomado de: (Xirio-online, 2022)

4.3 CONFIGURACIÓN EN PATRONES DE RADIACIÓN

Se asignan el resto de configuración en la opción patrones de radiación con respecto a la inclinación de la antena que será horizontal como se ve en la figura 43, además de la elección de antena omnidireccional donde concuerden los datos de frecuencia y el espectro de radiación para que haya propagación de la señal en 360° como se ve en la figura 44 en el plano de ganancia xy.

Figura 43. Configuración en parámetros de radio en xirio

Tomado de: (Xirio-online, 2022)

Figura 44. Modos de radiación antena splatch sp610

Radiation Patterns



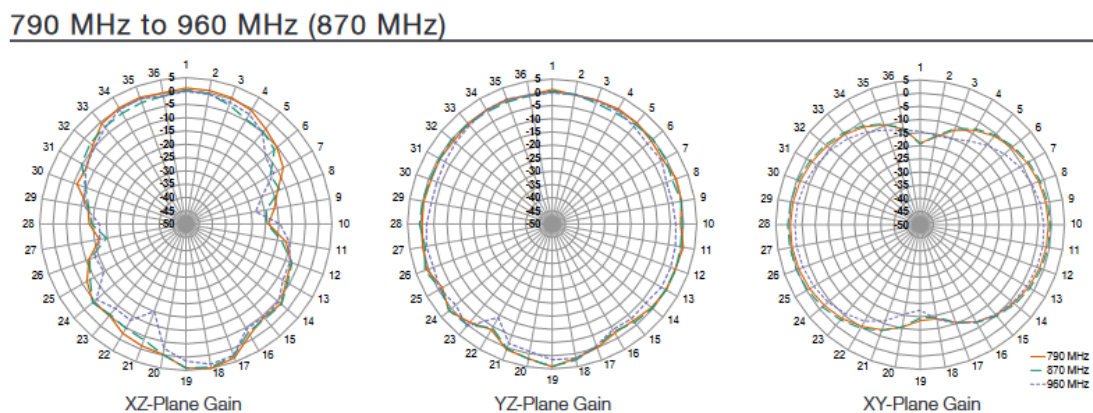
Tomado de: (Link Technology, 2019)

https://cdn.ozdisan.com/ETicaret_Dosya/588906_7009014.pdf

4.4 CONFIGURACIÓN PATRONES DE RADIACIÓN ANTENA SPLATCH

Se toman los datos de patrón de radiación de la antena splatch sp610 según los valores de frecuencia como se observa en el diagrama en la figura 46 plano xy, se realiza la configuración de los patrones de radiación en el simulador xirio como se ve en la figura 45.

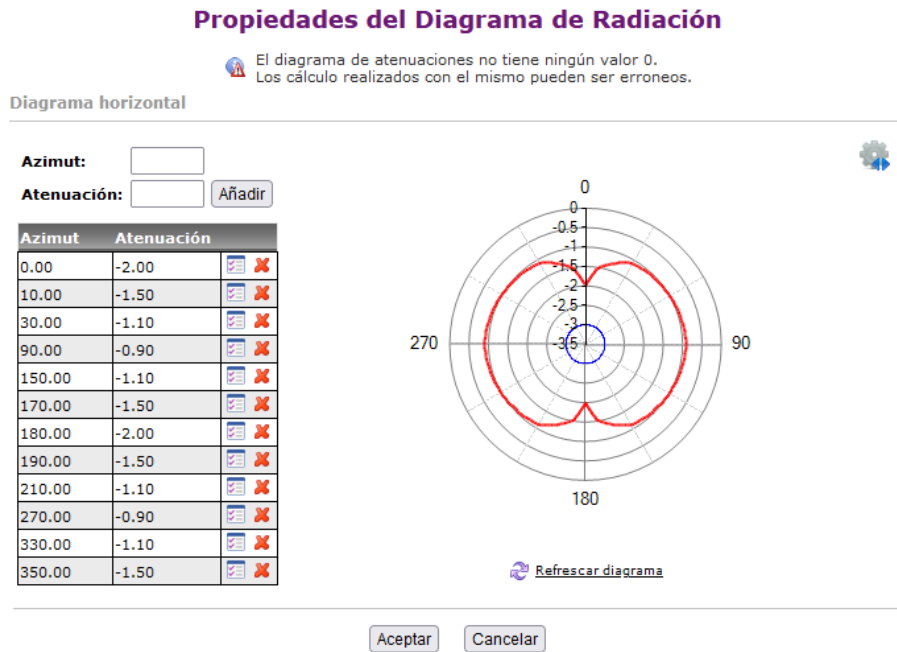
Figura 45. Patrones de radiación antena splatch sp610



Tomado de: (Linx Technology, 2019)
https://cdn.ozdisan.com/ETicaret_Dosya/588906_7009014.pdf

Se realizan las configuraciones en el diagrama según la información de la figura 46 donde se asignación los valores de atenuación lo que sería en una señal la pérdida de potencia sufrida por la misma al transitar por cualquier medio de transmisión (diccionario español de ingeniera, 2014), y azimut según los grados en el diagrama para dar forma al patrón de radiación.

Figura 46. Configuración xirio propiedades del diagrama de radiación



Nota: configuración de diagrama de radiación. Tomado de: (Anon,2022) Xirio-online

4.5 CONFIGURACIÓN I DEL EQUIPO DE RECEPCIÓN DE USUARIO

4.5.1 Umbrales de recepción

Para la configuración de los valores de los umbrales de recepción es importante saber los valores de RSSI (Received Signal Strength Indicator, (Indicador de intensidad de la señal recibida) se define como la media de la potencia total recibida en símbolos OFDM que contienen señales de referencia. Es un parámetro que ofrece información acerca de la potencia total recibida teniendo en cuenta interferencia y ruido térmico. (Anón, SF).

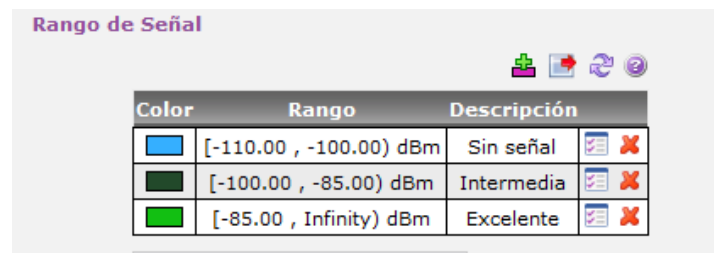
Tabla 11. Valores RSSI

RSSI	
>-85 dBm	Excelente
-86 dBm a -100 dBm	Intermedia
-100 dBm a -110 dBm	Sin señal

Fuente: HERRERA TORO, Michael.

Se definen tres rangos como se observa en la tabla 11 en la plataforma xirio, de la siguiente forma: señal excelente en color verde claro, intermedia en color verde oscuro, sin señal en color azul, como se observa en la figura 47.

Figura 47. Rangos de señal



Color	Rango	Descripción		
■	[-110.00 , -100.00) dBm	Sin señal	✓	✗
■	[-100.00 , -85.00) dBm	Intermedia	✓	✗
■	[-85.00 , Infinity) dBm	Excelente	✓	✗

Tomado de: (Xirio-online, 2022)

4.5.2 Configuración del receptor

Para realizar los cambios en el umbral de recepción, se utiliza la tabla de valores de RSSI como se observa en la tabla 11 en lo que se asigna en los parámetros de radio en el que se selecciona el valor de -80 considerado como bueno (Hassan Malik, S. Khan, Jeffrey Leonel Redondo Sarmiento, A. Kuusik, M. Alam, Y. Moullec, Sven Päränd, 2019)

Se realizan configuraciones en parámetros de recepción de la antena donde se realiza los cambios en umbrales de recepción como se observa en la figura 48 donde se hacen los cambios según la calidad de recepción que se espera según los valores de RSSI (Indicador de intensidad de la señal recibida).

Figura 48. Parámetros de radio en xirio

Parámetros de radio

Parámetros de radio

Antena: ✖ ✕ ⚙

Altura antena: m

Polarización:

Feeder: + ⚙

Longitud del feeder: m

Pérdidas del feeder: dB 📄

Pérdidas pasivos: dB

Umbral recepción: Campo Potencia

dBm

Tomado de: (Xirio-online, 2022)

4.6 EQUIPO TRANSMISOR II

Para el desarrollo de una nueva simulación se selecciona una nueva antena la cual fue escogida por sus niveles de baja frecuencia en aplicaciones NB-IoT y por el bajo nivel de potencias en comparación con la primera antena.

En la simulación se toma referencia antena LSP69001299TR, marca Kyocera que es una antena que permite baja frecuencia para LTE integrado y aplicaciones de IoT celular (LTE-M y NB-IoT). Como se ve en la figura 49 y en la tabla 12 se observa información técnica que se tuvo en cuenta para realizar la simulación del

equipo real. Teniendo en cuenta los estándares internaciones banda de 800 MHz a 900Mhz, se establece como frecuencia central de la antena 868.000 MHz.

Figura 49. Antena LSP69001299TR



Tomado de: (Anón, SF) https://datasheets.kyocera-avx.com/ethertronics/AVX-E_LSP69001299TR.pdf

Tabla 12. Información técnica antena LSP69001299TR

Característica	Información técnica
Banda LTE	5,6,8,12,13,,18,19,26,27
Rango de frecuencia	699 MHz to 915 MHz
VSWR	Sin información
Ganancia máxima	-2 dBi
Ganancia promedio	sin información

eficiencia	15%
polarización	Lineal
Radiación	omnidireccional

Tomado de : (Anón, SF) https://datasheets.kyocera-avx.com/ethertronics/AVX-E_LSP69001299TR.pdf

4.6.1 Cálculo niveles de ganancia y potencia antena LSP69001299TR

Según los valores que observamos en la tabla 12 solo se cuenta con la información de la ganancia -2 dBi, con este valor se calculará el valor de potencia con la fórmula de ganancia como se observa en la figura 52 con el que se asignará en la simulación

Se realiza conversión de dBi a watts para luego realizarla en dBm

Fórmula conversión dBi a w

$$G = 10^{(G_{db}/10)} \quad (1)$$

$$G = 10^{\left(\frac{-2}{10}\right)} = 0.63$$

$$G = 0.63 \text{ w}$$

Luego de obtener los resultados, se realiza la conversión de watts a dBm con su fórmula de cálculo se observa en la figura 53 para comprobar el nivel de potencia.

Formula conversión watts a dBm

$$dBm = 10 \log_{10}(P_{watts}/1W) + 30 \quad (2)$$

$$dBm = 10 \log_{10}\left(\frac{0.63}{1}\right) + 30 = 27.99$$

$$dBm = 28$$

4.6.2 Configuraciones Xirio antena LSP

Ante la nueva simulación se crea un nuevo estudio donde se selecciona estudio de cobertura como se observa en la figura 50, con las opciones categoría y subcategoría como internet de las cosas y el servicio NB-IoT

Figura 50. Simulación estudio de cobertura



Tomado de: (Anon,2022) Xirio-online

En la mayor parte de las configuraciones de estudio en xirio de propiedades de cálculo como se observa en la figura 51 son similares a las realizadas con la antena splatch con respecto a las propiedades del método de cálculo.

Figura 51. Configuración xirio propiedades de calculo

Propiedades del Método de Cálculo

Método de cálculo

Nombre:

Método de propagación:

Método empírico válido en la gama 150 MHz a 2 GHz. Recomendado para servicios de móviles y de acceso de banda ancha en entornos rurales y urbanos cuando no se disponga de cartografía de alta resolución.

Resolución: m/pixel

Limitar la distancia máxima del cálculo

Límite: m

Parámetros básicos

Cálculo automático de factor K

Factor K:

Usar margen de desvanecimiento desde clutter

Margen de desvanecimiento: dB

Propiedades de Okumura-Hata

Medio:

Tipo ciudad:

Tomado de: (Anon,2022) Xirio-online

Las configuraciones que cambian están relacionadas a los parámetros de configuración de frecuencias de transmisión, donde se hace cambio en los valores de potencia como se observa en la figura 52 según los cálculos hechos con anterioridad en el inciso 4.2.1.

Figura 52. Configuraciones generales en xirio

The screenshot displays the 'Configuraciones generales' (General Settings) window in Xirio. It is divided into several sections:

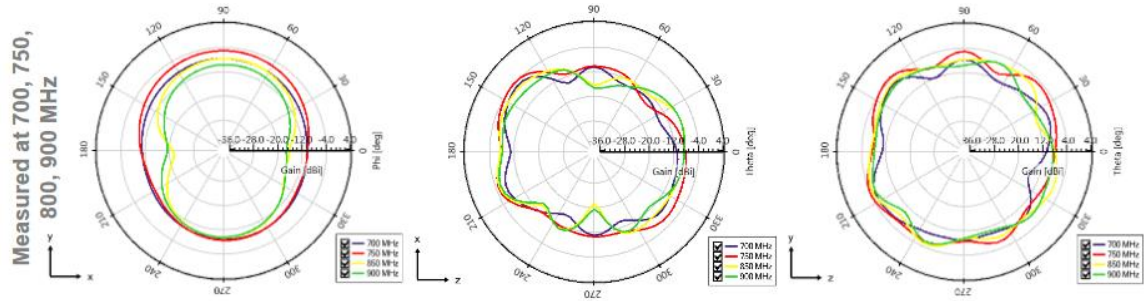
- Coordenadas:** Latitude is set to 06°17'58.71"N and Longitude to 075°32'35.10"W.
- Parámetros de radio:**
 - Antena: IoT Omni 5 dBi
 - Altura antena: 15 m
 - Orientación: 270 °
 - Inclinación mecánica: 0 °
 - Inclinación eléctrica: 0 °
- Referencia de alturas de antenas:**
 - Alturas respecto a: Nivel de azotea
 - Usar altura de edificio: Capa de elevación (MDE)
 - Altura edificio: 0 m
- Frecuencias de transmisión:**
 - Frecuencias: 868.000 MHz
 - Polarización: Horizontal
- Feeder:**
 - Longitud del feeder: 0 m
 - Pérdidas del feeder: 0.00 dB
 - Pérdidas pasivos: 0 dB
- Potencia:** 28 dBm

Tomado de: (Anon,2022) Xirio-online

4.6.3 Configuración patrones de radiación antena LSP

Se realiza un nuevo diagrama de radiación de acuerdo con la información del datasheet de la nueva antena como lo vemos en la figura 53, en xirio, y se realizan los cambios en atenuación y azimut donde se establece el nuevo diagrama de radiación que será parte de la nueva simulación.

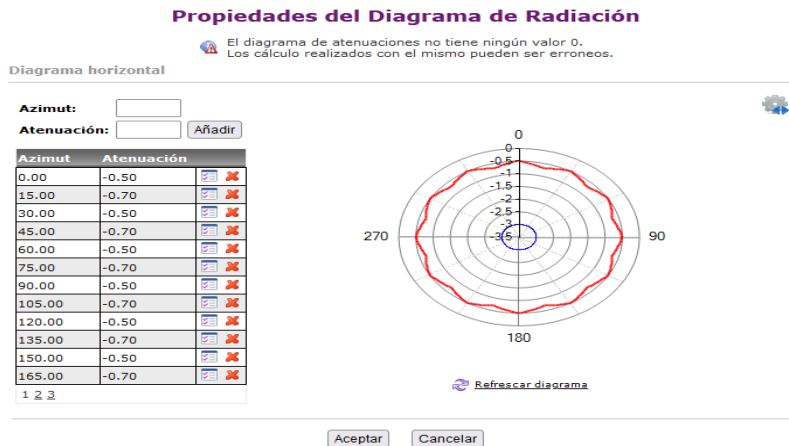
Figura 53. Diagramas de radiación antenna LSP



Tomado de: (Anón, SF) https://datasheets.kyocera-avx.com/ethertronics/AVX-E_LSP69001299TR.pdf

Se realizan los ajustes en los que se da la forma a los valores de atenuaciones en el diagrama de radiación como se observa en la figura 54.

Figura 54. Propiedades del diagrama de radiación en xirio



Tomado de: (Anon,2022) Xirio-online

4.6.4 Configuración II equipo recepción de usuario

En la nueva simulación, Se realiza configuraciones en parámetros de recepción de usuario donde se realiza los cambios en umbrales de recepción como se observa en la figura 55 según la calidad que se espera según los valores de RSSI (Indicador de intensidad de la señal recibida).

Figura 55. Parámetros de radio en xirio

Parámetros de radio

Parámetros de radio

Antena: 📄 ✖️ 🟢 🟡

Altura antena: m

Polarización: ▼

Feeder: 🟢 🟡

Longitud del feeder: m

Pérdidas del feeder: dB 📱

Pérdidas pasivos: dB

Umbral recepción: Campo Potencia

dBm ▼

Aceptar Aplicar Recargar Cancelar

Fuente: (Xirio-online, 2022)

4.6.5 Rangos de señales

Se realiza configuraciones en parámetros de recepción de la antena donde se realiza los cambios en umbrales de recepción donde se hacen los cambios según la calidad de recepción que se espera según los valores de RSSI (Indicador de intensidad de la señal recibida).

Se definieron tres rangos en la plataforma xirio, de la siguiente forma: señal excelente en color verde claro, intermedia en color verde oscuro, sin señal en color azul como se observa en la figura 47

5 CAPÍTULO V. SIMULACIONES EN XIRIO DE NB-IOT EN LAS COMUNAS SELECCIONADAS DE LA CIUDAD DE MEDELLÍN.

En este capítulo se exponen las simulaciones realizadas con la herramienta Xirio en las comunas de la ciudad de Medellín seleccionadas. Se realizan simulaciones de dos antenas orientadas a transmisión de señales NB-IoT las cuales brindarán las coberturas en las áreas designadas de las 5 comunas donde en cada una se escogerán ciertos puntos específicos en los que se medirán los valores de recepción.

5.1.1 SIMULACIÓN I (ANTENA SP610) EN COMUNAS DE MEDELLÍN A POTENCIA 35DBM

La primera simulación se realiza con la antena splash sp610 la cual tiene una potencia de transmisión de 35 dBm y una ganancia de 5dBi. Se realizan las simulaciones comuna por comuna en cada una se eligen 5 puntos estratégicos entre las coberturas excelente, intermedia y sin señal, se toman la información de coordenada y valores de recepción de las señales, información que será necesaria para el análisis comparativo del siguiente capítulo.

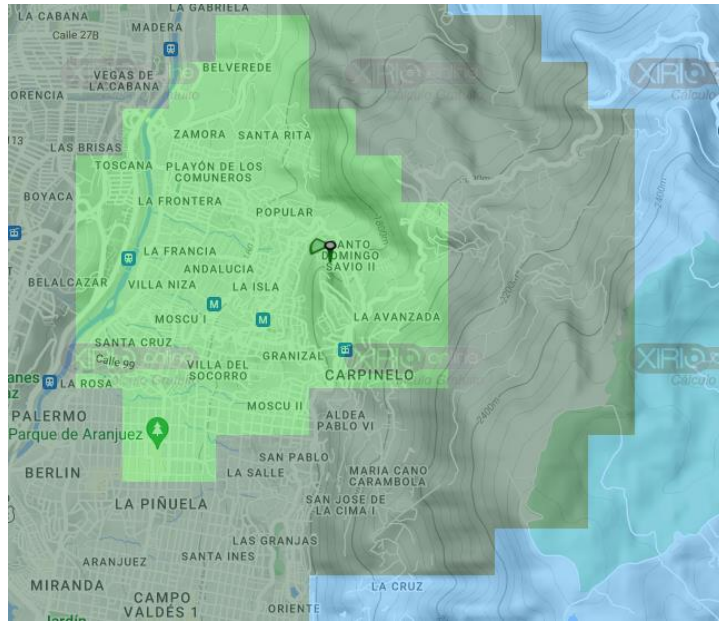
5.1.2 Popular

Comuna #1 en la que se tiene un buen resultado, hay cobertura completa en la comuna con la señal principal (verde claro) como se ve en la figura 56, además de que logra dar cubrimiento a otra comuna en la parte inferior a esta (santa cruz).

La señal intermedia logra extenderse de tal forma que permite cubrir otras comunas y zonas rurales, la cobertura azul (sin señal) solo se obtiene en las zonas rurales por fuera de la ciudad.

En cada rango de cobertura se ubican ciertos puntos donde se toma la información de las coordenadas de ubicación y nivel de recepción como se observa en las tablas 13 y 14.

Figura 56. Simulación antenna sp610 popular



Fuente: (Xirio-online, 2022)

Tabla 13. Puntos de popular con RSSI excelente.

Coordenadas	Localidad	Potencia RSS (dBm)
06°17'53.88"N- 075°32'47.28"W	Uva Popular I	-70.83 dBm (Excelente)
06°17'42.28"N- 075°32'16.19"W	Uva nuevo amanecer	-60.49 dBm (Excelente)

06°17'51.92"N - 075°32'43.88"W	Santo domingo savio I	-70.83 dBm (Excelente)
06°17'41.94"N - 075°32'34.61"W	La esperanza	-59.70 dBm (Excelente)
06°17'58.89"N - 075°32'30.98"W	Parque Santo domingo savio II	-53.65 dBm (Excelente)

Fuente: HERRERA TORO, Michael.

Tabla 14. Puntos de popular con RSSI intermedio

Coordenadas	Localidad	Potencia RSS (dBm)
06°18'00.13"N - 075°32'00.81"W	Zona rural	-85.81 dBm (Intermedia)
06°17'59.98"N- 075°32'00.66"W	Zona rural	-85.81 dBm (Intermedia)
"06°17'42.93"N- 075°31'50.92"W	Zona rural	-86.32 dBm (Intermedia)
06°17'50.00"N -075°31'58.03"W	Zona rural	-85.81 dBm (Intermedia)

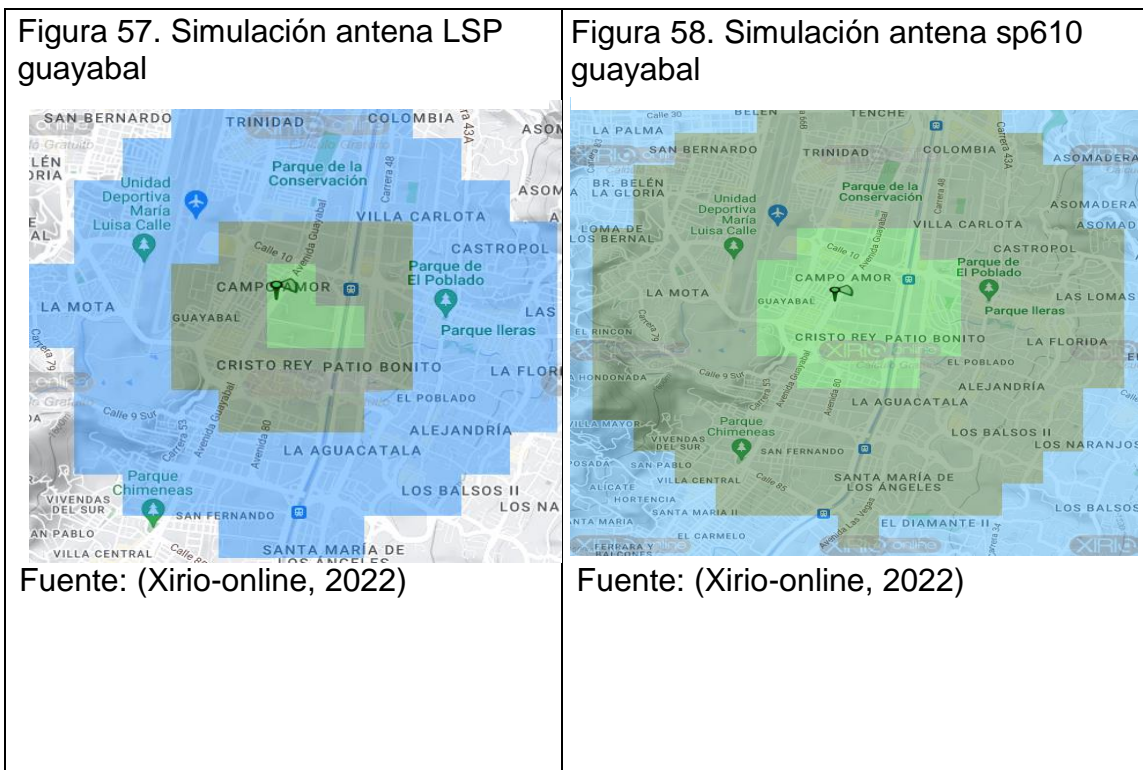
06°17'43.86"N- 075°32'00.66"W	Zona rural	-86.32 dBm (Intermedia)
----------------------------------	------------	----------------------------

Fuente: HERRERA TORO, Michael.

5.1.3 Información cobertura sin señal

Con respecto a las zonas sin cobertura como se observa en las figuras 57 y 58, en la tabla 15 no se realizó la comparación debido a que entre las simulaciones no había puntos de correlación en el rango sin señal, es decir si en la primera simulación había un área x con rango de señal intermedia en la siguiente simulación en esa misma coordenada el rango era sin señal. En la figura se observa lo descrito. Lo anterior es debido a la diferencia de potencia de la antena transmisora.

Tabla 15. ejemplo de simulación sin correlación en cobertura sin señal



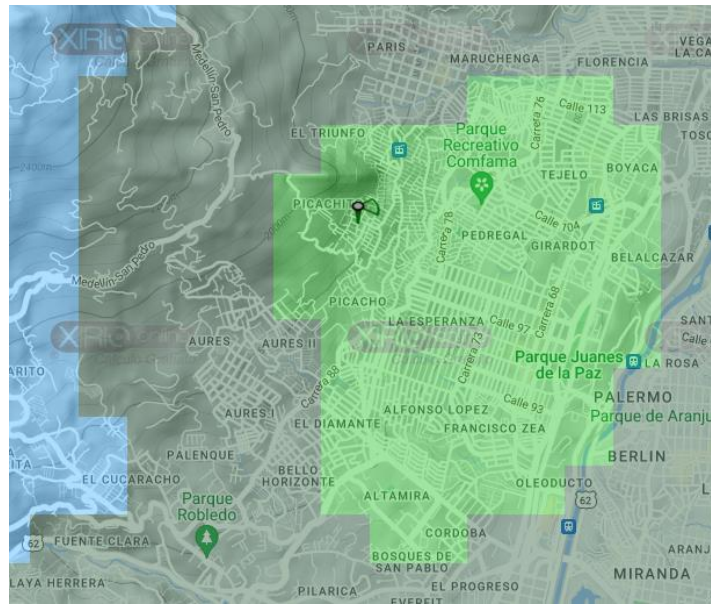
Fuente: HERRERA TORO, Michael.

5.1.4 Doce de octubre

Comuna #6 en la que se tiene un bueno resultado, hay cobertura completa en la comuna con la señal principal (verde claro) como se ve en la figura 59, además de que logra dar cubrimiento a otra comuna en la parte inferior a esta (castilla). La señal intermedia logra extenderse de tal forma que permite cubrir otras comunas y zonas rurales, la cobertura azul (sin señal) solo da cobertura a las zonas rurales por fuera de la ciudad.

En cada rango de cobertura se ubican ciertos puntos donde se toma la información de las coordenadas de ubicación y nivel de recepción como se observa en las tablas 16 y 17.

Figura 59. Simulación antena sp610 doce de octubre



Fuente: (Xirio-online, 2022)

Tabla 16. Puntos en doce de octubre con RSSI excelente

Coordenadas	Localidad	Potencia RSS (dBm)
06°17'44.37"N- 075°34'51.00"W	San Martin de porras	-61.86 dBm (Excelente)

06°17'58.96"N- 075°34'45.75"W	Doce de octubre 2	-68.59 dBm (Excelente)
06°17'36.69"N- 075°34'40.34"W	La esperanza	-70.58 dBm (Excelente)
06°17'40.99"N- 075°35'02.74"W	picacho	-61.86 dBm (Excelente)
06°18'07.71"N- 075°34'58.11"W	Mirador del doce	-61.74 dBm (Excelente)

Fuente: HERRERA TORO, Michael.

Tabla 17. Puntos en doce de octubre con RSSI intermedio

Coordenadas	Localidad	Potencia RSS (dBm)
06°18'28.23"N-075°34'43.66"W	Doce octubre I	-87.52 dBm (Intermedia)
06°18'26.08"N-075°35'18.58"W	El triunfo	-86.11 dBm (Intermedia)
06°18'27.41"N - 075°35'28.03"W	rural	-86.11 dBm (Intermedia)
06°18'16.26"N- 075°35'26.07"W	Rural cerca triunfo	-86.11 dBm (Intermedia)

06°18'16.41"N-075°35'16.26"W	Rural cerca a picacho	-86.11 dBm (Intermedia)
------------------------------	-----------------------	----------------------------

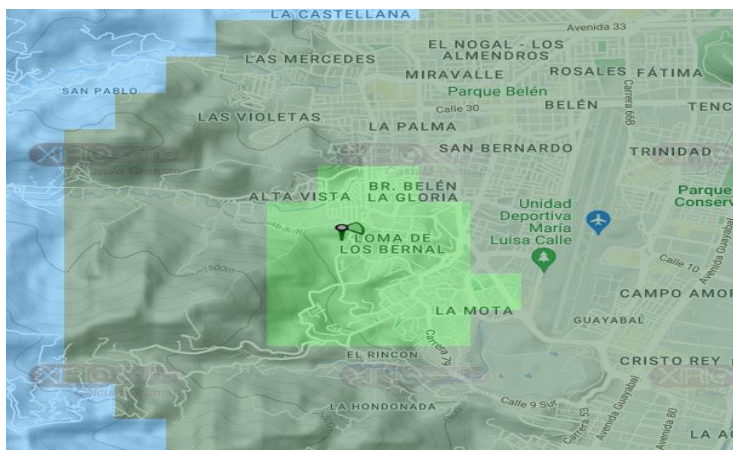
Fuente: HERRERA TORO, Michael.

5.1.5 Belén

Comuna #16 en la simulación se identifica que la señal principal tiene una cobertura muy limitada como se observa en la figura 60 cubriendo solo unos cuantos barrios la señal intermedia sirve de complemento ya que con esta se logra dar cobertura total a toda la comuna, la señal azul (sin señal) mantiene su margen de señal en otras comunas y zonas rurales externas de la ciudad.

En cada rango de cobertura se ubican ciertos puntos donde se toma la información de las coordenadas de ubicación y nivel de recepción como se observa en las tablas 18 y 19.

Figura 60. Simulación antena sp610 Belén



Fuente: (Xirio-online, 2022)

Tabla 18. Puntos de Belén con RSSI excelente.

Coordenadas	Localidad	Potencia RSS (dBm)
06°12'43.57"N- 075°36'27.07"W	Carrera 84f	-61.78 dBm (Excelente)
06°13'04.15"N- 075°36'14.94"W	Carrera 83	-54.55 dBm (Excelente)
06°12'48.72"N- 075°36'30.20"W	Carrera 81	-61.78 dBm (Excelente)
06°13'05.46"N- 075°36'25.06"W	Carrera 84b	-52.99 dBm (Excelente)
06°12'54.63"N- 075°36'12.70"W	Calle 4a	-54.55 dBm (Excelente)

Fuente: HERRERA TORO, Michael.

Tabla 19. Puntos de Belén con RSSI intermedio

Coordenadas	Localidad	Potencia RSS (dBm)
06°13'30.55"N- 075°35'59.16"W	Avenida 80	-85.30 dBm (Intermedia)
06°13'09.73"N- 075°35'51.01"W	Calle 10	-86.58 dBm (Intermedia)

06°12'36.61"N- 075°35'49.47"W	Calle 1	-85.36 dBm (Intermedia)
06°13'21.23"N- 075°36'38.58"W	altavista	-85.09 dBm (Intermedia)
06°12'58.14"N- 075°35'44.06"W	Carrera 71A	-86.03 dBm (Intermedia)

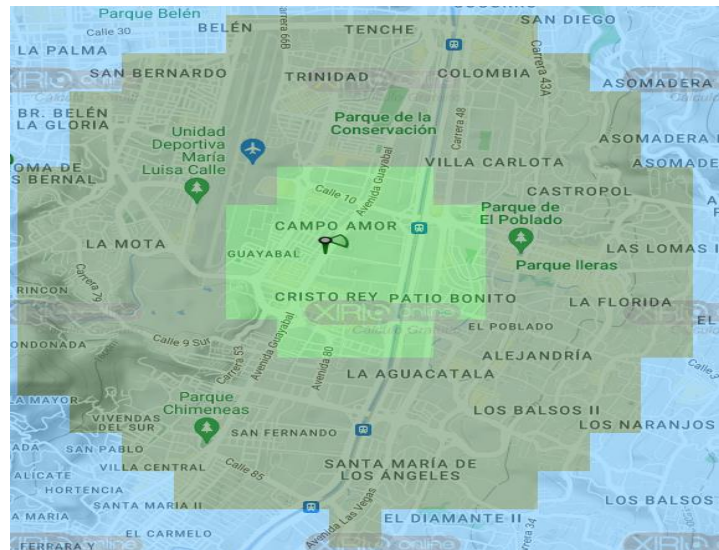
Fuente: HERRERA TORO, Michael.

5.1.6 Guayabal

Comuna #15 en la simulación se identifica que la señal principal tiene una cobertura muy limitada como se observa en la figura 61 cubriendo solo unos cuantos barrios la señal intermedia sirve de complemento ya que con esta se logra dar cobertura total a toda la comuna, la señal azul (sin señal) mantiene su margen de señal en otras comunas y zonas rurales externas de la ciudad.

En cada rango de cobertura se ubican ciertos puntos donde se toma la información de las coordenadas de ubicación y nivel de recepción como se observa en la tabla 20.

Figura 61. Simulación antena sp610 guayabal



Fuente: (Xirio-online, 2022)

Tabla 20. Puntos de Guayabal con RSSI excelente.

Coordenadas	Localidad	Potencia RSS (dBm)
06°12'51.58"N- 075°34'55.05"W	Avenida guayabal	-74.29 dBm (Excelente)
06°12'32.77"N- 075°34'45.54"W	Calle 4	-72.78 dBm (Excelente)
06°12'28.93"N- 075°35'02.31"W	Calle 2	-44.74 dBm (Excelente)
06°12'48.20"N- 075°35'01.77"W	Calle 8	-74.29 dBm (Excelente)

06°12'41.68"N- 075°34'50.95"W	Calle 6	-74.29 dBm (Excelente)
----------------------------------	---------	------------------------

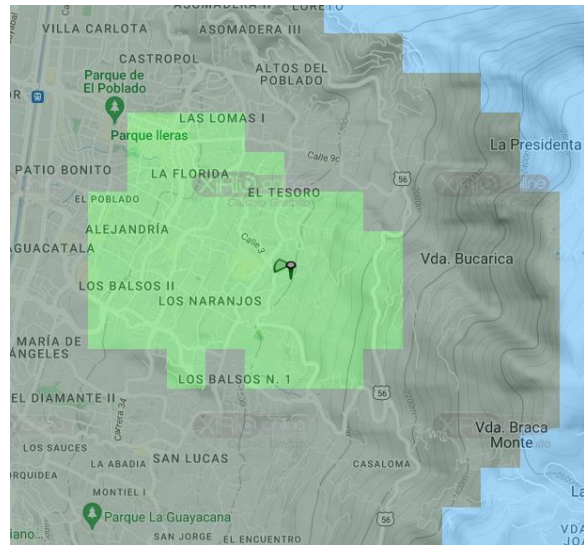
Fuente: (Michael Herrera, 2021)

5.1.7 Poblado

Comuna # 14 en la simulación se identifica que la señal principal tiene una cobertura muy limitada cubriendo solo unos cuantos barrios y dejando por fuera otros como san Lucas, el diamante, patio bonito etc. como se observa en la figura 62 como la señal intermedia sirve de complemento ya que con esta se logra dar cobertura total a toda la comuna además de que también logra cubrir otras comunas, la señal azul (sin señal) mantiene su margen de señal en otras comunas y zonas rurales externas de la ciudad.

En cada rango de cobertura se ubican ciertos puntos donde se toma la información de las coordenadas de ubicación y nivel de recepción como se observa en las tablas 21 y 22.

Figura 62. Simulación antena sp610 Poblado



Fuente: (Xirio-online, 2022)

Tabla 21. Puntos de Poblado con RSSI excelente.

Coordenadas	Localidad	Potencia RSS (dBm)
06°11'46.19"N-075°33'03.72"W	Carrera 17	-60.82 dBm (Excelente)
06°11'30.99"N-075°33'02.18"W	Rural	-73.18 dBm (Excelente)
06°11'40.20"N-075°33'20.25"W	calle 2 sur	-70.69 dBm (Excelente)
06°11'48.11"N-075°33'27.59"W	Transversal superior	-70.69 dBm (Excelente)

06°11'30.29"N- 075°33'18.12"W	Calle 4b sur	-58.70 dBm (Excelente)
----------------------------------	--------------	---------------------------

Fuente: HERRERA TORO, Michael.

Tabla 22. Puntos de Poblado con RSSI intermedio

Coordenadas	Localidad	Potencia RSS (dBm)
06°11'13.73"N- 075°33'36.06"W	Los balsos N1	-86.69 dBm (Intermedia)
06°11'07.59"N - 075°34'32.61"W	El diamante II	-88.33 dBm (Intermedia)
06°11'24.18"N- 075°34'45.74"W	Santa maria de los angeles	-87.98 dBm (Intermedia)
06°11'56.58"N- 075°34'40.48"W	Aguacatala	-87.96 dBm (Intermedia)
06°12'22.01"N- 075°34'20.22"W	Patio bonito	-85.11 dBm (Intermedia)

Fuente: HERRERA TORO, Michael.

5.1.8 Simulación II (antena LSP) en comunas de Medellín a potencia 28dBm

Con las ubicaciones y configuraciones listas se inician las simulaciones en esta segunda se realiza con la antena LSP la cual cuenta entre sus características la potencia en 28 dBm y la ganancia en -2dBi.

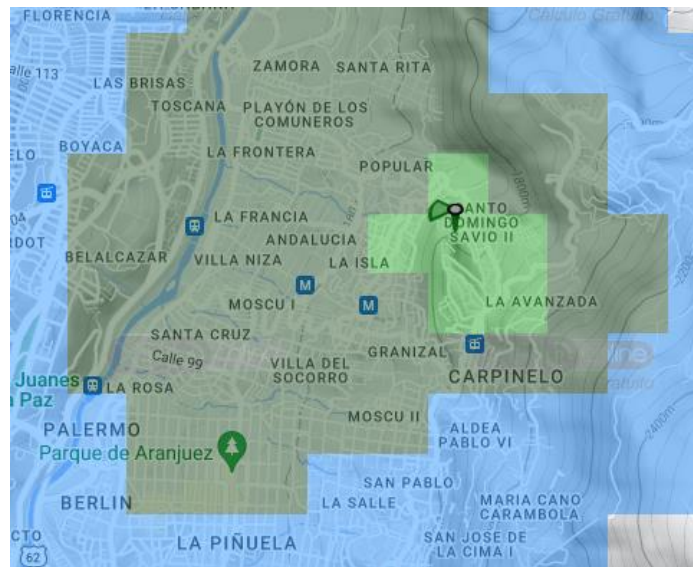
Se realizan las simulaciones comuna por comuna en cada una se eligen 5 puntos estratégicos iguales a los que se escogieron en la primera simulación; entre las coberturas excelente, intermedia y sin señal, se toman la información de coordenada y valores de recepción de las señales, información que será necesaria para el análisis comparativo del siguiente capítulo.

5.1.9 Popular

Comuna #1 en la que se tiene un resultado en donde hay cobertura reducida, la señal principal solo da alcance en algunos barrios de la comuna y es con la señal intermedia que da complemento para cubrirla toda como se observa en la figura 63 la cobertura azul (sin señal) da cobertura en otras comunas y en las zonas rurales por fuera de la ciudad.

En cada rango de cobertura se ubican ciertos puntos donde se toma la información de las coordenadas de ubicación y nivel de recepción como se observa en las tablas 23 y 24.

Figura 63. Simulación antena LSP popular



Fuente: (Xirio-online, 2022)

Tabla 23. Puntos de popular con RSSI excelente.

Coordenadas	Localidad	Potencia RSS (dBm)
"06°17'53.88"N- 075°32'47.28"W	Uva Popular I	-83.36 dBm
"06°17'42.28"N- 075°32'16.19"W	Uva nuevo amanecer	-74.05 dBm
"06°17'50.39"N - 075°32'41.91"W	Santo domingo savio I	-83.36 dBm
"06°17'41.94"N	La esperanza	-73.31 dBm

- 075°32'34.61"W		
"06°17'58.89"N - 075°32'30.98"W	Parque Santo domingo savio II	-67.19 dBm

Fuente: HERRERA TORO, Michael.

Tabla 24. Puntos de popular con RSSI intermedio

Coordenadas	Localidad	Potencia RSS (dBm)
06°18'00.13"N - 075°32'00.81"W	Zona rural	-98.93 dBm
06°17'59.98"N - 075°32'00.66"W	Zona rural	-98.93 dBm
"06°17'42.93"N - 075°31'50.92"W	Zona rural	-99.43 dBm
"06°17'50.00"N - 75°31'58.03"W	Zona rural	-98.93 dBm
06°17'43.86"N - 075°32'00.66"W	Zona rural	-99.43 dBm

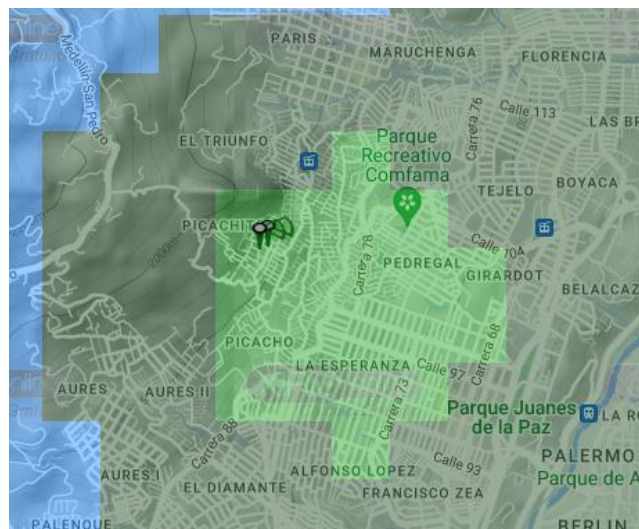
Fuente: HERRERA TORO, Michael.

5.1.10 Doce de octubre

Comuna #6 en la que se tiene un resultado en donde hay cobertura reducida, la señal principal solo da alcance en algunos barrios de la comuna y es con la señal intermedia que da complemento para cubrirla toda como se observa en la figura 64 la cobertura azul (sin señal) da cobertura en otras comunas y en las zonas rurales por fuera de la ciudad.

En cada rango de cobertura se ubican ciertos puntos donde se toma la información de las coordenadas de ubicación y nivel de recepción como se observa en las tablas 25 y 26.

Figura 64. Simulación antena LSP doce de octubre



Fuente: (Xirio-online, 2022)

Tabla 25. Puntos en doce de octubre con RSSI excelente

Coordenadas	Localidad	Potencia RSS (dBm)
06°17'44.37"N- 075°34'51.00"W	San Martin de porras	-75.05 dBm
06°17'58.96"N- 075°34'45.75"W	Doce de octubre 2	-79.29 dBm
06°17'36.69"N- 075°34'40.34"W	La esperanza	-83.15 dBm
06°17'40.99"N- 075°35'02.74"W	picacho	-75.05 dBm
06°18'07.71"N- 075°34'58.11"W	Mirador del doce	75.06 dBm

Fuente: HERRERA TORO, Michael.

Tabla 26. Puntos en doce de octubre con RSSI intermedio

Coordenadas	Localidad	Potencia RSS (dBm)
06°18'28.23"N- 075°34'43.66"W	Doce octubre I	-99.20 dBm
06°18'26.08"N- 075°35'18.58"W	El triunfo	-99.68 dBm
06°18'26.08"N- 075°35'18.58"W	rural	-99.68 dBm

06°18'16.26"N- 075°35'26.07"W	Rural cerca triunfo	-99.68 dBm
06°18'16.41"N- 075°35'16.26"W	Rural cerca a picacho	-99.68 dBm

Fuente: HERRERA TORO, Michael.

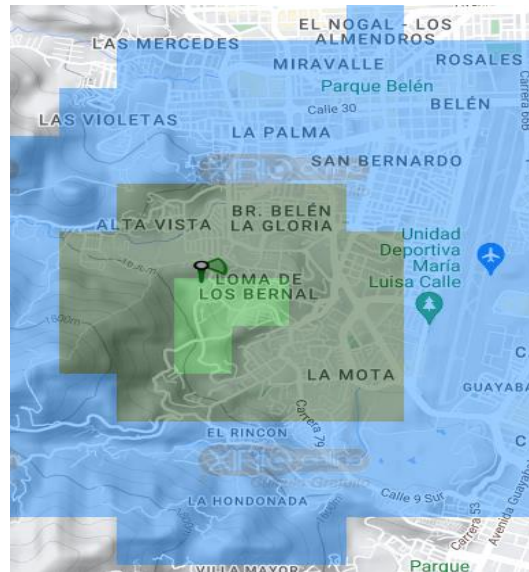
-

5.1.11 Belén

Comuna #16 en la que se tiene un resultado en donde hay cobertura súper reducida, la señal principal solo da alcance en unas cuantas calles y es con la señal intermedia que da complemento para cubrir ciertos barrios como se observa en la figura 65 la cobertura azul (sin señal) da cobertura al resto de la comuna.

En cada rango de cobertura se ubican ciertos puntos donde se toma la información de las coordenadas de ubicación y nivel de recepción como se observa en las tablas 27 y 28.

Figura 65. Simulación antena LSP Belén



Fuente: (Xirio-online, 2022)

Tabla 27. Puntos de Belén con RSSI excelente.

Coordenadas	Localidad	Potencia RSS (dBm)
06°12'43.57"N- 075°36'27.07"W	Carrera 84f	-75.36 dBm
06°13'04.15"N- 075°36'14.94"W	Carrera 83	-67.07 dBm
06°12'48.72"N- 075°36'30.20"W	Carrera 81	-75.36 dBm
06°13'05.46"N- 075°36'25.06"W	Carrera 84b	-65.49 dBm

06°12'54.63"N- 075°36'12.70"W	Calle 4a	-67.07 dBm
----------------------------------	----------	------------

Fuente: HERRERA TORO, Michael.

Tabla 28. Puntos de Belén con RSSI intermedio

Coordenadas	Localidad	Potencia RSS (dBm)
06°13'30.55"N- 075°35'59.16"W	Avenida 80	-98.82 dBm
06°13'09.73"N- 075°35'51.01"W	Calle 10	-99.93 dBm
06°12'36.61"N- 075°35'49.47"W	Calle 1	-98.80 dBm
06°13'21.23"N- 075°36'38.58"W	altavista	-98.60 dBm
06°12'58.14"N- 075°35'44.06"W	Carrera 71A	-86.03 dBm

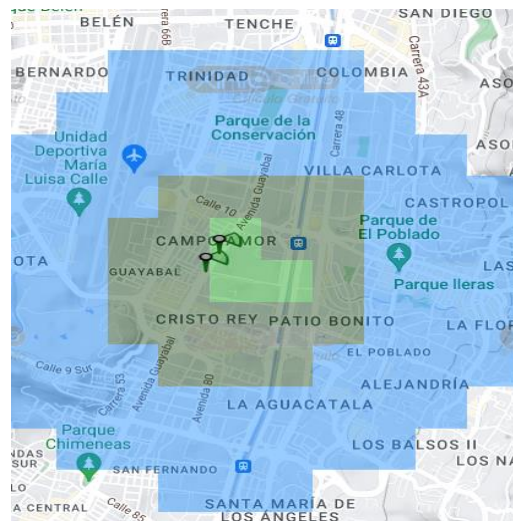
Fuente: HERRERA TORO, Michael.

5.1.12 Guayabal

Comuna #15 en la que se tiene un resultado en donde hay cobertura súper reducida, la señal principal solo da alcance en unas cuantas calles y es con la señal intermedia que da complemento para cubrir ciertos barrios como se observa en la figura 66 la cobertura azul (sin señal) da cobertura en la comuna, pero no la suficiente para cubrirla totalmente queda por fuera barrio Tenche

En cada rango de cobertura se ubican ciertos puntos donde se toma la información de las coordenadas de ubicación y nivel de recepción como se observa en la tabla 29.

Figura 66. Simulación antena LSP Guayabal



Fuente: (Xirio-online, 2022)

Tabla 29. Puntos de Guayabal con RSSI excelente.

Coordenadas	Localidad	Potencia RSS (dBm)
06°12'51.58"N- 075°34'55.05"W	Avenida guayabal	-72.99 dBm
06°12'32.77"N- 075°34'45.54"W	Calle 4	-72.85 dBm
06°12'28.93"N- 075°35'02.31"W	Calle 2	-57.32 dBm
06°12'48.20"N- 075°35'01.77"W	Calle 8	-72.99 dBm
06°12'41.68"N- 075°34'50.95"W	Calle 6	-72.99 dBm

Fuente: HERRERA TORO, Michael.

5.1.13 Poblado

Comuna #14 en la que se tiene un resultado en donde hay cobertura reducida, la señal principal solo da alcance en algunos barrios de la comuna y es con la señal intermedia que da complemento para cubrirla, pero no totalmente como se observa en la figura 67 la cobertura azul (sin señal) es la que acaba de cubrir el resto de comuna abarcando algunos barrios como san Lucas, el diamante II, patio bonito, altos del poblado etc.

En cada rango de cobertura se ubican ciertos puntos donde se toma la información de las coordenadas de ubicación y nivel de recepción como se observa en las tablas 30 y 31.

Figura 67. Simulación antena LSP Poblado



Fuente: (Xirio-online, 2022)

Tabla 30. Puntos de Poblado con RSSI excelente.

Coordenadas	Localidad	Potencia RSS (dBm)
06°11'46.19"N- 075°33'03.72"W	Carrera 17	-74.54 dBm

06°11'30.99"N- 075°33'02.18"W	Rural	-70.59 dBm
06°11'40.20"N- 075°33'20.25"W	calle 2 sur	-84.25 dBm
06°11'48.11"N- 075°33'27.59"W	Transversal superior	-84.25 dBm
06°11'30.29"N- 075°33'18.12"W	Calle 4b sur	-65.78 dBm

Fuente: HERRERA TORO, Michael.

Tabla 31. Puntos de Poblado con RSSI intermedio

Coordenadas	Localidad	Potencia RSS (dBm)
06°11'13.73"N- 075°33'36.06"W	Los balsos N1	-94.09 dBm
06°11'07.59"N - 075°34'32.61"W	El diamante II	-100.27 dBm
06°11'24.18"N- 075°34'45.74"W	Santa maria de los angeles	-101.11 dBm
06°11'56.58"N- 075°34'40.48"W	Aguacatala	-101.58 dBm
06°12'22.01"N- 075°34'20.22"W	Patio bonito	99.51 dBm

Fuente: HERRERA TORO, Michael.

6 CAPÍTULO VI. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS SIMULACIONES

Entre los resultados vistos en las simulaciones se tomarán los datos recogidos de los rangos de señal excelente, intermedia y sin señal donde se realizará la desviación estándar; A partir del análisis y comparativa se generarán las respectivas conclusiones del estudio.

6.1 ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS

Entre los resultados de las simulaciones se identifica una notable diferencia. Se evidencia que, en las simulaciones realizadas a 35 dBm de potencia de la antena de transmisión, se obtuvo buena cobertura de señal o cobertura excelente, logrando cubrir la comuna completa, hasta inclusive otras comunas. Las comunas que presentan mejor cobertura son: popular y doce de octubre. En dichas comunas, las antenas se ubicaron en una posición alta. Por otra parte, en comunas como belén, guayabal y poblado, la situación cambia negativamente ya que la cobertura principal disminuye drásticamente limitando la cobertura a algunos barrios con señal intermedia.

En simulaciones a 28 dBm en la comuna popular el rango de cobertura excelente se reduce a cubrir algunos barrios, y se evidencia señal intermedia para el resto de la comuna. En doce de octubre se reduce también, pero alcanza a cubrir un 90% de la comuna con la señal excelente pocos barrios quedaron por fuera y estos son cubiertos por la señal intermedia. Belén, guayabal y poblado poseen un rango de señal excelente que cubre algunas calles, cobertura con potencia intermedia en algunos barrios y sin señal el resto de la comuna.

El principal análisis que se puede realizar con los resultados obtenidos, es que la antena que tiene una potencia de 35 dBm, es ideal para cubrir toda la comuna o localidades de varios kilómetros de alcance, en cambio la antena de potencia de

transmisión de 28 dBm, serviría más para lugares más pequeños como un barrio o un campus.

6.2 ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS CON (RSSI) “EXCELENTE”.

Con nivel excelente a partir de la tabla RSSI en los rangos de frecuencia, se eligen 5 puntos por comuna en el cual se busca que guarden la correlación en ubicación y rango de señal para luego realizar el estudio comparativo a partir de sus niveles de recepción, Se podrá observar la gráfica según lo niveles de potencia y al final se calculará la desviación estándar de muestra en la que se calcularan las variables que están en diferente escala con ese fin utilizara la siguiente ecuación.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{N-1}} \quad (1)$$

En este caso se toma la información con recepción excelente de la antena sp610 de popular y se debe primero, encontrar la media aritmética (\bar{x}) sumando los valores y dividiendo por el número de datos (N-1).

$$datos = -70, -60, -70, -59, -53 \quad (2)$$

Numero de datos= 5

$$\frac{(-70)+(-60)+(-70)+(-59)+(-53)}{5} = -62.4 \quad (3)$$

$$\bar{x} = -62.4$$

Se realiza distribución de valores para tener claridad en el proceso como se observa en la tabla 32.

Tabla 32. Calculo desviación estándar

x	$x_i - \bar{x}$	$(\bar{x})^2$
-70	$-70 - (-62.4) = -7.6$	$(-7.6)^2 = 57.76$
-60	$-60 - (-62.4) = 2.4$	$(2.4)^2 = 5.76$
-70	$-70 - (-62.4) = -7.6$	$(-7.6)^2 = 57.76$
-59	$-59 - (-62.4) = 3.4$	$(3.4)^2 = 11.56$
-53	$-53 - (-62.4) = 9.4$	$(9.4)^2 = 88.36$
TOTAL		221.2

(4)

Fuente: HERRERA TORO, Michael.

$$\sigma = \sqrt{\frac{221.2}{5-1}} = 7.43 \quad (5)$$

A continuación se toma la información con recepción excelente de la antena LSP de popular, primeramente se debe encontrar la media aritmética (\bar{x}) sumando los valores y dividiendo por el número de datos (N-1)

$$datos = -83, -74, -83, -73, -67 \quad (1)$$

$$\text{Numero de datos} = 5 \quad (2)$$

$$\frac{(-83)+(-74)+(-83)+(-73)+(-67)}{5} = -76 \quad (3)$$

$x_i - \bar{x}$	$(\bar{x})^2$	(4)
$-83 - (-76) = -7$	$\rightarrow (-7)^2 = 49$	
$-74 - (-76) = 2$	$\rightarrow (2)^2 = 4$	
$-83 - (-76) = -7$	$\rightarrow (-7)^2 = 49$	
$-73 - (-76) = 3$	$\rightarrow (3)^2 = 9$	
$-67 - (-76) = 9$	$\rightarrow (9)^2 = 81$	

$$\Sigma = 49 + 4 + 49 + 9 + 81 = 192 \quad (5)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{192}{5-1}} = 6.92 \quad (6)$$

6.2.1 Popular

Como se observa en la tabla 33 vemos los datos recogidos de la simulación excelente en donde se escoge 5 ubicaciones diferentes pero iguales entre las dos simulaciones, su ubicación en coordenadas y donde se puede apreciar el rango de cobertura excelente regido por la potencia en las antenas de 35 y 28 dBm.

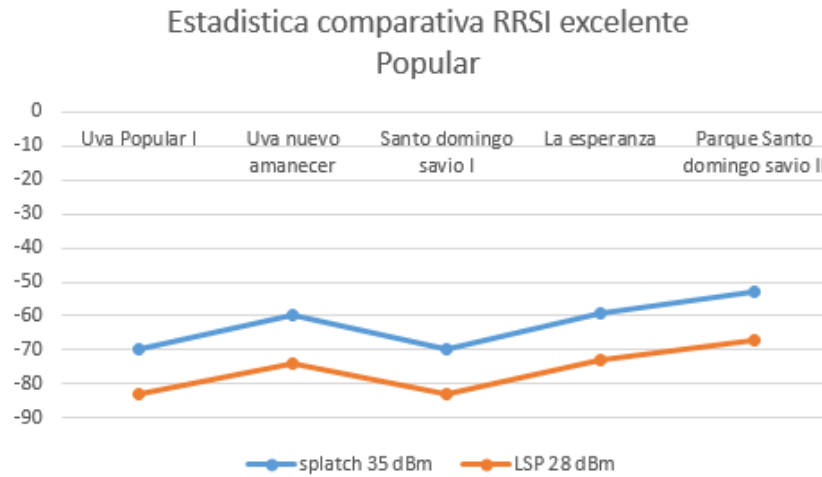
Tabla 33. Comparativa de resultados excelentes en popular

Coordenadas	Localidad	Potencia RSS (35dBm) ant sp610	Potencia RSS (28dBm) ant LSP
06°17'53.88"N- 075°32'47.28"W	Uva Popular I	-70.83 dBm (Excelente)	-83.36 dBm
06°17'42.28"N- 075°32'16.19"W	Uva nuevo amanecer	-60.49 dBm (Excelente)	-74.05 dBm
06°17'51.92"N - 075°32'43.88"W	Santo domingo savio I	-70.83 dBm (Excelente)	-83.36 dBm
06°17'41.94"N - 075°32'34.61"W	La esperanza	-59.70 dBm (Excelente)	-73.31 dBm
06°17'58.89"N - 075°32'30.98"W	Parque Santo domingo savio II	-53.65 dBm (Excelente)	-67.19 dBm

Fuente: HERRERA TORO, Michael.

Podemos apreciar en la figura 68 entre menor es el valor de RSSI mucho mejor es la señal, vemos la ventaja que lleva la antena sp610 que trabaja a potencia de 35 dBm de potencia contra la antena LSP que trabaja a 28 dBm de potencia en la que ambas tienen nivel de ascenso en mejora de la señal, pero la antena sp610 muestra mejores valores recepción.

Figura 68. Estadística comparativa I entre simulaciones en popular



Fuente: HERRERA TORO, Michael.

En la tabla 34 muestran los resultados de la desviación estándar en el cual mientras más cercano sea al valor de cero más exacta es la medida en el caso de estudio de las antenas, nos interpreta que entre más cercano este a cero más similares son los valores de potencia en el caso de recepción de los puntos seleccionados esto indica que las puntos de recepción están más cerca en un área específica concluyendo que la zona de cobertura es pequeña y que las antenas de sp610 tienen un poco de más de amplitud en el área de cobertura en comparación con LSP.

Tabla 34. Resultado desviación estándar en popular

Splat	7.43	LSP	6.92
-------	------	-----	------

Fuente: HERRERA TORO, Michael.

6.2.2 Doce de octubre

Como se observa en la tabla 35 vemos los datos recogidos de la simulación excelente en donde se escoge 5 ubicaciones diferentes pero iguales entre las dos simulaciones, su ubicación en coordenadas y donde se puede apreciar el rango de cobertura excelente regido por la potencia en las antenas de 35 y 28 dBm.

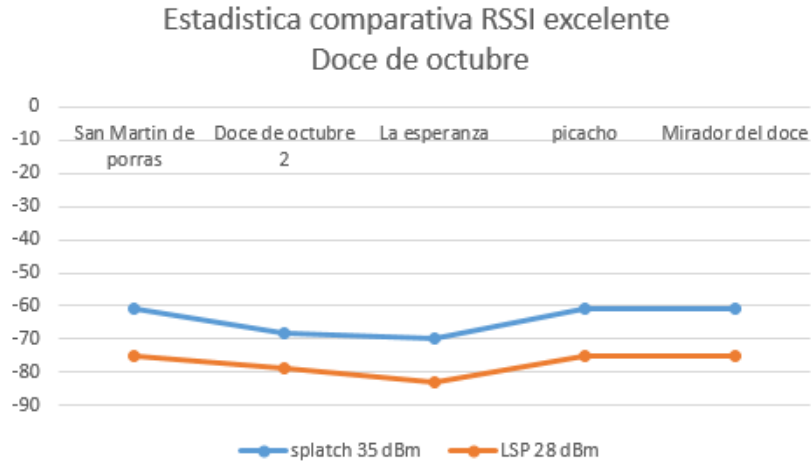
Tabla 35. Comparativa de resultados excelentes en doce de octubre

Coordenadas	Localidad	Potencia RSS (35dBm) ant splat	Potencia RSS (28dBm) ant LSP
06°17'44.37"N-75°34'51.00"W	San Martin de porras	-61.86 dBm (Excelente)	-75.05 dBm
06°17'58.96"N- 075°34'45.75"W	Doce de octubre 2	-68.59 dBm (Excelente)	-79.29 dBm
06°17'36.69"N-075°34'40.34"W	La esperanza	-70.58 dBm (Excelente)	-83.15 dBm
06°17'40.99"N-075°35'02.74"W	picacho	-61.86 dBm (Excelente)	-75.05 dBm
06°18'07.71"N-075°34'58.11"W	Mirador del doce	-61.74 dBm (Excelente)	-75.06 dBm

Fuente: HERRERA TORO, Michael.

En la figura 69 se puede observar que, aunque por nivel de señal una es mejor que la otra por estar más cercana a cero ambas conservan la misma trazabilidad.

Figura 69. Estadística comparativa I entre simulaciones en doce de octubre



Fuente: HERRERA TORO, Michael.

Los resultados de la desviación estándar indican que la zona de cobertura es aún más pequeña en la ubicación, los puntos de recepción están más cerca en una esa área concluyendo que las antenas de sp610 al tener un valor mayor de dispersión es indicativo que, aunque la cobertura es pequeña las antenas están un poco más alejadas entre sí en comparativa con LSP como se observa en la tabla 36.

Tabla 36. Resultado desviación estándar en doce de octubre

Splatch	4.43	LSP	3.57
---------	------	-----	------

Fuente: HERRERA TORO, Michael.

6.2.3 Belen

Come se observa en la tabla 37 vemos los datos recogidos de la simulación con resultado excelente en donde se escoge 5 ubicaciones diferentes pero iguales entre las dos simulaciones hechas con las diferentes antenas (splatc, LSP), su ubicación en coordenadas y donde se puede apreciar el rango de cobertura excelente regido por la potencia en las antenas de 35 y 28 dBm.

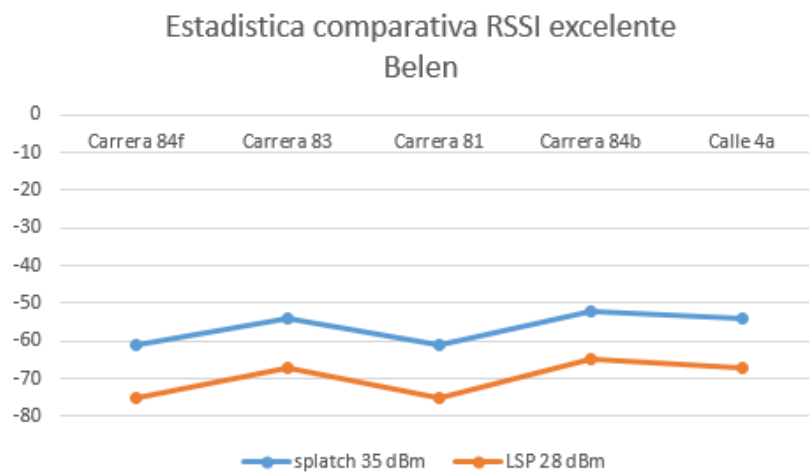
Tabla 37. Comparativa de resultados excelentes en Belén

Coordenadas	Localidad	Potencia RSSI (35dBm) ant splatch	Potencia RSSI (28dBm) ant LSP
06°12'43.57"N- 075°36'27.07"W	Carrera 84f	-61.78 dBm (Excelente)	-75.36 dBm
06°13'04.15"N- 075°36'14.94"W	Carrera 83	-54.55 dBm (Excelente)	-67.07 dBm
06°12'48.72"N- 075°36'30.20"W	Carrera 81	-61.78 dBm (Excelente)	-75.36 dBm
06°13'05.46"N- 075°36'25.06"W	Carrera 84b	-52.99 dBm (Excelente)	-65.49 dBm
06°12'54.63"N- 075°36'12.70"W	Calle 4a	-54.55 dBm (Excelente)	-67.07 dBm

Fuente: HERRERA TORO, Michael.

En la figura 70 se puede observar que, aunque por diferencias leves de los niveles de señal una es mejor que la otra por estar más cercana a cero en este caso splatch 35 dBm, pero ambas conservan la misma trazabilidad.

Figura 70. Estadística comparativa I entre simulaciones en Belén



Fuente: HERRERA TORO, Michael.

Los resultados de la desviación estándar indican que la zona de cobertura es pequeña en la ubicación, los puntos de recepción están más cerca en una esa área concluyendo que las antenas de sp610 al tener un valor menor valor de dispersión es indicativo que, aunque la cobertura es pequeña las antenas están un poco cerca entre sí en comparativa con LSP como se observa en la tabla 38.

Tabla 38. Resultado desviación estándar en Belén

Splatch	4.27	LSP	4.81
---------	------	-----	------

Fuente: HERRERA TORO, Michael.

6.2.4 Guayabal

Come se observa en la tabla 39 vemos los datos recogidos de la simulación con resultado excelente en donde se escoge 5 ubicaciones diferentes pero iguales entre las dos simulaciones hechas con las diferentes antenas (splatch, LSP), su ubicación en coordenadas y donde se puede apreciar el rango de cobertura excelente regido por la potencia en las antenas de 35 y 28 dBm.

Tabla 39. Comparativa de resultados excelentes en Guayabal

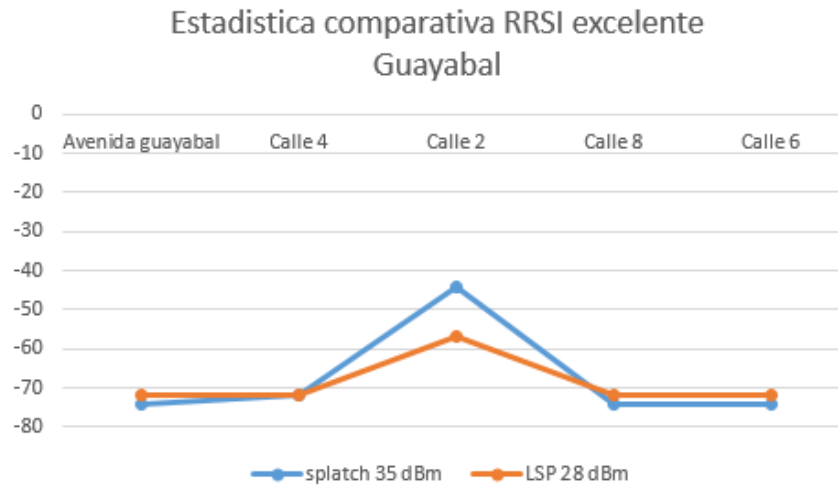
Coordenadas	Localidad	Potencia RSS (35dBm) ant splatch	Potencia RSS (28dBm) ant LSP
06°12'51.58"N- 075°34'55.05"W	Avenida guayabal	-74.29 dBm (Excelente)	-72.99 dBm
06°12'32.77"N- 075°34'45.54"W	Calle 4	-72.78 dBm (Excelente)	-72.85 dBm
06°12'28.93"N- 075°35'02.31"W	Calle 2	-44.74 dBm (Excelente)	-57.32 dBm

06°12'48.20"N- 075°35'01.77"W	Calle 8	-74.29 dBm (Excelente)	-72.99 dBm
06°12'41.68"N- 075°34'50.95"W	Calle 6	-74.29 dBm (Excelente)	-72.99 dBm

Fuente: HERRERA TORO, Michael.

En la figura 71 se puede observar que, a diferencia de las anteriores graficas esta tiene cambios más notables en la que antena splatch presentan algunos valores de señal más cercanos al cero.

Figura 71. Estadística comparativa I entre simulaciones en Guayabal



Fuente: HERRERA TORO, Michael.

Los resultados de la desviación estándar como se observa en la tabla 40, indican que la zona de cobertura es relativamente amplia en la ubicación, los puntos de

recepción están más cerca en una esa área concluyendo que las antenas de sp610 al tener un mayor valor de dispersión es indicativo que, aunque la cobertura es más amplia al igual que la distancia entre las antenas en comparativa con LSP que sería más cercanía entre las antenas.

Tabla 40. Resultado desviación estándar Guayabal

Splatch	13.22	LSP	6.7
---------	-------	-----	-----

Fuente: HERRERA TORO, Michael.

6.2.5 Poblado

Como se observa en la tabla 41 vemos los datos recogidos de la simulación con resultado excelente en donde se escoge 5 ubicaciones diferentes pero iguales entre las dos simulaciones hechas con las diferentes antenas (splatch, LSP), su ubicación en coordenadas y donde se puede apreciar el rango de cobertura excelente regido por la potencia en las antenas de 35 y 28 dBm.

Tabla 41. Comparativa de resultados excelentes en Poblado

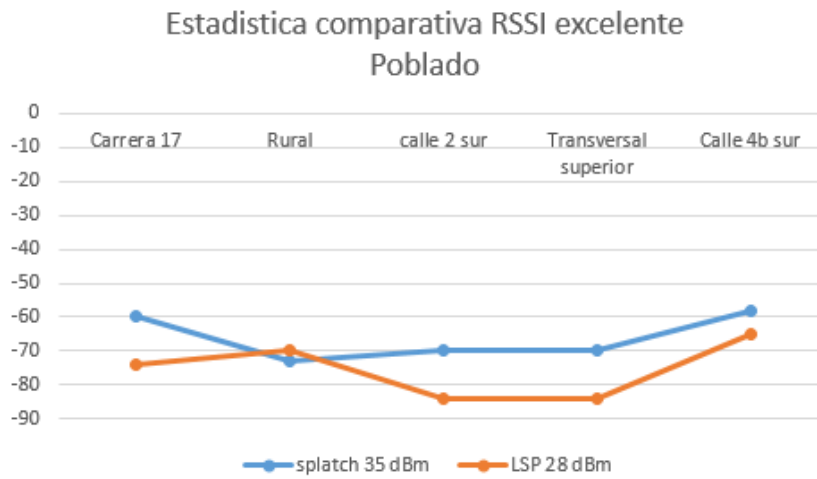
Coordenadas	Localidad	Potencia RSS (35dBm) ant splatch	Potencia RSS (28dBm) ant LSP

06°11'46.19"N- 075°33'03.72"W	Carrera 17	-60.82 dBm (Excelente)	-74.54 dBm
06°11'30.99"N- 075°33'02.18"W	Rural	-73.18 dBm (Excelente)	-70.59 dBm
06°11'40.20"N- 075°33'20.25"W	calle 2 sur	-70.69 dBm (Excelente)	-84.25 dBm
06°11'48.11"N- 075°33'27.59"W	Transversal superior	-70.69 dBm (Excelente)	-84.25 dBm
06°11'30.29"N- 075°33'18.12"W	Calle 4b sur	-58.70 dBm (Excelente)	-65.78 dBm

Fuente: HERRERA TORO, Michael.

Por el visto en la figura 72 la trazabilidad de la antena splash a partir de su segundo punto tiende a llevar en el aumento de la señal la gráfica de la LSP tiene casi el mismo comportamiento, pero después de una fuerte caída.

Figura 72. Estadística comparativa I entre simulaciones en Poblado



Fuente: HERRERA TORO, Michael.

Los resultados de la desviación estándar indican que la zona de cobertura es algo más amplia en la ubicación, los puntos de recepción están más cerca en una esa área concluyendo que las antenas de sp610 al tener un menor valor de dispersión es indicativo que, las antenas están un poco más cerca entre sí en comparativa con LSP como se observa en la tabla 42.

Tabla 42. Resultado desviación estándar en Poblado

Splatch	6.72	LSP	8.47
---------	------	-----	------

Fuente: HERRERA TORO, Michael.

6.3 ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS CON (RSSI) “INTERMEDIO”.

Con nivel intermedio a partir de la tabla RSSI en los rangos de frecuencia, se eligen 5 puntos por comuna en el cual se busca que guarden la correlación en ubicación y rango de señal para luego realizar el estudio comparativo a partir de sus niveles de recepción, Se podrá observar la gráfica según lo niveles de potencia y al final se calculará la desviación estándar de muestra en la que se calcularan las variables que están en diferente escala.

6.3.1 Popular

Come se observa en la tabla 43 vemos los datos recogidos de la simulación con resultado intermedio en donde se escoge 5 ubicaciones diferentes pero iguales entre las dos simulaciones hechas con las diferentes antenas (splatc, LSP), su ubicación en coordenadas y donde se puede apreciar el rango de cobertura excelente regido por la potencia en las antenas de 35 y 28 dBm.

Tabla 43. Comparativa de resultados intermedio en popular

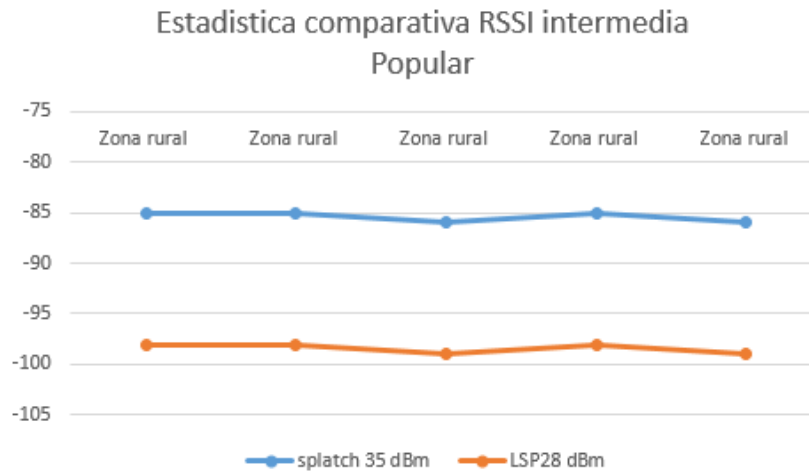
Coordenadas	Localidad	Potencia RSS (35dBm) ant splatc	Potencia RSS (28dBm) ant LSP
06°18'00.13"N - 075°32'00.81"W	Zona rural	-85.81 dBm (Intermedia)	-98.93 dBm

06°17'59.98"N- 075°32'00.66"W	Zona rural	-85.81 dBm (Intermedia)	-98.93 dBm
"06°17'42.93"N- 075°31'50.92"W	Zona rural	-86.32 dBm (Intermedia)	-99.43 dBm
06°17'50.00"N -075°31'58.03"W	Zona rural	-85.81 dBm (Intermedia)	-98.93 dBm
06°17'43.86"N- 075°32'00.66"W	Zona rural	-86.32 dBm (Intermedia)	-99.43 dBm

Fuente: HERRERA TORO, Michael.

Como se observa en la figura 73 los resultados toman una gran distancia entre si confirmando la buena señal de la antena splatch y la mala señal de la antena LSP.

Figura 73. Estadística comparativa II entre simulaciones en popular



Fuente: HERRERA TORO, Michael.

Los resultados de la desviación estándar indican que la zona de cobertura realmente pequeña en la ubicación, los puntos de recepción están más cerca en esa área concluyendo que las antenas de sp610 y LSP tienen similitud en la área y cobertura ocasionando que los puntos de recepción también tengan esa cercanía concluyendo valores similares en los resultados cómo se observa en la tabla 44.

Tabla 44. Resultado desviación estándar en popular

Antena splatch	0.54	Antena LSP	0.54
----------------	------	------------	------

Fuente: HERRERA TORO, Michael.

6.3.2 Doce de octubre

Como se observa en la tabla 45 vemos los datos recogidos de la simulación con resultado intermedio en donde se escoge 5 ubicaciones diferentes pero iguales entre las dos simulaciones hechas con las diferentes antenas (splat, LSP), su ubicación en coordenadas y donde se puede apreciar el rango de cobertura excelente regido por la potencia en las antenas de 35 y 28 dBm.

Tabla 45. Comparativa de resultados intermedio en Doce de octubre

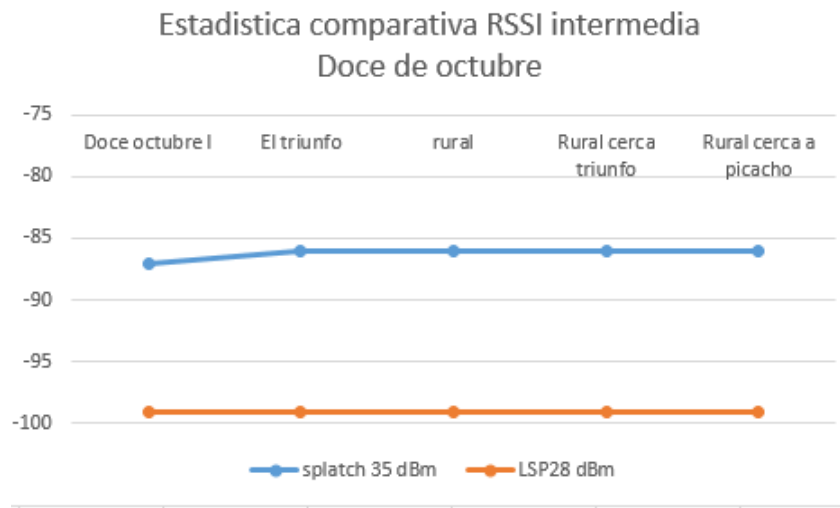
Coordenadas	Localidad	Potencia RSS (35dBm) ant sp610	Potencia RSS (28dBm) ant LSP
06°18'28.23"N-075°34'43.66"W	Doce octubre I	-87.52 dBm (Intermedia)	-99.20 dBm
06°18'26.08"N-075°35'18.58"W	El triunfo	-86.11 dBm (Intermedia)	-99.68 dBm
06°18'27.41"N - 075°35'28.03"W	rural	-86.11 dBm (Intermedia)	-99.68 dBm
06°18'16.26"N- 075°35'26.07"W	Rural cerca triunfo	-86.11 dBm (Intermedia)	-99.68 dBm

06°18'16.41"N-075°35'16.26"W	Rural cerca a picacho	-86.11 dBm (Intermedia)	-99.68 dBm
------------------------------	-----------------------	-------------------------	------------

Fuente: HERRERA TORO, Michael.

Entre los resultados vistos en la figura 74 siguen conservando la lejanía entre los niveles de potencia con una leve diferencia entre las gráficas permitiendo observar la mejoría de señal de la antena sp610.

Figura 74. Estadística comparativa II entre simulaciones en doce de octubre



Fuente: HERRERA TORO, Michael.

Los resultados de la desviación estándar indican que la zona de cobertura realmente pequeña en la ubicación, los puntos de recepción están más cerca en una esa área concluyendo que las antenas de sp610 y LSP tienen similitud en la área y cobertura ocasionando que los puntos de recepción también tengan esa cercanía concluyendo valores similares en los resultados cómo se observa en la tabla 46.

Tabla 46. Resultado desviación estándar en Doce de octubre

Antena splatch	0.44	Antena LSP	0
----------------	------	------------	---

Fuente: HERRERA TORO, Michael.

6.3.3 Belén

Como se observa en la tabla 47 vemos los datos recogidos de la simulación con resultado intermedio en donde se escoge 5 ubicaciones diferentes pero iguales entre las dos simulaciones hechas con las diferentes antenas (splatch, LSP), su ubicación en coordenadas y donde se puede apreciar el rango de cobertura excelente regido por la potencia en las antenas de 35 y 28 dBm.

Tabla 47. Comparativa de resultados intermedio en Belén

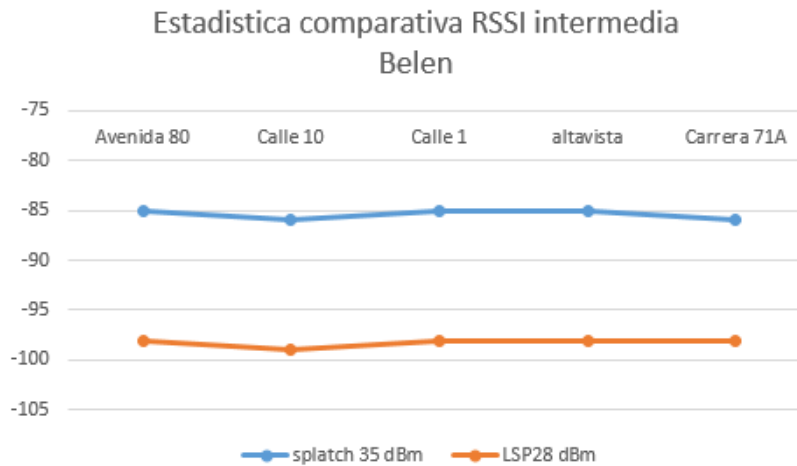
Coordenadas	Localidad	Potencia RSS (35dBm) ant splatch	Potencia RSS (28dBm) ant LSP
-------------	-----------	-------------------------------------	---------------------------------

06°13'30.55"N- 075°35'59.16"W	Avenida 80	-85.30 dBm (Intermedia)	-98.82 dBm
06°13'09.73"N- 075°35'51.01"W	Calle 10	-86.58 dBm (Intermedia)	-99.93 dBm
06°12'36.61"N- 075°35'49.47"W	Calle 1	-85.36 dBm (Intermedia)	-98.80 dBm
06°13'21.23"N- 075°36'38.58"W	altavista	-85.09 dBm (Intermedia)	-98.60 dBm
06°12'58.14"N- 075°35'44.06"W	Carrera 71A	-86.03 dBm (Intermedia)	-98.53 dBm

Fuente: HERRERA TORO, Michael.

Aunque con algo de lejanía entre los indicadores vistos en la figura 75 antena splatch sp610 sigue presentando mejor índice de señal intermedia que el otro indicador.

Figura 75. Estadística comparativa II entre simulaciones en Belén



Fuente: HERRERA TORO, Michael.

Los resultados de la desviación estándar indican que la zona de cobertura realmente pequeña en la ubicación, los puntos de recepción están más cerca en esa área concluyendo que las antenas de sp610 y LSP tienen similitud en la área y cobertura ocasionando que los puntos de recepción también tengan esa cercanía concluyendo valores cercanos entre sí como se observa en la tabla 48.

Tabla 48 Resultado desviación estándar en Belén

Antena splatch	0.54	Antena LSP	0.44
----------------	------	------------	------

Fuente: HERRERA TORO, Michael.

6.3.4 Poblado

Como se observa en la tabla 49 vemos los datos recogidos de la simulación con resultado intermedio en donde se escoge 5 ubicaciones diferentes pero iguales entre las dos simulaciones hechas con las diferentes antenas (splat, LSP), su ubicación en coordenadas y donde se puede apreciar el rango de cobertura excelente regido por la potencia en las antenas de 35 y 28 dBm.

Tabla 49. Comparativa de resultados intermedio en Poblado

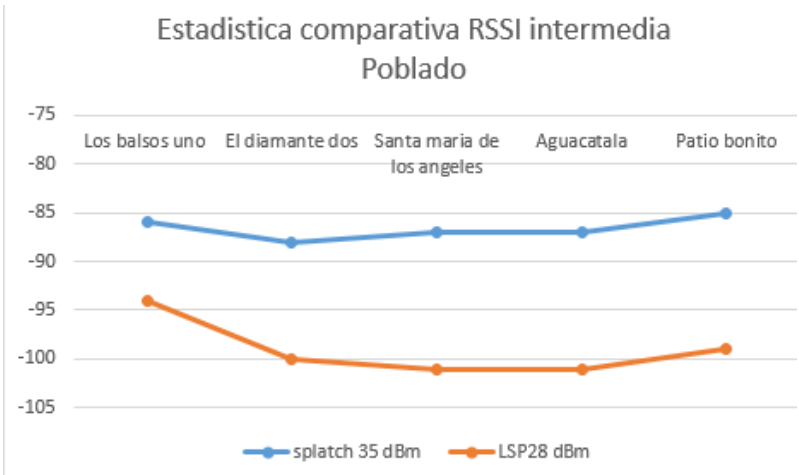
Coordenadas	Localidad	Potencia RSS (35dBm) ant splat	Potencia RSS (28dBm) ant LSP
06°11'13.73"N- 075°33'36.06"W	Los balsos N1	-86.69 dBm (Intermedia)	-94.09 dBm
06°11'07.59"N - 075°34'32.61"W	El diamante II	-88.33 dBm (Intermedia)	-100.27 dBm
06°11'24.18"N- 075°34'45.74"W	Santa maria de los angeles	-87.98 dBm (Intermedia)	-101.11 dBm
06°11'56.58"N- 075°34'40.48"W	Aguacatala	-87.96 dBm (Intermedia)	-101.58 dBm
06°12'22.01"N-	Patio bonito	-85.11 dBm (Intermedia)	99.51 dBm

075°34'20.22"W			
----------------	--	--	--

Fuente: HERRERA TORO, Michael.

Por lo visto en la figura 76 los niveles de señal de la antenna LSP siguen baja sobrepasando los -100 pasando de intermedia a pésima señal

Figura 76. Estadística comparativa II entre simulaciones en Poblado



Fuente: HERRERA TORO, Michael.

Los resultados de la desviación estándar indican que la zona de cobertura es pequeña, los puntos de recepción están más cerca en una esa área concluyendo que la antenna LSP tiene más amplitud en las áreas de cobertura en comparativa con la antenna sp610 según los datos de dispersión como se observa en la tabla 50.

Tabla 50. Resultado desviación estándar en Poblado

Antena splatch	1.14	Antena LSP	2.91
----------------	------	------------	------

Fuente: HERRERA TORO, Michael.

6.4 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS FINALES

En el análisis a partir de las gráficas se evidencia una mejor transmisión de la antena splatch sp610, debido a que se identifica cobertura en toda la ciudad, ciertas antenas daban cobertura a varias comunas; En comparación con la antena LSP ya que, en el momento de la simulación, la cobertura se redujo drásticamente, ocasionando que en casos se lograra cobertura total con la señal intermedia y en otros no se lograra cobertura total de la comuna

La revisión a partir de la desviación estándar indicando que la antena que tiene menor dispersión es la antena LSP, esto concluye que la zona de cobertura es pequeña, y los puntos de recepción están más cerca en esa área, en resultado de la antena sp610 los índices de dispersión son mayores en los que se evidencia un mayor rango de cobertura y de recepción en las áreas estudiadas.

Con respecto a la antena LSP, se evidenció que en ciertos casos puede ser aplicado o utilizado en estudios en los que se necesite niveles de transmisión para sistemas NB-IoT con un perfil demográfico más pequeño.

7 CONCLUSIONES

La caracterización de los indicadores de desempeño Se identificó que es importante porque en base a esa conclusión se utiliza para medir el éxito en la ejecución de actividades en una red NB-IoT acorde a los estándares internacionales establecidos.

En el diseño de los escenarios de prueba, se identificó que es importante la ubicación de la antena transmisora. Así mismo, la comparación de las dos potencias de las antenas permite evidenciar que al simular una antena con mayor potencia se tiene más cobertura. De esta forma, la potencia de la antena es un factor importante en la implementación de proyectos NB-IoT, solo la diferencia de -7 dBm influyo en la cobertura de media ciudad o media comuna. Se sugiere conocer previamente cuál antena se desplegará y que se tenga en cuenta la demografía del lugar.

En el desarrollo de las simulaciones NB-IoT se evidenció que en general se tiene buena cobertura, esto indica que la señal en esta tecnología es fuerte en lugares adversos con respecto al relieve y la penetración de edificios. Es importante resaltar que en zonas planas como en la comuna Guayabal, la potencia de la señal en general no fue tan fuerte, lo que implica que esta tecnología tiene mayor desvanecimiento para este tipo de relieves.

Se concluye que los terrenos y la ubicación de la antena afectan la propagación de las señales inalámbricas. La cobertura de una sola antena ubicada cerca de las montañas obtuvo una cobertura de casi media ciudad, inclusive a municipios por fuera del área urbana, sin embargo, la antena que se ubica en una zona urbana, la mayor parte de la señal se ubica en un rango intermedio de potencia y no tiene un mayor alcance.

IoT está en muchos hogares de países como estados unidos, cuando se implemente en países pertenecientes al tercer mundo lo ideal sería que se implemente con el estándar 5G, mientras se implementa dicho estándar, es muy probable que el país adopte la tecnología LTE-M ya que maneja más ancho de banda, es apto para móviles y maneja datos de información superiores a NB-IoT. NB-IoT se recomienda más para empresas de servicios públicos o privados ya que la calidad de servicio y fiabilidad de los datos es mejor.

Como conclusión la implementación de una red Narrowband-IoT dependerá a quien va dirigido, y un operador podrá tener diferentes tipos de tecnologías que habiliten 5G.

8 REFERENCIAS

ALCALDÍA DE MEDELLÍN. Perfil Demográfico por barrio Comuna 1 Popular. [En línea]. [2015]. Disponible en internet: https://www.medellin.gov.co/irj/go/km/docs/pccdesign/SubportaldelCiudadano_2/PlandeDesarrollo_0_17/IndicadoresyEstadsticas/Shared%20Content/Documentos/ProyeccionPoblacion2016-2020/Perfil%20Demogr%C3%A1fico%20Barrios%202016%20%E2%80%93%202020%20Comuna_01_Popular.pdf

ALCALDÍA DE MEDELLÍN. comuna 6 doce de octubre. [En línea]. [S, F]. Disponible en internet: <https://www.medellin.gov.co/irj/go/km/docs/pccdesign/medellin/Temas/PlaneacionMunicipal/Publicaciones/Shared%20Content/Documentos/2021/Comuna%206%20Doce%20de%20Octubre-Ficha%20Informativa.pdf>

ALCALDÍA DE MEDELLÍN. Perfil Demográfico Comuna 16 Belén. [En línea]. [2015]. Disponible en internet: https://www.medellin.gov.co/irj/go/km/docs/pccdesign/SubportaldelCiudadano_2/PlandeDesarrollo_0_17/IndicadoresyEstadsticas/Shared%20Content/Documentos/ProyeccionPoblacion2016-2020/Perfil%20Demogr%C3%A1fico%202016%20-%202020%20Comuna%2016_Belen.pdf

ALCALDÍA DE MEDELLÍN. Perfil Demográfico Comuna 14 el poblado. [En línea]. [S, F]. Disponible en internet: <https://www.medellin.gov.co/irj/go/km/docs/pccdesign/SubportaldelCiudadano>

_2/PlandeDesarrollo_0_17/IndicadoresyEstadsticas/Shared%20Content/Documentos/ProyeccionPoblacion2016-2020/Perfil%20Demogr%C3%A1fico%202016%20-%202020%20Comuna%2014_EI%20Poblado.pdf

ALCALDÍA DE MEDELLÍN. Perfil sociodemográfico Comuna 15 Guayabal. [En línea]. [2015]. Disponible en internet: https://www.medellin.gov.co/irj/go/km/docs/pccdesign/SubportaldelCiudadano_2/PlandeDesarrollo_0_17/IndicadoresyEstadsticas/Shared%20Content/Documentos/ProyeccionPoblacion2016-2020/Perfil%20Demogr%C3%A1fico%20Barrios%202016%20%E2%80%93%202020%20Comuna_15_Guayabal.pdf

, ÁLVAREZ, Cristian. Concejo de Medellín aprobó “mínimo vital” de internet para la ciudad. [En línea]. [2022]. Disponible en internet: <https://www.elcolombiano.com/antioquia/aprobaron-minimo-vital-de-internet-para-medellin-CL18139685>

ANONIMO. Medellín ciudad de la eterna primavera. [En línea]. [S,F]. Disponible en internet: <http://medellintespera.blogspot.com/p/mapa-de-medellin-con-barrios-y-comunas.html>

ANONIMO. okumura-hata. [En línea]. [S, F]. Disponible en internet: <https://www.xirio-online.com/web/help/es/okumura-hata.htm>

ANONIMO. Low power cellular IoT. [En línea]. [S, F]. Disponible en internet: https://www.nordicsemi.com/Products/Low-power-cellular-IoT/What-is-cellular-IoT?utm_term=cellular%20iot&utm_campaign=C_ALL_GE_US&utm_source=

adwords&utm_medium=ppc&hsa_tgt=kwd-300970811442&hsa_grp=140041011057&hsa_src=g&hsa_net=adwords&hsa_mt=b&hsa_ver=3&hsa_ad=626926857106&hsa_acc=1116845495&hsa_kw=cellular%20iot&hsa_cam=18540981751&gclid=CjwKCAjwKmaBhBMEiwAyINuwA18CnjGituQR4diwUkHMmrbOnVB7VvxqUWeYHUGC_8P9zW5_vezlhoCN8wQAvD_BwE

ARÉVALO PEÑA, Juan Felipe y GARCÍA BERNAL, Edgar Andrés. Simulación y análisis de protocolos de transmisión para IoT utilizando herramientas de simulación de redes inalámbricas. [En línea]. [2019]. Disponible en internet: <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/25689/Garc%C3%ADaBernalEdgarAndr%C3%A9s2019.pdf?sequence=7&isAllowed=y>

BASCUAS, Guillermo. Internet of Things (IoT) en China. [En línea]. [2020]. Disponible en internet: <https://www.icex.es/icex/GetDocumento?dDocName=DOC2020852724&urlNoAcceso=/icex/es/registro/iniciar-sesion/index.html?urlDestino=https://www.icex.es:443/icex/es/navegacion-principal/todos-nuestros-servicios/informacion-de-mercados/estudios-de-mercados-y-otros-documentos-de-comercio-exterior/index.html&site=icexES>

BOTERO, Natalia E. Medellín se conecta, pero falta potenciar internet. [En línea]. [2013]. Disponible en internet: https://www.elcolombiano.com/historico/medellin_se_conecta_pero_falta_potenciar_internet-AAEC_272020

CAMPOS, Fernando. LPWAN: qué son y para qué se utilizan. [En línea]. [2020]. Disponible en internet:

<https://www.m2mlogitek.com/lpwan-que-son-y-para-que-se-utilizan/>

CASTILLO, Octavio. Que es Narrowband. [En línea]. [S, F]. Disponible en internet:
<https://www.telcel.com/empresas/tendencias/notas/que-es-narrowband>

CASTILLO, Octavio. El Internet de las Cosas se está valiendo de una diversidad de redes y plataformas para funcionar, LTE-M es una de ellas. [En línea]. [S, F]. Disponible en internet:
<https://www.telcel.com/empresas/tendencias/notas/ltem-red-de-maquinas>

CLARO. Red NB-IoT. [En línea]. [2020]. Disponible en internet:
<https://www.claro.com.co/empresas/sectores/noticias-interes/nb-iot/>

COLOMBIANO. En Colombia, redes 5G estarán listas en 2022. [En línea]. [2019]. Disponible en internet:
<https://www.mintic.gov.co/portal/inicio/Sala-de-prensa/MinTIC-en-los-medios/101472:En-Colombia-redes-5G-estaran-listas-en-2022>

EDITORIAL ETECÉ. Internet. [En línea]. [2021]. Disponible en internet:
<https://concepto.de/internet/>

EQUIPO EDITORIAL, Etecé. 1NCE anuncia la ampliación de su cobertura NB-IoT a nuevos países de todo el mundo. [En línea]. [2021]. Disponible en internet:
<https://www.esmartcity.es/2022/06/24/1nce-anuncia-ampliacion-cobertura-nb-iot-nuevos-paises-todo-mundo>

FARSHID, Sanei y HAMED, Farbeh. A link adaptation scheme for reliable downlink communications in narrowband IoT. [En línea]. [2021]. Disponible en internet:

<https://www-sciencedirect-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/science/article/pii/S0026269221001658>

FERNANDEZ PRIETO, Jose A. A Systematic Analysis of Narrowband IoT Quality of Service. [En línea]. [2020]. Disponible en internet: <https://www-webofscience-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/wos/woscc/full-record/WOS:000529139700095>

FERRERAS, Paola. El mapa de 5G, ¿en qué países ya se implementa esta tecnología? [En línea]. [2021]. Disponible en internet: <https://www.revistamercado.do/tecnologia/el-mapa-de-5g-en-que-paises-ya-se-implementa-esta-tecnologia>

Glansa Solution. Internet of Things Solution. [En línea]. [S,F]. Disponible en internet: <https://www.indiamart.com/proddetail/narrow-band-internet-of-things-nb-iot-service-17328372288.html>

HUAWEI. Descripción de RSSI y SNR para equipos WLAN de Huawei [En línea]. [2019]. Disponible en internet: <https://forum.huawei.com/enterprise/es/descripci%C3%B3n-de-rssi-y-snr-para-equipos-wlan-de-huawei/thread/510787-100239>

MINISTERIO TIC OFICINA TI GESTIÓN DE INFORMACIÓN. Cobertura móvil por tecnología, departamento y municipio por proveedor. [En línea]. [2022]. Disponible en internet: <https://www.datos.gov.co/Ciencia-Tecnolog-a-e-Innovaci-n/Cobertura-m-vil-por-tecnolog-a-departamento-y-muni/9mey-c8s8>

MICO, Josep L. IoT y 5G, dos ritmos distintos de implantación. [En línea]. [2020]. Disponible en internet: <https://www.lavanguardia.com/tecnologia/20200711/482206308003/iot-5g-dos-ritmos-implantacion.html>

MORE, Javier. ¿Cuánto Ancho de Banda usas para navegar por 4G-LTE?. [En línea]. [2016]. Disponible en internet: <https://gadgerss.com/2016/12/08/cuanto-ancho-banda-usas-navegar-4g-lte/>

ORACLE. que es lot. [En línea]. [2022]. Disponible en internet: <https://www.oracle.com/co/internet-of-things/what-is-iot/>

PALACIOS IBARRA, María Alejandra y ZÚÑIGA PÉREZ, Stefhany Lucía. análisis de tecnologías radio para la transmisión de información al usuario de un sistema de control de flotas. [En línea]. [2019]. Disponible en internet: <http://repositorio.unicauca.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1652/AN%C3%81LISIS%20DE%20TECNOLOG%C3%8DAS%20RADIO%20PARA%20LA%20TRANSMISI%C3%93N%20DE%20INFORMACI%C3%93N%20AL%20USUARIO.pdf?sequence=1>

PERUZZO G y POZZEBON A. Combining LoRaWAN and NB-IoT for Edge-to-Cloud Low Power Connectivity Leveraging on Fog Computing. [En línea]. [2022]. Disponible en internet: https://www-scopus-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/record/display.uri?eid=2-s2.0-85123637568&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=narrowband+iot&sid=aac06cab9869185b145e78b700c91031&so t=b&sdt=b&sl=29&s=TITLE-ABS-KEY%28narrowband+iot%29&relpos=5&citeCnt=0&searchTerm=&featureToggles=FEATURE_NEW_DOC_DETAILS_EXPORT:1

PERUZZO G, et al. LoRaWAN Versus NB-IoT: Transmission Performance Analysis Within Critical Environments. [En línea]. [2022]. Disponible en internet: https://www-scopus-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/record/display.uri?eid=2-s2.0-85105860296&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=narrowband+iot&sid=aac06cab9869185b145e78b700c91031&sort=b&sdt=b&sl=29&s=TITLE-ABS-KEY%28narrowband+iot%29&relpos=6&citeCnt=7&searchTerm=&featureToggles=FEATURE_NEW_DOC_DETAILS_EXPORT:1

R GNANASELVAM y M,S VASANTHI. Signal coverage analysis with link adaptation in Narrowband-Io [En línea]. [2022]. Disponible en internet: <https://www-sciencedirect-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/science/article/pii/S221053792100127X>

RODRÍGUEZ, Juan David; BAUTISTA, Juan Carlos y SOTOMONTE Lorena. Xirio: Herramienta para la planeación de redes de comunicaciones móviles celulares. [En línea]. [2018]. Disponible en internet: <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/13741/RodriguezMeloJuanDavid2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

SACRISTÁN, Laura. Telefónica instalará en España 450.000 contadores inteligentes de agua con tecnología NB-IoT. [En línea]. [2021]. Disponible en internet: <https://www.xatakamovil.com/movistar/telefonica-instalara-espana-450-000-contadores-inteligentes-agua-tecnologia-nb-iot>

SIGNALS IOT. Debuta la primera red privada NB-IoT independiente sobre 700 MHz en EEUU. [En línea]. [2019]. Disponible en internet: <https://signalsiot.com/debuta-la-primera-red-privada-nb-iot-independiente-sobre-700-mhz-en-eeuu/>

SMART DIGITAL MACHINE. ¿Qué implicaciones tiene NB-IoT?. [En línea]. [2022]. Disponible en internet: <https://connectyourdevice.online/nb-iot/>

TECHPLAYON. NB-IoT Frequency Bands (As per 3GPP Rel. 13, 14 and 15). [En línea]. [2018]. Disponible en internet: <https://www.techplayon.com/nb-iot-frequency-bands-as-per-3gpp-rel-13-14-and-15/>

T-MOBIEL. Verifica la cobertura para IoT de banda estrecha (NB). [En línea]. [S, F]. Disponible en internet: <https://es.t-mobile.com/business/solutions/iot/nb-iot-coverage-map>

UIT. El 5.5G se comercializará masivamente en 2025. [En línea]. [2022]. Disponible en internet: <https://criteriosdigital.com/tecnologia/empresarial/uit-el-5-5g-se-comercializara-masivamente-en-2025/>

VODAFONE. Mapa de Cobertura Móvil Vodafone. [En línea]. [S, F]. Disponible en internet: https://www.saladeprensa.vodafone.es/c/notas-prensa/np_tecnologias_job/