

E.T.S. de Ingeniería Industrial, Informática y de
Telecomunicación

Análisis y Optimización de la Red TETRA del Gobierno de Navarra



Grado en Ingeniería
en Tecnologías de Telecomunicación

Trabajo Fin de Grado

Iñaki Martín Onis

Dr. Francisco Javier Falcone Lanas

Pamplona, 30 de junio de 2016



RESUMEN

En este Trabajo Fin de Grado se propone el estudio de caracterización radioeléctrica de la red TETRA de Gobierno de Navarra.

Principalmente estará centrado en estaciones ubicadas en entornos urbanos susceptibles de experimentar un elevado grado de interferencia.

Se realizarán medidas de canal radio, así como la comparación con diversos modelos analíticos (Okumura-Hasta y COST 231 Walfisch-Ikegami) y con simulaciones en entorno RadioMobile (Longley Rice).

Adicionalmente, se estudiará la viabilidad de extensión de cobertura TETRA mediante el empleo de extensores/repetidores de cobertura en algunos lugares como Castejón o Alsasua.

Así mismo, se tratará de solucionar posibles problemas de cobertura en Estella y Pamplona, realizando traslados de estaciones base o simplemente cambiando la configuración de las estaciones ya existentes.

ABSTRACT

In this Final Project is proposed the study of characterization of the TETRA radio network of Government of Navarra.

Mainly it will focus on stations in urban environments susceptible to experience a high degree of interference.

Channel radio measurements made, as well as comparison with various analytical models (Okumura-Hasta y COST 231 Walfisch-Ikegami) and simulations RadioMobile (Longley Rice) environment.

In addition, the viability of extending coverage by employing TETRA extenders/repeaters coverage in places like Castejon or Alsasua is studied.

Likewise, it will be possible to solve coverage problems in Estella and Pamplona, making transfers of base stations or simply by changing the settings of existing stations.

LISTADO DE PALABRAS CLAVE

- TETRA
- Estación base
- Antena
- Cobertura
- Radioenlace
- Potencia recibida
- Ampliador de cobertura
- Azimut
- Sensibilidad
- Terminal
- Modelo de propagación
- Okumura-Hata
- COST 231 Walfisch-Ikegami
- Radio Mobile

ÍNDICE

RESUMEN	2
ABSTRACT	2
LISTADO DE PALABRAS CLAVE	3
ÍNDICE.....	4
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE TABLAS	15
1. INTRODUCCIÓN	18
2. OBJETIVOS.....	21
3. ESTADO DEL ARTE.....	23
3.1. INTRODUCCIÓN [3]	23
3.2. SISTEMA DE COMUNICACIONES TETRA	24
3.2.1. ESTÁNDARES TETRA [3].....	24
3.2.2. ESTRUCTURA DE LA RED	24
3.2.3. INTERFACES [4][3][8]	26
3.2.4. MODOS DE COMUNICACIÓN [3]	27
3.2.5. MODOS DE OPERACIÓN [4][3][9].....	27
3.2.6. TIPOS DE CANALES [4][5]	29
3.2.7. TIPOS DE LLAMADAS [3][9]	29
3.3. MODELOS DE PROPAGACIÓN	30
3.3.1. INTRODUCCIÓN.....	30
3.3.2. OKUMURA-HATA [13]	31
3.3.3. COST 231 WALFISCH-IKEGAMI.....	33
3.3.4. LONGLEY RICE	35
3.4. AMPLIADOR DE COBERTURA [3]	36
4. DISEÑO, SIMULACIONES Y MEDIDAS	37
4.2. INTRODUCCIÓN	37
4.3. BALANCE DE POTENCIA	38
4.4. RADIO MOBILE [19].....	39
4.4.1. CONFIGURACION DE LA RED	39
4.4.2. EXTRACCIÓN DEL MAPA	40
4.4.3. DEFINICIÓN DE SISTEMAS.....	41

4.4.4.	INTRODUCCIÓN DE LAS UNIDADES	42
4.4.5.	ASIGNACIÓN DE UNIDADES A LA RED	42
4.4.6.	LAND COVER	43
4.4.7.	SIMULACIONES	44
4.4.7.1.	SIMULACIÓN DE COBERTURA	44
4.4.7.2.	RADIOENLACES	46
4.4.7.3.	SIMULACIONES DE COBERTURA EN UNA RUTA [20].....	47
4.4.7.4.	INTERFERENCIAS	48
4.5.	MATERIAL EMPLEADO PARA LAS MEDICIONES [1]	49
4.6.	ESTIMACIÓN DE COBERTURA MEDIANTE MODELOS EMPÍRICOS .	51
4.6.1.	ZONA BURLADA-VILLAVA.....	52
4.6.1.1.	SIMULACIÓN LONGLEY RICE (RADIO ROBILE).....	52
4.6.1.2.	SIMULACIÓN OKUMURA-HATA.....	55
4.6.1.3.	SIMULACIÓN COST 231 WALFISCH-IKEGAMI	59
4.6.1.4.	CONCLUSIONES	63
4.6.2.	RESUMEN DEL RESTO DE ZONAS	64
4.7.	RESULTADOS RADIO MOBILE Y MEDICIONES	65
4.7.1.	ALSASUA.....	65
4.7.2.	ESTELLA.....	68
4.7.3.	CASTEJÓN	70
4.7.4.	BADOSTÁIN.....	72
4.7.5.	TUDELA	74
4.8.	PROPUESTAS	76
4.8.1.	ALSASUA.....	77
4.8.2.	CASTEJÓN	86
4.8.3.	ESTELLA.....	90
4.8.4.	BADOSTÁIN.....	94
4.8.5.	TUDELA	99
5.	CONCLUSIONES	102
6.	LÍNEAS FUTURAS	103
7.	REFERENCIAS	104
8.	ANEXOS.....	106
	ANEXO I: ESTIMACIÓN DE COBERTURA MEDIANTE MODELOS EMPÍRICOS. RESTO DE ZONAS	106

I. Zona Barañáin-Berriozar-Ansoáin.....	106
II. Gorraiz	117
III. Huarte	125
IV. Castejón.....	131
V. Tudela	135
VI. Estella.....	138
VII. Alsasua	140
ANEXO II: RESULTADOS RADIO MOBILE.....	143
I. Alsasua.....	143
II. Castejón	145
III. Estella.....	149
ANEXO III: HOJAS DE CARACTERÍSTICAS.	154

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Estaciones base de la red TETRA del Gobierno de Navarra. Fuente: Google Earth	19
Figura 1.2. Cobertura de la red TETRA del Gobierno de Navarra. Fuente: Google Earth	19
Figura 1.3. Diagrama de la red TETRA del Gobierno de Navarra. Fuente: [1]	20
Figura 2.1. Zonas sometidas a estudio. Fuente: Google Earth	21
Figura 3.1. Estructura de las tramas TDMA. Fuente: ETSI [4].....	26
Figura 3.2. Modo de operación TMO. Fuente: [3]	28
Figura 3.3. Modo de operación DMO y Gateway DMO. Fuente: [3]	28
Figura 3.4. Condiciones para tomar una zona como urbana con edificios muy altos. Fuente: ITU-R P.1411-7	31
Figura 3.5. Condiciones para tomar una urbanización como urbana, suburbana, residencial o rural. Fuente: ITU-R P.1411-7	32
Figura 3.5. Parámetros en el modelo COST 231 Walficsh-Ikegami. Fuente: [15]	35
Figura 3.6. Diagrama de bloques de un amplificador de cobertura. Fuente: [3]	37
Figura 4.1. Propiedades de la red. Fuente: Radio Mobile	39
Figura 4.2. Extracción de un mapa en Radio Mobile. Fuente: Radio Mobile.	40
Figura 4.3. Configuración de los parámetros de red en Radio Mobile. Fuente: Radio Mobile.....	41
Figura 4.4. Propiedades de las unidades en Radio Mobile. Fuente: Radio Mobile.....	42
Figura 4.5. Asignación de unidades en Radio Mobile. Fuente: Radio Mobile.....	43
Figura 4.6. Parámetros Land Cover en Radio Mobile. Fuente: Radio Mobile.....	44
Figura 4.7. Simulación de cobertura en Radio Mobile. Fuente: Radio Mobile.....	45
Figura 4.8. Resultado de simulación radioenlace en Radio Mobile. Fuente: Radio Mobile.....	46
Figura 4.9. Resultado de simulación de cobertura en ruta en Radio Mobile. Fuente: Radio Mobile.	47
Figura 4.10. Simulación tipo ruta en Radio Mobile. Fuente: Radio Mobile.	48
Figura 4.11. Cálculo de mapa de interferencia en Radio Mobile. Fuente: Radio Mobile	48
Figura 4.12. Terminal de mano empleado para realizar las mediciones. Fuente: propia.	49
Figura 4.13. Terminal móvil empleado para hacer mediciones. Fuente: propia.	50

Figura 4.14. Antena empleada para las mediciones. Fuente: propia.	50
Figura 4.15. Tablet con el programa "Tetralog". Fuente: propia.	50
Figura 4.16. Recorrido realizado en las mediciones de Burlada y Villava. Fuente: Google Earth.....	52
Figura 4.17. Potencia máxima recibida simulada y medida. Fuente: propia.....	53
Figura 4.18. Potencia simulada y medida de la estación base de San Cristóbal. Fuente: propia.....	53
Figura 4.18. Potencia simulada y medida de la estación base de Hacienda. Fuente: propia.....	54
Figura 4.19. Potencia simulada y medida de la estación base de la Higa. Fuente: propia	54
Figura 4.20. Potencia simulada y medida de la estación base de la Beloso. Fuente: propia.....	55
Figura 4.21. Simulación Okumura-Hata San Cristóbal. Fuente: propia.....	56
Figura 4.22. Simulación Okumura-Hata Hacienda. Fuente: propia.....	57
Figura 4.23. Simulación Okumura-Hata Higa. Fuente: propia.....	57
Figura 4.24. Simulación Okumura-Hata Beloso. Fuente: propia.....	58
Figura 4.25. Potencia simulada San Cristóbal (COST 231 Walfisch-Ikegami). Fuente: propia.....	60
Figura 4.26. Potencia simulada Hacienda (COST 231 Walfisch-Ikegami). Fuente: propia.....	60
Figura 4.27. Potencia simulada Higa (COST 231 Walfisch-Ikegami). Fuente: propia..	61
Figura 4.28. Potencia simulada Beloso (COST 231 Walfisch-Ikegami). Fuente: propia	61
Figura 4.29. Escala potencias cobertura Radio Mobile. Fuente: Radio Mobile.....	66
Figura 4.30. Simulación de cobertura de la estación base de Aralar sobre Alsasua. Fuente: Google Earth.....	66
Figura 4.31. Mediciones realizadas en Alsasua. Fuente: Google Earth.....	67
Figura 4.32. Código de colores en función de la potencia recibida (dBm). Fuente: Google Earth.....	68
Figura 4.33. Simulación de cobertura en la zona de Estella proporcionada por la estación base de Eulz. Fuente: Google Earth.....	69
Figura 4.34. Mediciones realizadas en el pueblo de Estella. Fuente Google Earth.....	69
Figura 4.35. Simulación de cobertura sobre Castejón proporcionada por la estación base de Yerga. Fuente: Google Earth.....	70
Figura 4.36. Simulación de cobertura sobre Castejón proporcionada por la estación base de Peralta. Fuente: Google Earth.....	71

Figura 4.37. Medición en Castejón. Fuente: Google Earth	71
Figura 4.38. Simulación de cobertura proporcionada por la estación base de Beloso sobre la zona de Pamplona. Fuente: Google Earth.....	73
Figura 4.39. Simulación de cobertura proporcionada por la estación base de Abejeras sobre la zona de Pamplona. Fuente: Google Earth.....	73
Figura 4.40. Simulación de cobertura proporcionada por la estación base de Badostáin sobre la zona de Pamplona. Fuente: Google Earth.....	74
Figura 4.41. Simulación de cobertura proporcionada por Canraso sobre Tudela. Fuente: Google Earth.....	75
Figura 4.42. Mediciones realizadas en Tudela. Fuente: Google Earth.....	75
Figura 4.43. Perfil de elevación entre Canraso y el sur de Tudela. Fuente: Google Earth	76
Figura 4.44. Posibles emplazamientos para el amplificador de cobertura en Alsasua. Fuente: Google Earth.....	77
Figura 4.45. Radio enlace entre Aralar y Bomberos Alsasua. Fuente: Radio Mobile....	78
Figura 4.46. Radio enlace entre Bomberos Alsasua y Aralar. Fuente: Radio Mobile ...	79
Figura 4.47. Cobertura en Alsasua con amplificador en Bomberos. Fuente: Google Earth80	
Figura 4.48. Interferencia producida entre Aralar y Bomberos Alsasua. Fuente: Google Earth	80
Figura 4.49. Cobertura en Alsasua con amplificador en Albergue. Fuente: Google Earth	82
Figura 4.50. Interferencia producida entre Aralar y Albergue. Fuente: Google Earth...	82
Figura 4.51. Cobertura amplificador Ayuntamiento Alsasua. Fuente: Google Earth.....	84
Figura 4.52. Interferencia producida entre Aralar y Ayuntamiento Alsasua.....	84
Figura 4.53. Ruta por Alsasua. Fuente: Google Earth.....	85
Figura 4.54. Comparación de las tres posibles soluciones de Alsasua.....	85
Figura 4.55. Posibles emplazamientos del amplificador en Castejón. Fuente: Google Earth	86
Figura 4.56. Cobertura amplificador situado en la torre de Vodafone. Fuente: Google Earth	88
Figura 4.57. Cobertura amplificador situado en el Polideportivo municipal. Fuente: Google Earth	89
Figura 4.58. Cobertura amplificador situado en ayuntamiento de Castejón. Fuente: Google Earth	89
Figura 4.59. Situación de Eulz y Estella. Fuente: Google Earth	90
Figura 4.60. Posibles emplazamientos de la estación base. Fuente: Google Earth	91
Figura 4.61. Ruta realizada por Estella. Fuente: Google Earth	92

Figura 4.62. Cobertura de la estación base de Eulz con el cambio de antena propuesto y azimut 130°. Fuente Google Earth.....	93
Figura 4.63. Posición de las estaciones base de Abejeras, Beloso y Badostáin. Fuente: Google Earth.....	95
Figura 4.64. Cobertura que proporcionaría la estación base situada en el depósito de aguas de Badostáin. Fuente: Google Earth.....	95
Figura 4.65. Ruta por Ansoáin diseñada para la simulación. Fuente: Google Earth.....	96
Figura 4.66. Comparación entre Beloso y Badostáin del nivel de potencia simulado. Fuente: propia.....	97
Figura 4.67. Ruta por la zona de El Sadar. Fuente: Google Earth.....	97
Figura 4.68. Gráfica comparativa entre la estación de Abejeras y la de Badostáin. Fuente: propia.....	98
Figura 4.69. Ruta por la zona de la estación de Abejeras y localización de esta última. Fuente Google Earth.....	98
Figura 4.70. Comparación de la potencia recibida en la zona de Abejeras. Fuente: propia.....	99
Figura 4.71. Localización en el mapa del Volandín. Fuente: Google Earth.....	100
Figura 4.72. Cobertura que proporcionaría una estación base situada en el Volandín. Fuente: Google Earth.....	101
Figura 8.1. Recorrido realizado por Barañáin, Berriozar y Ansoáin con los niveles de potencia recibidos. Fuente: Google Earth.....	106
Figura 8.2. Comparación máximo simulado y medido zona Barañáin, Berriozar, Ansoáin. Fuente: propia.....	107
Figura 8.3. Potencia simulada y medida de la estación base de Entel zona Barañáin, Berriozar y Ansoáin. Fuente: propia.....	107
Figura 8.4. Potencia simulada y medida de la estación base de San Cristóbal zona Barañáin, Berriozar y Ansoáin. Fuente: propia.....	108
Figura 8.5. Potencia simulada y medida de la estación base de Higa zona Barañáin, Berriozar y Ansoáin. Fuente: propia.....	108
Figura 8.6. Potencia simulada y medida de la estación base de Basoko zona Barañáin, Berriozar y Ansoáin. Fuente: propia.....	109
Figura 8.7. Potencia simulada y medida de la estación base de Hacienda zona Barañáin, Berriozar y Ansoáin. Fuente: propia.....	109
Figura 8.8. Potencia simulada y medida de la estación base de Beloso zona Barañáin, Berriozar y Ansoáin. Fuente: propia.....	110
Figura 8.9. Potencia simulada y medida de la estación base de Entel zona Barañáin, Berriozar y Ansoáin con Okumura-Hata. Fuente: propia.....	111

Figura 8.10. Potencia simulada y medida de la estación base de San Cristóbal zona Barañáin, Berriozar y Ansoáin con Okumura-Hata. Fuente: propia.	111
Figura 8.11. Potencia simulada y medida de la estación base de Higa zona Barañáin, Berriozar y Ansoáin con Okumura-Hata. Fuente: propia.....	112
Figura 8.12. Potencia simulada y medida de la estación base de Basoko zona Barañáin, Berriozar y Ansoáin con Okumura-Hata. Fuente: propia.....	112
Figura 8.13. Potencia simulada y medida de la estación base de Hacienda zona Barañáin, Berriozar y Ansoáin con Okumura-Hata. Fuente: propia.	113
Figura 8.14. Potencia simulada y medida de la estación base de Beloso zona Barañáin, Berriozar y Ansoáin con Okumura-Hata. Fuente: propia.....	113
Figura 8.15. Potencia simulada y medida de la estación base de Entel zona Barañáin, Berriozar y Ansoáin con COST 231 Walfisch-Ikegami. Fuente: propia.....	114
Figura 8.16. Potencia simulada y medida de la estación base de San Cristóbal zona Barañáin, Berriozar y Ansoáin con COST 231 Walfisch-Ikegami. Fuente: propia.	114
Figura 8.17. Potencia simulada y medida de la estación base de Higa zona Barañáin, Berriozar y Ansoáin con COST 231 Walfisch-Ikegami. Fuente: propia.....	115
Figura 8.18. Potencia simulada y medida de la estación base de Entel zona Barañáin, Berriozar y Ansoáin con COST 231 Walfisch-Ikegami. Fuente: propia.....	115
Figura 8.19. Potencia simulada y medida de la estación base de Hacienda zona Barañáin, Berriozar y Ansoáin con COST 231 Walfisch-Ikegami. Fuente: propia.	116
Figura 8.20. Potencia simulada y medida de la estación base de Beloso zona Barañáin, Berriozar y Ansoáin con COST 231 Walfisch-Ikegami. Fuente: propia.....	116
Figura 8.21. Recorrido realizado por Gorráiz con los niveles de potencia recibidos. Fuente: Google Earth.....	117
Figura 8.22. Comparación máximo simulado y medido zona Barañáin, Berriozar, Ansoáin. Fuente: propia.....	117
Figura 8.23. Potencia simulada y medida de la estación base de San Cristóbal zona Gorraiz. Fuente: propia.....	118
Figura 8.24. Potencia simulada y medida de la estación base de Higa zona Gorraiz. Fuente: propia.	118
Figura 8.25. Potencia simulada y medida de la estación base de Hacienda zona Gorraiz. Fuente: propia.	119
Figura 8.26. Potencia simulada y medida de la estación base de Beloso zona Gorraiz. Fuente: propia.	119
Figura 8.27. Potencia simulada y medida de la estación base de Basoko zona Gorraiz. Fuente: propia.	119
Figura 8.28. Potencia simulada y medida de la estación base de San Cristóbal zona Gorraiz con Okumura-Hata. Fuente: propia.	120

Figura 8.29. Potencia simulada y medida de la estación base de Hacienda zona Gorraiz con Okumura-Hata. Fuente: propia.	120
Figura 8.30. Potencia simulada y medida de la estación base de Higa zona Gorraiz con Okumura-Hata. Fuente: propia.	121
Figura 8.31. Potencia simulada y medida de la estación base de Beloso zona Gorraiz con Okumura-Hata. Fuente: propia.	121
Figura 8.32. Potencia simulada y medida de la estación base de Basoko zona Gorraiz con Okumura-Hata. Fuente: propia.	121
Figura 8.33. Potencia simulada y medida de la estación base de San Cristóbal con COST 231 Walfisch-Ikegami. Fuente: propia.	122
Figura 8.34. Potencia simulada y medida de la estación base de Hacienda con COST 231 Walfisch-Ikegami. Fuente: propia.	123
Figura 8.35. Potencia simulada y medida de la estación base de Higa con COST 231 Walfisch-Ikegami. Fuente: propia.	123
Figura 8.36. Potencia simulada y medida de la estación base de Beloso con COST 231 Walfisch-Ikegami. Fuente: propia.	124
Figura 8.37. Potencia simulada y medida de la estación base de Basoko con COST 231 Walfisch-Ikegami. Fuente: propia.	124
Figura 8.38. Potencia recibida y ruta realizada por Huarte. Fuente: Google Earth.....	125
Figura 8.39. Potencia máxima medida y simulada en Huarte	125
Figura 8.40. Potencia simulada y medida de la estación base de San Crstóbal con Radio Mobile. Fuente: propia.	126
Figura 8.41. Potencia simulada y medida de la estación base de Higa con Radio Mobile. Fuente: propia.	126
Figura 8.42. Potencia simulada y medida de la estación base de Hacienda con Radio Mobile. Fuente: propia.	127
Figura 8.43. Potencia simulada y medida de la estación base de San Cristóbal con Okumura-Hata. Fuente: propia.	127
Figura 8.44. Potencia simulada y medida de la estación base de Hacienda con Okumura-Hata. Fuente: propia.	128
Figura 8.45. Potencia simulada y medida de la estación base de Higa con Okumura-Hata. Fuente: propia.	128
Figura 8.46. Potencia simulada y medida de la estación base de San Cristóbal con COST 231 Walfisch-Ikegami. Fuente: propia.	129
Figura 8.47. Potencia simulada y medida de la estación base de Hacienda con COST 231 Walfisch-Ikegami. Fuente: propia.	129
Figura 8.48. Potencia simulada y medida de la estación base de Higa con COST 231 Walfisch-Ikegami. Fuente: propia.	130

Figura 8.49. Potencia recibida y ruta realizada por Castejón. Fuente: Google Earth...	131
Figura 8.50. Potencia máxima medida y simulada en Castejón con Radio Mobile	131
Figura 8.51. Potencia simulada y medida de la estación base de Yerga con Radio Mobile. Fuente: propia.	132
Figura 8.52. Potencia simulada y medida de la estación base de Peralta con Radio Mobile. Fuente: propia.	132
Figura 8.53. Potencia simulada y medida de la estación base de Yerga con Okumura-Hata. Fuente: propia.	133
Figura 8.54. Potencia simulada y medida de la estación base de Peralta con Okumura-Hata. Fuente: propia.	133
Figura 8.55. Potencia simulada y medida de la estación base de Yerga con COST 231 Walfisch-Ikegami. Fuente: propia.	134
Figura 8.56. Potencia simulada y medida de la estación base de Peralta con COST 231 Walfisch-Ikegami. Fuente: propia.	134
Figura 8.57. Potencia recibida y ruta realizada por Tudela. Fuente: Google Earth	135
Figura 8.58. Potencia simulada y medida de la estación base de Canraso con Radio Mobile. Fuente: propia.	135
Figura 8.59. Potencia simulada y medida de la estación base de Canraso con Okumura-Hata. Fuente: propia.	136
Figura 8.60. Potencia simulada y medida de la estación base de Canraso con COST 231 Walfisch-Ikegami. Fuente: propia.	137
Figura 8.61. Potencia recibida y ruta realizada por Estella. Fuente: Google Earth.....	138
Figura 8.62. Potencia simulada y medida de la estación base de Eulz con Radio Mobile. Fuente: propia.	138
Figura 8.63. Potencia simulada y medida de la estación base de Eulz con Okumura-Hata. Fuente: propia.	139
Figura 8.64. Potencia simulada y medida de la estación base de Eulz con COST 231 Walfisch-Ikegami. Fuente: propia.	139
Figura 8.65. Potencia recibida y ruta realizada por Alsasua. Fuente: Google Earth....	140
Figura 8.66. Potencia simulada y medida de la estación base de Aralar con Radio Mobile. Fuente: propia.	141
Figura 8.67. Potencia simulada y medida de la estación base de Aralar con Okumura-Hata. Fuente: propia.	141
Figura 8.68. Potencia simulada y medida de la estación base de Aralar con COST 231 Walfisch-Ikegami. Fuente: propia.	142
Figura 8.69. Radioenlace entre Aralar y Albargue de Alsasua. Fuente: Radio Mobile	143
Figura 8.70. Radioenlace entre Albargue de Alsasua y Aralar. Fuente: Radio Mobile	144

Figura 8.71. Radioenlace entre Aralar y ayuntamiento de Alsasua. Fuente: Radio Mobile.....	144
Figura 8.72. Radioenlace entre ayuntamiento de Alsasua y Aralar. Fuente: Radio Mobile.....	145
Figura 8.73. Radioenlace entre Peralta y Torre de Vodafone en Castejón. Fuente: Radio Mobile.....	145
Figura 8.74. Radioenlace entre Torre de Vodafone y Peralta en Castejón. Fuente: Radio Mobile.....	146
Figura 8.75. Radioenlace entre Yerga y Torre de Vodafone en Castejón. Fuente: Radio Mobile.....	146
Figura 8.76. Radioenlace entre Torre de Vodafone y Peralta en Castejón. Fuente: Radio Mobile.....	147
Figura 8.77. Radioenlace entre Peralta y Polideportivo Municipal en Castejón. Fuente: Radio Mobile	147
Figura 8.78. Radioenlace entre Polideportivo Municipal y Peralta en Castejón. Fuente: Radio Mobile	148
Figura 8.79. Radioenlace entre Yerga y Polideportivo Municipal en Castejón. Fuente: Radio Mobile	148
Figura 8.80. Radioenlace entre Polideportivo Municipal y Yerga en Castejón. Fuente: Radio Mobile	149
Figura 8.81. Cobertura con estación base en Montejurra. Fuente: Google Earth.....	149
Figura 8.82. Cobertura con antena directiva (azimut 255°) en IES Politécnico de Estella. Fuente: Google Earth.....	150
Figura 8.83. Cobertura con antena directiva (azimut 235°) en Torre Vodafone de Estella. Fuente: Google Earth.....	150
Figura 8.84. Cobertura con antena directiva (azimut 240°) en Torre Vodafone de Estella. Fuente: Google Earth.....	151
Figura 8.85. Cobertura con antena directiva (azimut 245°) en Torre Vodafone de Estella. Fuente: Google Earth.....	151
Figura 8.86. Cobertura con antena directiva (azimut 250°) en Torre Vodafone de Estella. Fuente: Google Earth.....	152
Figura 8.87. Cobertura con antena directiva (azimut 140°) en Eulz sobre Estella. Fuente: Google Earth.....	152
Figura 8.88. Cobertura con antena directiva (azimut 150°) en Eulz sobre Estella. Fuente: Google Earth.....	153

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1. Parámetros de los elementos de medida, estaciones base y ampliadores de cobertura. Fuente: [1]	38
Tabla 4.2. Error medio y desviación estándar San Cristóbal	53
Tabla 4.3. Error medio y desviación estándar Hacienda	54
Tabla 4.4. Error medio y desviación estándar Higa	54
Tabla 4.5. Error medio y desviación estándar Beloso	55
Tabla 4.6. Error medio y desviación estándar San Cristóbal (Okumura-Hata).....	56
Tabla 4.7. Error medio y desviación estándar Hacienda (Okumura-Hata)	57
Tabla 4.8. Error medio y desviación estándar Higa (Okumura-Hata).....	57
Tabla 4.9. Error medio y desviación estándar Beloso (Okumura-Hata)	58
Tabla 4.10. Comparación potencia medida y potencia simulada Okumura-Hata	59
Tabla 4.11. Error medio y desviación estándar San Cristóbal (COST 231 Walfisch-Ikegami).....	60
Tabla 4.12. Error medio y desviación estándar Hacienda (COST 231 Walfisch-Ikegami)	60
Tabla 4.13. Error medio y desviación estándar Higa (COST 231 Walfisch-Ikegami)...	61
Tabla 4.14. Error medio y desviación estándar Beloso (COST 231 Walfisch-Ikegami)	61
Tabla 4.15. Comparación valores medidos y simulados con COST 231 Walfisch-Ikegami	62
Tabla 4.16. Error medio mínimo obtenido	63
Tabla 4.17. Error medio de cada modelo de propagación en la zona Barañáin-Berriozar-Ansoáin.....	64
Tabla 4.18. Error medio de cada modelo de propagación en la zona Gorraiz.....	64
Tabla 4.19. Error medio de cada modelo de propagación en la zona Huarte.....	64
Tabla 4.20. Error medio de cada modelo de propagación en la zona Castejón.....	64
Tabla 4.21. Error medio de cada modelo de propagación en la zona Tudela.....	64
Tabla 4.22. Error medio de cada modelo de propagación en la zona Estella.....	65
Tabla 4.23. Error medio de cada modelo de propagación en la zona Alsasua	65
Tabla 4.24. Cálculos amplificador Bomberos Alsasua.....	79

Tabla 4.25. Cálculos amplificador Albergue Alsasua	81
Tabla 4.26. Cálculos amplificador en Ayuntamiento Alsasua	83
Tabla 4.27. Potencia media recibida de cada amplificador Alsasua.....	85
Tabla 8.1. Error medio y desviación zona Barañáin, Berriozar, Ansoáin	107
Tabla 8.2. Resumen error medio y desviación estándar Barañáin, Berriozar, Ansoáin	110
Tabla 8.3. Resumen error medio y desviación estándar Berañáin, Berriozar, Ansoain con Okumura-Hata	113
Tabla 8.4. Resumen error medio y desviación estándar Berañáin, Berriozar, Ansoain con COST-231 Walfisch-Ikegami	116
Tabla 8.5. Error medio y desviación estándar Gorraíz.....	118
Tabla 8.6. Resumen error medio y desviación estándar Gorraiz con Radio Mobile....	120
Tabla 8.7. Resumen error medio y desviación estándar Gorraiz con Okumura-Hata..	122
Tabla 8.8. Resumen error medio y desviación estándar Gorraiz con COST-231 Walfisch-Ikegami	124
Tabla 8.9. Error medio y desviación estándar Huarte con Radio Mobile	126
Tabla 8.10. Resumen error medio y desviación estándar Huarte con Radio Mobile ...	127
Tabla 8.11. Resumen error medio y desviación estándar Huarte con Okumura-Hata .	128
Tabla 8.12. Resumen error medio y desviación estándar Huarte con COST-231 Walfisch-Ikegami	130
Tabla 8.13. Error medio y desviación estándar Castejón Radio Mobile	131
Tabla 8.14. Resumen error medio y desviación estándar Castejón con Radio Mobile	132
Tabla 8.15. Resumen error medio y desviación estándar Castejón con Okumura-Hata	133
Tabla 8.16. Resumen error medio y desviación estándar Castejón con COST-231 Walfisch-Ikegami	134
Tabla 8.17. Error medio y desviación estándar Tudela Radio Mobile	136
Tabla 8.18. Resumen error medio y desviación estándar Tudela con Okumura-Hata .	136
Tabla 8.19. Resumen error medio y desviación estándar Tudela con COST-231 Walfisch-Ikegami	137
Tabla 8.20. Error medio y desviación estándar Estella con Radio Mobile	138
Tabla 8.21. Resumen error medio y desviación estándar Eulz con Okumura-Hata.....	139
Tabla 8.22. Resumen error medio y desviación estándar Castejón con COST-231 Walfisch-Ikegami	140

Tabla 8.23. Error medio y desviación estándar Alsasua con Radio Mobile.....	141
Tabla 8.24. Resumen error medio y desviación estándar Aralar con Okumura-Hata..	141
Tabla 8.25. Resumen error medio y desviación estándar Aralar con COST-231 Walfisch-Ikegami	142

1. INTRODUCCIÓN

El estándar ETS 300392 definido por la ETSI (European Telecommunications Standards Institute) y denominado TETRA (Terrestrial Trunked Radio), detalla los protocolos de comunicación para aplicaciones PMR (Private Mobil Radio) y PAMR (Private Access Mobile Radio) que emplean los servicios de emergencias. [1]

En la actualidad, debido a la necesidad existente de que estos servicios puedan estar comunicados y coordinados entre sí, en la Comunidad Foral de Navarra se emplea el estándar mencionado.

Para su correcto funcionamiento, este servicio emplea el rango de 380-400 MHz. Concretamente, el CNAF asigna al Gobierno de Navarra la banda de frecuencias comprendida entre 382.x MHz y 392.x MHz. [2]

La red TETRA comenzó a ser implantada por Telefónica en 1999, aunque, la red, tal y como se conoce actualmente, fue desplegada en 2008 por la empresa Cellnex Telecom (Abertis), quien se hizo cargo del mantenimiento de la red desde entonces y se mantiene en la actualidad. [1]

En primera instancia, la red estaba formada por 37 estaciones base distribuidas por todo el territorio. Este número se incrementó hasta los 40 con las últimas estaciones implantadas, consiguiendo que actualmente se dé cobertura para terminales móviles en torno a un 96% del territorio y en torno a un 90% para terminales de mano o portátiles.

Principalmente, se ha intentado cubrir las mayores poblaciones del territorio, así como las carreteras más importantes y los túneles.

Además, se dispone de una unidad móvil, que incorpora una estación base en su interior con las mismas características que las 40 estaciones fijas.

El número de portadoras de cada estación base es de 2, 3 o 4. En concreto, existen 34 estaciones con dos portadoras, 5 con tres portadoras y solo una (San Cristóbal) con cuatro.

Además, todas ellas emplean antenas omnidireccionales, salvo 2 de ellas (Abodi y Larún) que emplean una antena directiva.

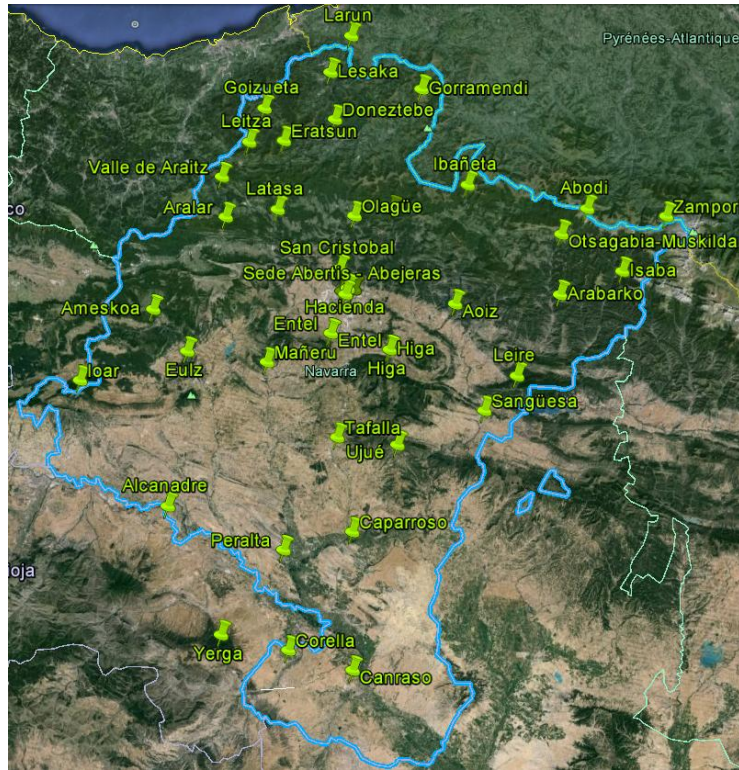


Figura 1.1. Estaciones base de la red TETRA del Gobierno de Navarra. Fuente: Google Earth

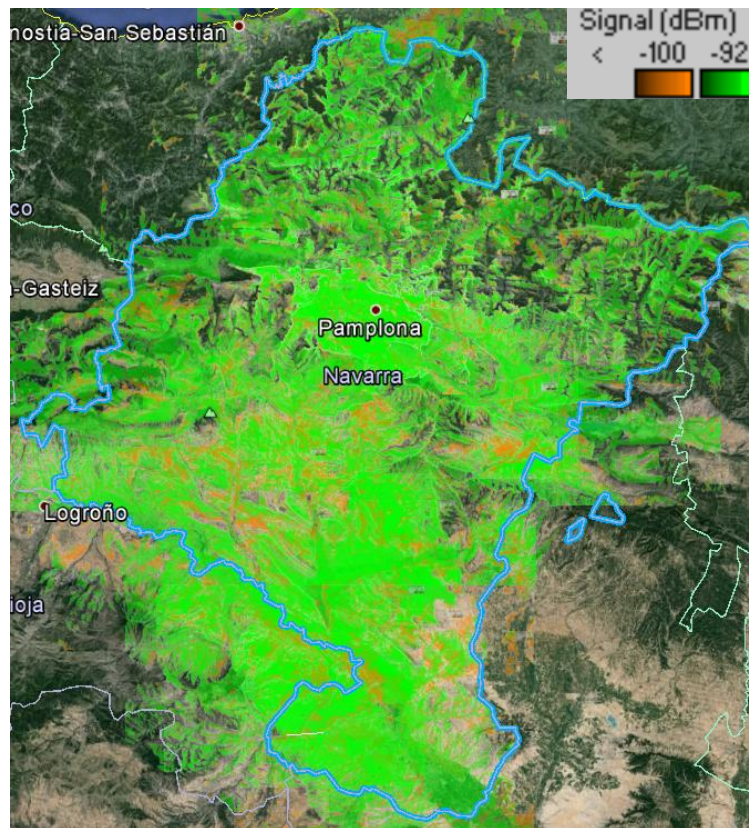


Figura 1.2. Cobertura de la red TETRA del Gobierno de Navarra. Fuente: Google Earth

Para la red de transporte se emplean radio enlaces que conectan las diferentes estaciones base. Estos son propiedad del Gobierno de Navarra o de Cellnex Telecom.

La red se compone de 5 anillos principales, garantizando que si ocurre algun fallo en un radio enlace, exista otro camino y se evite que caiga un gran número de estaciones base. Esto hará que menos usuarios se queden sin señal, algo muy importante ya que, como se ha comentado anteriormente, la red es usada por miembros de emergencias (policía, bomberos, ambulancias, etc.), quienes necesitan poder estar comunicados entre sí en cualquier momento.

El nodo central está situado en la Higa de Monreal, desde donde nacen los diferentes anillos, así como el radio enlace a Emergencias de Navarra (SOS).

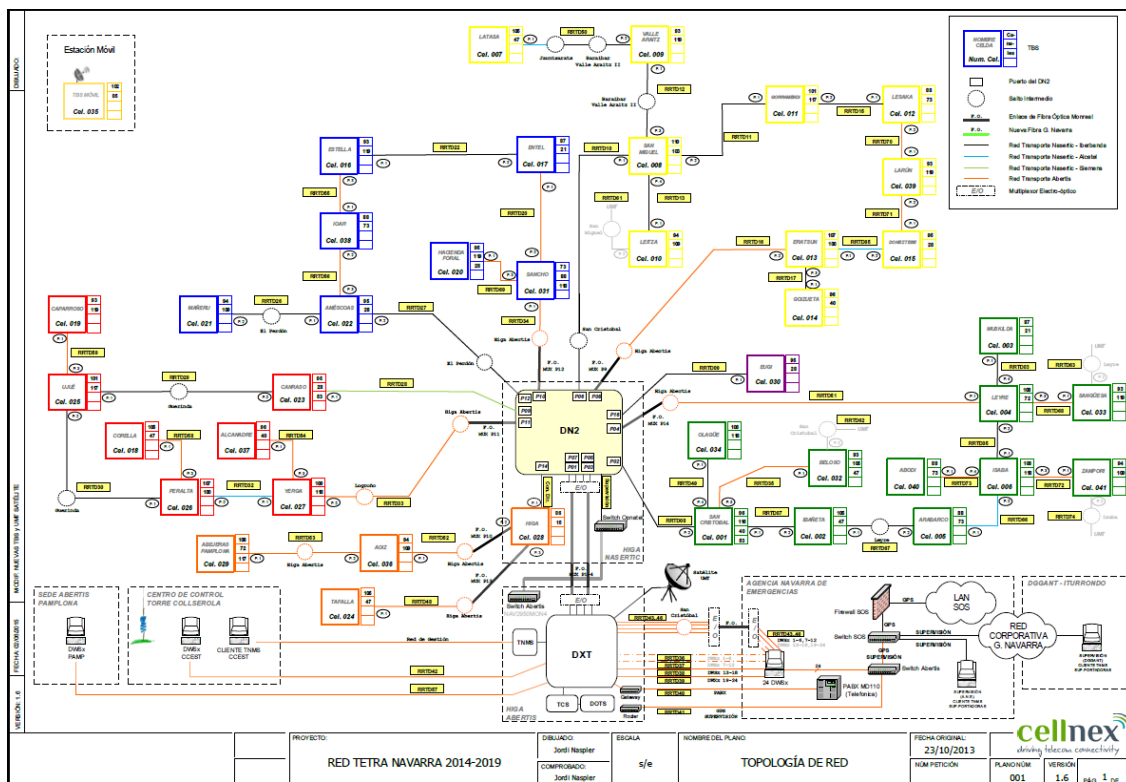


Figura 1.3. Diagrama de la red TETRA del Gobierno de Navarra. Fuente: [1]

2. OBJETIVOS

El objetivo principal de este proyecto es el estudio y análisis de la red TETRA de la Comunidad Foral de Navarra, con el fin de encontrar problemas de cobertura y plantear diferentes soluciones. Este análisis se realizara principalmente en entornos urbanos.

Para resolver las posibles deficiencias de la red, no se van a instalar nuevas estaciones base, ya que su coste es demasiado alto, pero sí ampliadores de cobertura. Así mismo, se plantearán posibles traslados de estaciones base o cambios en la configuración de las mismas, como la sustitución de una antena omnidireccional por una directiva.

La red se encuentra en continuo desarrollo debido a la creciente demanda por parte de nuevos cuerpos de seguridad y emergencias. Algunas de las zonas que van a ser estudiadas son las localidades de Estella, Castejón, Alsasua y Pamplona.



Figura 2.1. Zonas sometidas a estudio. Fuente: Google Earth

En los casos de Alsasua y Castejón, se estudiará la instalación de amplificadores de cobertura que permitan obtener un nivel de señal adecuado para la comunicación.

Para ello habrá que buscar los lugares más adecuados, así como elegir las configuraciones de antena y tipo de antena que mejor resuelvan la problemática existente.

Para Estella y Pamplona no se plantea el empleo de amplificadores, sino un traslado de estaciones o un cambio en la configuración de las antenas actuales.

Con el fin de obtener las mejores simulaciones, se evaluarán algunos modelos de propagación, y se optará por emplear para los mapas de simulación y los cálculos necesarios la herramienta tipo software Radio Mobile.

3. ESTADO DEL ARTE

3.1. INTRODUCCIÓN [3]

El sistema de comunicación TETRA surge como evolución del sistema PMR (Private Mobile Radio).

Este sistema radio privado, permitía comunicarse entre grupos cerrados de usuarios (se comunican únicamente con los miembros de ese grupo), pero tenía el principal inconveniente de que empleaba una única frecuencia portadora, por lo que era necesario utilizar un número mayor de frecuencias en los lugares en los que coincidiesen varios grupos de usuarios.

Para establecer una comunicación, era imprescindible que los terminales usaran dos frecuencias, una para enviar el mensaje hacia la estación base y otra para que esta última enviase el mensaje a todo el grupo.

Debido a la creciente demanda de capacidad y, con el fin de solucionar los problemas del sistema PMR, aparecen las redes “trunking”. Estas se basan en asignar al usuario una frecuencia de forma dinámica. Es decir, cuando el emisor pulsa el PTT (Push To Talk) está solicitando un canal a la red, que se encarga de asignarle uno que este libre a través del canal destinado a control. De esta forma, el canal será permanente para toda la conversación, y cada vez que se pulse de nuevo el PTT se repetirá el proceso y se le asignará un nuevo canal (frecuencia).

Con este sistema se obtiene un mayor aprovechamiento de la red, ya que esta permanece vacía cuando no se está utilizando. Además, se consigue que sea más difícil escuchar las conversaciones por usuarios externos, ya que la frecuencia cambia constantemente.

Poco antes de la aparición del sistema TETRA se produce el paso de los sistemas PMR analógicos a digitales, lo que supone un mayor aprovechamiento del espacio radioeléctrico y un mayor número de canales por portadora.

Con el sistema TETRA se logra una mayor seguridad en la comunicación debido al empleo de encriptación. Está basado en el “trunking” digital y emplea TDMA (Time Division Multiple Access), lo que provoca que se aumente el número de canales por portadora.

3.2. SISTEMA DE COMUNICACIONES TETRA

TETRA es un estándar europeo elaborado por la ETSI [4], destinado principalmente para usos en seguridad pública y servicios de emergencias (policía, bomberos, ambulancias...), así como comunicaciones gubernamentales.

Es un estándar abierto, lo que favorece la competencia en el mercado y un provoca un ajuste de precios.

Una de las mayores ventajas de este sistema es el incremento en la seguridad debido a la encriptación de los mensajes, lo que supone que las conversaciones no podrán ser escuchadas. [5]

Además, al disponer de algoritmos de corrección de errores permite reducir el número de repeticiones de un mensaje. [6]

Otro aspecto a destacar es la utilización de TDMA, ya que se pasará a emplear cuatro canales por portadora, cada uno de 25KHz. Esto hará que se produzca una mayor optimización del espectro radioeléctrico.

3.2.1. ESTÁNDARES TETRA [3]

Existen los siguientes estándares:

- V+D (Voice and Data): Está basado en la transmisión de voz y datos a través de circuitos conmutados.
- PDO (Packet Data Optimized): Está destinado únicamente para tráfico de datos empleando conmutación de paquetes.
- DMO (Direct Mode Operation): Se orienta a la transmisión de voz unidireccional entre dos terminales sin utilizar la red.

De estos estándares, se usan de manera habitual dos de ellos, V+D y DMO. El menor empleo del estándar PDO es debido a que el estándar V+D incluye la transmisión de voz y datos.

3.2.2. ESTRUCTURA DE LA RED

El sistema de comunicación TETRA emplea una red compuesta por varios elementos con el fin de poder dar cobertura al máximo número de usuarios posible. Estos normalmente se encuentran en zonas muy distantes y, en ocasiones, de difícil acceso, por lo que la distribución de los elementos es de suma importancia.

A continuación se muestran los elementos principales que componen la red:

- **Nodo central (DTX):** Es el punto central de la red y cerebro de la misma. Es el encargado de facilitar la comunicación entre los diferentes usuarios de la red. Soporta alto rendimiento de tráfico, posibilita la conexión mediante topologías de malla o anillo y permite el empleo de un máximo de 256 portadoras y 128 Estaciones. [7]
- **Estaciones base:** Se encargan de dar cobertura a una determinada zona para que los terminales puedan mantener una correcta comunicación. Están conectadas con el nodo central generalmente mediante radioenlaces o fibra óptica, formando la red de transporte. Así mismo, asignan de forma dinámica los canales de tráfico, de tal forma que cada usuario reciba la información correspondiente.

Pueden poseer de 1 a 4 portadoras, cada una con 4 canales de tráfico, de los cuales uno es para señalización y control y los otros 3 para tráfico.

El canal de control será el responsable de enviar los mensajes de señalización entre el terminal y la red. Así mismo, se usara para enviar mensajes de estado o datos cortos, evitando que se tenga que usar otro canal para ello. De esta forma, siempre habrá un canal dedicado a control y 3 a tráfico.

El enlace más problemático suele ser el ascendente (desde el terminal hasta la estación base), ya que el terminal emite con menor potencia. Para solucionarlo, se suele colocar la antena receptora en la parte más alta de la torre. [3]

- **Gestión Técnica y Operativa:** Son puntos desde los que se puede gestionar y configurar los diferentes elementos de la red, con el fin de poder detectar fallos y monitorizar el sistema.
- **Terminales:** Es el elemento que permite al usuario comunicarse con otro. Existen cuatro grupos:
 - **Portátiles:** Son dispositivos de mano y disponen de una potencia de transmisión baja (entorno a 1W).
 - **Móviles:** Van colocados en vehículos y su potencia es mayor que los anteriores (hasta 10W).
 - **Fijos:** Se encuentran en edificios como una estación de bomberos o una comisaría y tienen la ventaja de que funcionan a través de corriente eléctrica, lo que les permite emitir con hasta 30W.
 - **De operador:** Utiliza la red para la comunicación en lugar de un sistema radiante propio como los anteriores.

3.2.3.INTERFACES [4][3][8]

En el estándar se definen varias interfaces para la red TETRA:

- Interfaz aire: Garantiza la comunicación entre los terminales y la estación base. Se basa en la técnica de acceso TDMA con una trama compuesta por 4 time slots. Esto quiere decir que cada portadora tendrá 4 time slots, con una separación entre portadoras de 25KHz, lo que permite que se puedan mantener 4 conversaciones de manera simultánea.

En la siguiente imagen se puede observar la estructura de las tramas TDMA:

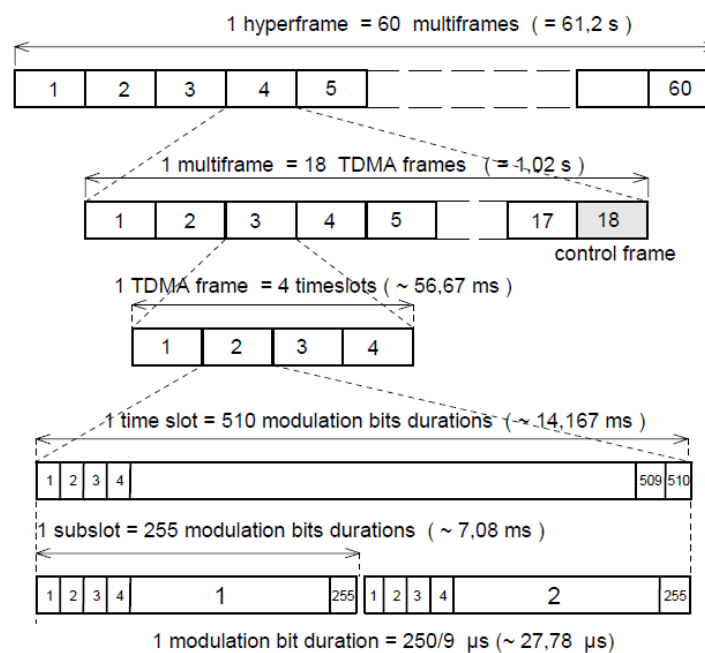


Figura 3.1. Estructura de las tramas TDMA. Fuente: ETSI [4]

El rango de frecuencias fijado por la ETSI es el comprendido entre 100MHz y 900MHz, aunque en España está reservada para los miembros de la seguridad pública (policía, bomberos, ambulancia, etc.) la banda de 380-400MHz.

La separación frecuencial entre el canal de subida y el de bajada es de 10KHz (banda frecuencial Uplink: 380-390MHz, banda frecuencial Downlink: 390-400MHz).

La modulación empleada es $\Pi/4$ -DQPSK, con filtro conformador coseno alzado y factor de roll-off de 0,35. El bit rate es de 36kbit/s.

- Interfaz ISI: Define la interconexión entre dos infraestructuras red TETRA separadas.

- Interfaz de equipos periféricos (PEI): Permite la conexión punto a punto de un equipo como un ordenador portátil, una impresora o una cámara de vídeo con un terminal.
- Otros interfaces son el interfaz LSI y el interfaz NMI. Este último permite la monitorización y el mantenimiento de la red TETRA.

3.2.4. MODOS DE COMUNICACIÓN [3]

Se emplean tres modos de comunicación:

- Comunicación semi-dúplex (half-duplex): Sólo puede hablar un usuario a la vez. El emisor emplea un canal de subida con una frecuencia y el receptor utiliza otro canal con otra frecuencia diferente al emisor. Para realizar la comunicación de esta forma, el emisor pulsa el botón para hablar y deja libre para poder escuchar la respuesta.
- Comunicación dúplex (full-duplex): En este modo tanto el emisor como el receptor pueden hablar y escuchar a la vez. Emplean el canal de subida para hablar y el de bajada para escuchar.
- Comunicación símplex: este modo de comunicación se emplea para el DMO. Tanto la transmisión como la recepción se realizan en la misma frecuencia (mismo canal).

3.2.5. MODOS DE OPERACIÓN [4][3][9]

Existen diferentes modos de operación en una red TETRA:

- Modo normal (TMO: Trunking Mode Operation): Emplea el estándar V+D explicado anteriormente es el modo de comunicación más habitual. Permite la comunicación, a través de una estación base, entre varios terminales registrados en el sistema. Las llamadas pueden ser individuales (de un usuario a otro) o de grupo (de un usuario a un conjunto de usuarios).

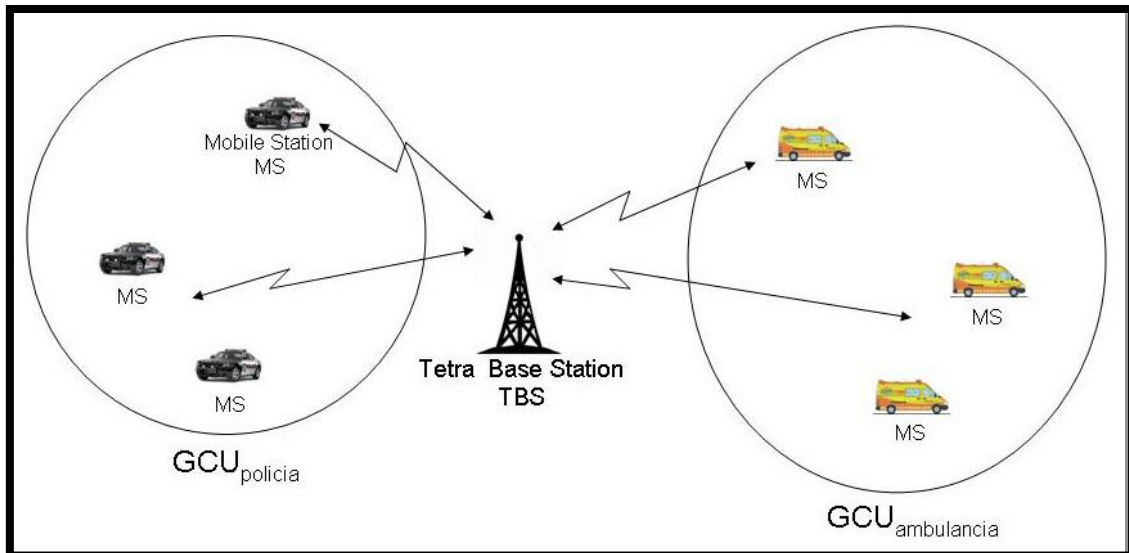


Figura 3.2. Modo de operación TMO. Fuente: [3]

- Modo directo (DMO): En este caso la comunicación entre terminales se realiza sin emplear la red. Para ello los terminales deben estar en el mismo radio de cobertura.
- Modo Gateway DMO: Se consigue que los terminales que se encuentran fuera del área de cobertura de una estación base puedan emplear la red. Para ello, el terminal Gateway (que debe estar dentro de la zona de cobertura) actúa como repetidor, retransmitiendo la comunicación del usuario hacia la estación base correspondiente o viceversa.

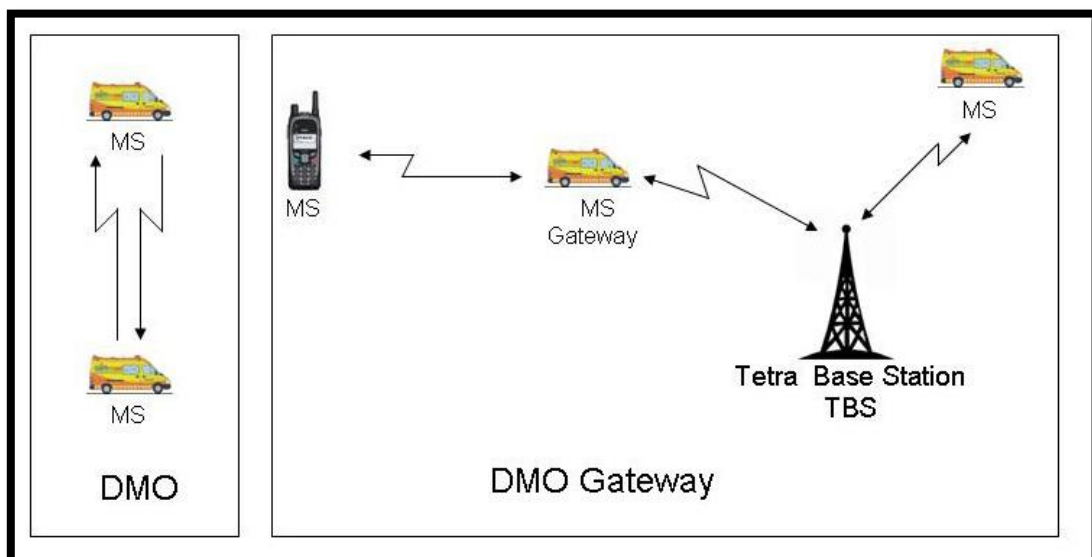


Figura 3.3. Modo de operación DMO y Gateway DMO. Fuente: [3]

3.2.6. TIPOS DE CANALES [4][5]

Los canales se dividen en físicos y lógicos. Existen dos tipos de canales, físicos y lógicos. Un canal lógico es aquel que sirve de camino para datos entre dos puntos de la red. Un canal físico es cada uno de los time slots que forman la trama correspondiente. En cada canal físico puede haber varios canales lógicos.

Hay tres tipos de canales físicos definidos:

- Control Physical Channel (CP): Canal de control físico, mensajes de señalización.
 - Canal de control principal: MCCH (Main Control Channel).
 - Canal de control secundario: SCCH (Secondary Control Channel).
- Traffic Physical Channel (TP): Canal dedicado al tráfico de voz y datos.
- Unallocated Physical Channel (UP): Canal físico no asignado.

Existen dos grupos de canales lógicos:

- Canales de control (CCH): Transportan únicamente mensajes de control y señalización o datos en modo paquete.

Algunos de ellos son: BCCH (Broadcast Control Channel), canal de señalización SCH (Signalling Channel) y Canal de asignación de acceso AACH

- Canales de tráfico (TCH). A través de ellos se envían los mensajes de voz y datos con conmutación de circuitos.

3.2.7. TIPOS DE LLAMADAS [3][9]

- Llamada de grupo: Consiste en la comunicación de un usuario de la red con un grupo de usuarios. Cuando el emisor habla el resto le escuchan. Es una conexión punto-multipunto.
- Llamada individual: La comunicación es punto a punto. Únicamente existe un transmisor y un receptor. Pueden ser tipo half-duplex o full-duplex.
- Llamada de emergencia: Llamada de grupo o individual que tiene la máxima prioridad. Se realiza pulsando el botón de emergencia del terminal.
- Llamada broadcast: Se realiza para difundir información.
- Llamadas PABX o llamada telefónica: Permite la comunicación con cualquier usuario de telefonía fija o móvil. Tanto el usuario que realiza la llamada como el que la recibe pueden hablar y escuchar a la vez.
- Mensajes: Los terminales tienen la posibilidad de enviar un pequeño mensaje de texto a un grupo o a un usuario.

3.3. MODELOS DE PROPAGACIÓN

3.3.1. INTRODUCCIÓN

Un modelo de propagación consiste en una serie de algoritmos, expresiones matemáticas y diagramas, que sirven para obtener las propiedades radioeléctricas de una zona concreta. [10]

La función de estos modelos de propagación es la de predecir las pérdidas por trayectoria que una señal pueda sufrir en un trayecto. Es decir, se obtiene la atenuación media del canal radio situado entre el transmisor y el receptor.

Con esto se logrará una estimación previa de la señal recibida, de tal forma que se pueda determinar con antelación el coste de la instalación de una nueva red y las características necesarias de los equipos para cumplir con los niveles de señal requeridos en cada caso. [12]

Otra gran ventaja es la rapidez con la que se puede obtener el nivel de potencia que existe en una zona extensa, algo que, de realizarse con equipos de medida en la zona, resultaría mucho más costoso en cuanto a tiempo y recursos. [11]

Así mismo, son muy útiles a la hora de obtener los límites de cobertura de un cierto transmisor, permitiendo identificar las zonas que puedan interferirse en frecuencia.

Para aplicar un determinado modelo de propagación, se tendrán que tener en cuenta las características del entorno, tales como el relieve, la densidad de población y/o el tipo de clima entre otros.

Estos modelos suelen estar limitados por algún parámetro como por ejemplo la frecuencia, la distancia entre emisor o receptor o la altura de la estación base.

Debido al aumento de demanda de las redes inalámbricas, las empresas desarrollan herramientas de tipo software que permiten obtener resultados a partir de diferentes modelos de propagación, incluyendo parámetros geográficos extraídos de diferentes bases de datos, lo que permite obtener resultados más ajustados.

Los modelos de propagación se pueden clasificar en:[12][10]

- Empíricos: Son aquellos basados en mediciones. Estas se realizan en diferentes tipos de entornos y con parámetros variables (frecuencia, altura de las antenas, distancia, etc.). Por ejemplo: Okumura, Hata.
- Deterministas: Se basan en leyes físicas, en principios fundamentales de propagación. Por ejemplo: Walfisch, Ikegami, Longley Rice.
- Semi-Empíricos: Son una combinación de los dos anteriores. Por ejemplo: Friis.

3.3.2. OKUMURA-HATA [13]

Este modelo de propagación está basado en el de Okumura, que fue elaborado por él mismo (junto a E. Ohmori, T. Kawano y K. Fukuda [14]) basándose en unas medidas experimentales realizadas en Tokyo.

Posteriormente fue modificado y ampliado por Hata utilizando un análisis por regresión múltiple y dando como resultado el modelo de propagación de Okumura-Hata. [6]

El resultado proporcionado por este modelo varía en función de la frecuencia, distancia entre transmisor y receptor y altura de las antenas elegidas.

Las limitaciones son las siguientes:

- f_c (frecuencia): 150 a 1500 MHz
- d (distancia Tx-Rx) : 1 a 20 km
- h_b (altura estación base, Tx): 30 a 200 m
- h_m (altura terminal móvil, Rx): 1 a 10 m

Permite obtener resultados en función del entorno: urbano (ciudad grande), urbano (ciudad pequeña/mediana), suburbano y rural.

Las condiciones para seleccionar una u otra opción se encuentran en la norma ITU-R P.1411-7 y son las siguientes:

Entorno	Descripción y degradaciones de la propagación significativas
Urbano de construcción muy alta	<ul style="list-style-type: none"> - Valle urbano profundo con una gran actividad, caracterizado por avenidas con edificios de alta densidad y varias decenas de pisos, hecho que da como resultado un valle urbano profundo - Los edificios de alta densidad y los rascacielos se alternan, hecho que da como resultado trayectos de propagación con abundante dispersión sin visibilidad directa - Las hileras de edificios altos hacen posible la existencia de retardos muy largos de trayecto - El tráfico intenso y el elevado flujo de visitantes en la zona actúan como reflectores, lo que añade una deriva Doppler a las ondas reflejadas - Los árboles y las calles proporcionan un ensombrecimiento dinámico

Figura 3.4. Condiciones para tomar una zona como urbana con edificios muy altos. Fuente: ITU-R P.1411-7

Entorno	Descripción y degradaciones de la propagación significativas
Urbano de construcción alta	<ul style="list-style-type: none"> - Valle urbano, caracterizado por avenidas con edificios altos de varios pisos - La altura de los edificios reduce la probabilidad de una contribución significativa de la propagación que pasa por encima de los tejados - Las hileras de edificios altos hacen posible la existencia de largos retardos de trayecto - El gran número de vehículos en movimiento en la zona actúa como reflector, lo que añade una deriva Doppler a las ondas reflejadas
Urbano de construcción baja/Suburbano	<ul style="list-style-type: none"> - Típicamente calles anchas - Las alturas de los edificios suelen ser inferiores a tres pisos, lo que hace probable la difracción por los tejados - Pueden producirse en ocasiones reflexiones y ensombrecimientos producidos por los vehículos en movimiento - Los efectos principales son: retardos grandes y pequeñas derivas Doppler
Zona residencial	<ul style="list-style-type: none"> - Construcciones de uno y dos pisos - Las calles suelen ser de doble dirección con vehículos estacionados a ambos lados - Es posible que haya vegetación densa a ligera - Tráfico motorizado generalmente ligero
Rural	<ul style="list-style-type: none"> - Pequeñas casas rodeadas de amplios jardines - Influencia de la altura del terreno (topografía) - Posibilidad de vegetación densa a ligera - Tráfico motorizado ocasionalmente elevado

Figura 3.5. Condiciones para tomar una urbanización como urbana, suburbana, residencial o rural. Fuente: ITU-R P.1411-7

La fórmula empleada para el cálculo de las pérdidas de propagación es la siguiente: [15]

$$PL = A + B \cdot \log(d) + C$$

A, B y C son parámetros dependientes de la frecuencia y la altura de las antenas:

$$A = 69.55 + 26.16 \cdot \log(f_c) - 13.82 \cdot \log(h_b) - a(h_m)$$

$$B = 44.9 - 6.55 \cdot \log(h_b)$$

El parámetro $a(h_m)$ y el factor C dependen del entorno en el que se realice el estudio:

- Ciudades medianas o pequeñas:

$$a(h_m) = (1.1 \cdot \log(f_c) - 0.7) \cdot h_m - (1.56 \cdot \log(f_c) - 0.8)$$

$$C = 0$$

- Ciudades grandes:

$$a(h_m) = \begin{cases} 8.29 \cdot (\log(1.54 \cdot h_m))^2 - 1.1 & \text{si } f \leq 200 \text{ MHz} \\ 3.2 \cdot (\log(11.75 \cdot h_m))^2 - 4.97 & \text{si } f \geq 400 \text{ MHz} \end{cases}$$

$$C = 0$$

- Suburbano:

$$a(h_m) = (1.1 * \log(f_c) - 0.7) * h_m - (1.56 * \log(f_c) - 0.8)$$

$$C = -2 * [\log(f_c/28)]^2 - 5.4$$

- Rural:

$$a(h_m) = (1.1 * \log(f_c) - 0.7) * h_m - (1.56 * \log(f_c) - 0.8)$$

$$C = -4.78 * [\log(f_c)]^2 + 18.33 * \log(f_c) - 40.98$$

En todas las fórmulas las unidades de f_c son MHz, las de h_m y h_b metros y las de distancia kilómetros.

3.3.3.COST 231 WALFISCH-IKEGAMI

Este modelo de propagación surge como combinación del modelo COST 231 con el Walfisch-Bertoni y el Ikegami. [16]

Es un modelo semi-empírico empleado para entornos urbanos y suburbanos.

Es capaz de obtener unos valores de pérdidas buenos cuando la antena transmisora se encuentra colocada varios metros por encima de la altura media de los edificios de la zona. En cambio, cuando estas alturas son similares, la predicción obtenida es bastante mala e incluso muy mala para los casos en los que la antena está situada a una altura más baja que los edificios.

Este modelo es más complejo que el anterior y se basa en una serie de parámetros como la altura promedio de los edificios, la altura de las antenas, la anchura de las calles, la separación entre edificios, la dirección de la calle con respecto a la trayectoria directa de la antena transmisora y antena receptora.

Las limitaciones se detallan a continuación:

- f (frecuencia) = 800 – 2000 MHz
- h_b (altura del transmisor) = 4 – 50 m
- h_m (altura del receptor) = 1 – 3 m
- d (distancia Tx-Rx) = 0.02 – 50 km
- $\Delta h_b > 0$ m (altura relativa del transmisor respecto a los edificios)[xirio]

La expresión para el cálculo de las pérdidas es la siguiente:[apéndices]

- Para el caso en que no existan obstáculos (árboles, edificios, montañas, etc.) que dificulten la visión directa (LOS): [15]

$$PL = 42.6 + 26 * \log(d) + 20 * \log(f_c)$$

➤ Para el caso en que existan obstáculos (NLOS):

$$PL = \begin{cases} L_0 + L_{rts} + L_{msd} & \text{si } L_{rts} + L_{msd} > 0 \\ L_0 & \text{si } L_{rts} + L_{msd} \leq 0 \end{cases}$$

L_{rts} son las pérdidas por difracción del tejado a la calle, L_{msd} son las pérdidas por difracción multipantalla y L_0 son las pérdidas de propagación en condiciones de espacio libre. Estos valores se calculan de la siguiente manera:

$$L_0 = 32.4 + 20 \cdot \log(d) + 20 \cdot \log(f_c)$$

$$L_{rts} = -16.9 - 10 \cdot \log(w) + 10 \cdot \log(f_c) + 20 \cdot \log(\Delta h_m) + L_{ori}$$

donde w es la anchura de la calle en metros y $\Delta h_m = h_{Roof} - h_m$.

El factor de corrección L_{ori} se calcula de la siguiente manera:

$$L_{ori} = \begin{cases} -10 + 0.354 \cdot \phi & \text{si } 0^\circ \leq \phi \leq 35^\circ \\ 2.5 + 0.075 \cdot (\phi - 35) & \text{si } 35^\circ \leq \phi \leq 55^\circ \\ 4.0 - 0.114 \cdot (\phi - 55) & \text{si } 55^\circ \leq \phi \leq 90^\circ \end{cases}$$

donde ϕ es el ángulo formado entre la orientación de la calle y la dirección de incidencia del rayo directo en grados.

El valor de pérdidas L_{msd} queda:

$$L_{msd} = L_{bsh} + k_a + k_d \cdot \log(d) + k_f \cdot \log(f_c) - 9 \cdot \log(b)$$

donde b es la distancia entre edificios. Además,

$$L_{bsh} = \begin{cases} -18 \cdot \log(1 + \Delta h_b) & \text{si } h_b > h_{Roof} \\ 0 & \text{si } h_b \leq h_{Roof} \end{cases}$$

$$k_a = \begin{cases} 54 & \text{si } h_b > h_{Roof} \\ 54 - 0.8 \cdot \Delta h_b & \text{si } d \geq 0.5 \text{ km y } h_b \leq h_{Roof} \\ 54 - 0.8 \cdot \Delta h_b \cdot (d/0.5) & \text{si } d < 0.5 \text{ km y } h_b \leq h_{Roof} \end{cases}$$

$$\Delta h_b = h_b - h_{Roof}$$

$$k_d = \begin{cases} 18 & \text{si } h_b > h_{\text{Roof}} \\ 18 - 15 * (\Delta h_b / h_{\text{Roof}}) & \text{si } h_b \leq h_{\text{Roof}} \end{cases}$$

$$k_f = \begin{cases} -4 + 0.7 * (f_c / 925 - 1) & \text{si es ciudad mediana/pequeña o entornos suburbanos con una densidad de vegetación media} \\ 1.5 * (f_c / 925 - 1) & \text{si es una ciudad grande} \end{cases}$$

En la siguiente imagen se muestran todos los parámetros que aparecen en este modelo de propagación:

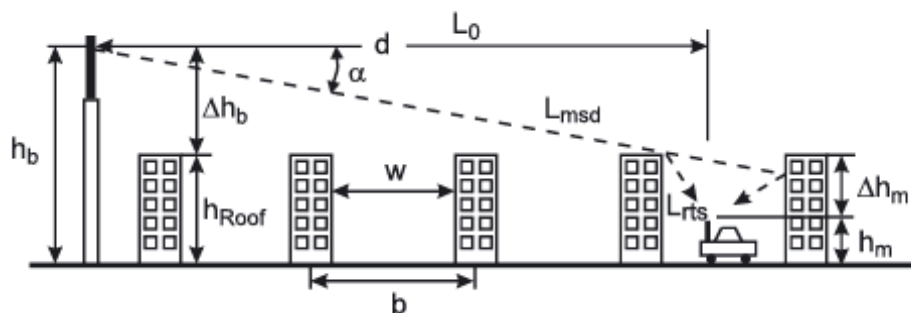


Figura 3.5. Parámetros en el modelo COST 231 Walficsh-Ikegami. Fuente: [15]

3.3.4. LONGLEY RICE

Este modelo semi-empírico, también llamado modelo de terreno irregular (ITM), fue desarrollado por A. G. Longley y P. L. Rice en 1968.

Predice las pérdidas existentes en una transmisión a media-larga distancia sobre un terreno irregular.

Tiene dos modos de predicción, el punto a punto y el modo área. En el primero de ellos es necesario conocer las características y el perfil del terreno entre el transmisor y el receptor. En cambio, cuando no se tienen estos datos, se emplea el modo de predicción de área, para el cual el modelo se basa en métodos empíricos y estadísticos para estimar los parámetros. [17]

El modelo es capaz de funcionar en frecuencias entre 20 MHz - 20 GHz, en longitudes entre transmisor y receptor de 1 - 2000 kilómetros y alturas de antena entre 0.5 y 3000 metros.

Además, tiene en cuenta parámetros como el tipo de clima de la zona, la curvatura de la tierra y la conductividad y permitividad del suelo.

Así mismo, para los cálculos tiene en cuenta la reflexión sobre el terreno, la refracción sobre la atmósfera, la difracción en obstáculos agudos y sobre la tierra, y dispersión troposférica. [18]

Este modelo es empleado en programas de tipo software orientados a la predicción de señal radio como Radio Mobile.

3.4. AMPLIADOR DE COBERTURA [3]

Estos elementos se utilizan para extender la zona de cobertura de una determinada estación base. Su función consiste, básicamente, en reemitir la señal que recibe de una estación base aplicándole una cierta ganancia hacia un terminal y viceversa.

Su principal ventaja viene derivada de la facilidad con la que estos elementos son instalados y del coste que esta instalación supone.

En cambio la principal desventaja es que siempre va a depender de una estación base para poder funcionar correctamente, ya que si esta deja de funcionar el amplificador dejará de reemitir la señal desapareciendo la cobertura.

Así mismo, otra desventaja sería la difícil colocación de las antenas de recepción y difusión, ya que si se realiza una mala instalación, la señal emitida por difusión podría llegar a la antena que recibe la señal de la estación base provocando que el sistema pueda oscilar y volverse inestable. Por este mismo motivo, habrá que tener cuidado también con el nivel de potencia que se emite en difusión.

Para evitar este problema se deberá realizar un buen aislamiento, que en el caso de una instalación exterior suele ser la colocación de las antenas con diferentes orientaciones y diferentes alturas.

Este hecho es provocado al usar para difusión la misma frecuencia que emplea la estación base para emitir y por tanto la antena colocada para recibir esa señal.

Existen diferentes tipos de amplificadores:

- Selectivos en banda: Estos amplifican una banda frecuencial al completo y la radian. El principal problema que van a tener es la intermodulación.
- Selectivos en banda IF: Realizan la amplificación de una banda menor que el caso anterior.
- Selectivos en canal: Amplifican uno o varios canales de manera independiente facilitando la no aparición de señales espurias.

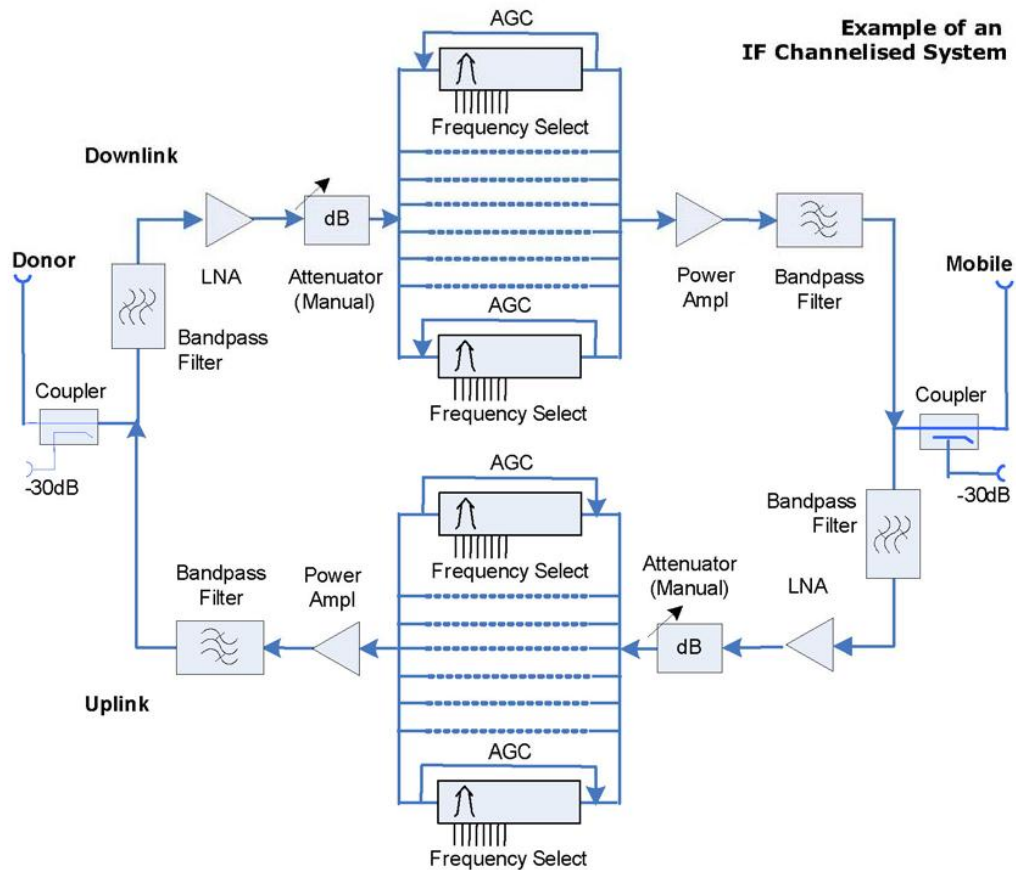


Figura 3.6. Diagrama de bloques de un amplificador de cobertura. Fuente: [3]

4. DISEÑO, SIMULACIONES Y MEDIDAS

4.2. INTRODUCCIÓN

En este apartado se pasará a describir las herramientas empleadas para diseñar las soluciones de cobertura, así como las simulaciones y medidas realizadas. Se mostrarán los análisis realizados de cada zona y los planteamientos tomados al respecto.

Las zonas seleccionadas para realizar posibles modificaciones han sido previamente medidas para tener consciencia de la situación real.

Las simulaciones radioeléctricas de cobertura y enlaces punto a punto se han llevado a cabo con la herramienta software Radio Mobile.

4.3. BALANCE DE POTENCIA

A continuación se detallan los dispositivos empleados para realizar las medidas y las simulaciones. Estos datos han sido extraídos de las hojas de características proporcionadas por los fabricantes [1].

Cabe destacar que para las simulaciones realizadas se emplea únicamente el terminal de mano.

	Estación base	Terminal móvil	Terminal de mano	Amplificador Uplink	Amplificado Downlink
Pot. emitida (W)	40	10	3	0.05 (máx.)	2 (máx.)
Pot. emitida (dBm)	46	40	34.8	17 (máx.)	33 (máx.)
Sensibilidad teórica del receptor (dBm)	-112	-103	-103	-	-
Pérdidas por cable, cavidades y conectores (dB)	6.5	2	-	3	3
Ganancia de la antena (dBi)	Dependerá de la antena empleada en cada caso	2.2	2.2	Dependerá de la antena empleada en cada caso	Dependerá de la antena empleada en cada caso

Tabla 4.1. Parámetros de los elementos de medida, estaciones base y amplificadores de cobertura.
Fuente: [1]

De las 40 estaciones fijas que existen en la Comunidad Foral de Navarra, 37 emplean una antena omnidireccional con ganancia 7.5 dBi, dos (la de Larún y la de Abodi) emplean un panel con ganancia 14.5 dBi y la estación base de Hacienda emplea una omnidireccional con 5 dBi de ganancia. [1] (Hojas de características en los anexos)

El amplificador no tiene una ganancia fija ya que dependerá de la potencia recibida. La ganancia máxima es de 80dB y la potencia de transmisión máxima para cada caso es la mostrada en la tabla anterior.

4.4. RADIO MOBILE [19]

Esta herramienta software permite realizar simulaciones radioeléctricas basándose en el modelo de propagación Longley-Rice, también conocido como ITM y explicado anteriormente.

El programa es capaz de obtener resultados para frecuencias entre 20MHz y 20GHz y para distancias de 1 a 2000 km.

Se basa en un modelo de elevación del terreno elaborado por la NASA en su proyecto *Shuttle Terrain Radar Mapping Misión* (SRTM), que ofrece una precisión de 3 segundos de arco, lo que equivale a 100m.

A continuación se va a describir la configuración previa y las principales funcionalidades de la herramienta.

4.4.1. CONFIGURACION DE LA RED

En este apartado se introducen los parámetros correspondientes a la red que queramos analizar. En este caso, se introducirán los parámetros de la red de comunicaciones TETRA como se muestra en la siguiente imagen.

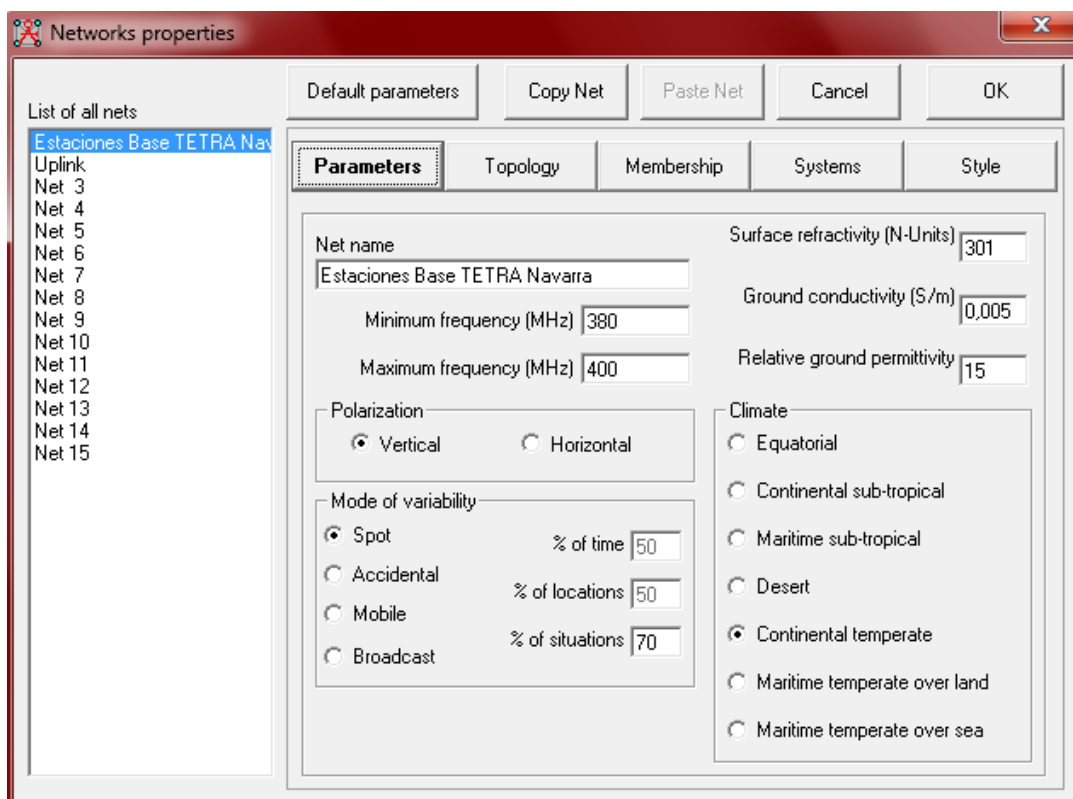


Figura 4.1. Propiedades de la red. Fuente: Radio Mobile

Se establece la frecuencia de trabajo en el rango de 380-400MHz, la polarización vertical y el tipo de clima el continental templado. El resto de valores, como son la variabilidad y las propiedades de la superficie del terreno, se dejan por defecto.

4.4.2. EXTRACCIÓN DEL MAPA

Una vez que se ha configurado la red a utilizar, se pasa a extraer el mapa de la zona sobre la que se quiere trabajar.

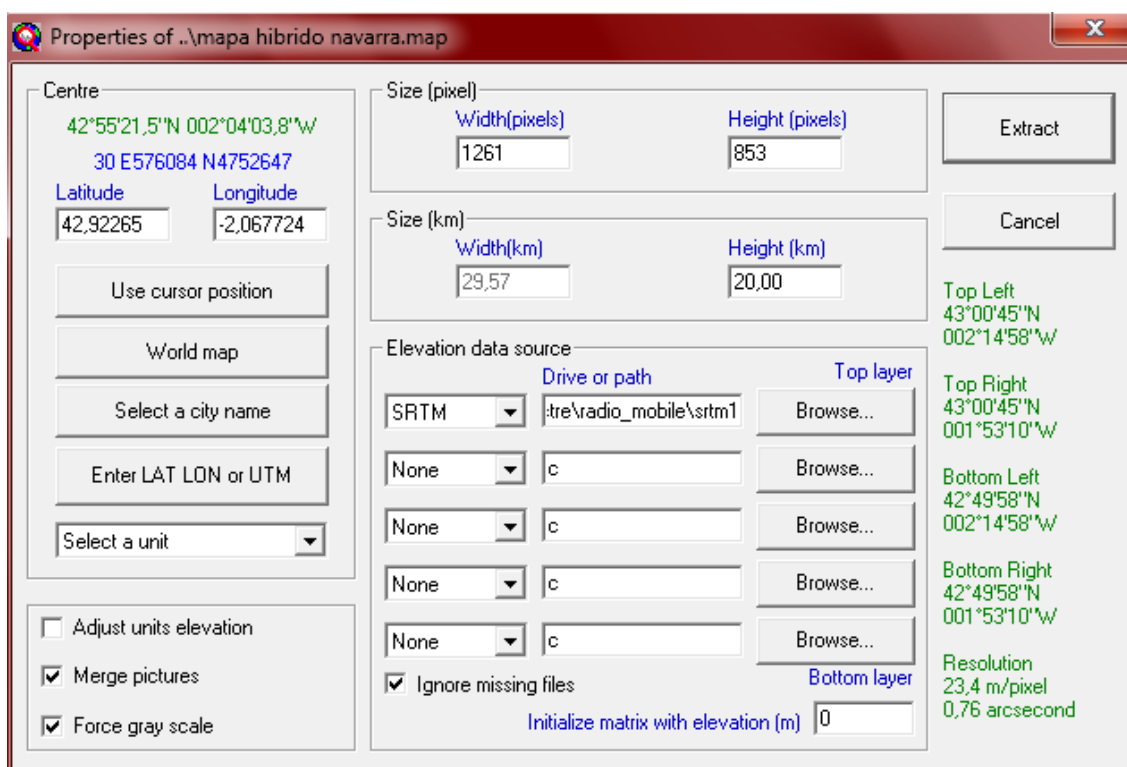


Figura 4.2. Extracción de un mapa en Radio Mobile. Fuente: Radio Mobile.

Para cargar el mapa se tienen varias posibilidades de seleccionar la zona. Estas aparecen en la parte de la izquierda y son:

- Latitud y longitud.
- Coordenadas UTM.
- Nombre de la ciudad.
- Mediante el punto seleccionado por el cursor.

El punto elegido se situará en la parte central de la pantalla, y la zona extenderá tantos kilómetros como indiquemos en los campos de altura y anchura.

4.4.3. DEFINICIÓN DE SISTEMAS

El siguiente paso consiste en introducir los diferentes sistemas que se van a emplear. Estos son por ejemplo las estaciones base. En este caso habrá tres tipos de estaciones base clasificadas en función del tipo de antena que emplean. Así mismo, se introducirán, entre otros, un sistema para el terminal móvil y otro para el terminal de mano.

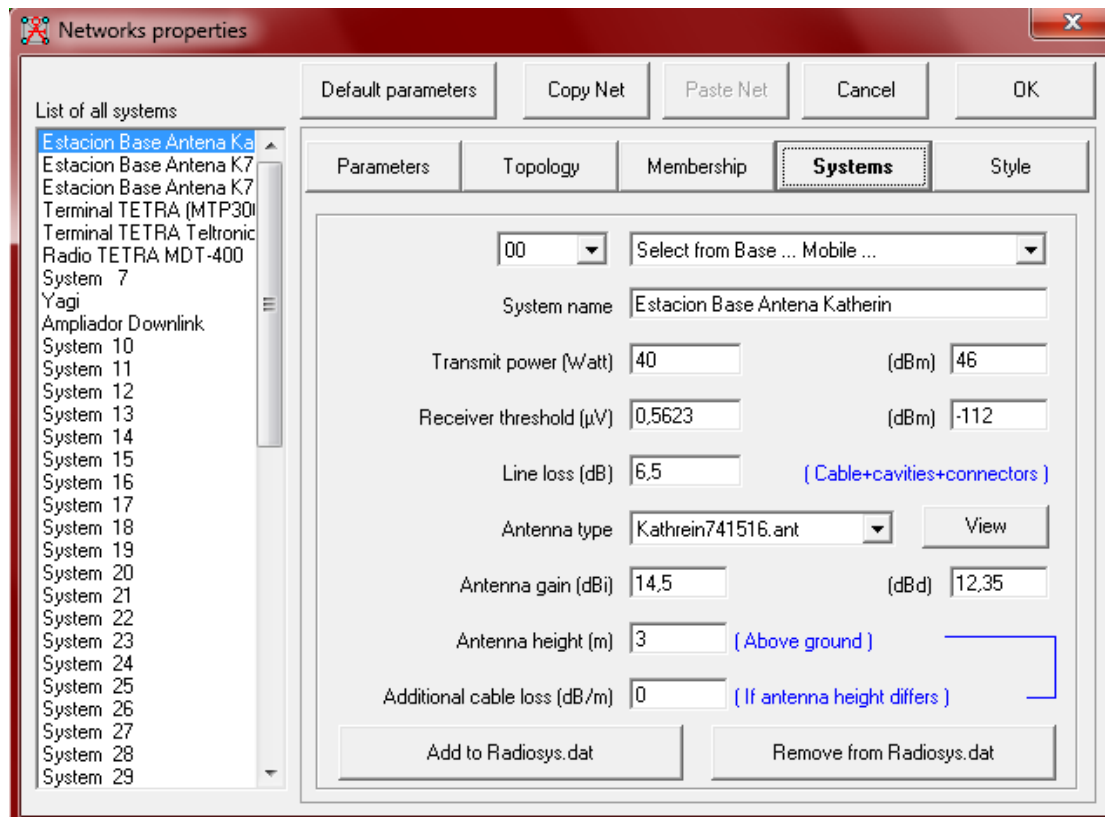


Figura 4.3. Configuración de los parámetros de red en Radio Mobile. Fuente: Radio Mobile

Como se puede observar en la imagen, en este caso habría que seleccionar la potencia emitida, la sensibilidad, las pérdidas por cables, cavidades y conectores, la antena empleada, su ganancia y la altura de la antena. Este último parámetro será diferente para cada antena y se puede modificar para cada una de una manera sencilla posteriormente, cuando se introduzcan todas las unidades, sin necesidad de crear más sistemas.

4.4.4. INTRODUCCIÓN DE LAS UNIDADES

En este paso se colocarán cada una de las estaciones base pertenecientes a la red, así como los terminales que se precisen necesarios.

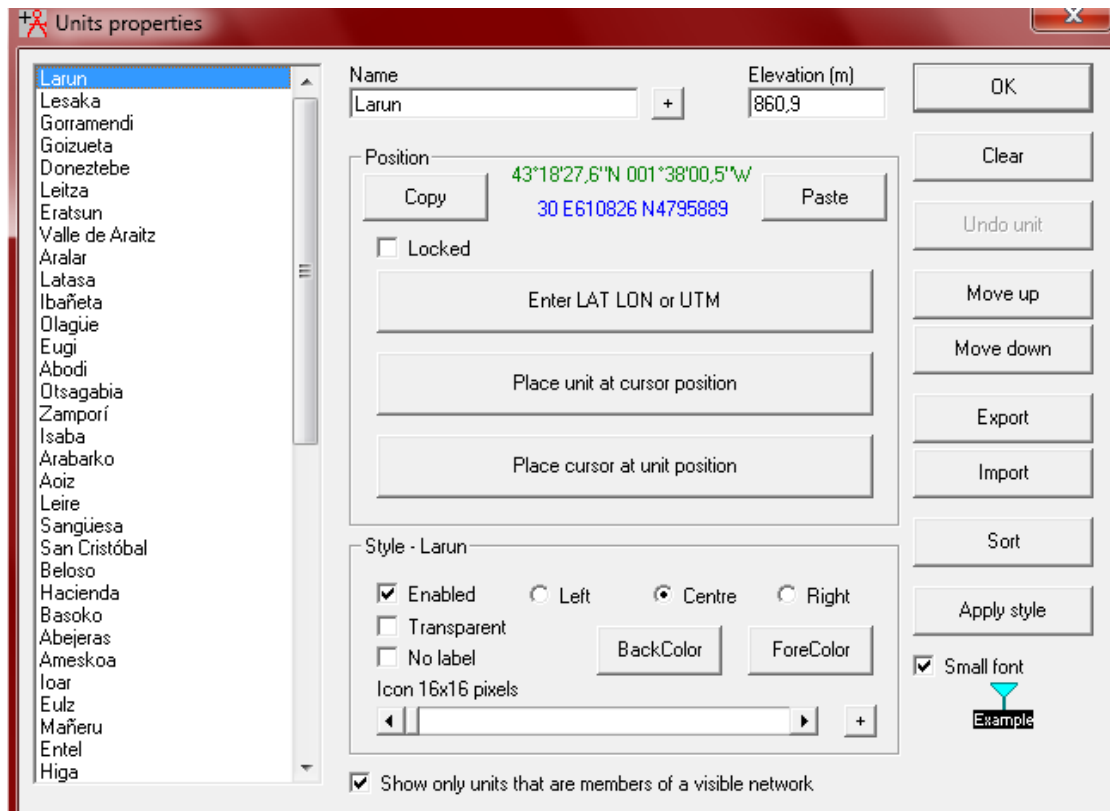


Figura 4.4. Propiedades de las unidades en Radio Mobile. Fuente: Radio Mobile.

Para introducir cada unidad basta con saber sus coordenadas bien en latitud y longitud o bien en UTM. Así mismo, se puede importar puntos desde Google Earth.

En la parte izquierda de la imagen se muestran todas las estaciones base introducidas.

4.4.5. ASIGNACIÓN DE UNIDADES A LA RED

Una vez introducidas todas las unidades, solo falta relacionarlas con la red creada. Esto consiste en asignar cada unidad a cada uno de los sistemas anteriormente creados. Por ejemplo, las estaciones base de Larún y Abodi irán relacionadas con el mismo sistema, ya que emplean la misma antena.

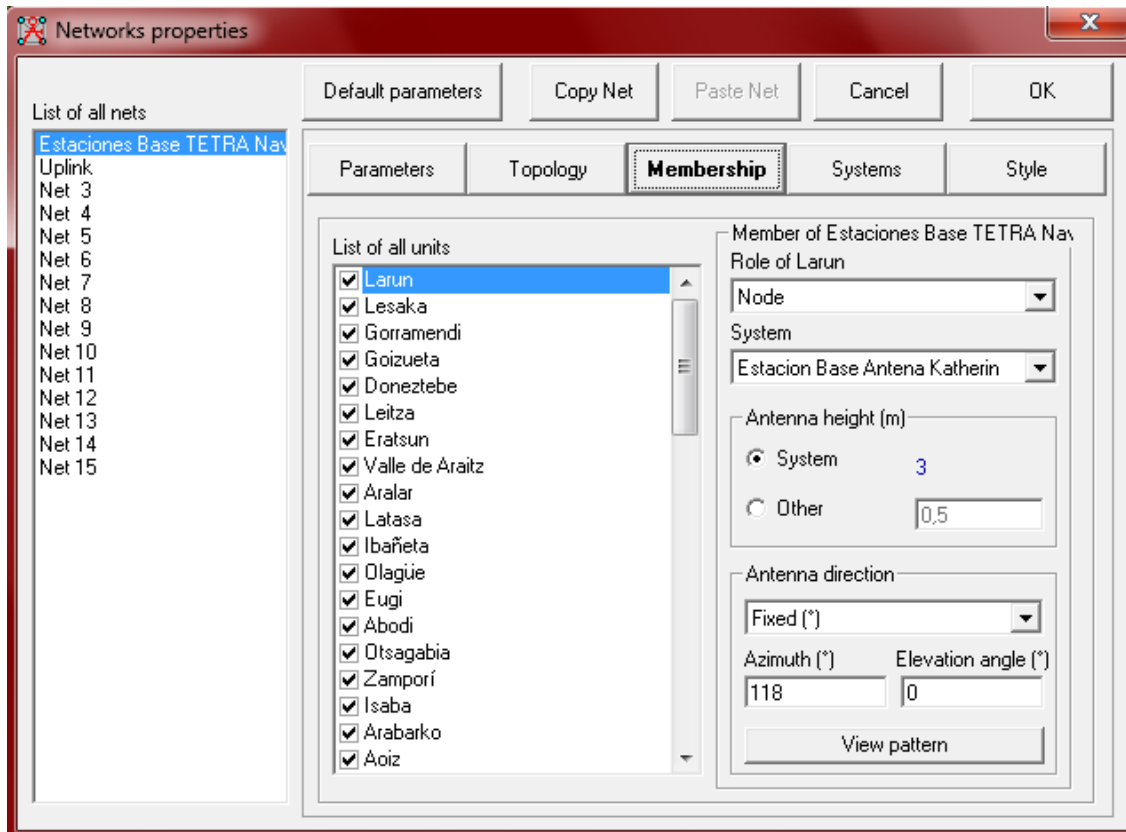


Figura 4.5. Asignación de unidades en Radio Mobile. Fuente: Radio Mobile.

Además de asignar cada unidad con un sistema de los creados, en esta pantalla se puede elegir la altura de la antena y la dirección a la que apunta. De tal forma que cada unidad queda configurada de una manera diferente, a pesar de pertenecer a un mismo sistema.

4.4.6. LAND COVER

El programa dispone de una herramienta que estima la altura de edificios, arboles, etc. así como su densidad. Para emplearla basta con activar la casilla en las opciones del software.

El programa permite modificar los valores en caso de que el usuario lo precise oportuno.

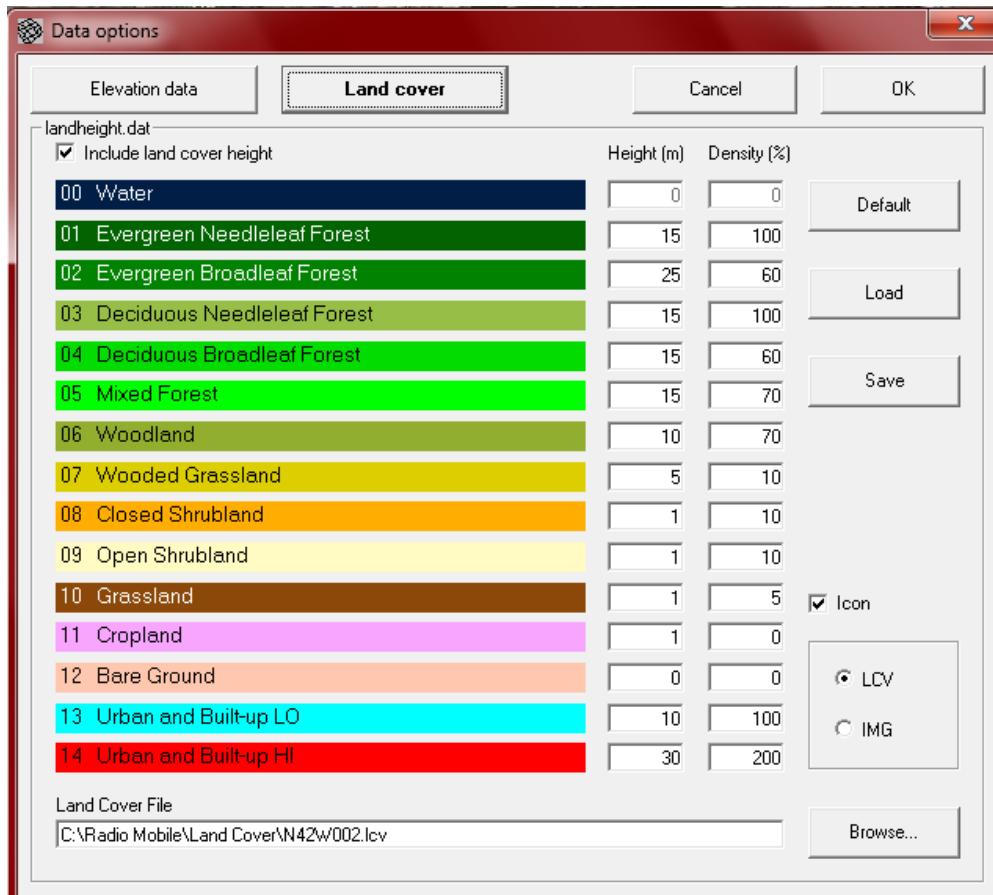


Figura 4.6. Parámetros Land Cover en Radio Mobile. Fuente: Radio Mobile.

Para todas las simulaciones realizadas en este trabajo, esta opción estaba activada, obteniendo así unos resultados más precisos.

4.4.7. SIMULACIONES

El programa dispone de diferentes formas de simulación. En este trabajo se han empleado simulaciones de cobertura, simulaciones de radioenlaces, simulaciones de tipo ruta y simulaciones de interferencia.

4.4.7.1. SIMULACIÓN DE COBERTURA

Las simulaciones de tipo cobertura son muy útiles cuando se quiere obtener el nivel de señal en una zona extensa. Permite calcular el área de cobertura de una estación base. Para ello es necesario indicar un terminal de referencia, del cual se obtendrá la potencia mínima requerida para funcionar.

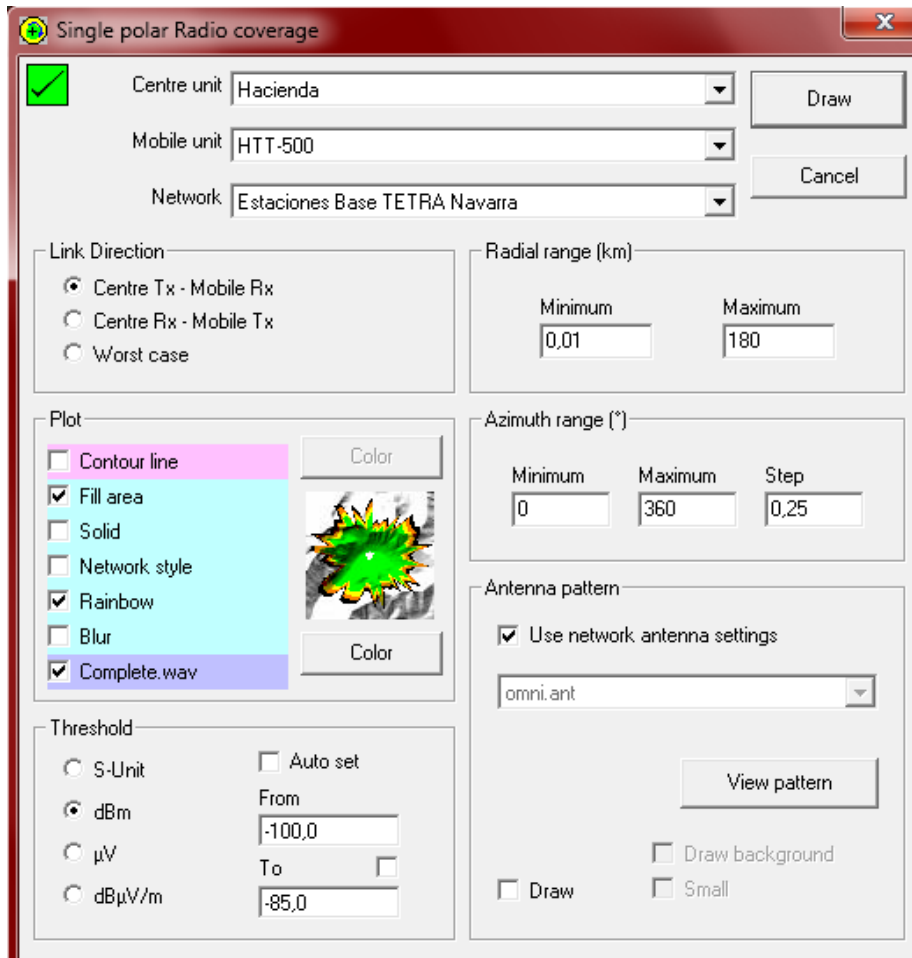


Figura 4.7. Simulación de cobertura en Radio Mobile. Fuente: Radio Mobile.

Se debe seleccionar la estación transmisora y el terminal de referencia que hará de receptor. Existe la posibilidad de seleccionar la dirección del enlace, ya sea desde el transmisor hacia el receptor, desde el receptor hacia el transmisor o el peor caso de los anteriores. Además, se puede escoger el grado de exactitud de la simulación. En este caso se ha escogido 0.25° , lo que supone que barrera desde 0° hasta 360° en tramos de 0.25° .

Por último, se debe seleccionar el rango de potencias que se quieren obtener en la simulación. En este caso, las zonas con valores superiores a -85 saldrán en verde, las que estén entre -85 y -90 saldrán en amarillo, entre -90 y -95 en naranja, entre -95 y -100 en negro y las zonas con valores inferiores a -100 no se mostrarán.

4.4.7.2. RADIOENLACES

Con estas simulaciones se obtiene la potencia de un enlace punto a punto entre un transmisor y un receptor. El programa muestra el perfil de elevación del trayecto así como las zonas de Fresnel.

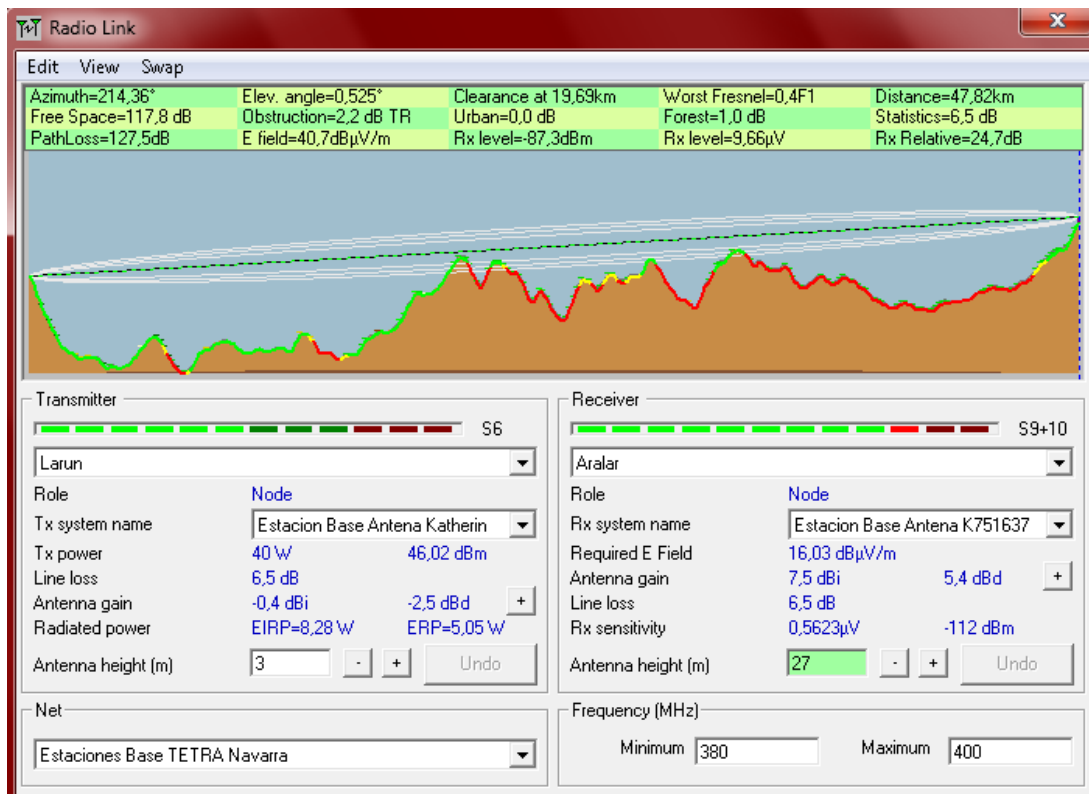


Figura 4.8. Resultado de simulación radioenlace en Radio Mobile. Fuente: Radio Mobile.

En la parte superior de la imagen se muestran varios datos a destacar. En la izquierda, se indica el azimut óptimo para simulación, así como las pérdidas por trayecto. En el centro, aparece el nivel de señal que recibe el receptor. A la derecha del todo, aparece la distancia entre transmisor y receptor.

Debajo de estos datos, se puede observar un perfil de elevación del terreno, en el que aparecen los colores verde, amarillo y rojo en función de la señal que existe en esa zona.

En la zona central, se encuentran las pestañas para seleccionar tanto transmisor (parte izquierda) como receptor (parte derecha).

Por último, en la zona más baja de la imagen se muestran los datos correspondientes al transmisor y receptor seleccionados, y permite la posibilidad de variar las alturas de las antenas.

4.4.7.3. SIMULACIONES DE COBERTURA EN UNA RUTA [20]

Estas simulaciones permiten obtener el nivel de señal existente en diferentes puntos de una zona, basándose en una ruta previamente establecida.

Si la ruta se compone de 50 puntos, la simulación actúa como si se tratase de 50 enlaces punto a punto. Se muestra un ejemplo a continuación.

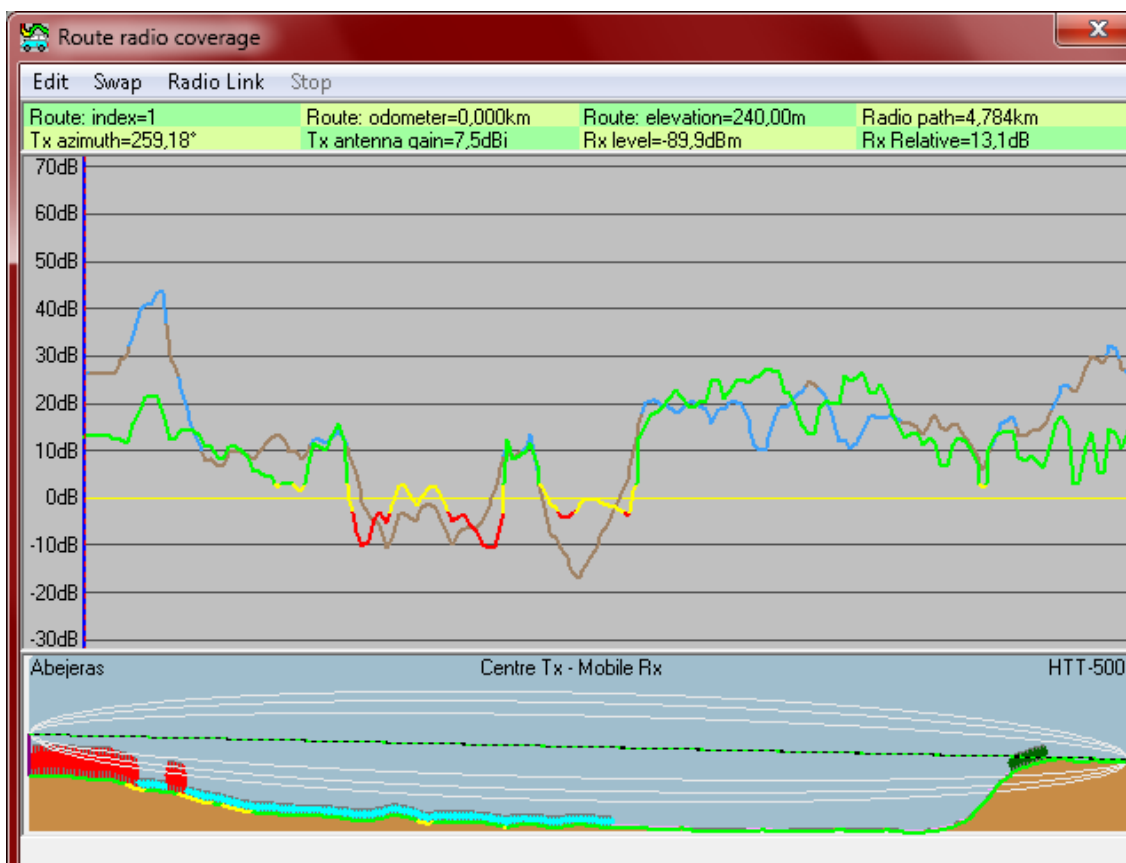


Figura 4.9. Resultado de simulación de cobertura en ruta en Radio Mobile. Fuente: Radio Mobile.

La simulación muestra el nivel de señal recibido en cada uno de los puntos. Esto se puede observar en la grafica mostrada en la simulación. Así mismo, muestra un perfil de elevación para cada punto. En este caso se visualiza el del primer punto.

En la parte superior, a la izquierda muestra el punto que se está mostrando en ese momento así como el azimut de la antena para apuntar hacia el punto en el que se sitúa el receptor. Otros parámetros que se pueden observar son la potencia recibida y la distancia del enlace.

De manera adicional, el programa permite guardar estos datos en formato kml (archivo de Google Earth) y en formato de texto, lo que ha sido de gran utilidad para la realización de este trabajo.

La ruta se muestra también de la siguiente manera en el mapa:



Figura 4.10. Simulación tipo ruta en Radio Mobile. Fuente: Radio Mobile.

4.4.7.4. INTERFERENCIAS

Esta opción permite obtener mapas con la relación S/I que existe en una determinada zona. Con esto se consigue ver si dos estaciones base que trabajan a una misma frecuencia se van a interferir o no.

En el caso del sistema TETRA la relación señal/interferencia debe ser superior a 10dB.

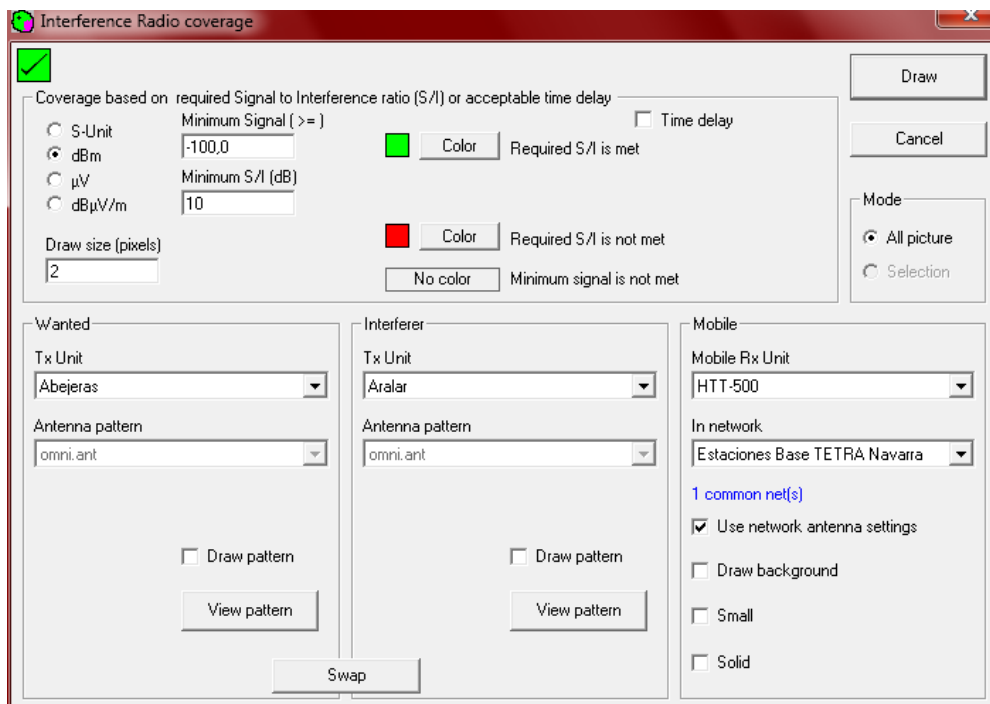


Figura 4.11. Cálculo de mapa de interferencia en Radio Mobile. Fuente: Radio Mobile

Se debe seleccionar la estación interferida y la estación interferente, así como un terminal de referencia.

La simulación mostrará un mapa con tonalidades rojas y verdes en función de si la relación S/I es correcta (verde) o incorrecta (rojo).

En este tipo de simulación, el tiempo que tarda el programa en mostrar el resultado es bastante elevado, por lo que habrá que elegir una resolución tal que la precisión sea buena pero el tiempo de simulación no sea muy elevado. En el trabajo se ha empleado una resolución de 2 píxeles.

4.5. MATERIAL EMPLEADO PARA LAS MEDICIONES [1]

En este apartado se van a describir brevemente los equipos empleados para las medidas reales de nivel de señal tomadas.

- Terminal de mano: Se trata de un terminal similar al empleado por los usuarios de la red TETRA (Policía Foral, bomberos, etc.). El modelo es HTT-500 de la casa Teltronic. Se conecta vía bluetooth con una Tablet, que es a la que le envía los valores de señal recibidos para que esta los almacene. Es muy útil para lugares en los que el acceder con un vehículo es complicado. Tiene asignado un grupo en el que solo están los terminales de la Dirección General de Informática, Telecomunicaciones e Innovación Pública (DGITIP).

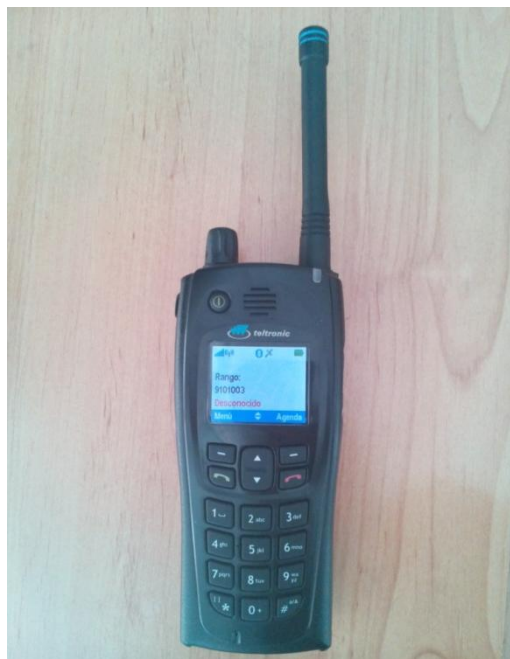


Figura 4.12. Terminal de mano empleado para realizar las mediciones. Fuente: propia.

- Terminal móvil: Se trata de una radio similar a la empleada por los usuarios de la red TETRA (Policía Foral, bomberos, etc.). está radio necesita estar conectada al mechero del vehículo para funcionar. A ella se le conecta una pequeña antena que se coloca en la parte superior del vehículo para captar la señal. También se conecta vía bluetooth con la Tablet para recoger los datos correspondientes al nivel de señal.



Figura 4.13. Terminal móvil empleado para hacer mediciones. Fuente: propia.



Figura 4.14. Antena empleada para las mediciones. Fuente: propia.

- Tablet: Actúa como base de datos. en ella se almacenan los datos recibidos vía bluetooth del terminal de mano o del terminal móvil. Para ello, se emplea un programa llamado Tetralog, que permite almacenar los valores de señal obtenidos así como la ruta por la que se ha pasado. Así mismo, genera un archivo kmz (Google Earth) y otro de tipo csv (Excel) con todos los datos.

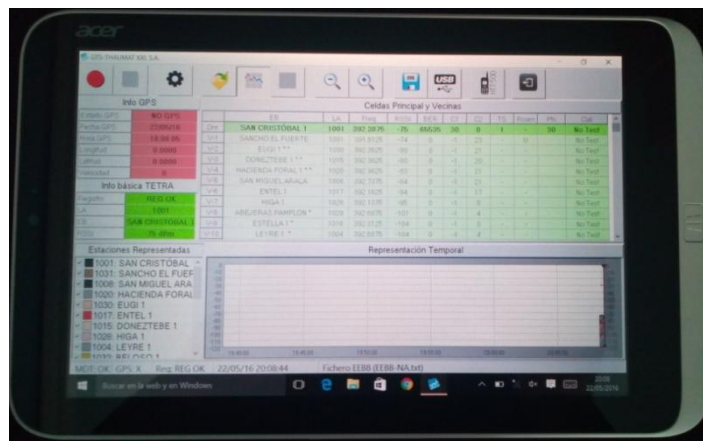


Figura 4.15. Tablet con el programa "Tetralog". Fuente: propia.

4.6. ESTIMACIÓN DE COBERTURA MEDIANTE MODELOS EMPÍRICOS

En este apartado se van a mostrar las estimaciones de cobertura realizadas con el modelo de Okumura-Hata, el COST 231 Walfisch-Ikegami y con Radio Mobile (modelo Longley Rice).

Estas se han realizado en lugares urbanos/suburbanos y se han comparado con los valores reales medidos, extrayendo así el error medio cometido y la desviación estándar.

Se han simulado los niveles de señal de las estaciones base que proporcionan una señal suficiente para establecer la comunicación correctamente en cada una de las localidades visitadas.

Las localidades estudiadas son las siguientes: Barañáin, Berriozar, Ansoáin, Burlada, Villava, Gorráiz, Huarte, Castejón, Tudela, Estella y Alsasua.

En todas las gráficas que se van a mostrar, el eje Y indica la potencia recibida en dBm y el eje X será la ruta realizada, es decir, se mostrará de izquierda a derecha los niveles que existen sobre el recorrido realizado. Un ejemplo sería realizar la ruta que une el aulario con El Sario. En ese caso, la gráfica mostraría los niveles de señal empezando por el aulario (el eje X partirá de este punto) y terminando por El Sario (el punto final del eje X sería este edificio).

Cabe destacar que la intención ha sido la de llevar estos modelos al límite, por lo que no se han tenido en cuenta las restricciones de los mismos.

A continuación se mostraran los resultados gráficos de algunos entornos simulados. El resto se podrán ver en el apartado de anexos.

Los valores de error y desviación estándar se mostraran al completo. Para todos los casos, estos valores son calculados respecto a la potencia de señal medida.

4.6.1. ZONA BURLADA-VILLAVA



Figura 4.16. Recorrido realizado en las mediciones de Burlada y Villava. Fuente: Google Earth

El camino realizado es el mostrado en la imagen superior con una línea verde. Se comienza por la zona del campo de fútbol y se finaliza en la salida de Burlada hacia la cuesta Beloso.

4.6.1.1. SIMULACIÓN LONGLEY RICE (RADIO ROBILE)

Este modelo se ha simulado con la herramienta tipo software Radio Mobile. Para ello se ha empleado la opción de simulación de cobertura tipo ruta, extrayendo los datos a una hoja Excel para poder así compararlos con los valores medidos.

Los resultados obtenidos fluctúan de manera similar a los valores medidos, haciendo que suponga una buena estimación del nivel de señal. Estas fluctuaciones se deben a que el programa tiene en cuenta los obstáculos como edificios, árboles, etc.

A continuación se mostrarán las gráficas obtenidas, así como el error medio y la desviación estándar de estos resultados respecto a las medidas reales.

En primer lugar, se compara el máximo medido durante la ruta con el máximo obtenido en la simulación, obteniendo la siguiente gráfica:

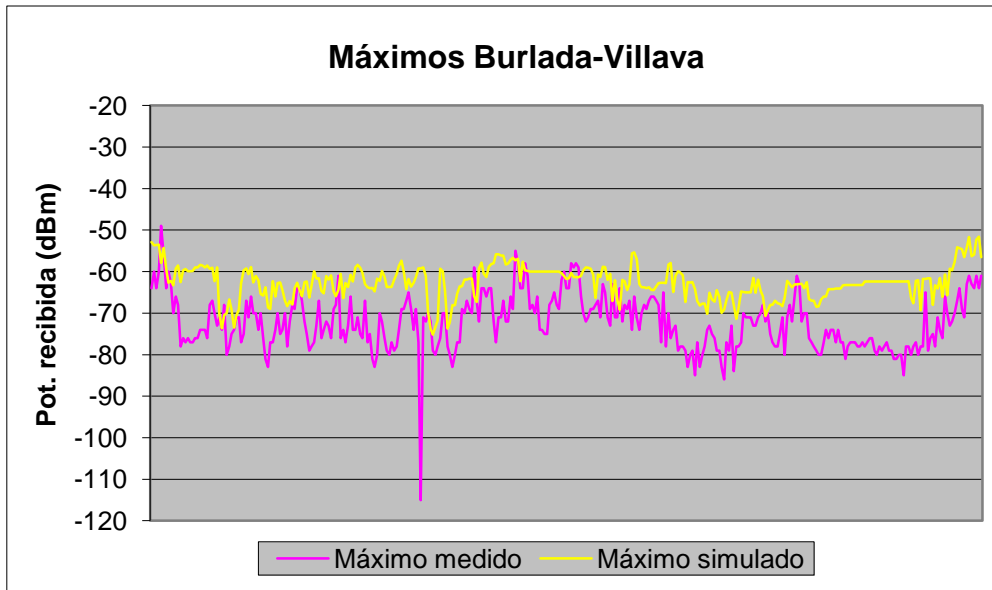


Figura 4.17. Potencia máxima recibida simulada y medida. Fuente: propia

En ella se observa que la señal obtenida con la simulación es ligeramente superior al valor medido en los diferentes puntos del recorrido. Concretamente, el error medio obtenido es de 10,02 dB y la desviación estándar de 5,69 dB.

Analizando este mismo recorrido para cada una de las estaciones base a las que se conecta el terminal en esa zona, se obtienen los resultados mostrados a continuación.

Las estaciones base en este caso son: San Cristóbal, Hacienda, Higa de Monreal y Beloso.

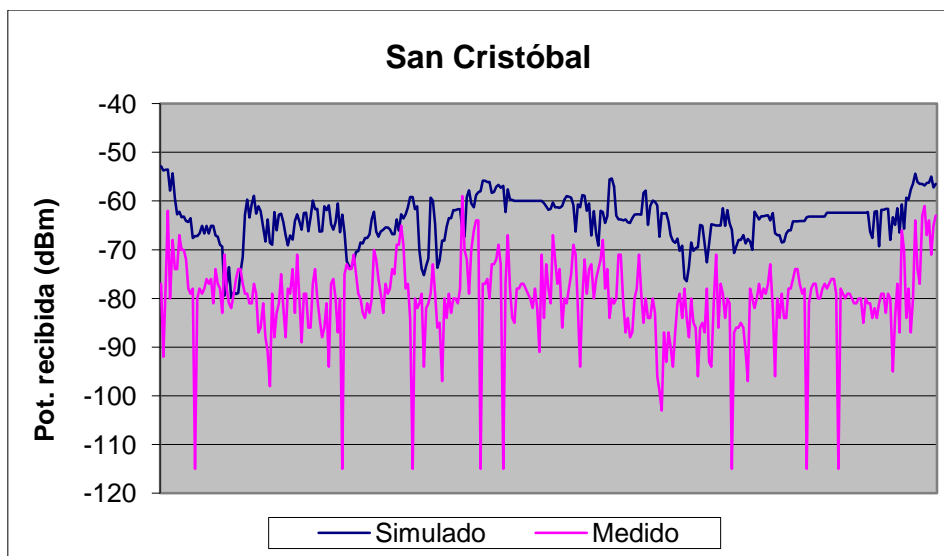


Figura 4.18. Potencia simulada y medida de la estación base de San Cristóbal. Fuente: propia

Error medio (dB)	11,79
Desviación estándar (dB)	7,13

Tabla 4.2. Error medio y desviación estándar San Cristóbal

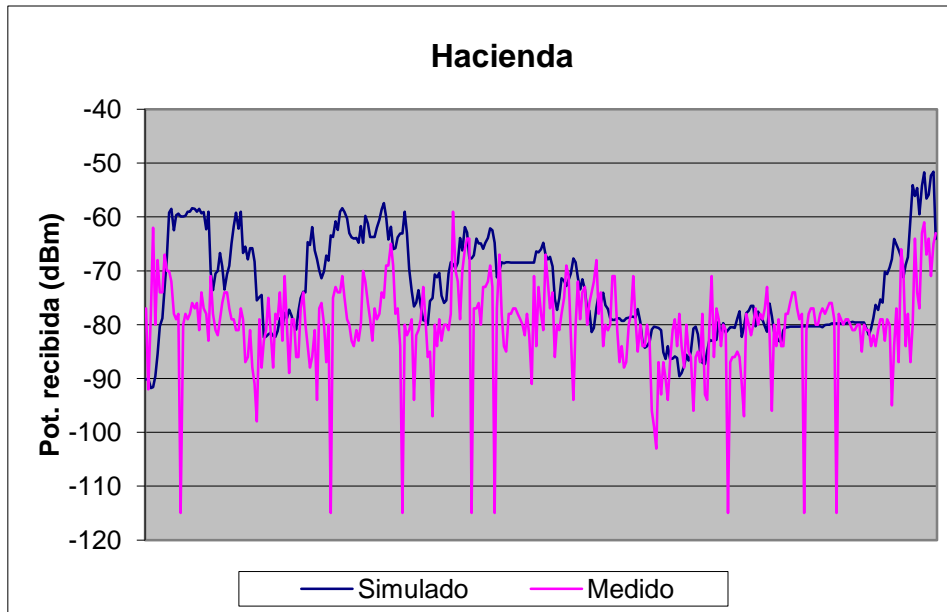


Figura 4.18. Potencia simulada y medida de la estación base de Hacienda. Fuente: propia

Error medio (dB)	9,49
Desviación estándar (dB)	8,85

Tabla 4.3. Error medio y desviación estándar Hacienda

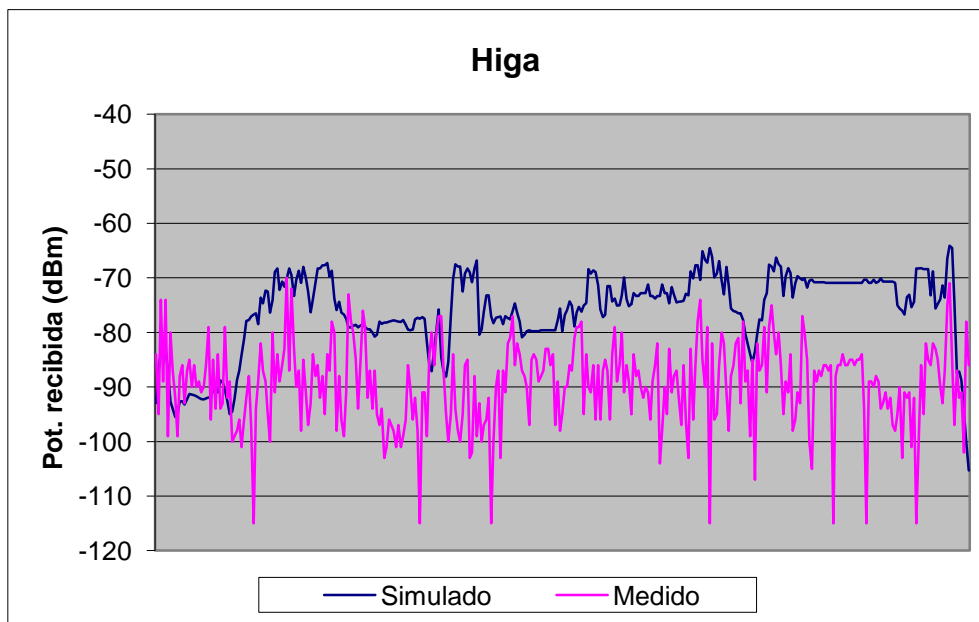


Figura 4.19. Potencia simulada y medida de la estación base de la Higa. Fuente: propia

Error medio (dB)	14,67
Desviación estándar (dB)	8,60

Tabla 4.4. Error medio y desviación estándar Higa

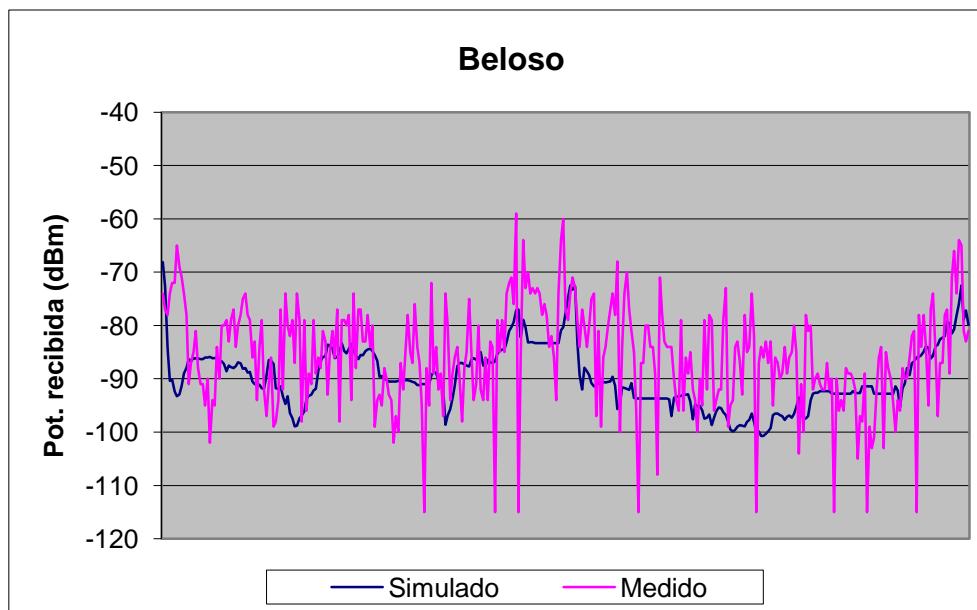


Figura 4.20. Potencia simulada y medida de la estación base de la Beloso. Fuente: propia

Error medio (dB)	8,23
Desviación estándar (dB)	6,45

Tabla 4.5. Error medio y desviación estándar Beloso

Observando estos resultados, se puede comprobar que son variantes en función de la estación base.

En este caso, la peor estimación es la de la estación situada en la Higa de Monreal. Esto puede ser debido, en parte, a que los obstáculos estimados por el programa no sean como los existentes en el trayecto, haciendo que Radio Mobile dé como resultado unos niveles de señal bastante superiores a los medidos. Esto mismo sería aplicable al caso de San Cristóbal. Otro aspecto que puede afectar es la altura relativa entre transmisor y receptor, ya que se observa que las estaciones urbanas (Hacienda y Beloso) tienen un error medio más pequeño.

4.6.1.2. SIMULACIÓN OKUMURA-HATA

Este modelo nos va a proporcionar una media del nivel de señal existente en el recorrido realizado en cada una de las zonas.

Para obtener un nivel de señal en un punto, al valor medio proporcionado se le sumaría la desviación estándar obtenida al comparar la simulación con las medidas reales.

En este caso, se va a mostrar en las gráficas una línea indicando la media (es una línea de tendencia lineal) de los valores medidos, que será a la que se tendrá que acercar la traza obtenida con la simulación Okumura-Hata.

El presente modelo de propagación permite obtener los resultados en función del entorno en que se realice la simulación (urbano ciudad grande, urbano ciudad mediana/pequeña, suburbano o rural).

Para la zona actual (Burlada-Villava), se ha elegido para las cuatro estaciones base el entorno de ciudad grande, ya que es la opción que muestra un menor error. Esta elección se puede considerar correcta ya que la concentración de edificios altos en la zona es grande.

A continuación se muestran las gráficas obtenidas para cada una de las estaciones base que otorgan cobertura a la zona.

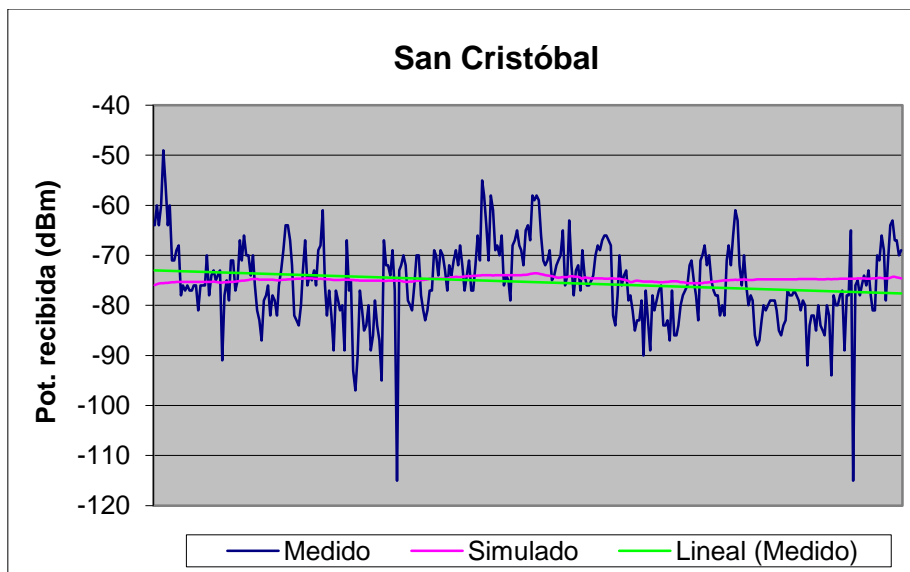


Figura 4.21. Simulación Okumura-Hata San Cristóbal. Fuente: propia

Error medio (dB)	5,93
Desviación estándar (dB)	5,16

Tabla 4.6. Error medio y desviación estándar San Cristóbal (Okumura-Hata)

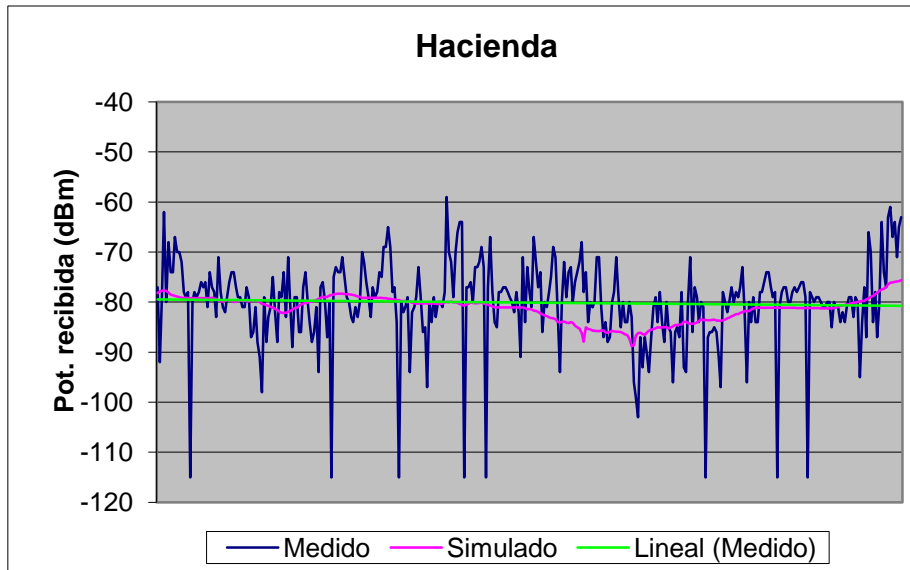


Figura 4.22. Simulación Okumura-Hata Hacienda. Fuente: propia

Error medio (dB)	5,67
Desviación estándar (dB)	6,18

Tabla 4.7. Error medio y desviación estándar Hacienda (Okumura-Hata)

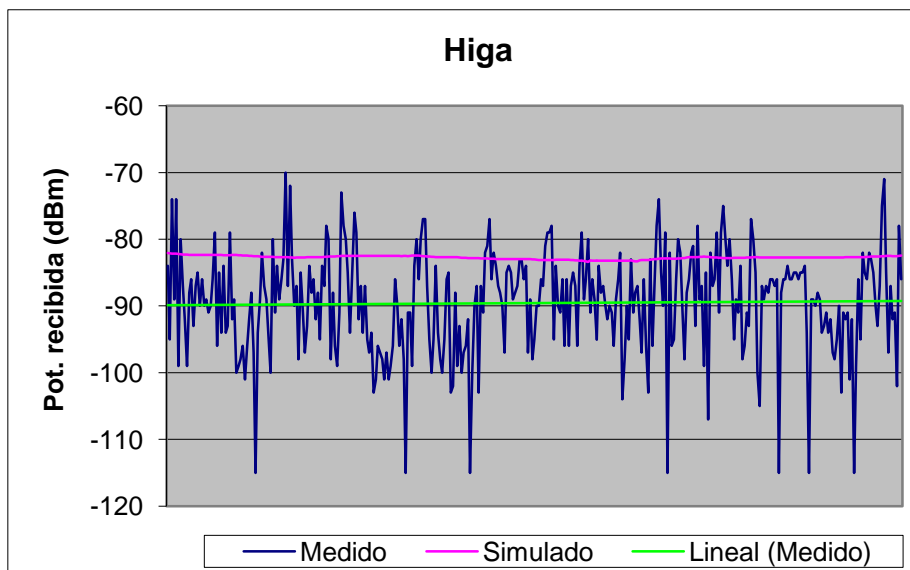


Figura 4.23. Simulación Okumura-Hata Higa. Fuente: propia

Error medio (dB)	8,14
Desviación estándar (dB)	6,36

Tabla 4.8. Error medio y desviación estándar Higa (Okumura-Hata)

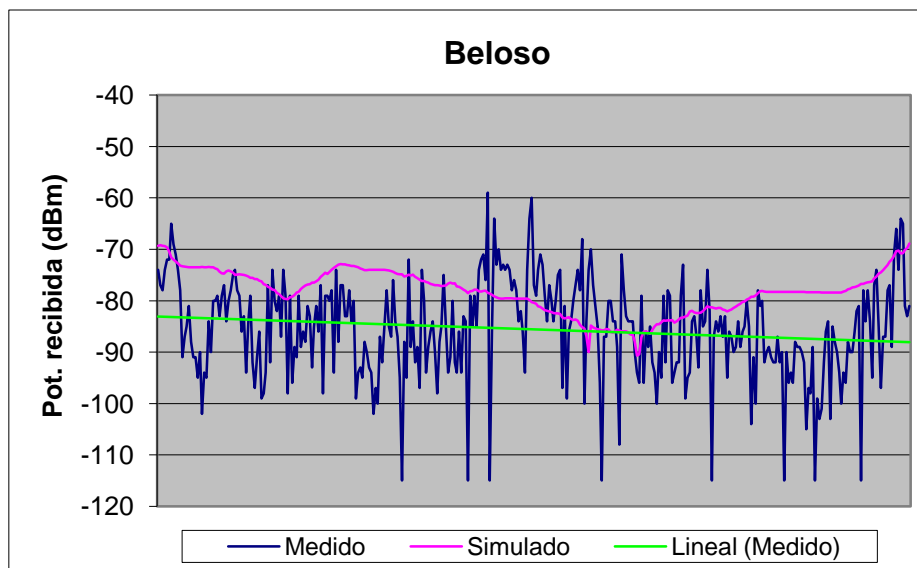


Figura 4.24. Simulación Okumura-Hata Beloso. Fuente: propia

Error medio (dB)	9,97
Desviación estándar (dB)	7,65

Tabla 4.9. Error medio y desviación estándar Beloso (Okumura-Hata)

En este caso, los resultados obtenidos son muy diferentes. Para el caso de San Cristóbal y Hacienda, se observa que los errores no superan los 6dB, por lo que la estimación es bastante buena. En cambio, para Beloso, una estación urbana situada cerca de la zona sometida a estudio, el error es de 10 dB.

En el caso de San Cristóbal, a pesar de no cumplir las restricciones de altura relativa entre transmisor y receptor, la simulación muestra un valor que se ajusta perfectamente a la media de los valores medidos. Esto nos daría la posibilidad de extender la altura relativa fijada en el método de Okumura-Hata.

En los resultados de la Higa de Monreal se observa que la potencia estimada es muy superior a la media de los valores reales (la altura relativa entre transmisor y receptor ronda los 900 metros), aunque las líneas son prácticamente paralelas, lo que hace pensar que introduciendo un ajuste en dB esa simulación nos daría unos valores mejores.

En los casos de las estaciones urbanas, se dan resultados contrarios. Para Hacienda la simulación es buena, provocada por el hecho de que se cumplen todas las restricciones del modelo de propagación. En cambio, para la estación de Beloso los resultados obtenidos son bastante pobres, a pesar de cumplir todas las restricciones. Esto es debido a que gran parte de los puntos medidos se encuentran a tan solo 1-1,5km de la estación base de Beloso, un valor que está en el límite del permitido por el modelo. Precisamente, la zona en la que mejor estima los valores de potencia es la situada más lejos de la estación transmisora (en torno a los 2 km).

Vemos que el modelo se comporta tal y como se indica anteriormente; estima una media de la señal. Con el fin de mostrar esta característica, se ha realizado la media del nivel medido y del simulado en cada una de las estaciones base. Los datos se han recogido en la siguiente tabla.

Estación base	Media valores medidos	Media valores simulados
San Cristóbal	-75,31 dBm	-74,8 dBm
Hacienda	-80,1 dBm	-81,27 dBm
Higa	-89,58 dBm	-82,73 dBm
Beloso	-85,59 dBm	-78,24 dBm

Tabla 4.10. Comparación potencia medida y potencia simulada Okumura-Hata

Al igual que se ha comprobado anteriormente, las mejores estimaciones son las de San Cristóbal y Hacienda, mientras que la de la Higa y la de Beloso presentan un error mayor.

4.6.1.3. SIMULACIÓN COST 231 WALFISCH-IKEGAMI

Al igual que el modelo de propagación de Okumura-Hata, el COST 231 Walfisch-Ikegami va a proporcionar una media del nivel de potencia obtenido en la ruta realizada.

Como se ha comentado anteriormente, este modelo tiene en cuenta un mayor número de parámetros. Uno de estos es el ángulo formado entre la orientación de la calle y la dirección de incidencia del rayo directo.

En función de este ángulo, el modelo ofrece unos resultados u otros. Los rangos son:

- Entre 0° y 35°.
- Entre 35° y 55°.
- Entre 55° y 90°.

En las gráficas que se exponen a continuación, se muestran las estimaciones para esos tres casos, aunque para este trabajo se ha tomado un ángulo de 75°.

A diferencia del modelo anterior, este introduce más pérdidas cuando la antena transmisora se encuentra colocada pocos metros por encima de la altura media de los edificios de la zona, estimando un nivel de potencia bastante bajo. La predicción obtenida es aún peor para los casos en los que la antena está situada a una altura más baja que los edificios. Este hecho se podrá observar en alguno de los resultados obtenidos en este trabajo.

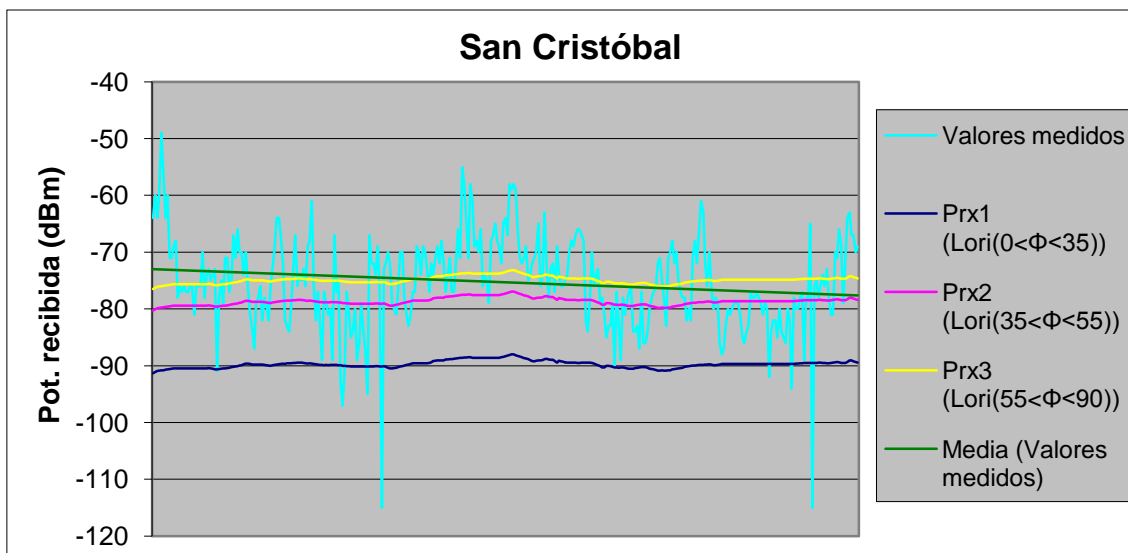


Figura 4.25. Potencia simulada San Cristóbal (COST 231 Walfisch-Ikegami). Fuente: propia

Error medio caso 1 (dB)	14,85	Desviación estándar caso 1 (dB)	6,96
Error medio caso 2 (dB)	6,44	Desviación estándar caso 2 (dB)	5,53
Error medio caso 3 (dB)	5,86	Desviación estándar caso 3 (dB)	5,16

Tabla 4.11. Error medio y desviación estándar San Cristóbal (COST 231 Walfisch-Ikegami)

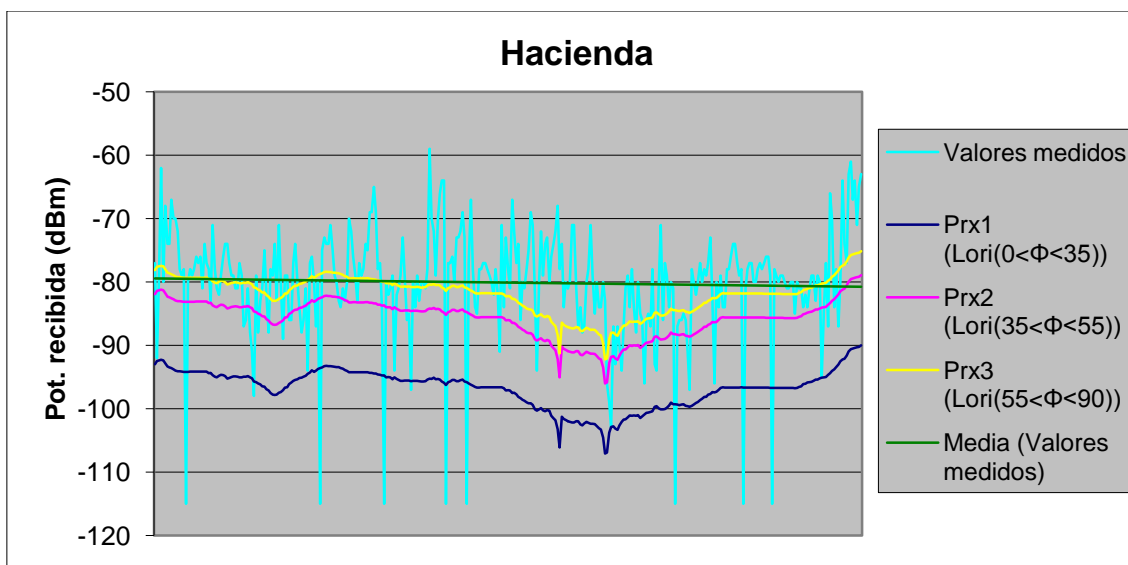


Figura 4.26. Potencia simulada Hacienda (COST 231 Walfisch-Ikegami). Fuente: propia

Error medio caso 1 (dB)	17,59	Desviación estándar caso 1 (dB)	6,19
Error medio caso 2 (dB)	8,12	Desviación estándar caso 2 (dB)	5,94
Error medio caso 3 (dB)	5,92	Desviación estándar caso 3 (dB)	6,16

Tabla 4.12. Error medio y desviación estándar Hacienda (COST 231 Walfisch-Ikegami)

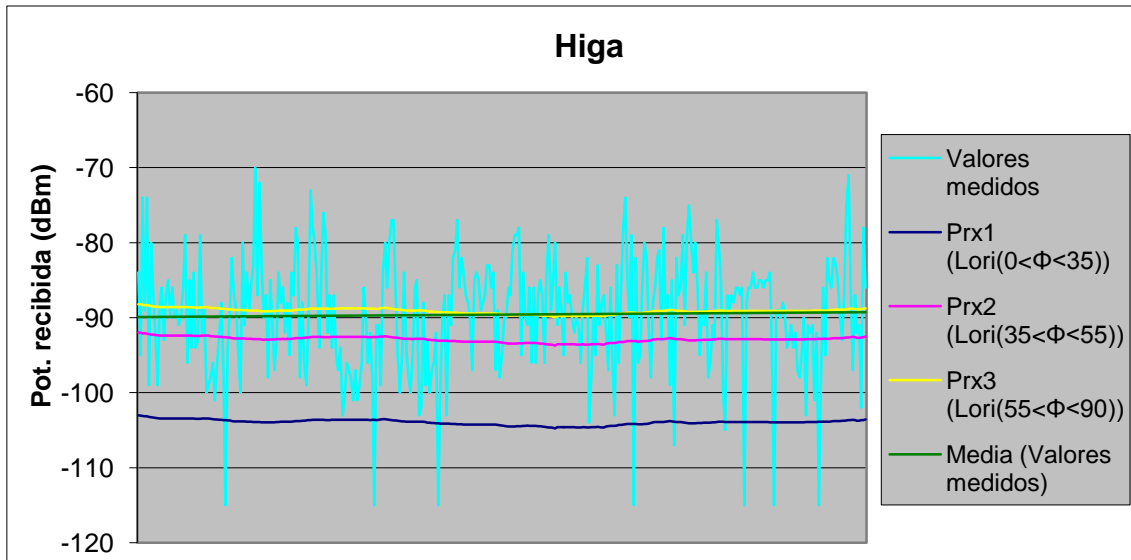


Figura 4.27. Potencia simulada Higa (COST 231 Walfisch-Ikegami). Fuente: propia

Error medio caso 1 (dB)	14,84	Desviación estándar caso 1 (dB)	6,78
Error medio caso 2 (dB)	6,86	Desviación estándar caso 2 (dB)	4,88
Error medio caso 3 (dB)	5,99	Desviación estándar caso 3 (dB)	4,92

Tabla 4.13. Error medio y desviación estándar Higa (COST 231 Walfisch-Ikegami)

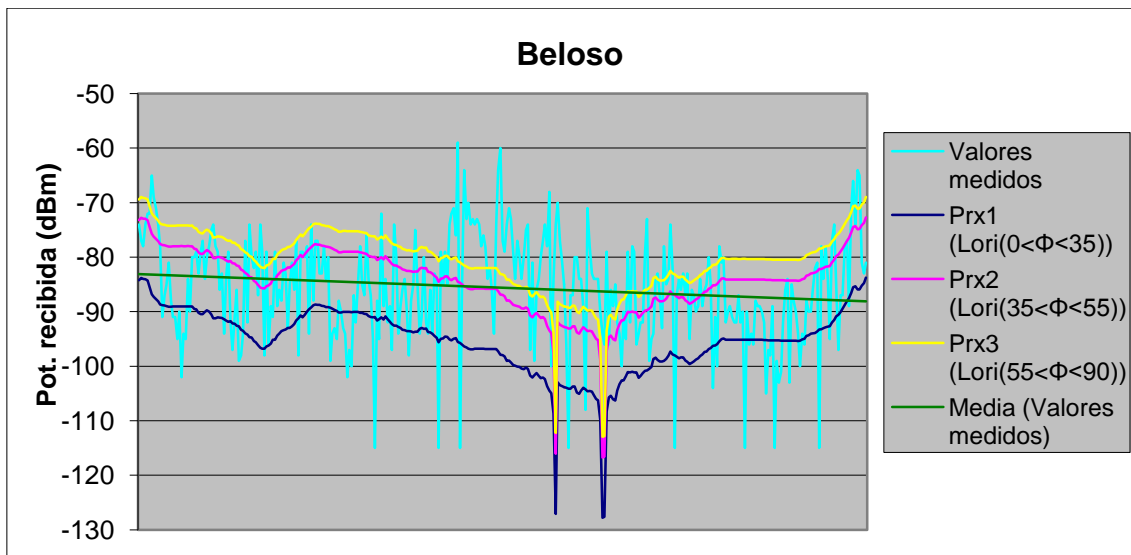


Figura 4.28. Potencia simulada Beloso (COST 231 Walfisch-Ikegami). Fuente: propia

Error medio caso 1 (dB)	11,84	Desviación estándar caso 1 (dB)	8,49
Error medio caso 2 (dB)	8,58	Desviación estándar caso 2 (dB)	6,86
Error medio caso 3 (dB)	9,57	Desviación estándar caso 3 (dB)	7,34

Tabla 4.14. Error medio y desviación estándar Beloso (COST 231 Walfisch-Ikegami)

En primer lugar, hay que comentar que la restricción en frecuencia del modelo impediría poder utilizarlo en este caso, ya que la frecuencia del sistema TETRA (390MHz) se encuentra fuera del rango definido. Este aspecto podría ser un motivo en caso de encontrar grandes errores en las estimaciones de potencia recibida.

Si nos fijamos en los errores obtenidos, todos son inferiores a 6 dB excepto en el caso de Beloso. Esto es debido a que tiene dos fuertes caídas de nivel de la señal, provocadas por la poca diferencia de altura entre la estación base y los edificios de la zona.

En cuanto a las gráficas, vemos que realiza una mejor estimación de las estaciones no urbanas que de las urbanas. En el caso de la Higa de Monreal la línea de tendencia lineal de los valores medidos es prácticamente igual a la traza simulada, logrando en este caso una gran exactitud. Para el caso de San Cristóbal ocurre lo mismo. El motivo es que, al encontrarse las estaciones a una mayor altura respecto al receptor, a penas va a fluctuar el nivel de potencia estimado y se mantiene prácticamente constante.

En cambio, las estaciones urbanas no tienen una altura muy superior al receptor (sobre todo Beloso), lo que hace que esa potencia recibida caiga y suba con mayor frecuencia en función de esta altura.

Al igual que el modelo de propagación anterior, el COST 231 Walfisch-Ikegami también realiza una estimación del nivel medio de la señal. Como prueba de ello, se ha realizado la media de los valores medidos de cada estación base y la media de los valores estimados para cada estación base obteniendo lo siguiente:

Estación base	Media valores medidos	Media valores simulados
San Cristóbal	-75,31 dBm	-74,91 dBm
Hacienda	-80,1 dBm	-81,95 dBm
Higa	-89,58 dBm	-89,12 dBm
Beloso	-85,59 dBm	-80,42 dBm

Tabla 4.15. Comparación valores medidos y simulados con COST 231 Walfisch-Ikegami

Como se puede comprobar, la media es prácticamente exacta en tres de las cuatro estaciones.

4.6.1.4. CONCLUSIONES

Haciendo un resumen de los datos mostrados, vemos que el modelo con el que menor error medio se obtiene varía para cada una de las estaciones base.

Estación base	Error medio mín.	Modelo correspondiente
San Cristóbal	5,86 dB	COST 231 Walfisch-Ikegami
Hacienda	5,67 dB	Okumura-Hata
Higa	5,99 dB	COST 231 Walfisch-Ikegami
Beloso	9,57 dB	Longley Rice (Radio Mobile)

Tabla 4.16. Error medio mínimo obtenido

En el caso de San Cristóbal y de la Higa, el menor error medio se consigue es con el COST 231 Walfisch-Ikegami (5,86 dB y 5,99 dB respectivamente). Este modelo, como ya se comentado, proporciona un valor que se aproxima a la media de la potencia recibida en el trayecto, por lo que esta predicción no fluctuará demasiado. Con esto, si se evalúa punto a punto el nivel estimado, se comprueba que existen errores muy diferentes para cada uno de estos puntos.

Observando el de Okumura-Hata nos damos cuenta de que ocurre lo mismo. En cambio, con el Longley Rice, se produce una mayor fluctuación y el error permanece algo más constante si se evalúa cada punto por separado.

Para la estimación de potencia proporcionada por la estación base de Hacienda, el modelo que menor error detecta es el de Okumura-Hata, aunque es muy similar al del COST 231 Walfisch-Ikegami. Al igual que ocurre con los casos anteriores, el modelo de Okumura-Hata realiza una estimación media de la señal, haciendo que el error en algunos puntos sea muy grande. Si se quiere obtener un nivel de señal variante que haga una predicción de la potencia punto a punto, este no sería el modelo más adecuado para usar.

Por último, en el caso de Beloso, con el modelo que menor error medio se obtiene es con el Longley Rice (Radio Mobile). A pesar de ser el menor, el valor supera los 8 dB, por lo que no es muy preciso. Sin embargo, se puede observar que sigue muy bien las tendencias de subida y bajada de la señal.

Analizando estos datos, observamos que el modelo COST 231 Walfisch-Ikegami ofrece un valor medio correcto en los casos en los que la estación transmisora se encuentra a una altura lo suficientemente amplia respecto a la de los edificios. En caso de que la diferencia de altura sea pequeña, este modelo no nos sirve, ya que las pérdidas aumentan considerablemente.

El modelo Okumura-Hata ofrece buenas estimaciones de valor medio tanto para estaciones urbanas como para no urbanas, aunque las predicciones dan un error medio mayor si la estación se encuentra cerca (por debajo de 2 km) del receptor.

En cuanto a Radio Mobile (modelo Longley Rice), cabe destacar el alto grado de fluctuación de la señal, lo que indica que tiene en cuenta los posibles obstáculos como edificios, árboles, etc. Se puede apreciar que los errores medios que se obtienen son mayores, aunque esto no significa que la predicción sea peor, puesto que, como se ha comentado anteriormente, suele mantener un error similar para cada punto del recorrido. Este factor es muy importante, ya que se puede conseguir ajustar el resultado introduciendo un factor de corrección en dB que haga que la estimación se asemeje más a los valores medidos.

4.6.2. RESUMEN DEL RESTO DE ZONAS

Nota: El resto de gráficas obtenidas para las diferentes localidades se encuentran en los anexos. En ellas se pueden corroborar las conclusiones extraídas.

A continuación se muestran a modo de resumen los valores de error medio obtenidos con cada modelo de propagación para cada una de las zonas:

Barañáin-Berriozar-Ansoáin		
Radio Mobile	Okumura-Hata	COST 231 Walfisch-Ikegami
10,13 dB	10,08 dB	8,49 dB

Tabla 4.17. Error medio de cada modelo de propagación en la zona Barañáin-Berriozar-Ansoáin

Gorraiz		
Radio Mobile	Okumura-Hata	COST 231 Walfisch-Ikegami
13,36 dB	9,26 dB	35,16 dB

Tabla 4.18. Error medio de cada modelo de propagación en la zona Gorraiz

Huarte		
Radio Mobile	Okumura-Hata	COST 231 Walfisch-Ikegami
18,84 dB	8,61 dB	8,32 dB

Tabla 4.19. Error medio de cada modelo de propagación en la zona Huarte

Castejón		
Radio Mobile	Okumura-Hata	COST 231 Walfisch-Ikegami
8,55 dB	9,13 dB	6,9 dB

Tabla 4.20. Error medio de cada modelo de propagación en la zona Castejón

Tudela		
Radio Mobile	Okumura-Hata	COST 231 Walfisch-Ikegami
12,77 dB	5,18 dB	5,69 dB

Tabla 4.21. Error medio de cada modelo de propagación en la zona Tudela

Estella		
Radio Mobile	Okumura-Hata	COST 231 Walfisch-Ikegami
13,39 dB	6,73 dB	7,09 dB

Tabla 4.22. Error medio de cada modelo de propagación en la zona Estella

Alsasua		
Radio Mobile	Okumura-Hata	COST 231 Walfisch-Ikegami
9,50 dB	5,36 dB	5,17 dB

Tabla 4.23. Error medio de cada modelo de propagación en la zona Alsasua

Las conclusiones que se pueden extraer de estos resultados son similares a las ya comentadas. Por ejemplo, se ve claramente una de las deficiencias del modelo COST 231-Walfisch-Ikegami en la simulación de Gorraiz, ya que las estaciones como Beloso o Hacienda se encuentran pocos metros por encima de los edificios de la zona, haciendo que los errores sean grandes.

Para el caso de Okumura-Hata, vemos que se obtienen diferentes resultados. Esto puede ser debido a que no cumplimos las restricciones del modelo, ya que, por ejemplo, en el caso de Tudela y Estella proporciona errores bastante bajos y, en cambio, Castejón y Alsasua que tienen ambas una situación geográfica similar respecto a las estaciones base, proporciona errores muy diferentes.

El modelo Longley Rice (Radio Mobile) proporciona errores elevados pero estima muy bien las fluctuaciones de la señal. Además, los errores suelen ser constantes en la mayoría de los casos.

4.7. RESULTADOS RADIO MOBILE Y MEDICIONES

En este apartado se van a mostrar las simulaciones realizadas en las diferentes zonas que han sido objeto de estudio, detallando cual es la situación actual de cada una.

4.7.1. ALSASUA

Alsasua es una localidad de unos 8.000 habitantes situada en la zona oeste de Navarra. Debido a su situación geográfica, la señal recibida en esta zona únicamente proviene de la estación base de San Miguel de Aralar, situada a 18 km. Por ello, la señal que llega a la zona es muy débil y muy plana, lo que hace que, debido a los obstáculos como pueden ser las casas del pueblo, la señal sea insuficiente en algunas de sus calles.

Se ha realizado una simulación de cobertura que se muestra en la imagen siguiente. En ella se puede observar que la potencia que llega a la zona es variante. La zona situada más cerca de la estación base recibe con valores superiores a -85 dBm. En cambio, la zona más alejada recibe una señal con niveles en torno a -95 dBm, lo que supone que la comunicación empezará a fallar.



Figura 4.29. Escala potencias cobertura Radio Mobile. Fuente: Radio Mobile

Esta escala será la misma para todas las imágenes de simulación de cobertura, salvo que se índice lo contrario.

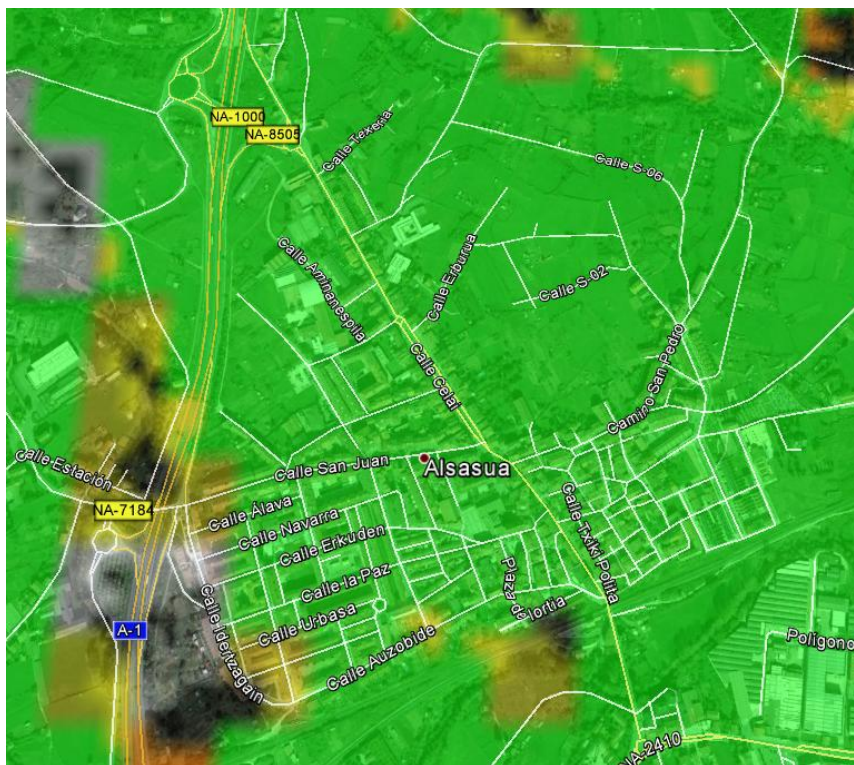


Figura 4.30. Simulación de cobertura de la estación base de Aralar sobre Alsasua. Fuente: Google Earth

Con el fin de obtener la situación real de la cobertura existente en Alsasua, se realizaron unas mediciones en la zona, obteniendo los resultados que se muestran en la figura 4.31.



Figura 4.31. Mediciones realizadas en Alsasua. Fuente: Google Earth

En primer lugar, destacar que la simulación previa obtenida no coincide exactamente con los valores medidos.

Como se puede observar en la imagen, los niveles de señal obtenidos no son muy buenos. La zona este de la localidad dispone de niveles cercanos a -70 dBm (se muestra la escala de colores en la siguiente imagen, figura...), en cambio, la zona central, que es donde se sitúa el ayuntamiento, los niveles caen a -92 y -94 dBm.

Esto se debe a que, como se ha comentado con anterioridad, la señal que llega es muy plana (Aralar está a 18 km), y los obstáculos hacen que esta no pueda llegar bien a las calles.

Para mejorar estos niveles, se propone emplear un amplificador de cobertura. Los resultados se muestran en el apartado “Propuestas”.

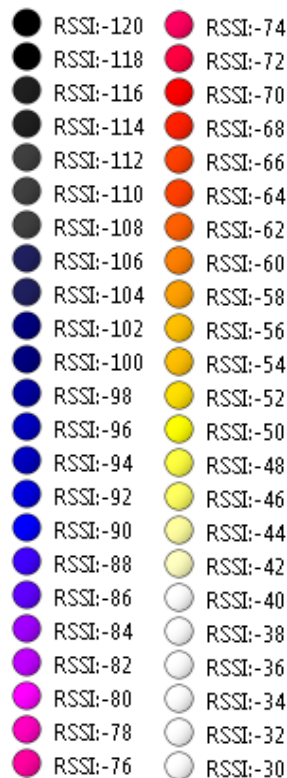


Figura 4.32. Código de colores en función de la potencia recibida (dBm). Fuente: Google Earth

El código de colores que se muestra es el mismo para todas las mediciones realizadas.

4.7.2. ESTELLA

Estella está situada en la zona oeste de la Comunidad Foral de Navarra y en ella viven actualmente unas 14.000 personas. La situación geográfica de Estella es bastante complicada, debido a que está rodeada por varios montículos que hacen que la recepción de la señal en las calles de la localidad sea bastante complicada.

La estación base más cercana es la situada en el monte Belástegui (estación base de Eulz), a unos 3.5 km del centro de Estella. Esta corta distancia sumada a la gran diferencia de altura entre los dos puntos (la estación base está a 760m y Estella a unos 420m), hace pensar que la cobertura puede ser la adecuada. En cambio, debido a las estrechas calles de la parte vieja de Estella, sumado a la altura de los edificios, hacen que la señal esté en unos niveles muy justos para establecer una comunicación sin cortes.

En la simulación realizada, se observa que la mayoría de las zonas deberían disponer de niveles superiores a -85 dBm. En cambio, si nos fijamos en la imagen que contiene las medidas realizadas por Estella, vemos que en la zona central de la misma aparecen algunos puntos conflictivos con niveles en torno a los -90 dBm.

Estos niveles se vuelven peores a medida que se intenta entrar a un edificio, por lo que será necesario mejorar esta situación. Para ello, se estudiará el traslado de la estación base de Eulz a un punto más cercano al centro de la localidad, pero sin perder demasiada extensión de cobertura.

En la sección de “Propuestas” se podrán ver los resultados.

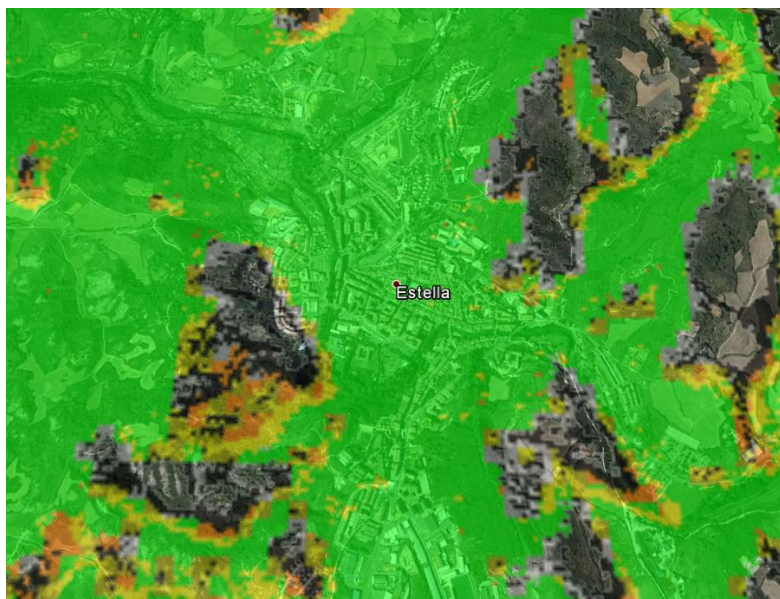


Figura 4.33. Simulación de cobertura en la zona de Estella proporcionada por la estación base de Eulz. Fuente: Google Earth

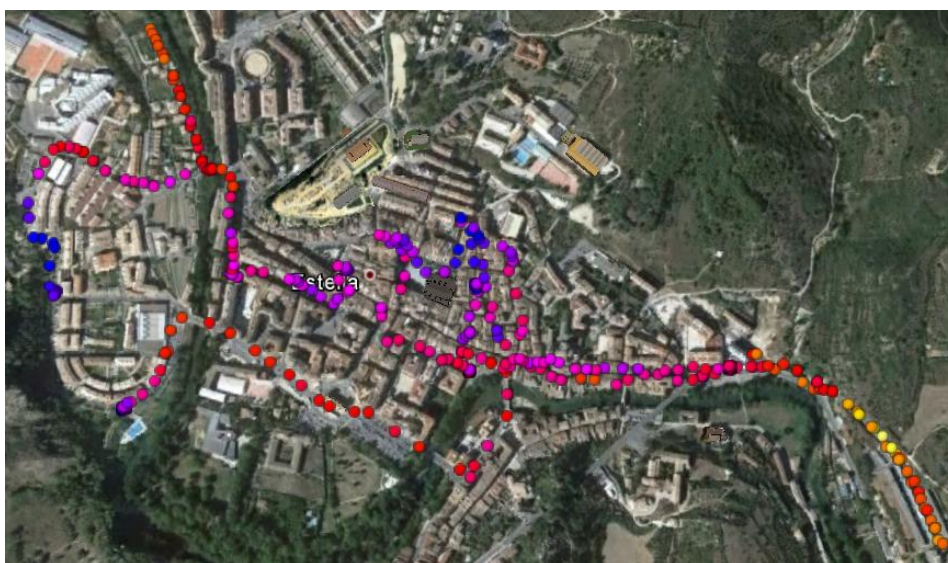


Figura 4.34. Mediciones realizadas en el pueblo de Estella. Fuente Google Earth

4.7.3. CASTEJÓN

El pueblo de Castejón cuenta con unos 4.000 habitantes y está situado al sur de la Comunidad Foral de Navarra. Su situación geográfica es diferente, ya que no tiene grandes montes a su alrededor. En cambio, su altitud (apenas 280 metros sobre el nivel del mar) hace que cualquier pequeña elevación del terreno suponga un obstáculo para la señal recibida. Esto sumado a la gran distancia existente con las estaciones base de la zona, indica que puede ser una zona problemática.

Las mediciones realizadas en la zona, nos hicieron ver que únicamente llega señal de la estación de Yerga y de la de Peralta. Por ello, se ha simulado la cobertura proporcionada por cada una de ellas en Castejón.

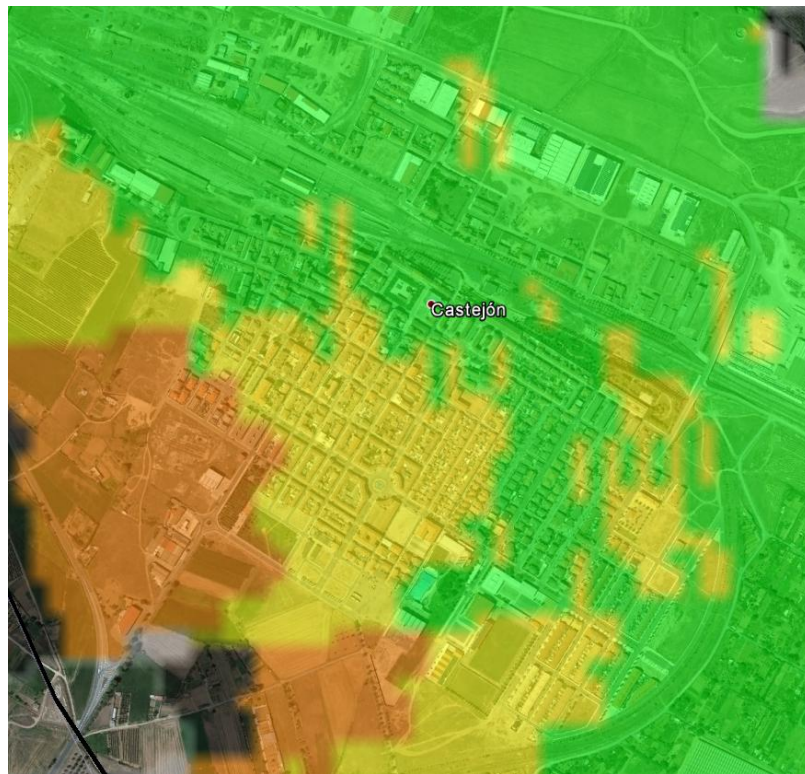


Figura 4.35. Simulación de cobertura sobre Castejón proporcionada por la estación base de Yerga.
Fuente: Google Earth



Figura 4.36. Simulación de cobertura sobre Castejón proporcionada por la estación base de Peralta. Fuente: Google Earth

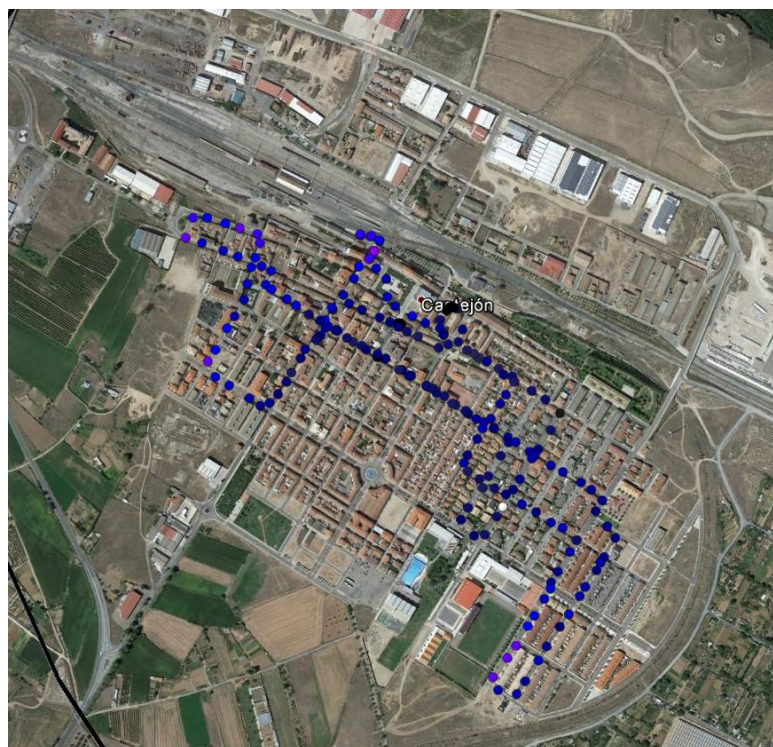


Figura 4.37. Medición en Castejón. Fuente: Google Earth

Como se puede observar, las simulaciones indican que ninguna de las dos estaciones base mencionadas otorgan niveles de señal buenos. Esto mismo se puede ver en la imagen que contiene las medidas realizadas en la localidad, donde se muestra que los niveles rondan los -96 dBm en la zona central de Castejón y los -90 dBm en las zonas más exteriores.

Para solucionar este problema, se planteará el uso de un amplificador de cobertura. Para su correcta instalación, habrá que buscar diferentes emplazamientos y elegir la mejor configuración de la antena, así como el tipo (omnidireccional o directiva). Esto se plantea en la sección de “Propuestas”.

4.7.4. BADOSTÁIN

El caso que se trata en este es punto es diferente a los anteriores. Lo que se propone es trasladar la estación base de Beloso o Abejeras a Badostáin. Esta iría colocada en la torre situada junto al depósito de aguas o encima del edificio.

Como se mostrará a continuación, el punto elegido es muy dominante, por lo que la zona que cubriría una estación base situada aquí sería bastante mayor que la zona que cubre actualmente cualquiera de las dos estaciones mencionadas. Debido a esto, se va a tratar de sustituir una de las dos llevándola a Badostáin. En primer lugar, la idea es sustituir la de Beloso.

Además, se va a comprobar cuanto de dominante es este emplazamiento, ya que podría incluso dar cobertura a la zona que actualmente cubre la estación base de Abejeras. En caso de que esto se cumpla, se sustituirían las estaciones de Beloso y Abejeras por una única ubicada en Beloso, quedando la otra libre para emplear en otro lugar.

Para llevar a cabo este estudio, se va a emplear una antena directiva apuntando hacia Pamplona. Esta antena será un panel como el empleado en las estaciones de Larún y Abodi (Kathrein 741516).

En este apartado se mostrará la cobertura actual que proporcionan las estaciones base de Abejeras y Beloso, y en el apartado “Propuestas” se mostrarán los resultados de situar la estación base en Badostáin.

En cualquier caso, a continuación se mostrará una simulación de Badostáin para que se pueda comparar con las cobertura de las otras dos estaciones base mencionadas.

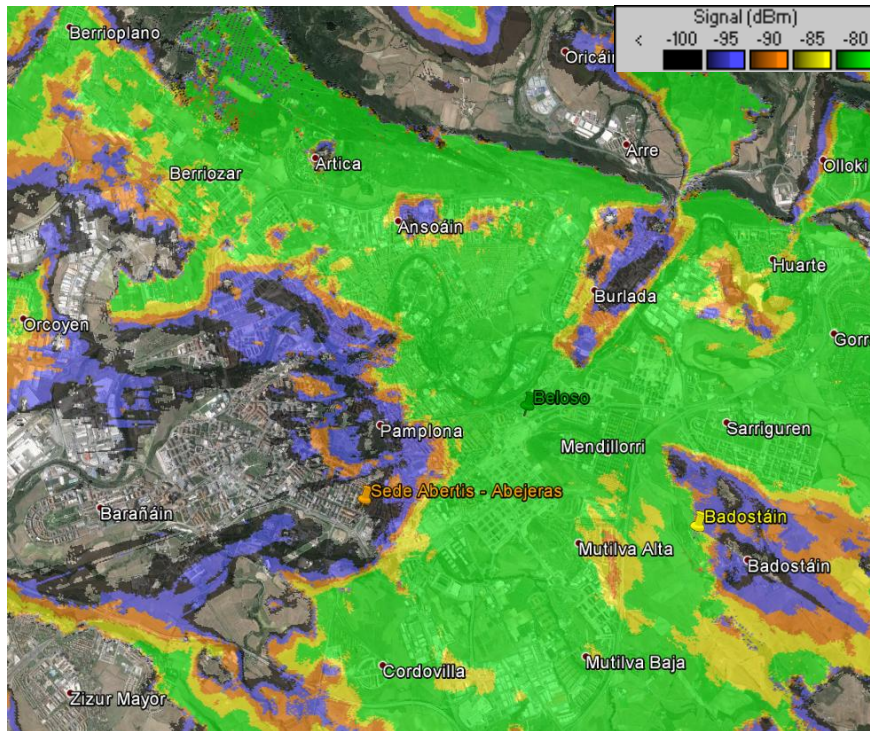


Figura 4.38. Simulación de cobertura proporcionada por la estación base de Beloso sobre la zona de Pamplona. Fuente: Google Earth

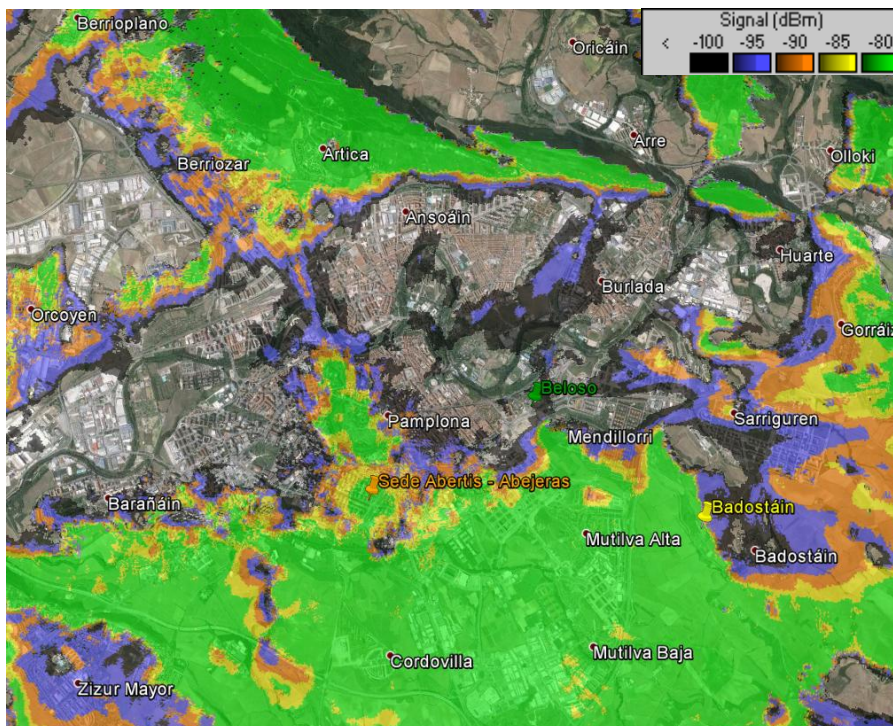


Figura 4.39. Simulación de cobertura proporcionada por la estación base de Abejeras sobre la zona de Pamplona. Fuente: Google Earth

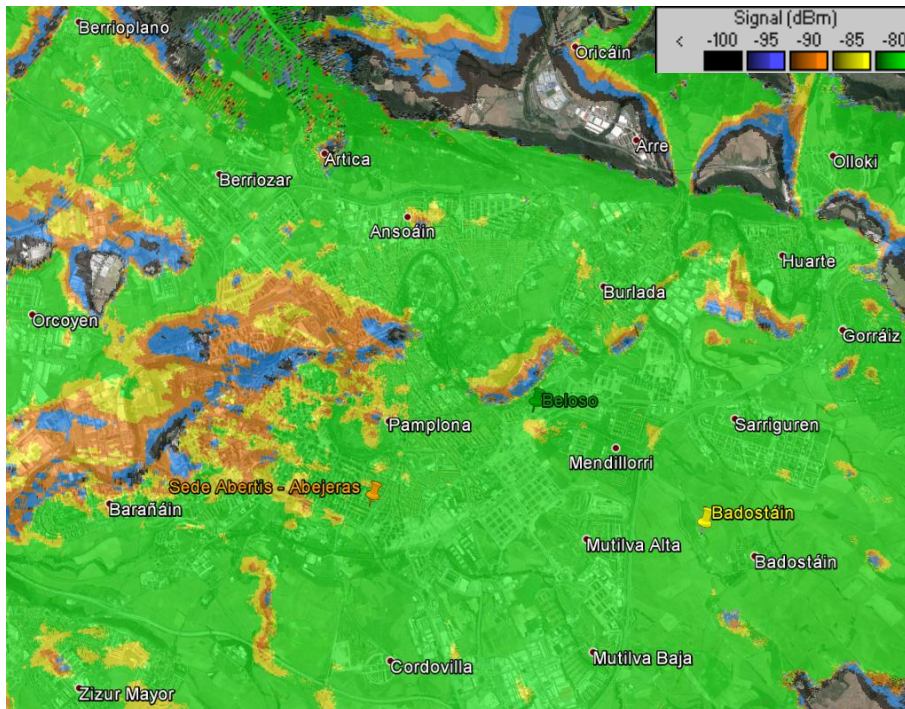


Figura 4.40. Simulación de cobertura proporcionada por la estación base de Badostáin sobre la zona de Pamplona. Fuente: Google Earth

Como se puede observar en las simulaciones mostradas, el área de cobertura que cubriría Badostáin es mucho mayor. Este resultado se ampliará más adelante.

4.7.5. TUDELA

Tudela está situada en el sur de la Comunidad Foral. Cuenta con 35.000 habitantes aproximadamente, lo que le hace ser la segunda localidad más habitada de Navarra. Por ello, esta zona debe tener garantizada una buena cobertura en toda la localidad.

Actualmente, Tudela recibe la señal de la estación base de Canraso, situada en la parte noroeste de la ciudad, a unos 2.25 kilómetro del centro. Con esta configuración la simulación obtenida es la siguiente:

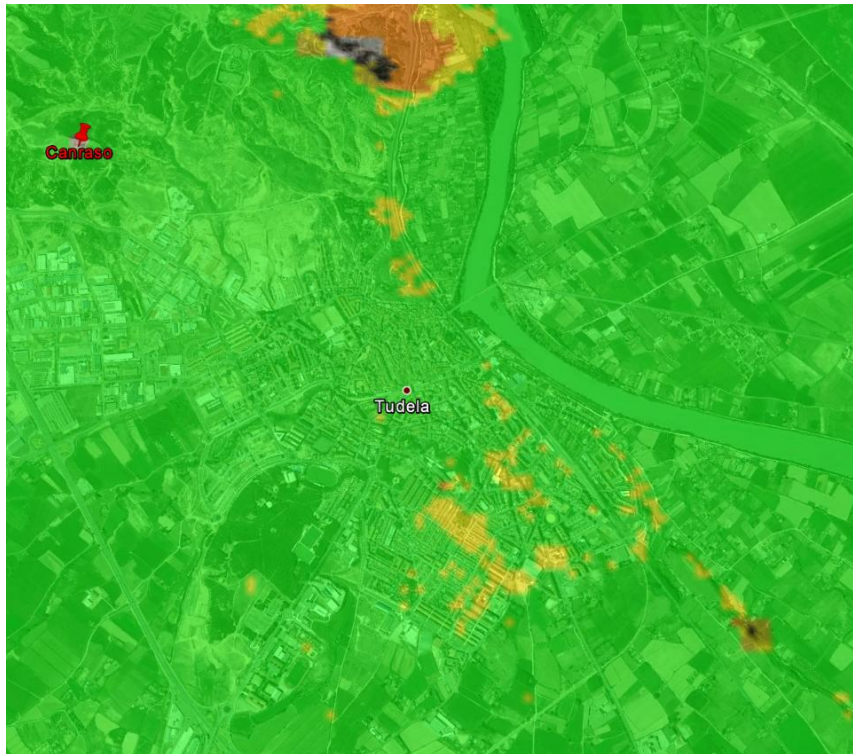


Figura 4.41. Simulación de cobertura proporcionada por Canraso sobre Tudela. Fuente: Google Earth

En esta imagen se puede observar que la potencia recibida es mayor que -85 dBm en prácticamente toda la ciudad, salvo en algunas zonas en las que la señal baja y se sitúa entre -85 y 90 dBm. Estos resultados nos hacen pensar que la configuración actual es suficiente para dotar a Tudela de buena cobertura, en cambio, las mediciones realizadas en la zona indican lo mismo:

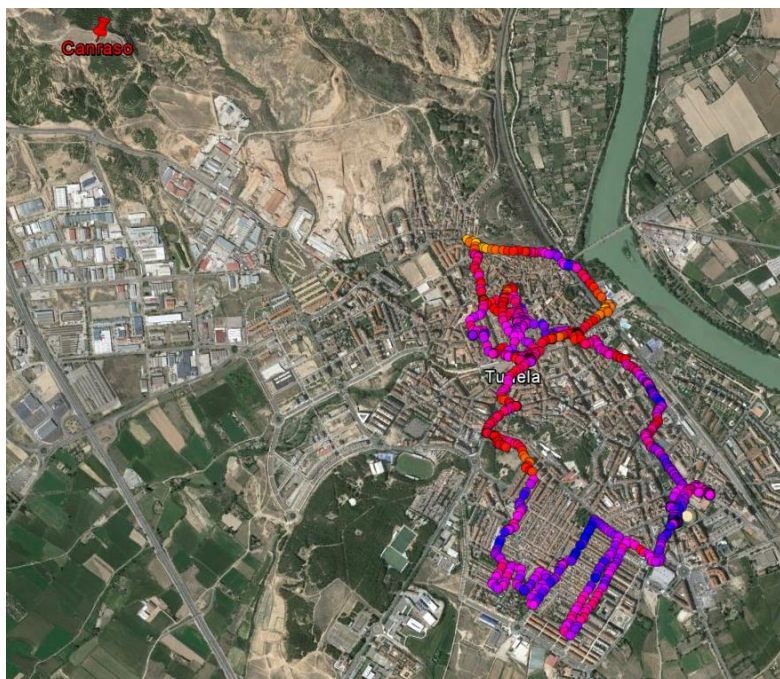


Figura 4.42. Mediciones realizadas en Tudela. Fuente: Google Earth

En esta imagen se muestra el recorrido realizado con los niveles de señal que se obtuvieron. Se puede apreciar que la parte norte y oeste del recorrido tiene tonalidades más rojizas, lo que indica niveles de señal en torno a los -70 dBm. En cambio, en la parte sureste de la ruta, las tonalidades cambian. Las zonas con tonalidades rosas indican potencias de entre -76 y -80 dBm, las violetas de -82 y -86 dBm y las azules de entre -88 y -92 dBm, haciendo que la comunicación pueda empezar a sufrir cortes.

Esto ocurre debido al relieve de la zona. En la siguiente imagen se muestra un plano de perfil desde la estación de Canraso hasta la zona sureste de la ruta:

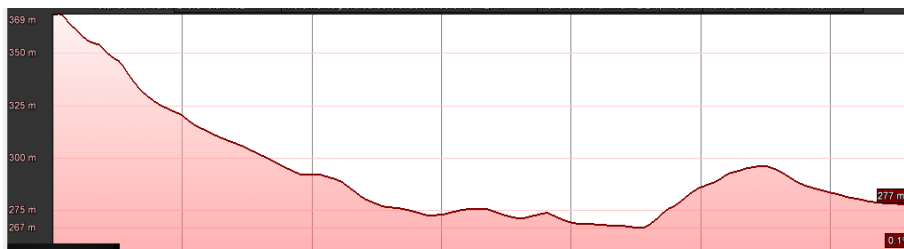


Figura 4.43. Perfil de elevación entre Canraso y el sur de Tudela. Fuente: Google Earth

En la imagen se puede apreciar que Tudela tiene zonas situadas a mayor altura que otras. En este caso, la zona central de Tudela tiene una altitud mayor que la zona sureste, haciendo que esta no reciba la señal de Canraso con los mismos niveles que la parte noroeste.

Como se podrá ver en el apartado de “Propuestas”, en caso de que se cubra con la estación de Badostáin tanto la zona que actualmente cubre Beloso como la de Abejeras, la estación que sobra se podría trasladar a un punto de la Ribera, desde el cual se dé cobertura a la zona sur de Tudela y a otros pueblos de la zona.

4.8. PROPUESTAS

En este apartado se van a mostrar las diferentes soluciones propuestas para los problemas de cobertura comentados anteriormente.

Para todas las propuestas se ha partido con la condición de gastar el menor dinero posible, por lo que la instalación de una nueva estación base no podrá ser tomada como una solución.

4.8.1. ALSASUA

Como se ha podido comprobar anteriormente, la cobertura que llega a Alsasua es muy limitada en cuanto a nivel de potencia en la zona central del pueblo.

Únicamente recibe potencia de la estación base de San Miguel de Aralar, lo que hace que las posibles soluciones pasen por emplear dicha estación.

Como no se dispone de presupuesto para implantar una nueva estación base (su precio ronda los 90.000€), se va optar por colocar un amplificador de cobertura.

Estos amplificadores (Serie RIT-ECHO) tienen el principal inconveniente de que emiten la potencia en la misma frecuencia que la que reciben, haciendo que el nivel de interferencia aumente y no permita establecer una buena comunicación.

Se han buscado 3 posibles lugares en los que colocar el amplificador. Estos son pertenecientes al Gobierno de Navarra, por lo que no habría que pagar un alquiler por la instalación. Los lugares son: Torre del Parque de Bomberos de Alsasua, Albergue Juvenil "Santo Cristo de Otadía" y Ayuntamiento de Alsasua. Estos lugares se muestran en la siguiente imagen.



Figura 4.44. Posibles emplazamientos para el amplificador de cobertura en Alsasua. Fuente: Google Earth

La instalación consistiría en una antena direccional para realizar un enlace punto a punto con la estación base de San Miguel de Aralar, el amplificador y una antena para difusión que podrá ser direccional u omnidireccional dependiendo el lugar en el que se coloque.

Antes de mostrar los resultados, comentar que la altura media que se ha tomado para los edificios de Alsasua es de 13 metros.

✚ Torre Bomberos Alsasua

La altura de colocación de la antena receptora sería de 14m sobre el suelo y la de la antena de difusión sería de 17m sobre el suelo. Ambas irían colocadas en la torre, de manera que se consiga un buen aislamiento.

La antena receptora elegida sería un reflector parabólico directivo (modelo SV360-SF3SNF) y la transmisora, debido a la localización, sería un panel Kathrein 741516 de 65° colocado con azimut 335°.

Para saber cuánta potencia se puede emitir desde la Torre de Bomberos, hay que realizar una serie de cálculos y simulaciones. En primer lugar, se realiza la simulación del enlace punto a punto entre la estación base de San Miguel de Aralar y la antena receptora (enlace descendente, Downlink).

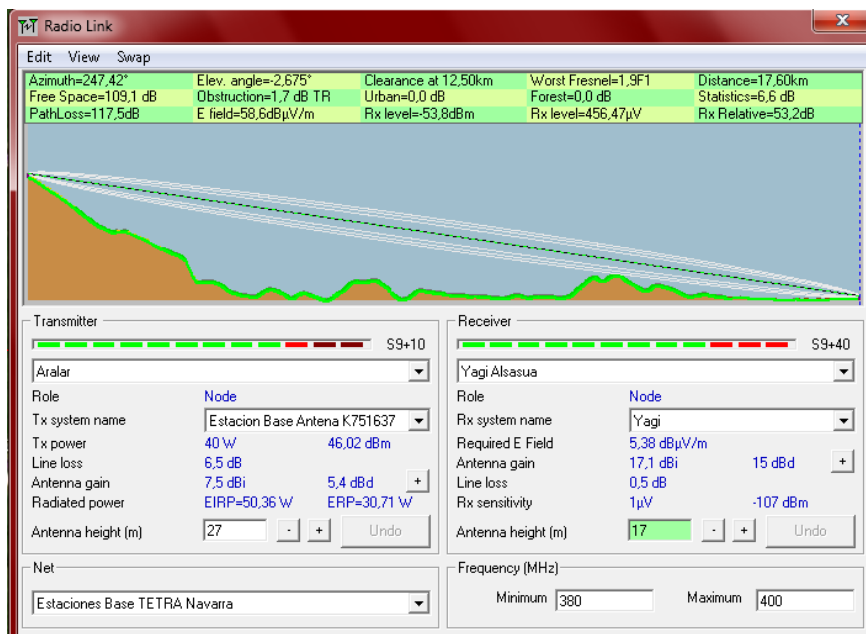


Figura 4.45. Radio enlace entre Aralar y Bomberos Alsasua. Fuente: Radio Mobile

De aquí se pueden obtener los siguientes datos:

- Potencia recibida de Aralar: -53,8dBm
- Margen de seguridad (se toma el mismo que haría falta para interferencias): 10dB
- Ganancia máxima del amplificador: 80dB
- Potencia máxima de transmisión en difusión = $-53,8\text{dBm} - 10\text{dB} + 80\text{dB} = 16,2\text{dBm}$

Realizando la simulación para el sentido contrario (enlace ascendente, Uplink) se obtiene:

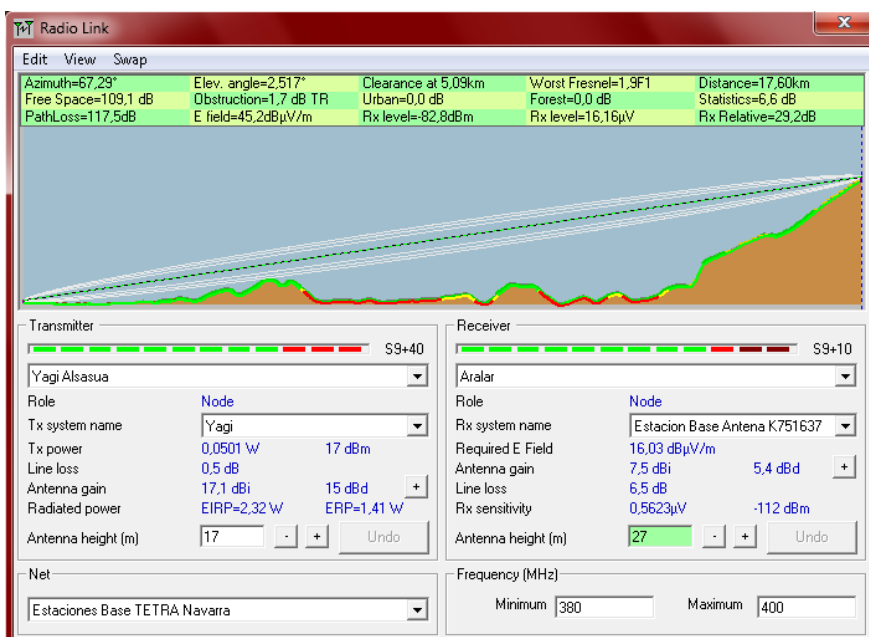


Figura 4.46. Radio enlace entre Bomberos Alsasua y Aralar. Fuente: Radio Mobile

De donde podemos extraer:

- Potencia recibida en Aralar si desde Bomberos se emite con 17 dBm = -82,8dBm
- Sensibilidad teórica en Aralar = -112 dBm
- Margen de potencia = $|-112 - (-82,8)| = 29,2$ dB
- Potencia mínima transmisible desde Bomberos en enlace ascendente para asegurar una correcta comunicación = $17\text{dBm} + 10\text{dB} - 29,2\text{dB} = -2,2$ dBm
- Potencia mínima que tiene que recibir el amplificador Bomberos en difusión = $-2,2\text{dBm} - 80\text{dB} = -82,2\text{dBm}$

A modo resumen se muestra la siguiente tabla:

	Pot. emitida	Sensibilidad	Azimut	Inclinación
Enlace ascendente	17 dBm	-	70,80	2,429°
Difusión	16,2 dBm	-2,2 dBm	335°	0°

Tabla 4.24. Cálculos amplificador Bomberos Alsasua

La cobertura resultante en la zona con la configuración mencionada es:

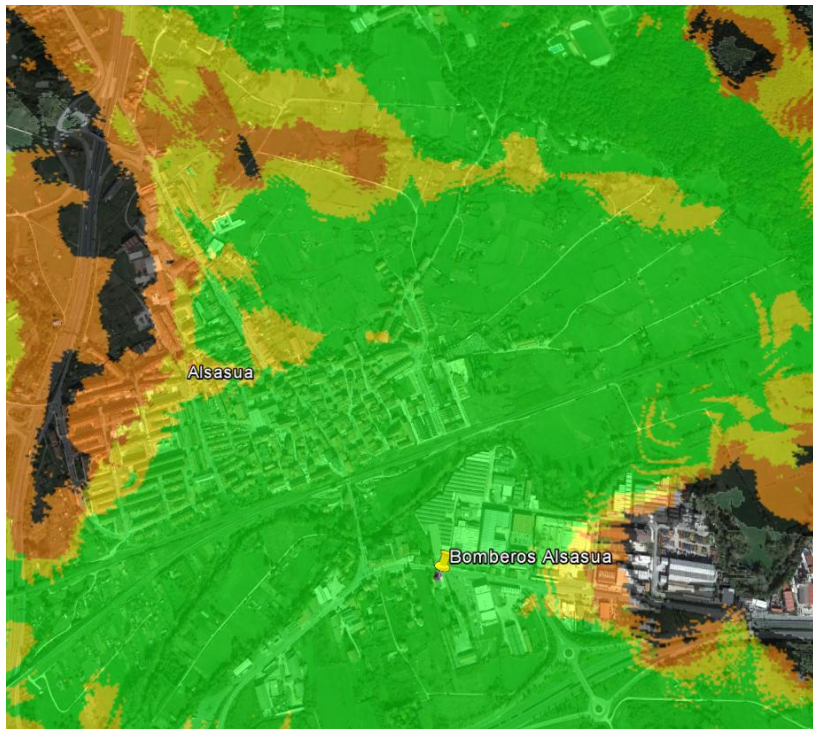


Figura 4.47. Cobertura en Alsasua con amplificador en Bomberos. Fuente: Google Earth

Se observa que la señal recibida en este caso es buena en prácticamente toda la localidad, salvo en la parte oeste de la misma, donde no se tendría cobertura.

La interferencia producida se muestra a continuación:

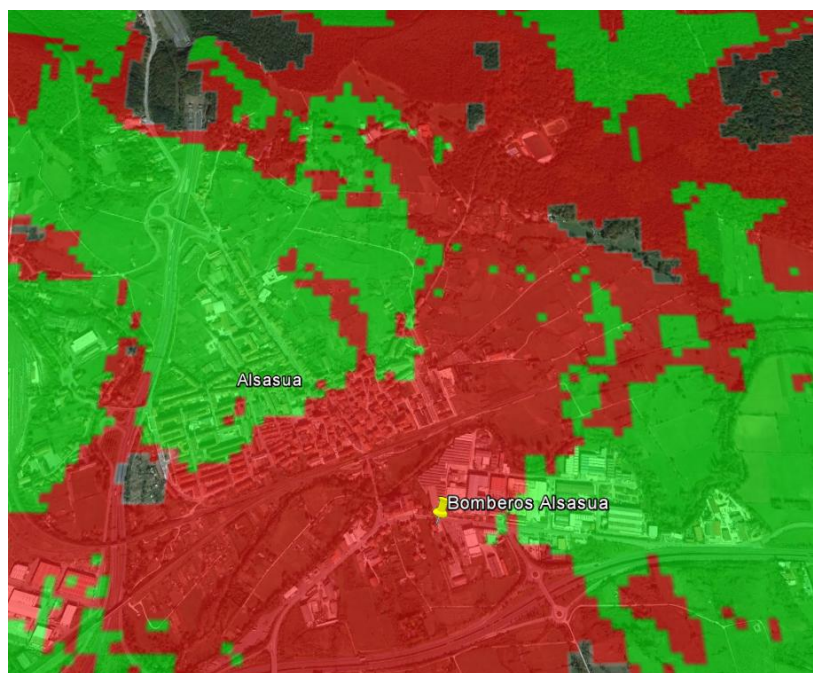


Figura 4.48. Interferencia producida entre Aralar y Bomberos Alsasua. Fuente: Google Earth

En este caso cabe destacar que van a aparecer problemas de interferencia en la señal, por lo que habrá que realizar unas profundas pruebas antes de optar por esta opción.

Cabe destacar que la simulación de señal recibida desde Aralar obtenida no se corresponde exactamente con los valores medidos en la zona, por lo que la interferencia será diferente.

Albergue Juvenil

La altura de colocación de la antena receptora sería de 12m sobre el suelo y la de la antena de difusión sería de 15m sobre el suelo. Ambas irían en el tejado del albergue, de manera que se consiga un buen aislamiento.

La antena receptora elegida sería un reflector parabólico directivo (modelo SV360-SF3SNF) y la transmisora, debido a la localización, sería un panel Kathrein 741516 de 65° colocado con azimut 175°.

Se realizan las mismas simulaciones de enlace punto a punto que en el caso anterior (se muestran en los anexos), y se obtienen los siguientes resultados:

- Potencia recibida de Aralar: -46,9dBm
- Potencia máx. de transmisión en difusión = -46,9dBm - 10dB + 80dB = 23,1 dBm
- Potencia mínima transmisible desde Albergue en enlace ascendente para asegurar una correcta comunicación = 17dBm + 10dB - 36,1dB = -9,1 dBm
- Potencia mínima que tiene que recibir el amplificador Albergue en difusión = -9,1 dBm - 80dB = -89,1dBm

	Pot. emitida	Sensibilidad	Azimut	Inclinación
Enlace ascendente	17 dBm	-	67,29°	2,517°
Difusión	23,1 dBm	-89,1 dBm	175°	0°

Tabla 4.25. Cálculos amplificador Albergue Alsasua

De esta manera la cobertura existente es la siguiente:

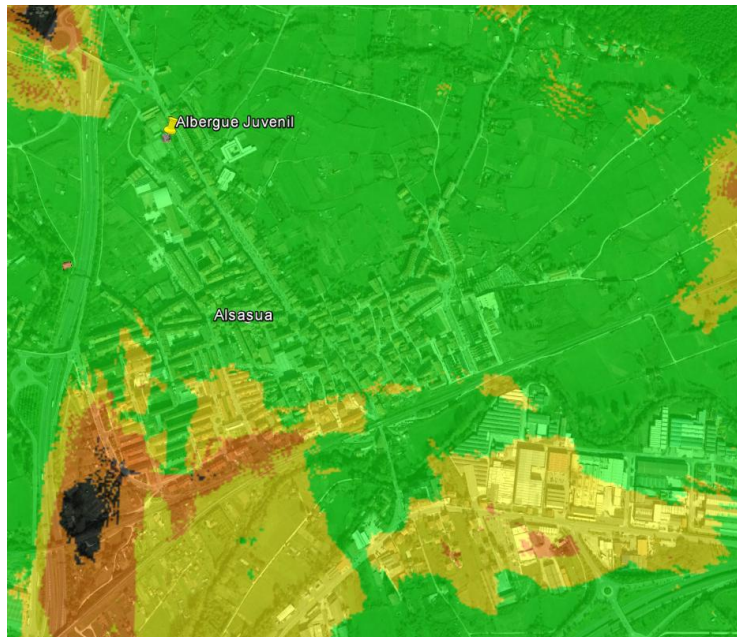


Figura 4.49. Cobertura en Alsasua con amplificador en Albergue. Fuente: Google Earth

Con esta configuración se obtiene una potencia mayor en las zonas cercanas al albergue y en la mayoría del casco urbano. En cambio, la zona suroeste y el polígono quedarían con un nivel de señal menor.



Figura 4.50. Interferencia producida entre Aralar y Albergue. Fuente: Google Earth

En cuanto a la interferencia, en este caso se observa que también se va a producir una gran interferencia, aunque, como se ha comentado anteriormente, esto habría que probarlo.

✚ Ayuntamiento Alsasua

La altura de colocación de la antena receptora sería de 13m sobre el suelo y la de la antena de difusión sería de 15m sobre el suelo. Ambas irían en el tejado del Ayuntamiento, de manera que se consiga un buen aislamiento.

La antena receptora elegida sería un reflector parabólico directivo (modelo SV360-SF3SNF) y la transmisora, debido a la localización, sería una omnidireccional Kathrein 751637.

Se realizan las mismas simulaciones de enlace punto a punto que los casos anteriores (se muestran en los anexos), y se obtienen los siguientes resultados:

- Potencia recibida de Aralar: -49,9dBm
- Potencia máx. de transmisión en difusión = -49,9dBm-10dB+80dB=20,1dBm
- Potencia recibida en Aralar si Ayuntamiento transmite 17 dBm= -78,9dBm
- Sensibilidad teórica en Aralar=-112 dBm
- Potencia mínima transmisible desde Ayuntamiento en enlace ascendente para asegurar una correcta comunicación = 17 dBm+10dB-33,1dB=-6,1 dBm
- Potencia mínima que tiene que recibir el amplificador Ayuntamiento en difusión = -6,1 dBm-80dB=-86,1dBm

	Pot. emitida	Sensibilidad	Azimut	Inclinación
Enlace ascendente	17 dBm	-	67,29°	2,517°
Difusión	20,1 dBm	-86,1 dBm	-	0°

Tabla 4.26. Cálculos amplificador en Ayuntamiento Alsasua

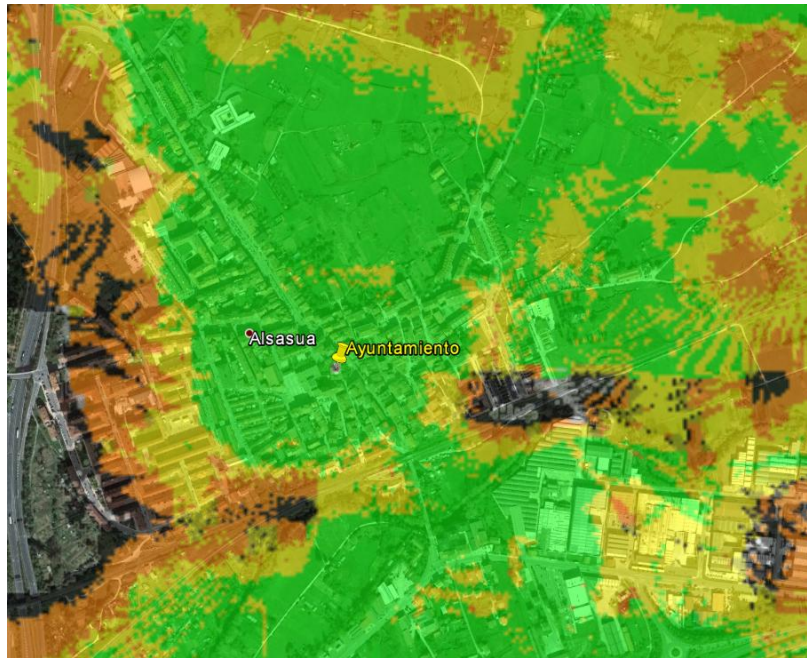


Figura 4.51. Cobertura amplificador Ayuntamiento Alsasua. Fuente: Google Earth

En este caso, se observa que la potencia en la parte central del pueblo es buena, pero en las zonas más exteriores no es suficiente como para establecer una buena comunicación.

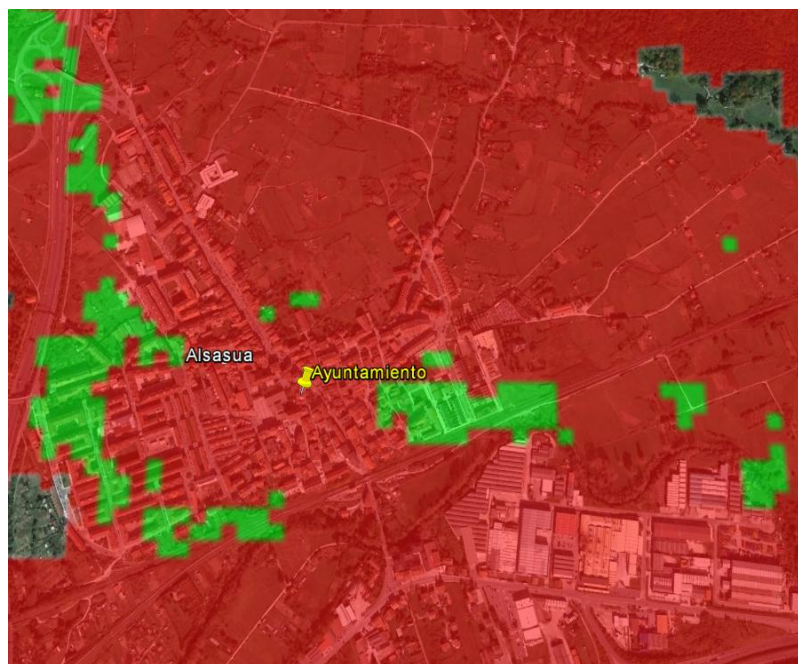


Figura 4.52. Interferencia producida entre Aralar y Ayuntamiento Alsasua

En cuanto a la interferencia, vemos que sería muy fuerte en toda la localidad, lo que nos hace pensar que no sería una buena solución.

Elección

Para elegir una solución u otra se ha realizado una comparación de la señal punto a punto, estableciendo una ruta por las calles de Alsasua. Se ha extraído una grafica con la potencia obtenida en esta ruta, así como la potencia media recibida.

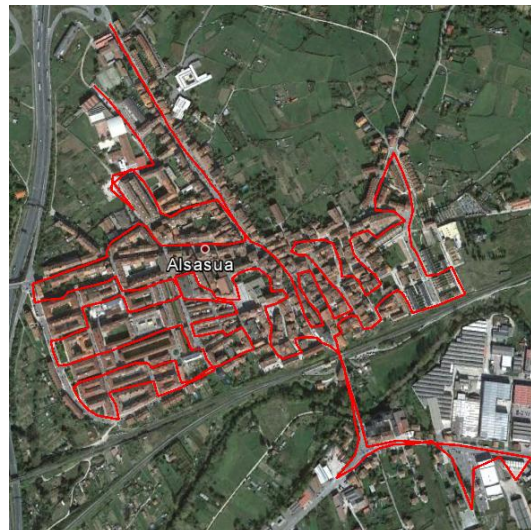


Figura 4.53. Ruta por Alsasua. Fuente: Google Earth

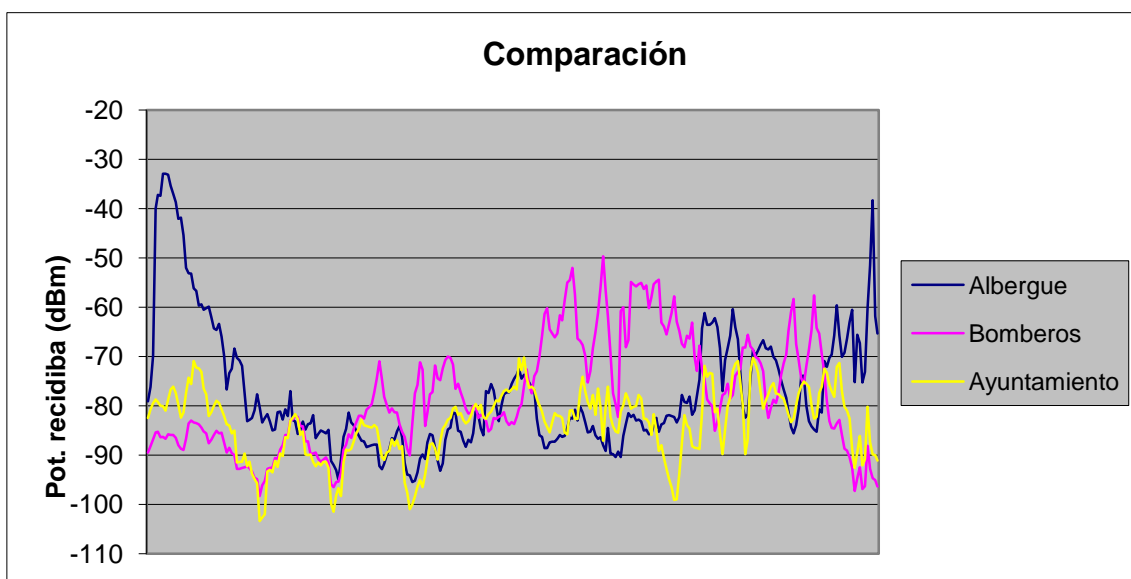


Figura 4.54. Comparación de las tres posibles soluciones de Alsasua

Potencia media recibida (dBm)		
Bomberos	Albergue	Ayuntamiento
-78,02	-77,36	-83,59

Tabla 4.27. Potencia media recibida de cada ampliador Alsasua

Como primera valoración, parece que la colocación en el ayuntamiento se podría descartar, ya que se obtienen niveles de señal más bajos. En cuanto a decantarse entre situar el amplificador en la Torre de Bombero o en el Albergue Juvenil es más complicado.

Se observa que las zonas de cobertura que se cubren son similares, así como la potencia media que se registra en la ruta. En cuanto a la interferencia generada, vemos que es similar en ambos casos, aunque es menor en el casco urbano colocando el amplificador en el albergue. Por tanto, para decantarse por una opción u otra, lo mejor sería probar la instalación en ambos lugares.

4.8.2. CASTEJÓN

En el caso de Castejón nos encontramos una situación similar a la de Alsasua, pero con la diferencia de que la señal captada en la localidad es de dos estaciones base diferentes, la de Yerga y la de Peralta.

Al igual que el caso anterior, como no se dispone de presupuesto para implantar una nueva estación base, se va optar por colocar un amplificador de cobertura.

Se han buscado 3 posibles lugares en los que colocar el amplificador. Dos de estos son pertenecientes al Gobierno de Navarra, por lo que no habría que pagar un alquiler por la instalación y uno de ellos sería una torre perteneciente a la empresa Vodafone. Los lugares son: Torre de Vodafone, Polideportivo Municipal y Ayuntamiento de Castejón. Estos lugares se muestran en la siguiente imagen.



Figura 4.55. Posibles emplazamientos del amplificador en Castejón. Fuente: Google Earth

La instalación consistiría en una antena directiva (reflector parabólico directivo modelo SV360-SF3SNF) para realizar un enlace punto a punto con la estación base de Peralta o Yerga, el amplificador y una antena para difusión que podrá ser directiva u omnidireccional dependiendo el lugar en el que se coloque.

Antes de mostrar los resultados, comentar que la altura media que se ha tomado para los edificios de Castejón es de 9 metros.

Para estudiar la colocación en un punto o en otro, se ha realizado el mismo proceso que el caso de Alsasua.

Se va a estudiar para los tres lugares recibiendo la señal tanto de Yerga como de Peralta.

A modo resumen se muestran los siguientes datos: (Los resultados de las simulaciones de todos estos casos se encuentran en los anexos).

✚ Estación Vodafone:

- Si recibe de Peralta, la máxima potencia que puede emitir en difusión es de 21,4 dBm y si recibe de Yerga 11,1 dBm.
- La antena empleada para difusión es el panel Kathrein 741516 con azimut 180°.
- La altura de la antena receptora estaría a una altura de 10m y la transmisora (el panel) a 25m de esta manera se lograría aislar la señal bien.
- La potencia con la que se llegaría mediante el enlace ascendente a Peralta es de -77,6 dBm y a Yerga -88,7 dBm.

Con estos datos, ya vemos que la opción a escoger sería conectarse a Peralta.

✚ Polideportivo Municipal:

- Si recibe de Peralta, la máxima potencia que puede emitir en difusión es de 17,2 dBm y si recibe de Yerga 9,2 dBm.
- La antena empleada para difusión es el panel Kathrein 741516 con azimut 0°.
- La altura de la antena receptora estaría a una altura de 10m y la transmisora (el panel) a 13m. de esta manera se lograría aislar la señal bien.
- La potencia con la que se llegaría mediante el enlace ascendente a Peralta es de -81,8 dBm y a Yerga -89,8 dBm.

En este caso, también la mejor opción sería establecer un enlace con Peralta.

✚ Ayuntamiento:

- Si recibe de Peralta, la máxima potencia que puede emitir en difusión es de 22,7 dBm y si recibe de Yerga 8,3 dBm.
- La antena empleada para difusión es el panel Kathrein 741516 con azimut 110°.
- La altura de la antena receptora estaría a una altura de 8m y la transmisora (el panel) a 11m. de esta manera se lograría aislar la señal bien.
- La potencia con la que se llegaría mediante el enlace ascendente a Peralta es de -76,3 dBm y a Yerga -90,4 dBm.

Al igual que los dos emplazamientos anteriores, la conexión con Peralta sería la mejor opción en cuanto a nivel de señal.

Una vez analizados los resultados, se deduce que la mejor opción en cuanto a nivel de señal recibido es la de establecer un enlace con Peralta para recibir la señal desde allí.

Los mapas de coberturas obtenidos para cada uno de los lugares mencionados se muestran a continuación.

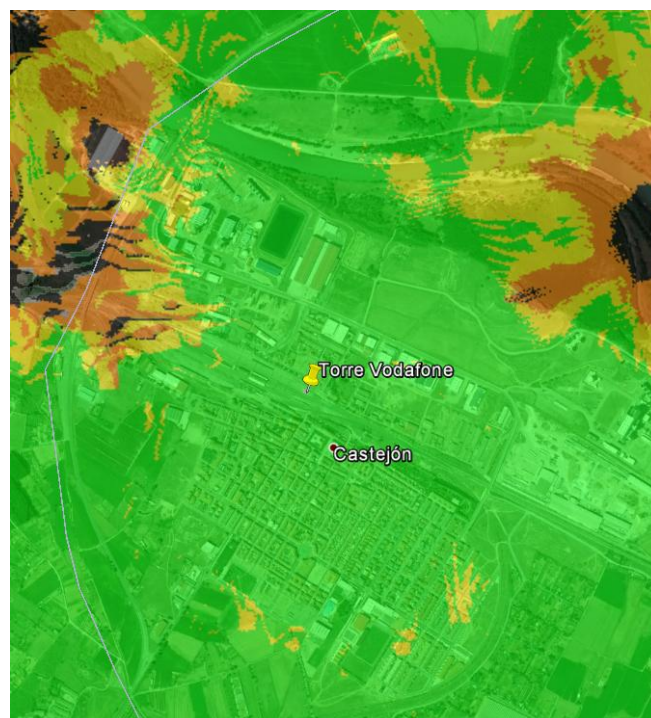


Figura 4.56. Cobertura amplificador situado en la torre de Vodafone. Fuente: Google Earth

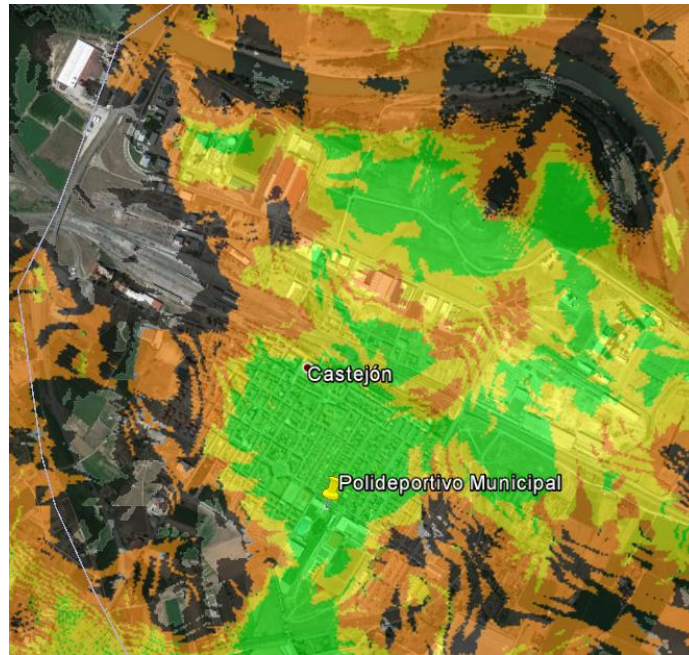


Figura 4.57. Cobertura amplificador situado en el Polideportivo municipal. Fuente: Google Earth

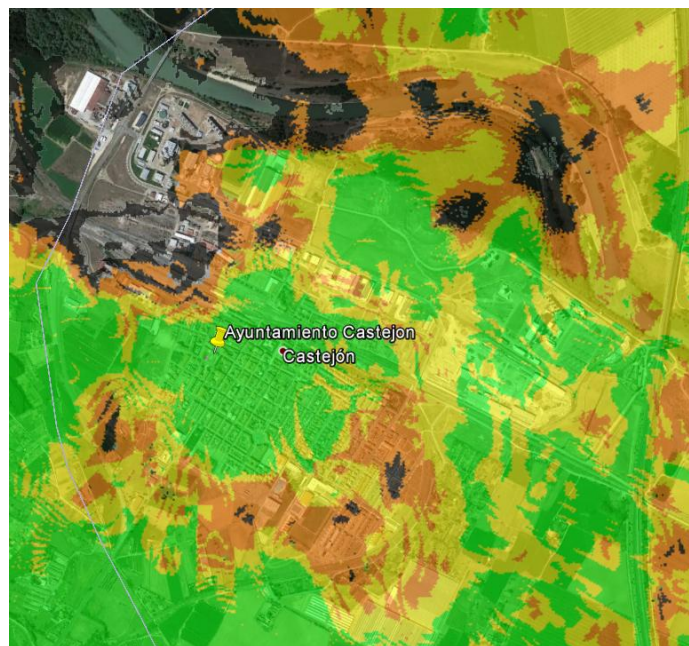


Figura 4.58. Cobertura amplificador situado en ayuntamiento de Castejón. Fuente: Google Earth

Como se puede observar, la mejor solución es la torre de Vodafone, ya que la potencia recibida es mucho mejor que los otros dos casos. Además, debido a la configuración de las antenas, también sería la mejor en cuanto a aislamiento. Esto es debido a que la estación de Peralta está situada en dirección norte, lo que haría que el reflector estuviera apuntando hacia allí, y el panel estaría orientado en dirección sur (azimut 180°).

El principal inconveniente es el precio a pagar por el alquiler. En caso de no ser muy elevado, la mejor opción sería colocar la instalación en la torre de Vodafone.

En caso de que sea demasiado caro, la siguiente opción podría ser la del ayuntamiento, aunque la cobertura obtenida no va a ser tan buena.

4.8.3. ESTELLA

Estella actualmente dispone de servicio TETRA gracias a la estación base situada en Eulz. Es la única estación que dota de nivel suficiente a la ciudad. En cambio, se han detectado zonas del casco urbano, sobre todo de la parte vieja, en los que la señal cae a niveles de -85 dBm y -90 dBm, haciendo que desaparezca la comunicación cuando se intenta entrar a un edificio.

Por esto, se ha planteado el traslado de la estación base de Eulz a un lugar más cercano al centro de la ciudad, pero sin perder demasiada cobertura existente actualmente. Por ello, han de elegirse lugares que sean dominantes.

Los puntos escogidos para el traslado son Montejurra, IES Politécnico de Estella y una torre de telecomunicaciones perteneciente a Vodafone.

El caso de Montejurra fue rápidamente descartado debido a que el relieve hace que la señal no llegue correctamente a toda la zona (se puede ver la cobertura en los anexos).

Los otros dos puntos se han sometido a estudio.

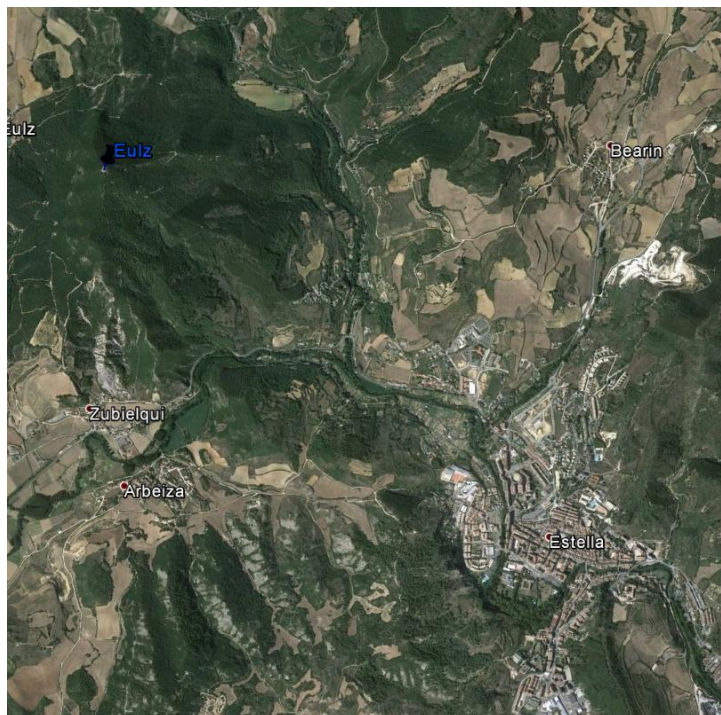


Figura 4.59. Situación de Eulz y Estella. Fuente: Google Earth

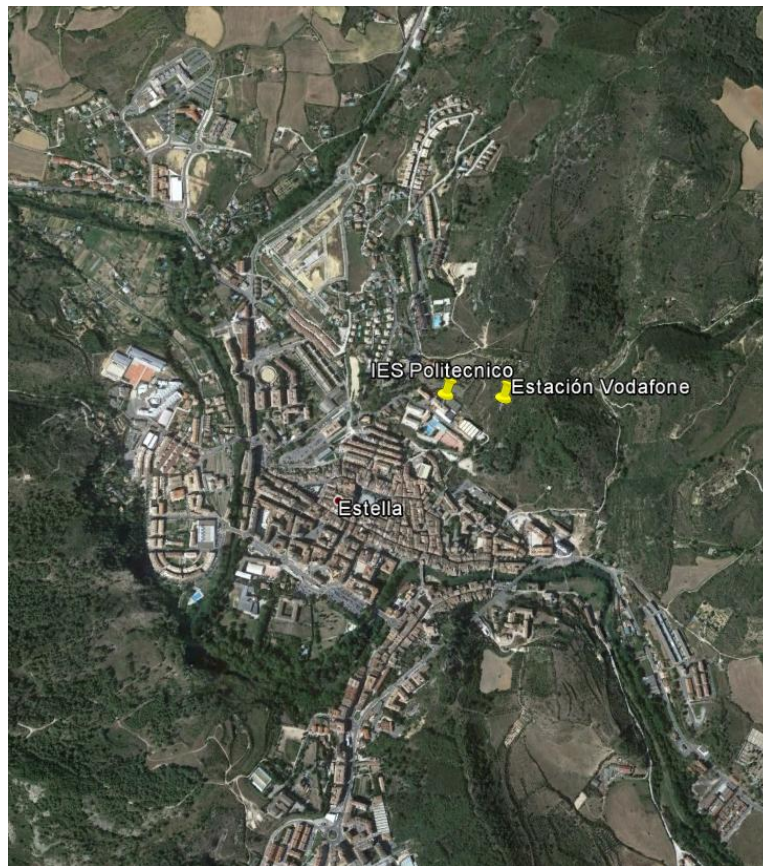


Figura 4.60. Posibles emplazamientos de la estación base. Fuente: Google Earth

La estación de Eulz actualmente emplea una antena omnidireccional. En caso de trasladar la estación a uno de los puntos mencionados, se emplearía un panel (Kathrein 741516).

Para el caso de colocar la estación en el IES, se han hecho simulaciones de cobertura con un azimut de 250° y 255° (ambas se pueden ver en los anexos), y en el caso de situarla en la torre de Vodafone se ha probado con azimut 235° , 240° , 245° y 250° (se pueden ver en los anexos).

Con el fin de obtener un mayor grado de exactitud, se ha creado una ruta por Estella, sobre la cual se ha realizado una simulación tipo ruta, obteniendo la potencia en cada uno de sus puntos.



Figura 4.61. Ruta realizada por Estella. Fuente: Google Earth

Los resultados obtenidos se han comparado en hojas de Excel, obteniendo la potencia media recibida de cada una de las opciones en los puntos de la ruta, así como la estación base que más veces es máxima a lo largo del recorrido. También se ha obtenido una gráfica de comparación.

En cuanto a la potencia media, los datos resultantes se muestran en la siguiente tabla:

Eulz (antena omni)	IES (Az. 250°)	IES (Az. 255°)	Torre Vodafone (Az. 235°)	Torre Vodafone (Az. 240°)	Torre Vodafone (Az. 245°)	Torre Vodafone (Az. 250°)
-67,45 dBm	-66,41 dBm	-66,75 dBm	-56,67 dBm	-56,87 dBm	-57,10 dBm	-57,41 dBm

Tabla 4.28. Comparación potencia recibida en la ruta por Estella de los diferentes emplazamientos planteados. Fuente: Google Earth

Con estos valores, vemos que la mejor colocación en cuanto a nivel de señal sería la torre de Vodafone, ya que situando la estación base en el IES Politécnico no conseguiríamos una gran mejora.

El principal inconveniente que tendría colocar la estación base en la torre de Vodafone, además de tener que pagar un alquiler, sería la cobertura exterior que se pierde al quitar la estación de Eulz (la imagen de cobertura que proporcionaría esta estación está en los anexos).

Por ello, se ha propuesto otra solución: no mover la estación base de Eulz y únicamente cambiar la antena encargada de la transmisión de la señal. Se pasaría de tener una omnidireccional a una directiva (panel Kathrein 741516).

Se han realizado simulaciones de cobertura con esta nueva configuración, estableciendo un azimut de 130°, 140° y 150°. (Los mapas de cobertura se encuentran en los anexos)

Así mismo, se han realizado simulaciones tipo ruta en el mismo recorrido indicado anteriormente, obteniendo unas potencias medias de -60,45 dBm en el caso de azimut 130°, -60,48 dBm (az. 140°) y -60,70 dBm (az. 150°).

Vemos que la señal mejoraría 7 dB de media respecto a emplear una antena omnidireccional. Además, la pérdida de área de cobertura es muy pequeña, quedando la simulación como se muestra en la imagen (Se muestra el caso de azimut 130°).

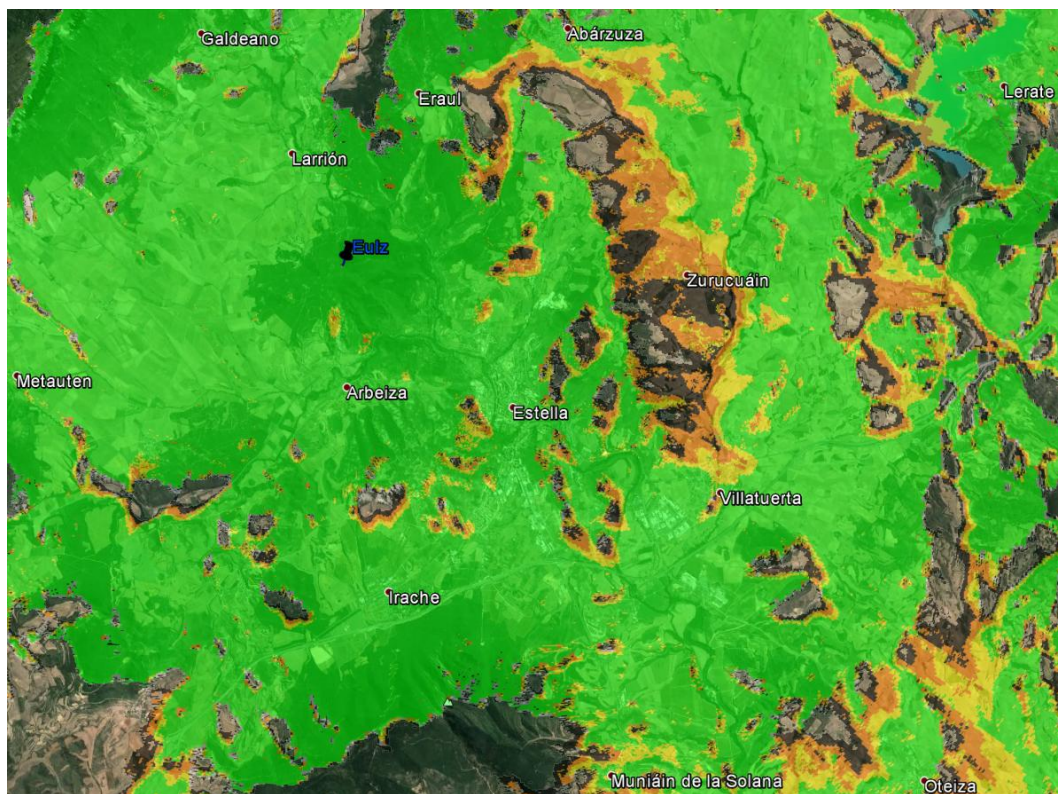


Figura 4.62. Cobertura de la estación base de Eulz con el cambio de antena propuesto y azimut 130°. Fuente Google Earth

4.8.4. BADOSTÁIN

El caso que se trata en este es punto es diferente a los anteriores. Lo que se propone es trasladar la estación base de Beloso o Abejeras a Badostáin. Esta iría colocada en la torre situada junto al depósito de aguas o encima del edificio.

Como se mostrará a continuación, el punto elegido es muy dominante, por lo que la zona que cubriría una estación base situada aquí sería bastante mayor que la zona que cubre actualmente cualquiera de las dos estaciones mencionadas. Debido a esto, se va a tratar de sustituir una de las dos llevándola a Badostáin. En primer lugar, la idea es sustituir la de Beloso.

Además, se va a comprobar cuanto de dominante es este emplazamiento, ya que podría incluso dar cobertura a la zona que actualmente cubre la estación base de Abejeras. En caso de que esto se cumpla, se sustituirían las estaciones de Beloso y Abejeras por una única ubicada en Beloso, quedando la otra libre para emplear en otro lugar.

Para llevar a cabo este estudio, se va a emplear una antena directiva apuntando hacia Pamplona. Esta antena será un panel como el empleado en las estaciones de Larún y Abodi (Kathrein 741516).

Como se ha comentado anteriormente, se ha estudiado el traslado de la estación base de Beloso a Badostáin. El traslado incluiría un cambio de antena, ya que actualmente en Beloso se emplea una antena direccional, y para Badostáin se propone una antena directiva (panel Kathrein 741516).

Además, en el caso de que se cubra correctamente (entre las estaciones existentes y la nueva de Badostáin) la zona a la que actualmente da servicio Abejeras, esta última se podría quitar y trasladar a otro lugar.

Para las simulaciones, se ha colocado la antena en la torre que se encuentra en el depósito de aguas de Badostáin (punto situado en amarillo en el mapa).

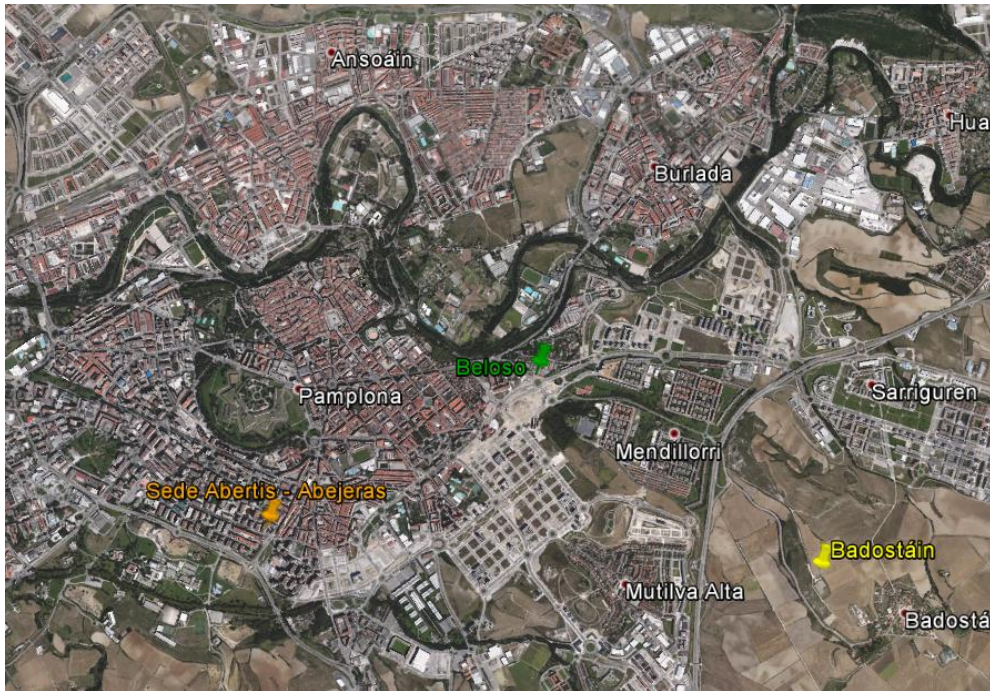


Figura 4.63. Posición de las estaciones base de Abejeras, Beloso y Badostáin. Fuente; Google Earth

La altura a la que se colocaría la antena es de 9 metros sobre el suelo y con un azimut de 300°. Realizando una simulación de cobertura con los parámetros mencionados se obtiene el siguiente resultado.

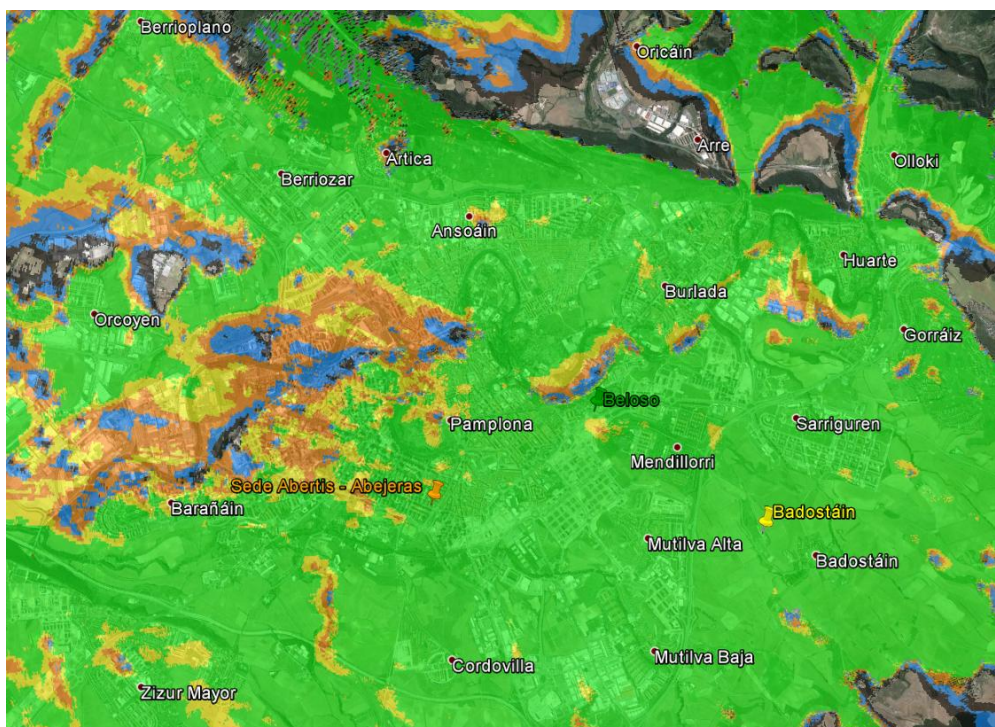


Figura 4.64. Cobertura que proporcionaría la estación base situada en el depósito de aguas de Badostáin. Fuente: Google Earth

Como se puede observar, es muy dominante y proporciona un nivel de señal superior a -85 dBm en un área muy extensa.

Para comprobar hasta qué punto puede ser mejor que Beloso, se ha realizado una ruta por Ansoáin, que es la zona a la que da señal la estación de Beloso principalmente.



Figura 4.65. Ruta por Ansoáin diseñada para la simulación. Fuente: Google Earth

Se ha comparado en una hoja de Excel los valores estimados con la estación de Beloso y la de Badostáin. De esta comparación se ha extraído la media de la señal proporcionada por cada estación en la ruta, la estación que es mejor en mayor número de puntos y una gráfica con los niveles de potencia.

La ruta está compuesta por 303 puntos, de los cuales 299 presentan mayor nivel de señal recibido de la estación de Badostáin y solo 3 de la estación situada en Beloso. Además, el nivel de potencia medio de la estación de Beloso en la zona es de $-83,16$ dBm, mientras que con la estación en Badostáin se obtiene una media de $-73,47$ dBm, 10 dB superior.

La ganancia que se obtendría al trasladar la estación base es muy grande, por lo que parece una muy buena solución.

Para ver más claro el nivel de potencia, se muestra una gráfica en la que aparece el nivel que se ha simulado en la ruta de Ansoáin.

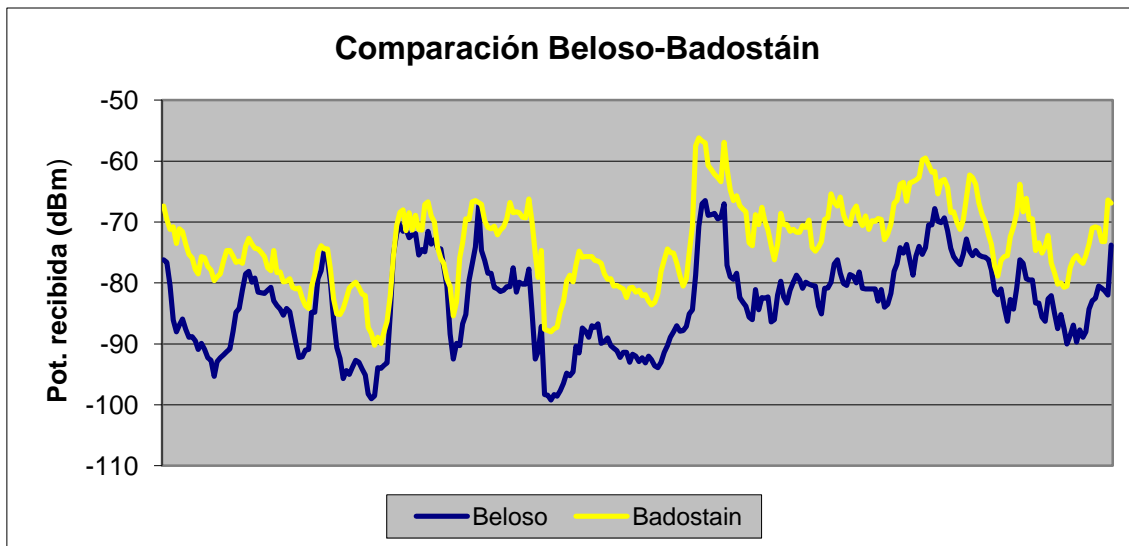


Figura 4.66. Comparación entre Beloso y Badostáin del nivel de potencia simulado. Fuente: propia

Hasta aquí se ha comprobado que el cambio de estación proporcionaría un mejor nivel de señal en la principal zona de cobertura de Beloso. Ahora, se va a comprobar hasta qué punto mejoraría los niveles de potencia recibidos de la estación de Abejeras en dos zonas.

Para esta comprobación se van a crear dos rutas. La primera de ellas, muy importante, pasará por El Sadar. La segunda de ellas, será un recorrido por las zonas cercanas a la estación base de Abejeras.

Cabe destacar que en ambas rutas, la estación de Abejeras se encuentra bastante más cerca que la de Badostáin.



Figura 4.67. Ruta por la zona de El Sadar. Fuente: Google Earth

Realizando el mismo proceso que anteriormente para la ruta de Ansoáin, se han obtenido los siguientes resultados.

En cuanto a nivel de potencia media, se obtienen $-74,01$ dBm para el caso de Abejeras y $-57,01$ dBm para Badostáin. La ganancia según esta simulación es de 17 dB, un valor muy alto y que corroboraría la excelente solución propuesta de la colocación de la estación base de Badostáin.

Esta diferencia se puede observar mejor en la gráfica mostrada a continuación.

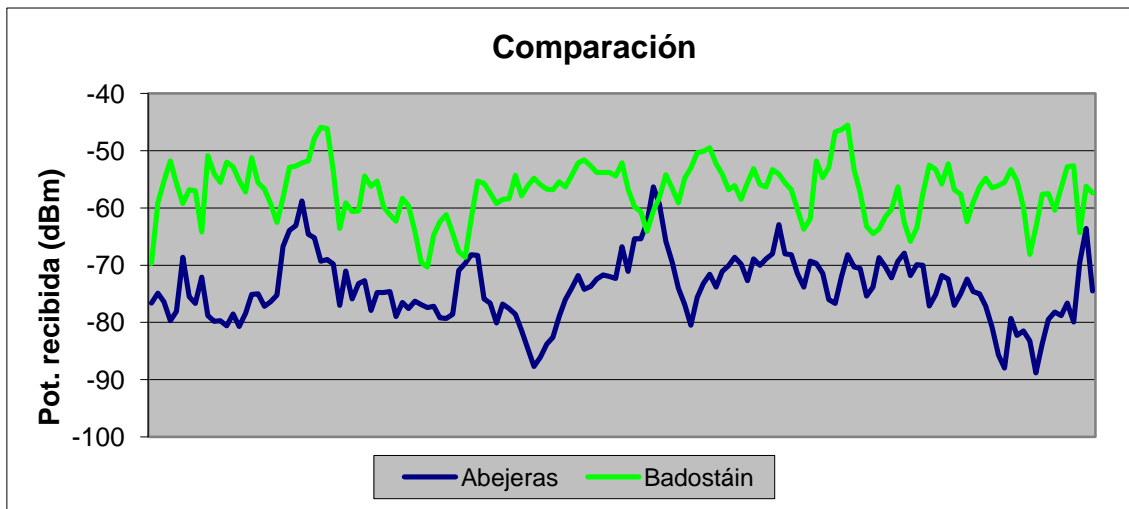


Figura 4.68. Gráfica comparativa entre la estación de Abejeras y la de Badostáin. Fuente: propia

Esto mismo se ha realizado con la segunda ruta ya comentada, que concurre por las calles cercanas a la estación de Abejeras.



Figura 4.69. Ruta por la zona de la estación de Abejeras y localización de esta última. Fuente Google Earth

El resultado obtenido para el valor medio de la señal recibida en la ruta es de -69,00 dBm para el caso de Badostáin y de -80,73 dBm para Abejeras. De nuevo, se comprueba que se obtendría una ganancia muy grande (11 dB).

Esta ruta está formada por 490 puntos, de los cuales en 424 es mayor la potencia recibida de Badostáin y en 66 es mayor la de Abejeras. Estos puntos se encuentran principalmente en las calles más cercanas a la estación de Abejeras.

En la gráfica se puede ver el nivel de señal a lo largo de la ruta.

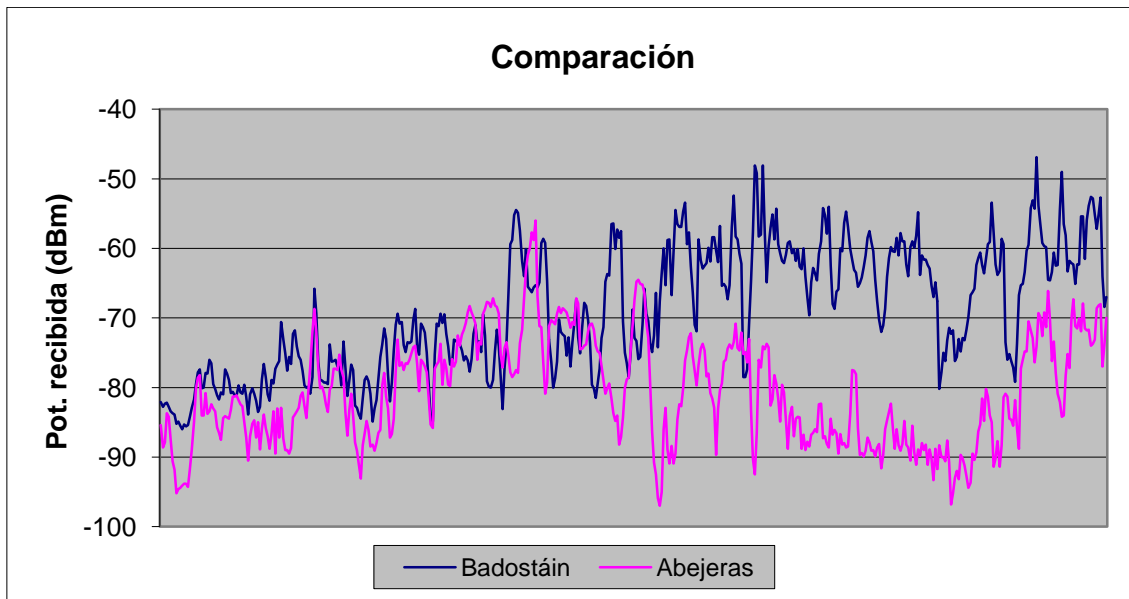


Figura 4.70. Comparación de la potencia recibida en la zona de Abejeras. Fuente: propia

Tras evaluar los resultados obtenidos, se observa que, de cumplirse las simulaciones, el cambio de estación base de Beloso a Badostáin supondría una gran mejora de la señal en diversas zonas. Además, sería posible quitar también la estación de Abejeras, pudiendo así trasladarla a otro lugar que sea más necesario.

En cualquier caso, será necesario probar previamente la solución antes de implantarla.

4.8.5. TUDELA

Anteriormente se ha mostrado el nivel de potencia medido en Tudela, llegando a la conclusión de que sería necesario mejorarlo en la zona sureste de la ciudad.

Si la estación de Abejeras se puede quitar, la Ribera es sin duda un lugar en el que su colocación mejoraría significativamente los niveles actuales de señal.

Se intentará buscar un punto de la geografía que pueda dar cobertura tanto a la zona sur de Tudela como a otras zonas de la Ribera. Para ello, se deben buscar sedes del Gobierno de Navarra o torres de algún operador, con el fin de ahorrar costes.

El relieve de la zona sur de Navarra es bastante plano y no dispone de grandes alturas para poder colocar una estación que pueda dar servicio a una gran zona, por lo que habrá que buscar pequeñas elevaciones donde poder colocar la estación.

Un lugar interesante es el Volandín, situado junto a Fontellas y Ablitas. Su altura es de 350 metros sobre el nivel del mar, y dispone de una instalación propiedad de Telefónica. La altura de la torre instalada permite colocar las antenas a 30-35 metros sobre el suelo.



Figura 4.71. Localización en el mapa del Volandín. Fuente: Google Earth

La parte sur de Tudela se encuentra a 7 km de distancia, y el perfil de elevación del terreno no presenta obstáculos que no se puedan salvar. Lo mismo ocurre con los diferentes pueblos de la zona.

Una vez elegido un lugar, ahora toca ver si es mejor instalar una antena omnidireccional o un panel que apunte hacia Tudela. Como el objetivo es abarcar una gran zona, se va a optar por simular con una antena omnidireccional (igual que la de la mayoría de estaciones ya instaladas, la Kathrein 751637).

Situando la antena a una altura de 30 metros se obtiene el siguiente mapa de cobertura.

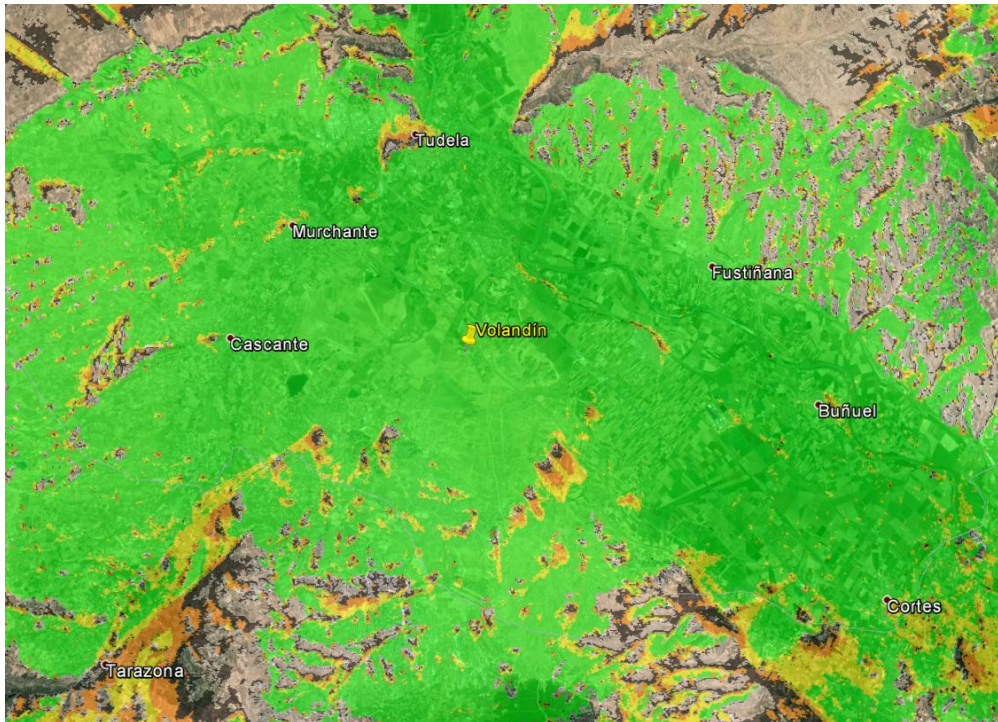


Figura 4.72. Cobertura que proporcionaría una estación base situada en el Volandín. Fuente: Google Earth

Como se puede comprobar en la imagen de cobertura, cubriría muchas zonas que actualmente disponen de niveles de señal muy bajos y se mejoraría la cobertura en la zona sur de Tudela.

5. CONCLUSIONES

- Como se ha podido comprobar, la herramienta de simulación empleada presenta un error medio de unos 10dB respecto a las medidas reales. Este hecho debe ser tenido en cuenta a la hora de tomar decisiones. Por ello, es importante comprobar las propuestas planteadas antes de realizar su implantación.
- Los modelos de propagación de Okumura-Hata y COST 231 Walfisch-Ikegami realizan buenas estimaciones de potencia media en una zona, pero no sirven para realizar una buena estimación de cobertura punto a punto.
- La instalación de las antenas junto con el amplificador de cobertura deben hacerse de forma que se produzca un gran aislamiento. Una solución es colocarlas a diferentes alturas.
- La sensibilidad teórica del terminal de mano es mayor que la real, puesto que se ha podido comprobar que cuando el nivel cae de -92 dBm se empiezan a producir problemas de comunicación.
- Existen varias zonas de la Comunidad Foral de Navarra que no disponen de señal suficiente, y por ello se necesita instalar amplificadores o reconfigurar las estaciones base.
- La configuración de algunas estaciones base no es óptima. Un ejemplo es Yerga, una estación base situada en La Rioja pero que da servicio Navarra y que emplea una antena omnidireccional, cuando no es necesario emitir hacia atrás.
- Existen estaciones base que se encargan de dar cobertura a zonas urbanas teniendo un área mucho menor, y existen otras, como San Cristóbal, que hacen de paraguas sobre otras estaciones y alcanzan un área de cobertura mayor.

6. LÍNEAS FUTURAS

En primer lugar, sería interesante poder probar las soluciones propuestas, con el fin de intentar solucionar los problemas comentados a lo largo del documento y así, en caso de que no cumplan unos niveles adecuados, se podrán plantear otras soluciones.

Para el caso de Badostáin habría que colocar la unidad móvil en el punto indicado, y recorrer los distintos puntos de la comarca de Pamplona para comprobar que nivel de señal proporciona.

Así mismo, sería interesante hacer un análisis de la configuración actual de las antenas de cada estación base, con el fin de solucionar pequeños errores (como el caso de la omnidireccional de Yerga que se podría cambiar por una directiva). Este análisis parece simple pero podría mejorar la cobertura en varios puntos del territorio.

Además, habría que estudiar otros puntos como las Bardenas Reales, Fitero y la zona de Cortes, ya que actualmente no disponen de buena señal. En estos puntos se podrían plantear soluciones basadas en amplificadores de cobertura o de traslado de alguna estación existente.

Por otro lado, otro punto a destacar sería la búsqueda de una herramienta de simulación más precisa o, el estudio a fondo de Radio Mobile con el fin de poder disminuir el error obtenido en las simulaciones respecto a las medidas reales.

7. REFERENCIAS

- [1] Documentación facilitada por la Dirección General de Informática, Telecomunicaciones e Innovación Pública del Gobierno de Navarra.
- [2] Cuadro nacional de atribución de frecuencias (CNAF)
<http://www.minetur.gob.es/telecomunicaciones/Espectro/Paginas/CNAF.aspx>
- [3] PARRA HIDALGO, JM .*Cobertura TETRA en interior de Edificios*. Universidad Politécnica de Cataluña, 2009.
- [4] European Standard. ETSI EN 300 392-2 V3.6.1 *Air Interface*, ETR 300-1, *Overview, technical descriptions and radio aspects*.
- [5] <http://www.ealuro.com/pdf/RedesPMRSistemaTETRA.pdf>
- [6] RUBIO CALATAYUD, R. *Red de Comunicaciones Móviles Corporativa para Servicios Municipales*. Universidad católica San Antonio de Murcia, 2011.
- [7] SALAZAR DOMERIZAIN, E. *Ampliación de la Red TETRA*. TFG. Pamplona: Universidad Pública de Navarra, 2014.
- [8] Libro *Mobile Telecommunications Standards: GSM, UMTS, TETRA, and ERMES*.
- [9] Introducción tecnología TETRA
http://148.223.3.142/archivos/vportillo/downloads/rohill/Introduccion_sistemas_Tetra.pdf
- [10] DANIELA BARAVALLE, L. *Estudio de modelos de propagación de ondas electromagnéticas*. Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba, 2014.
- [11] ALONSO QUINTANA, R., BORDÓN LÓPEZ, R., MONTEJO SÁNCHEZ, S. *Estudio comparativo de los modelos de propagación de canal inalámbrico*. Revista de Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones, 2013.
- [12] <https://ingetelecom.files.wordpress.com/2007/08/modelo-trabajo-final.doc>
- [13] <https://www.xirio-online.com/help/es/okumurahata.html>
- [14] OKUMURA, Y., OHMORI, E., KAWANO, T., FUKUDA, K., “*Field strength and its variability in the VHF and UHF land mobile radio service*”, *Rev. Elec. Commun. Lab.*, 16(9/10), 825-73. 1968.

- [15] Apéndice 7.A: Modelo Okumura-Hata
http://www.wiley.com/legacy/wileychi/molisch/supp2/appendices/c07_Appendices.pdf
- [16] <https://www.xirio-online.com/help/es/cost231.html>
- [17] <http://www.awe-communications.com/Propagation/Rural/ITM/index.htm>
- [18] <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11901/fichero/capitulo8.pdf>
- [19] Tutorial de Radio Mobile
<http://www3.fi.mdp.edu.ar/electronica/catedras/mediosdetransmision/files/ManualRadioMobile.pdf>
- [20] http://www.g3tvu.co.uk/Route_Radio_Coverage.htm

8. ANEXOS

ANEXO I: ESTIMACIÓN DE COBERTURA MEDIANTE MODELOS EMPÍRICOS. RESTO DE ZONAS

I. Zona Barañáin-Berriozar-Ansoáin

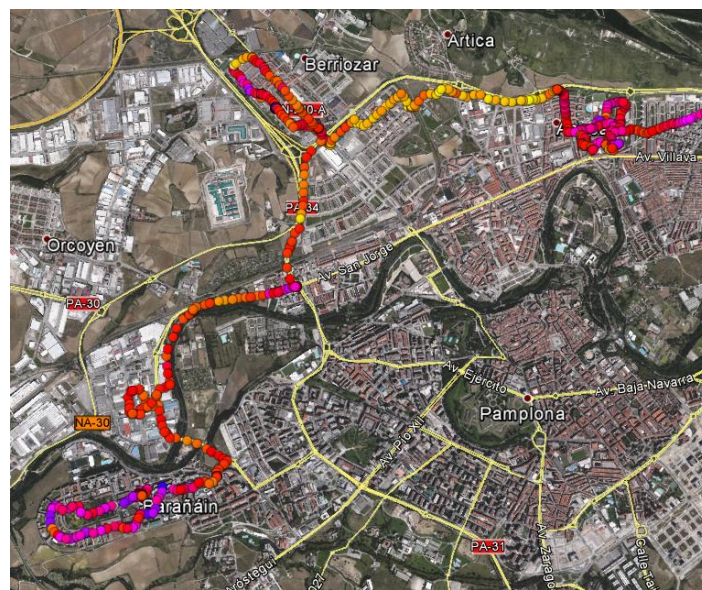


Figura 8.1. Recorrido realizado por Barañáin, Berriozar y Ansoáin con los niveles de potencia recibidos. Fuente: Google Earth

Simulación Radio Mobile

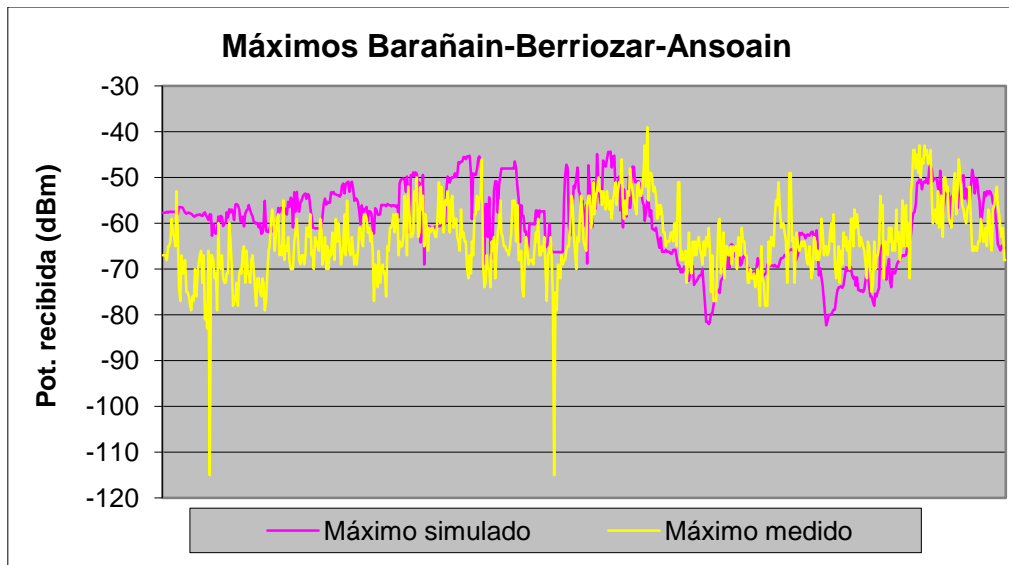


Figura 8.2. Comparación máximo simulado y medido zona Barañain, Berriozar, Ansoain. Fuente: propia

Error medio	8,12 dB
Desv. Estándar	5,95 dB

Tabla 8.1. Error medio y desviación zona Barañain, Berriozar, Ansoain

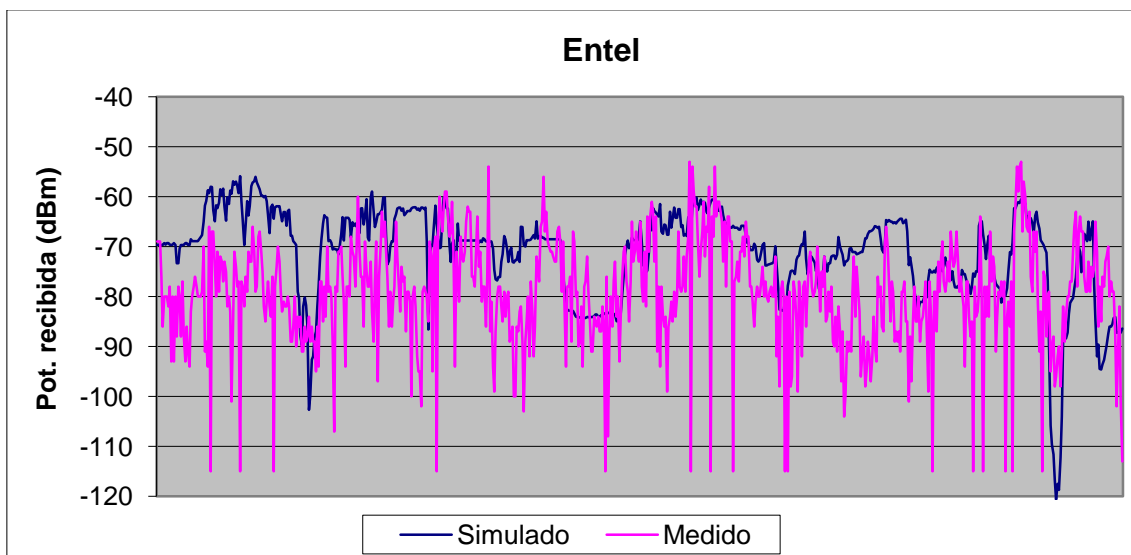


Figura 8.3. Potencia simulada y medida de la estación base de Entel zona Barañain, Berriozar y Ansoain. Fuente: propia.

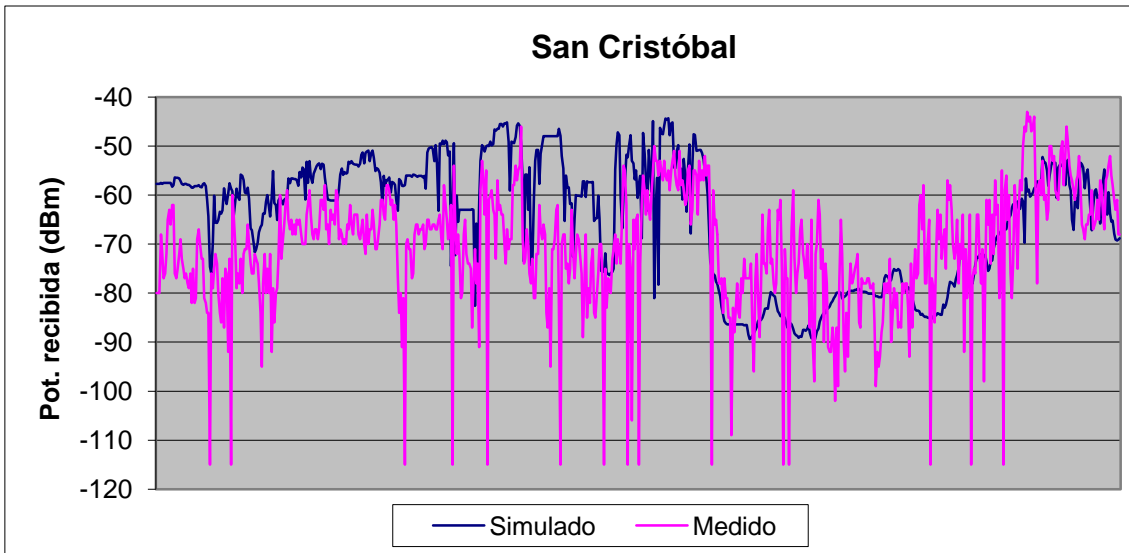


Figura 8.4. Potencia simulada y medida de la estación base de San Cristóbal zona Barañáin, Berriozar y Ansoáin. Fuente: propia.

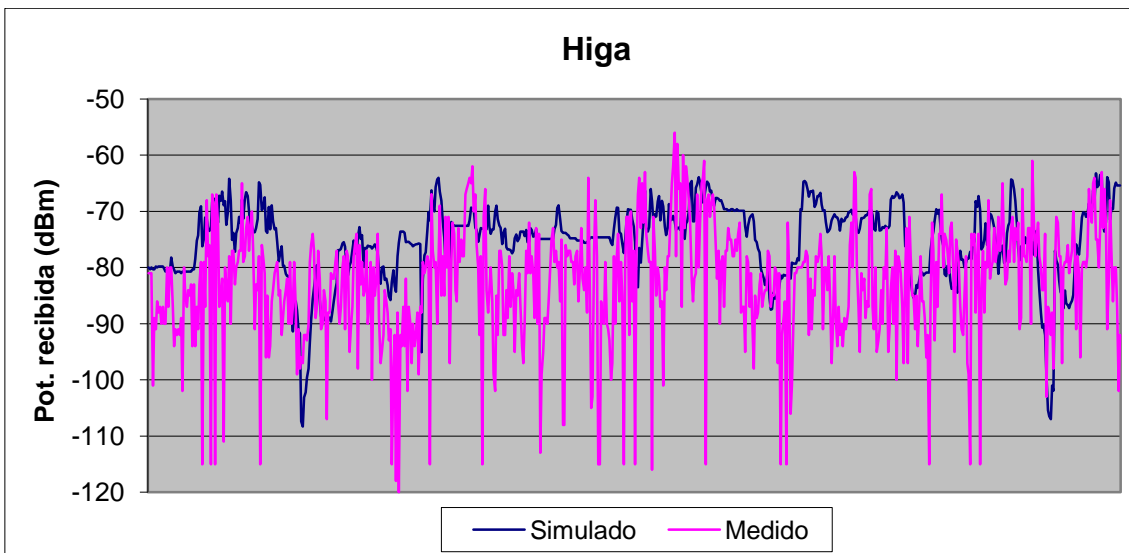


Figura 8.5. Potencia simulada y medida de la estación base de Higa zona Barañáin, Berriozar y Ansoáin. Fuente: propia.

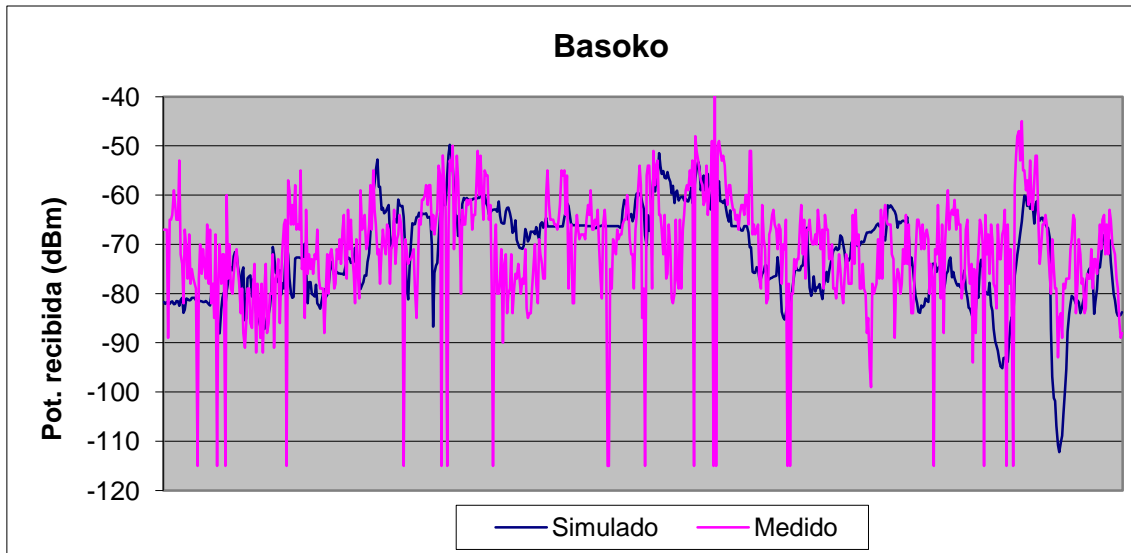


Figura 8.6. Potencia simulada y medida de la estación base de Basoko zona Barañáin, Berriozar y Ansoáin. Fuente: propia.

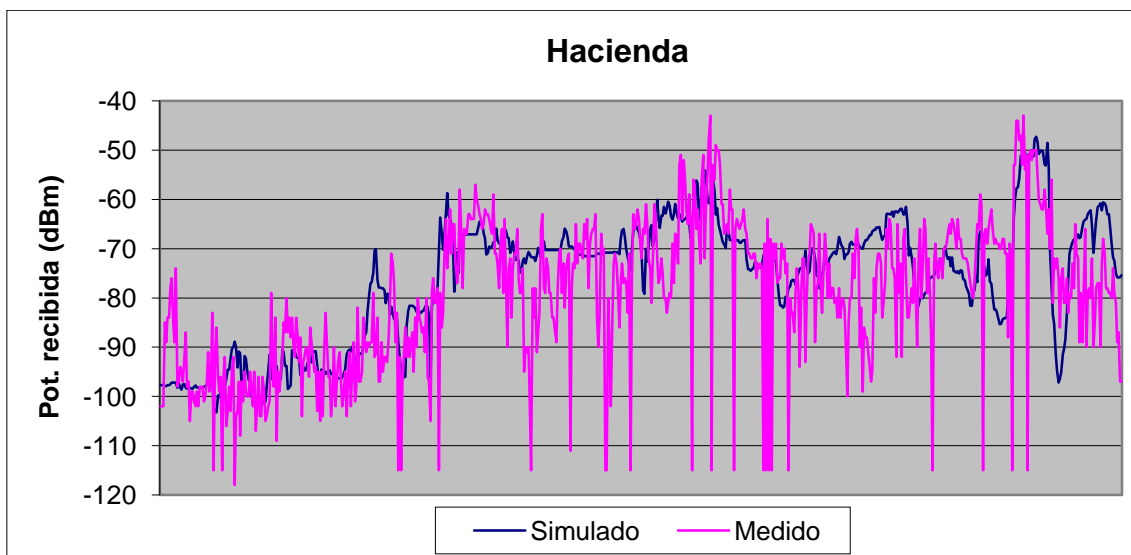


Figura 8.7. Potencia simulada y medida de la estación base de Hacienda zona Barañáin, Berriozar y Ansoáin. Fuente: propia.

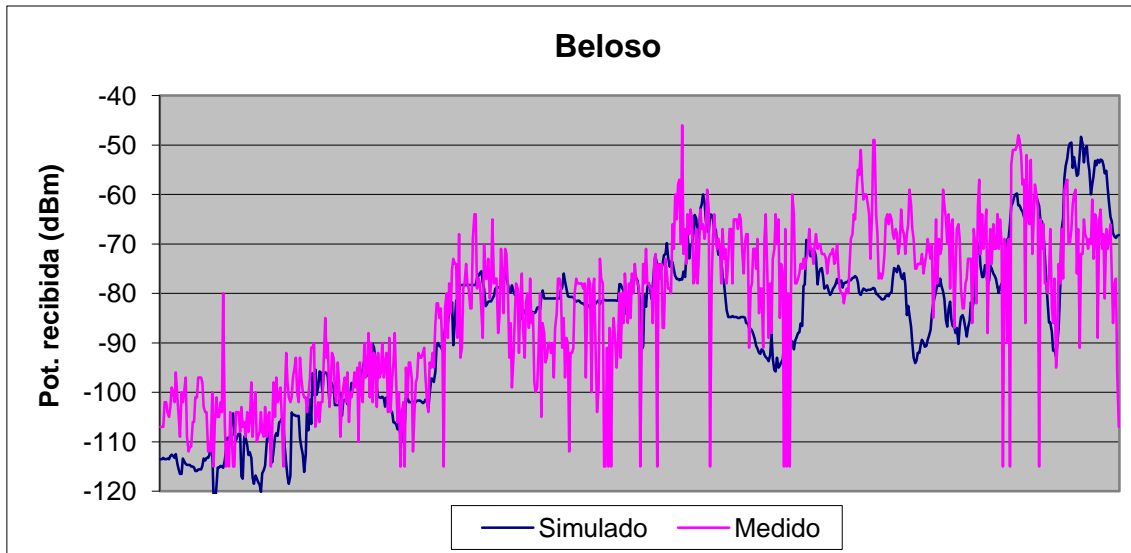


Figura 8.8. Potencia simulada y medida de la estación base de Beloso zona Barañáin, Berriozar y Ansoáin. Fuente: propia.

Estación base	Desviación estándar	Error medio
Entel	9,48629 dB	11,24506 dB
San Cristobal	9,36195 dB	11,71177 dB
Higa	8,72637 dB	10,35567 dB
Basoko	8,77252 dB	9,03154 dB
Hacienda	8,65297 dB	8,75189 dB
Beloso	7,92092 dB	9,69695 dB

Tabla 8.2. Resumen error medio y desviación estándar Barañáin, Berriozar, Ansoáin

Simulación Okumura-Hata

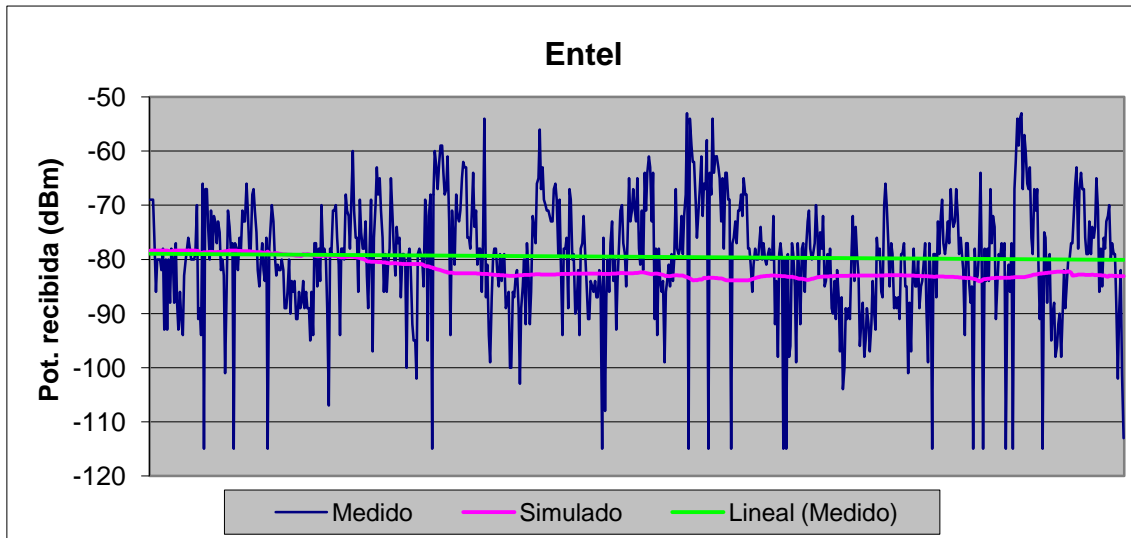


Figura 8.9. Potencia simulada y medida de la estación base de Entel zona Barañáin, Berriozar y Ansoáin con Okumura-Hata. Fuente: propia.

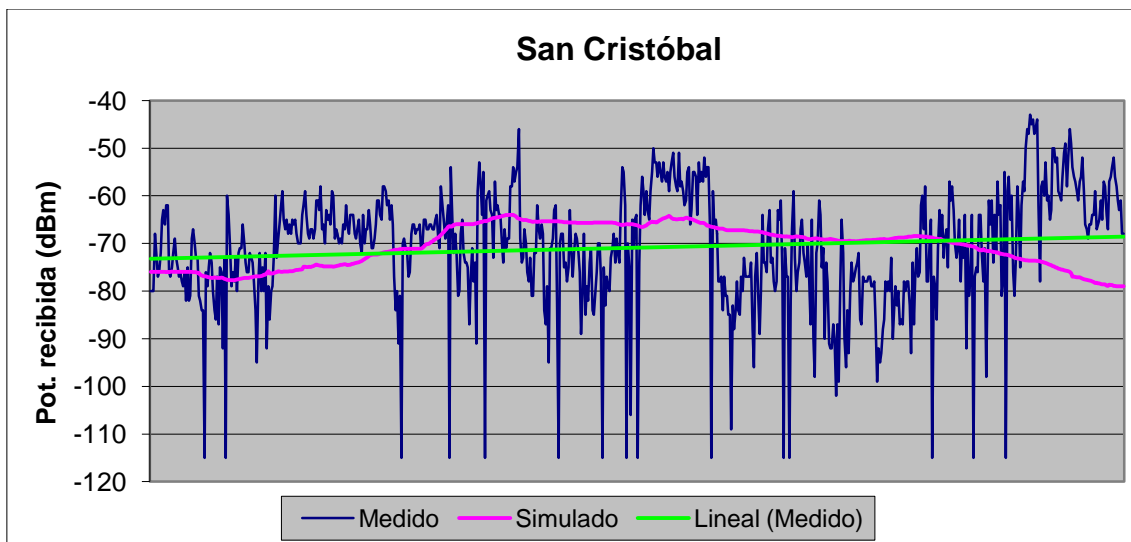


Figura 8.10. Potencia simulada y medida de la estación base de San Cristóbal zona Barañáin, Berriozar y Ansoáin con Okumura-Hata. Fuente: propia.

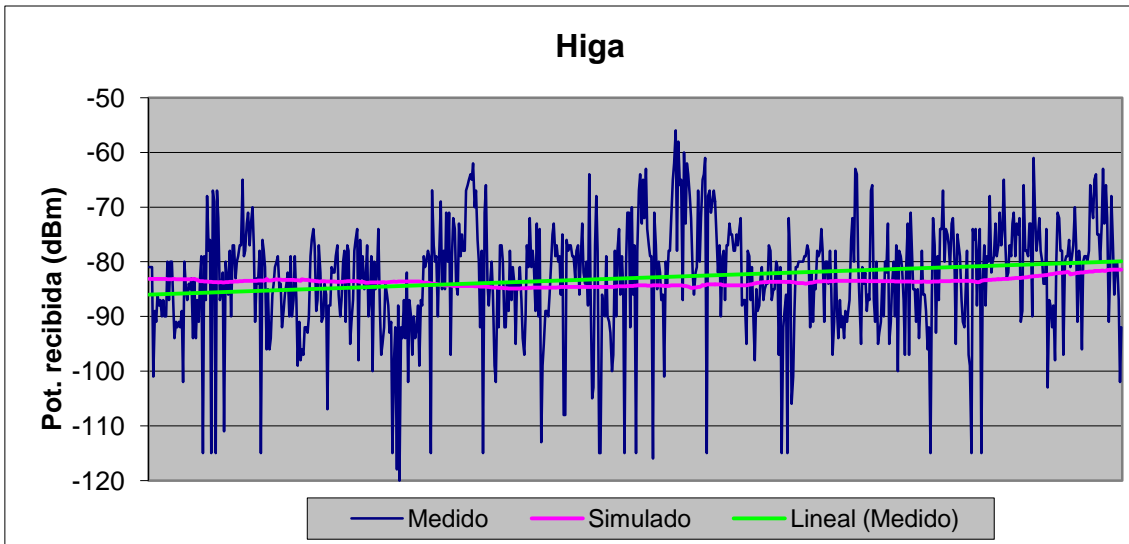


Figura 8.11. Potencia simulada y medida de la estación base de Higa zona Barañáin, Berriozar y Ansoáin con Okumura-Hata. Fuente: propia.

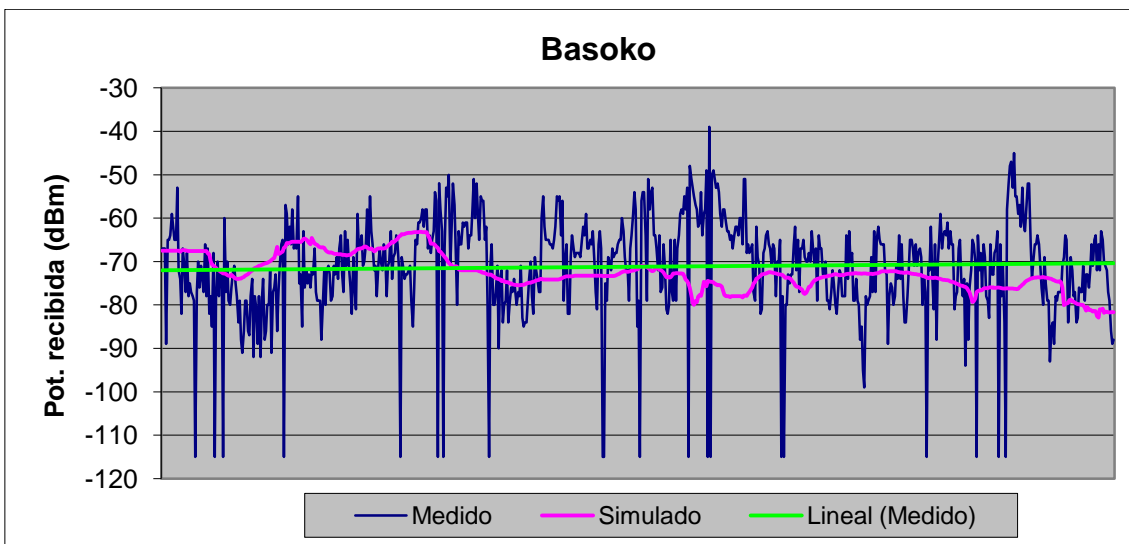


Figura 8.12. Potencia simulada y medida de la estación base de Basoko zona Barañáin, Berriozar y Ansoáin con Okumura-Hata. Fuente: propia.

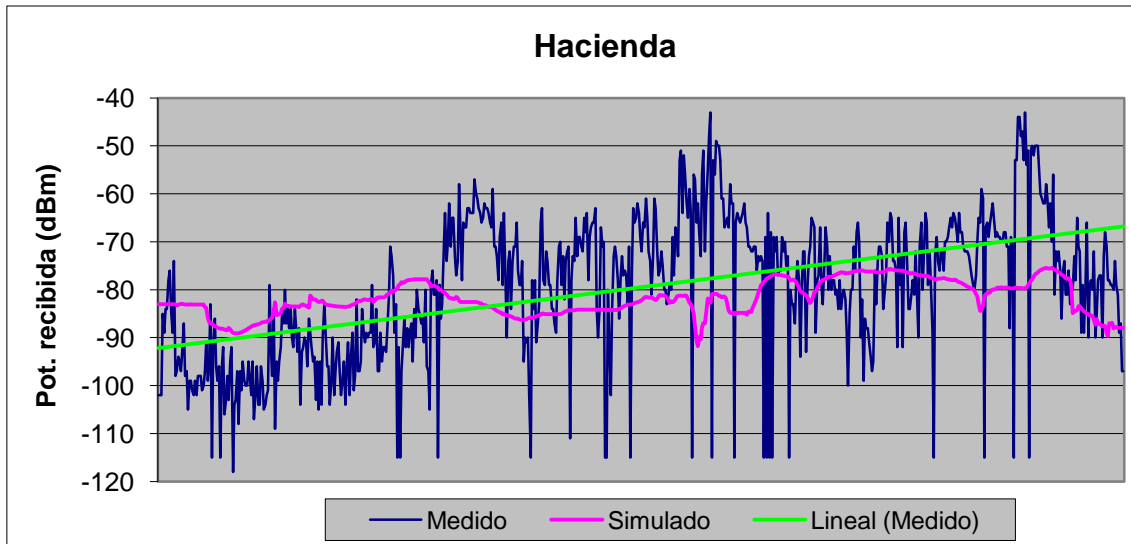


Figura 8.13. Potencia simulada y medida de la estación base de Hacienda zona Barañáin, Berriozar y Ansoáin con Okumura-Hata. Fuente: propia.

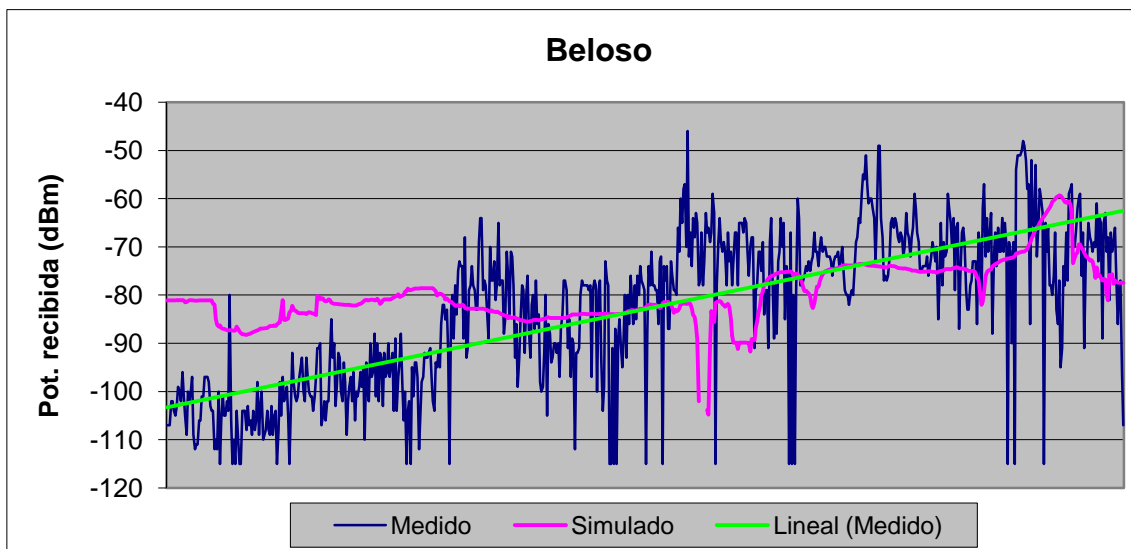


Figura 8.14. Potencia simulada y medida de la estación base de Beloso zona Barañáin, Berriozar y Ansoáin con Okumura-Hata. Fuente: propia.

Estación base	Desviación estándar	Error medio
Entel	7,33604 dB	8,7339 dB
San Cristóbal	8,70627 dB	10,2734 dB
Higa	6,74702 dB	8,1014 dB
Basoko	8,43298 dB	9,3185 dB
Hacienda	8,38047 dB	12,0103 dB
Beloso	8,70325 dB	12,0992 dB

Tabla 8.3. Resumen error medio y desviación estándar Berañáin, Berriozar, Ansoain con Okumura-Hata

(En Entel, San Cristóbal, Higa y Hacienda se ha cogido urbano ciudad mediana, y en Basoko y Beloso suburbano)

COST-231 Walfisch-Ikegami

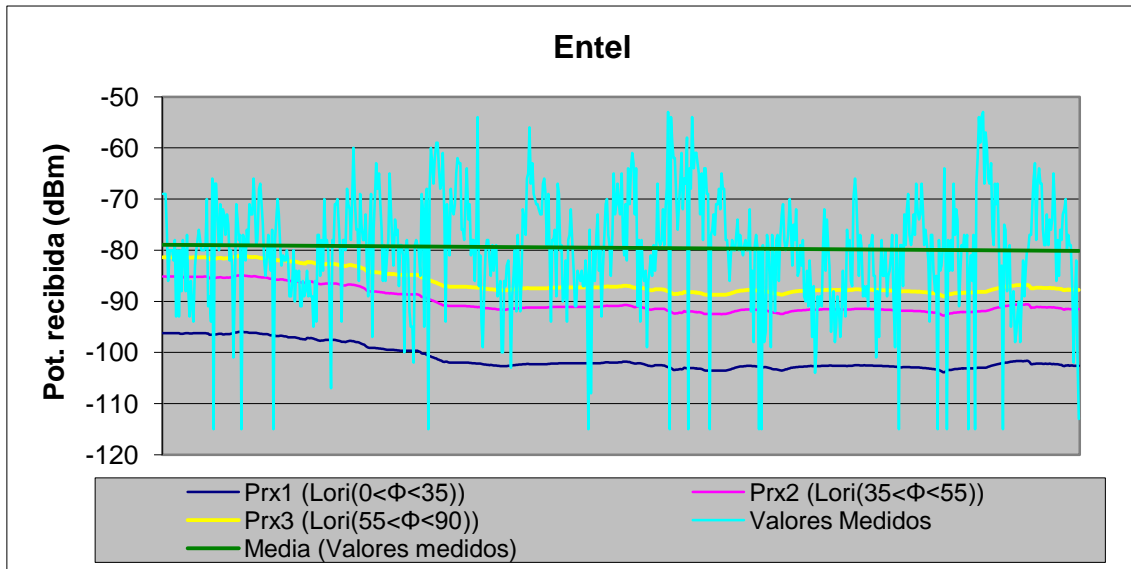


Figura 8.15. Potencia simulada y medida de la estación base de Entel zona Barañáin, Berriozar y Ansoáin con COST 231 Walfisch-Ikegami. Fuente: propia.

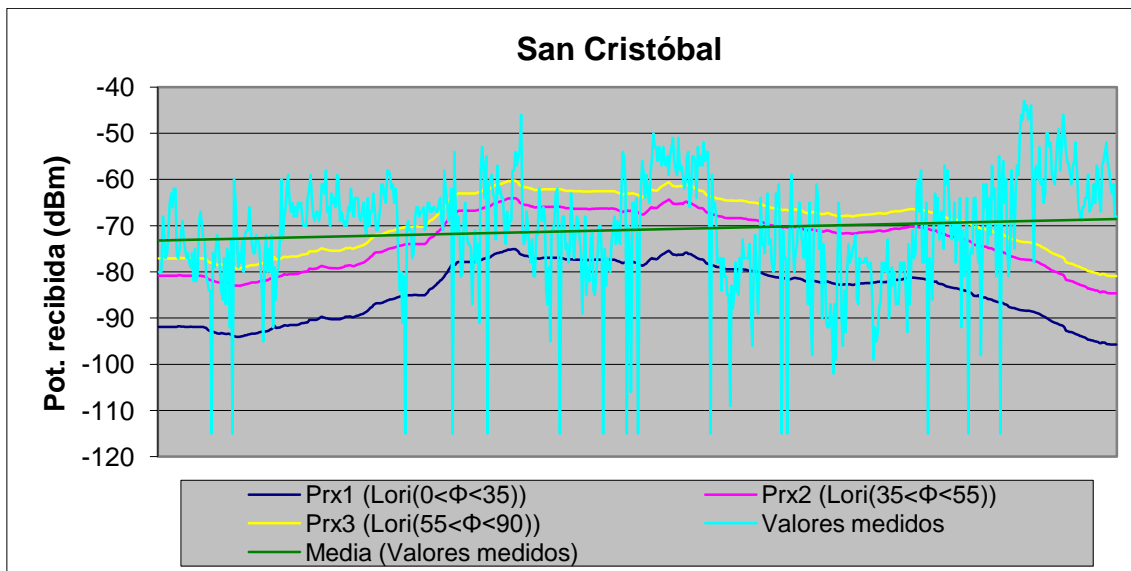


Figura 8.16. Potencia simulada y medida de la estación base de San Cristóbal zona Barañáin, Berriozar y Ansoáin con COST 231 Walfisch-Ikegami. Fuente: propia.

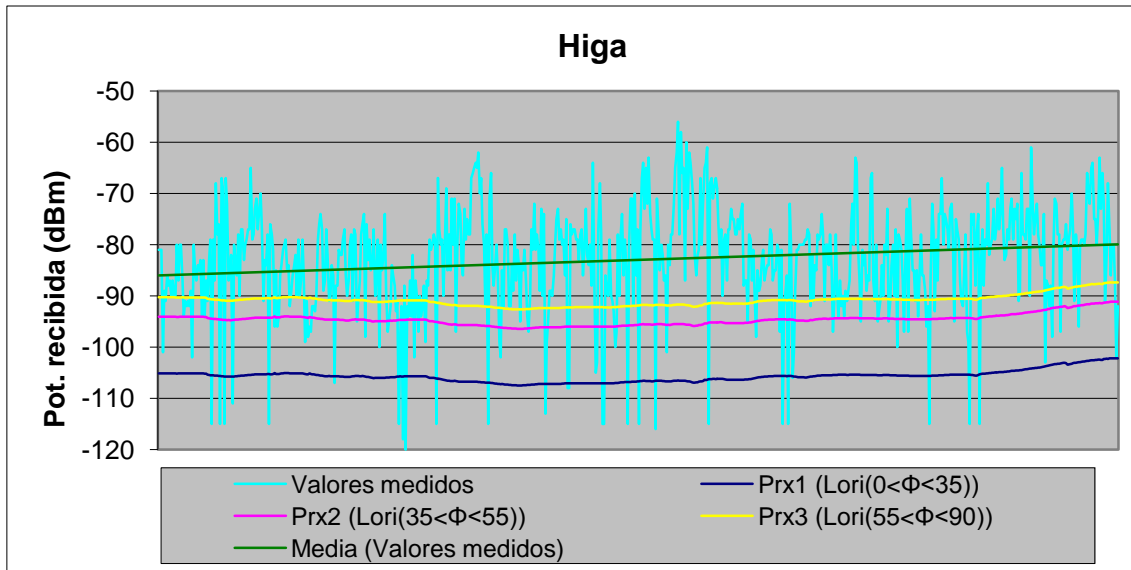


Figura 8.17. Potencia simulada y medida de la estación base de Higa zona Barañáin, Berriozar y Ansoáin con COST 231 Walfisch-Ikegami. Fuente: propia.

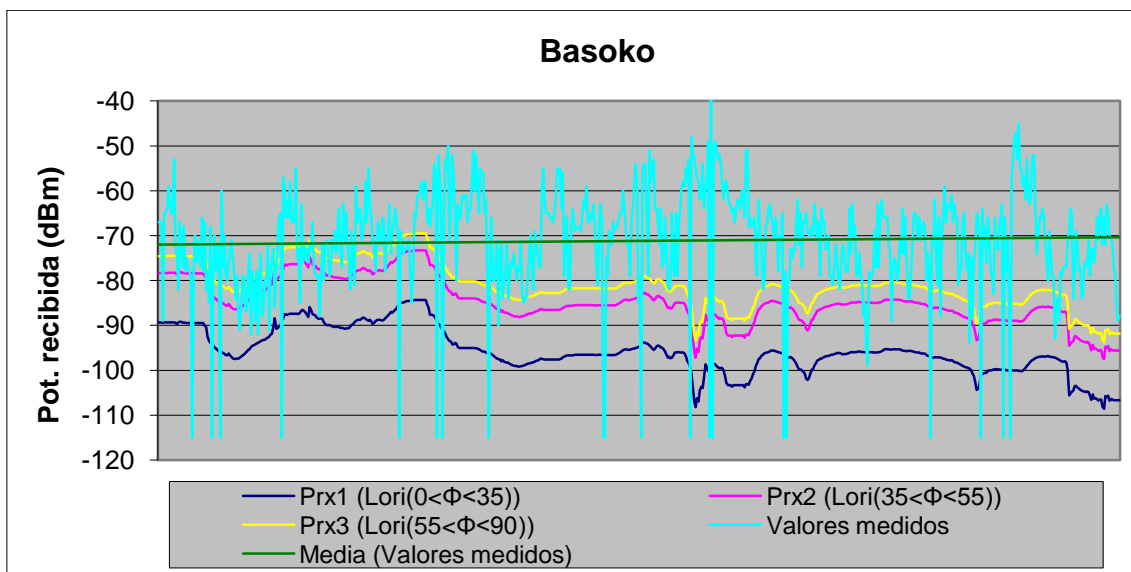


Figura 8.18. Potencia simulada y medida de la estación base de Entel zona Barañáin, Berriozar y Ansoáin con COST 231 Walfisch-Ikegami. Fuente: propia.

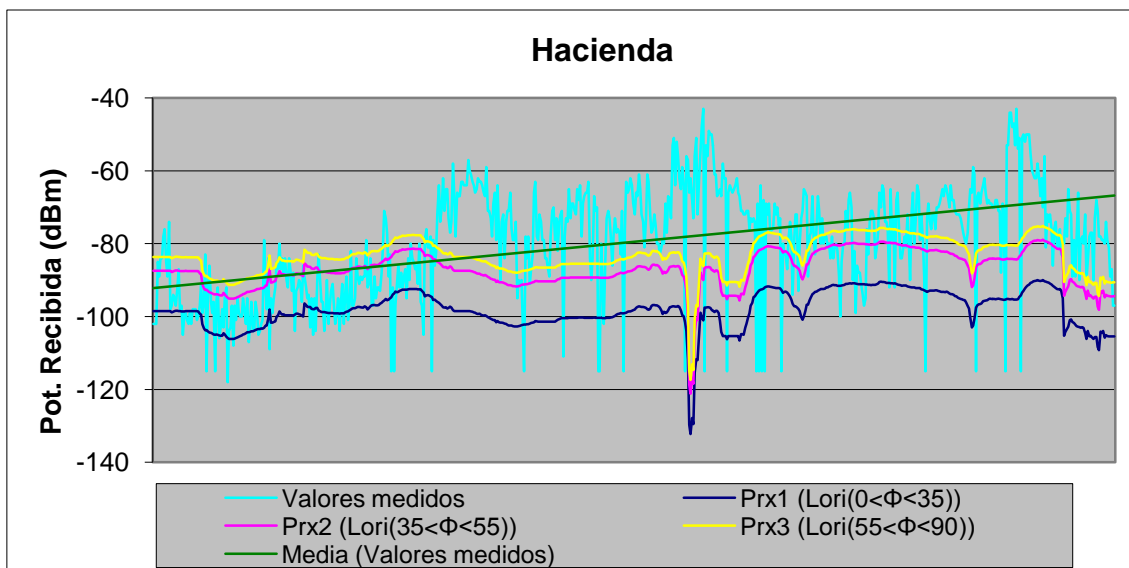


Figura 8.19. Potencia simulada y medida de la estación base de Hacienda zona Barañáin, Berriozar y Ansoáin con COST 231 Walfisch-Ikegami. Fuente: propia.

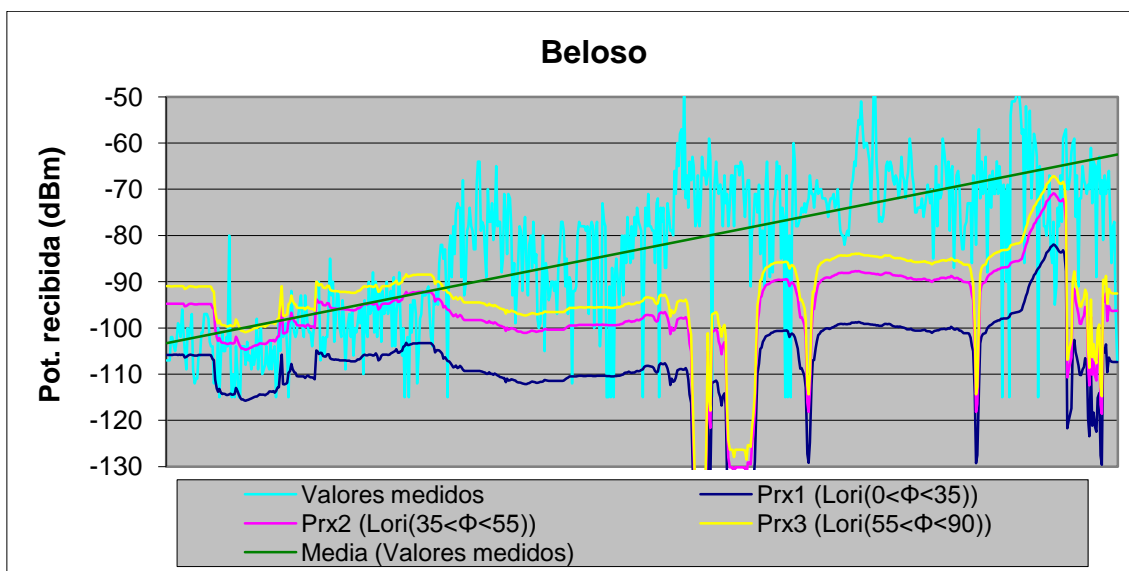


Figura 8.20. Potencia simulada y medida de la estación base de Beloso zona Barañáin, Berriozar y Ansoáin con COST 231 Walfisch-Ikegami. Fuente: propia.

Estación base	Error medio1	Error medio2	Error medio3	Desv. Estandar1	Desv. Estandar2	Desv. Estandar3
Entel	20,60 dB	11,40 dB	9,20 dB	9,21 dB	7,73 dB	7,19 dB
San Cristóbal	15,75 dB	9,61 dB	8,88 dB	8,64 dB	7,74 dB	8,43 dB
Higa	21,95 dB	12,55 dB	10,02 dB	8,84 dB	7,48 dB	7,11 dB
Basoko	22,20 dB	12,62 dB	10,21 dB	9,00 dB	8,69 dB	8,39 dB
Hacienda	15,29 dB	11,35 dB	11,63 dB	11,67 dB	7,88 dB	7,10 dB
Beloso	15,70 dB	10,03 dB	10,18 dB	11,35 dB	8,01 dB	6,71 dB

Tabla 8.4. Resumen error medio y desviación estándar Barañáin, Berriozar, Ansoain con COST-231 Walfisch-Ikegami

II. Gorraiz

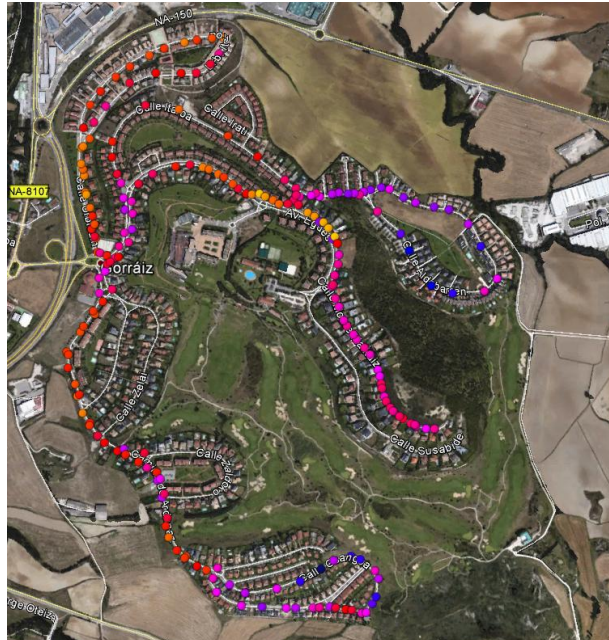


Figura 8.21. Recorrido realizado por Gorraiz con los niveles de potencia recibidos. Fuente: Google Earth

Simulación Radio Mobile

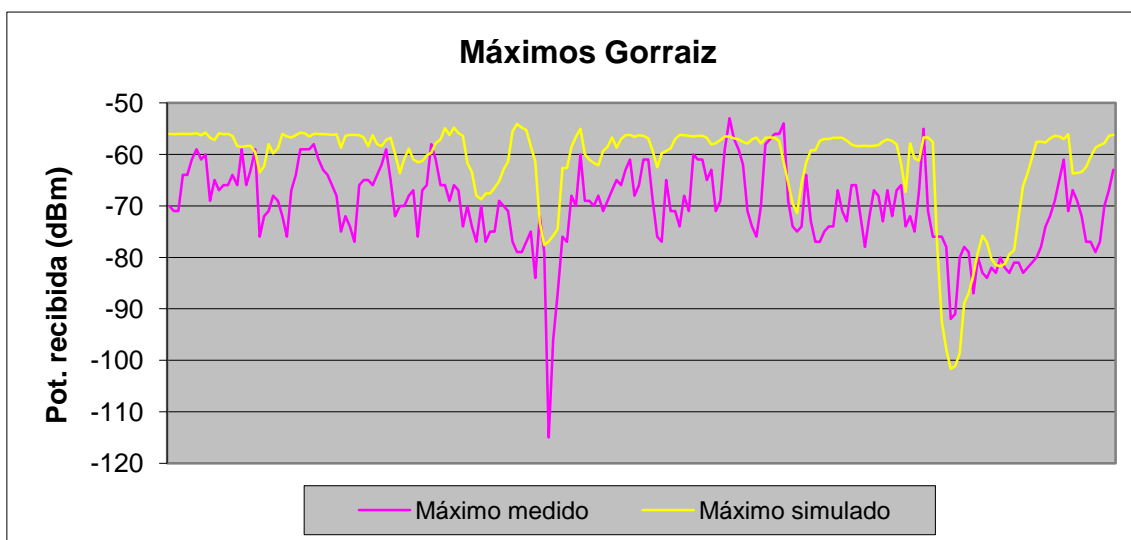


Figura 8.22. Comparación máximo simulado y medido zona Barañáin, Berriozar, Ansoáin. Fuente: propia

Error medio	9,96 dB
Desv. Estándar	6,07 dB

Tabla 8.5. Error medio y desviación estándar Gorráiz.

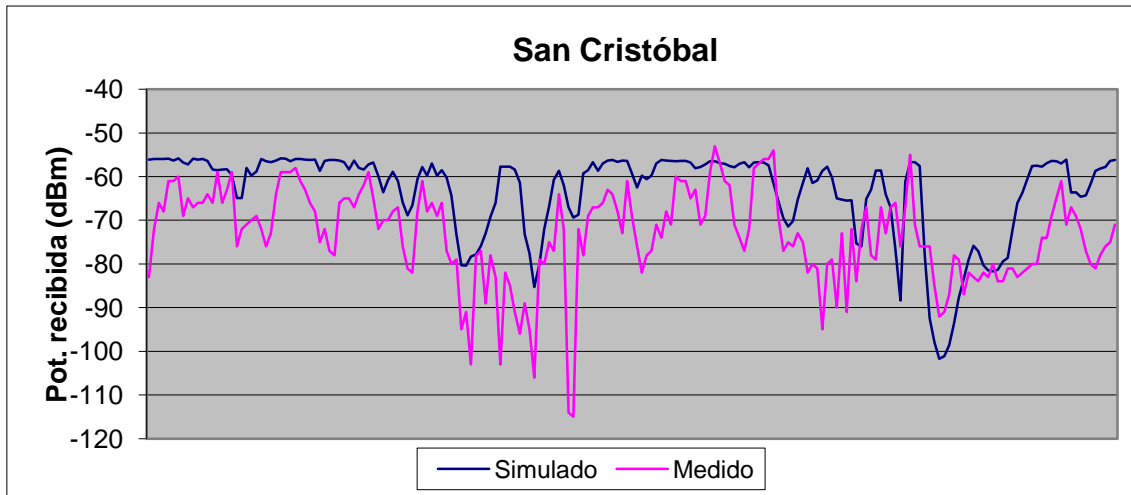


Figura 8.23. Potencia simulada y medida de la estación base de San Cristóbal zona Gorráiz. Fuente: propia.

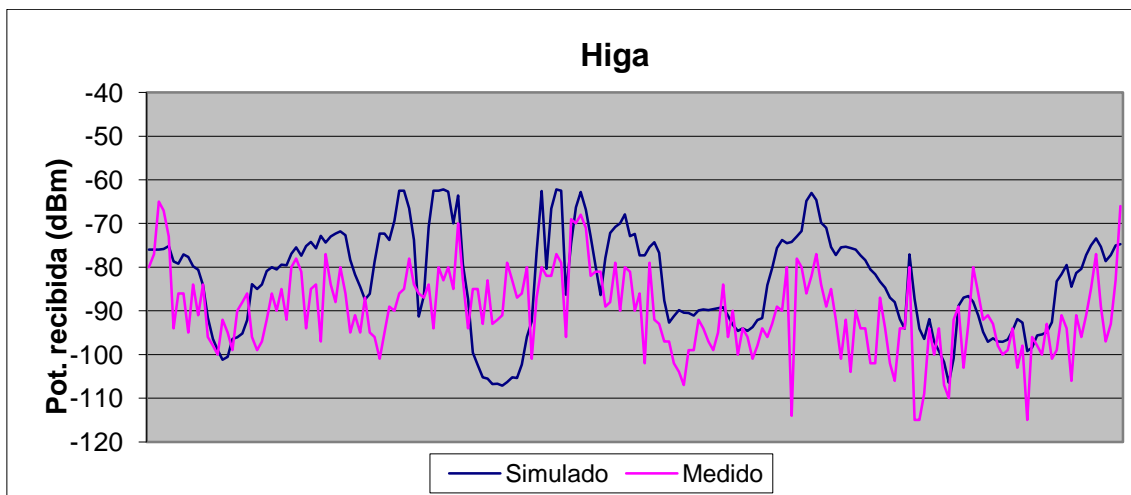


Figura 8.24. Potencia simulada y medida de la estación base de Higa zona Gorráiz. Fuente: propia.

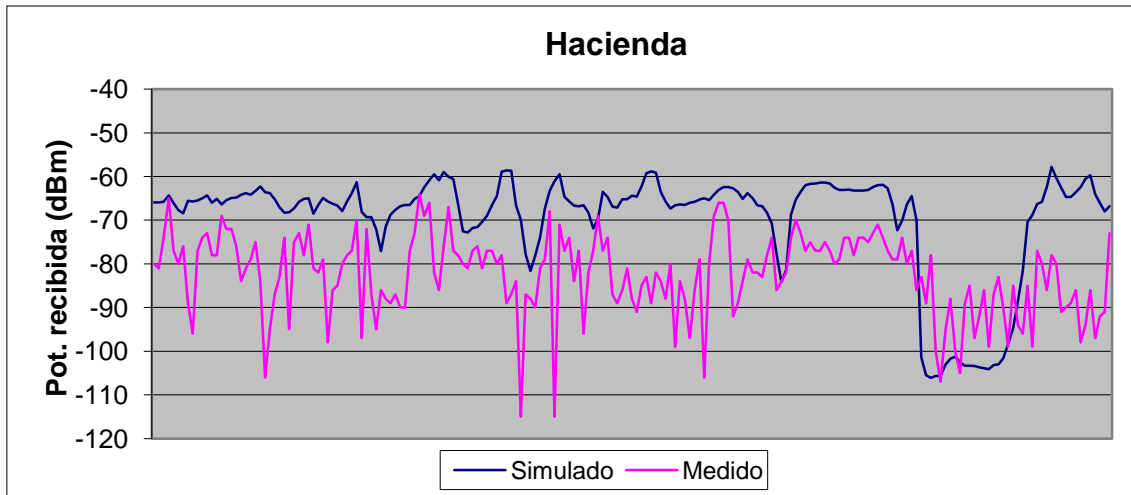


Figura 8.25. Potencia simulada y medida de la estación base de Hacienda zona Gorraiz. Fuente: propia.

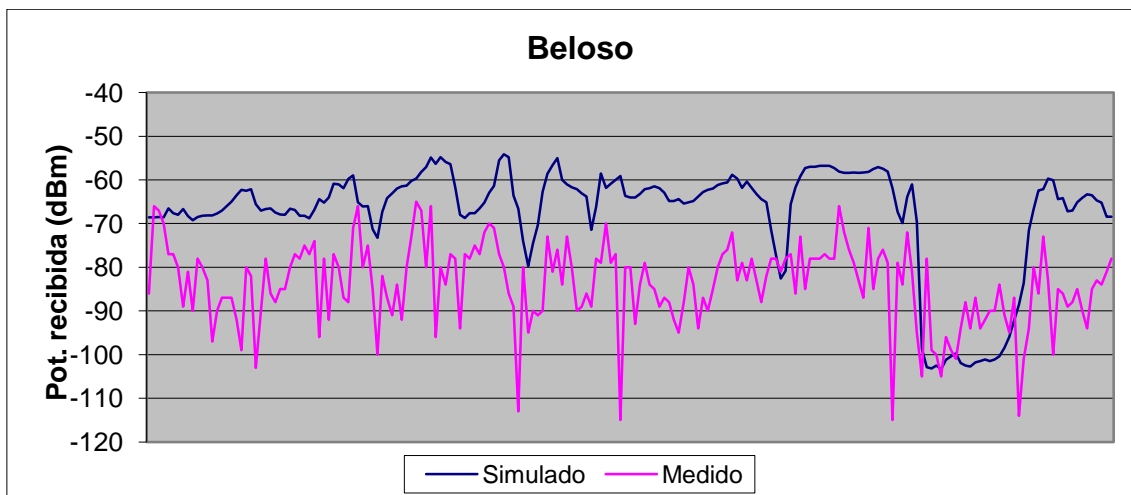


Figura 8.26. Potencia simulada y medida de la estación base de Beloso zona Gorraiz. Fuente: propia.

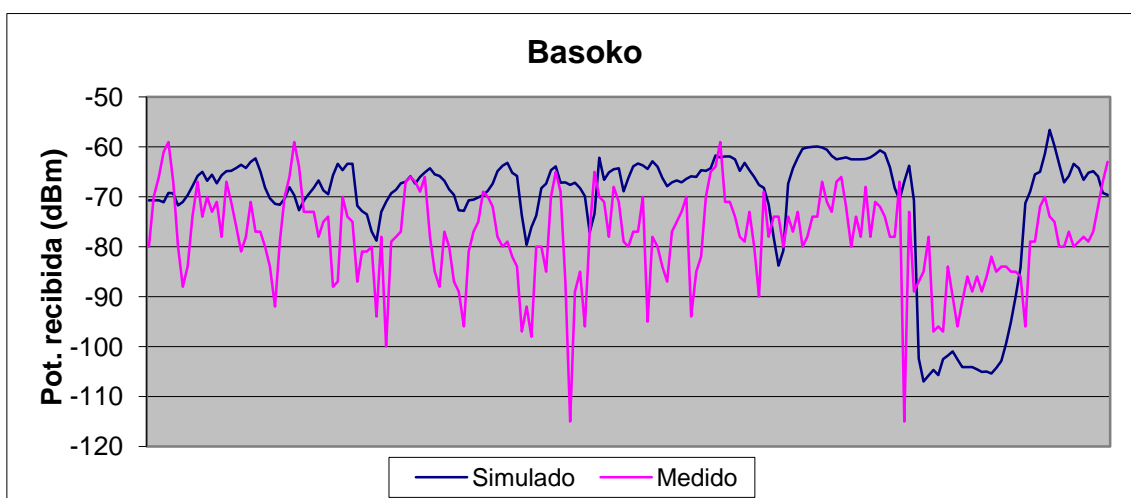


Figura 8.27. Potencia simulada y medida de la estación base de Basoko zona Gorraiz. Fuente: propia.

Estación base	Desviación estándar	Error medio
Higa	7,1954 dB	10,7603 dB
San Cristóbal	8,2698 dB	11,3974 dB
Hacienda	9,0892 dB	15,2110 dB
Beloso	9,1937 dB	17,9562 dB
Basoko	7,5695 dB	11,5055 dB

Tabla 8.6. Resumen error medio y desviación estándar Gorraiz con Radio Mobile

Simulación Okumura-Hata

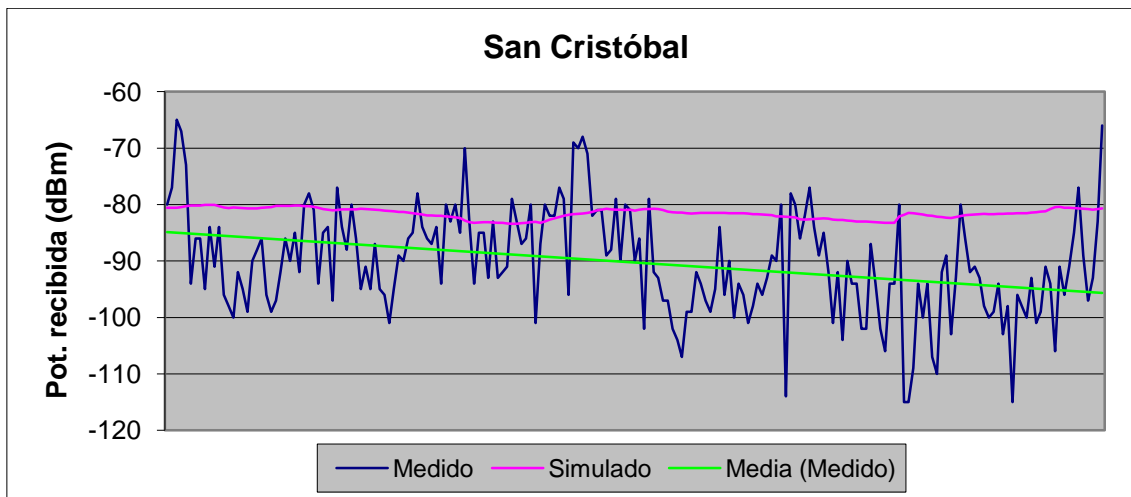


Figura 8.28. Potencia simulada y medida de la estación base de San Cristóbal zona Gorraiz con Okumura-Hata. Fuente: propia.

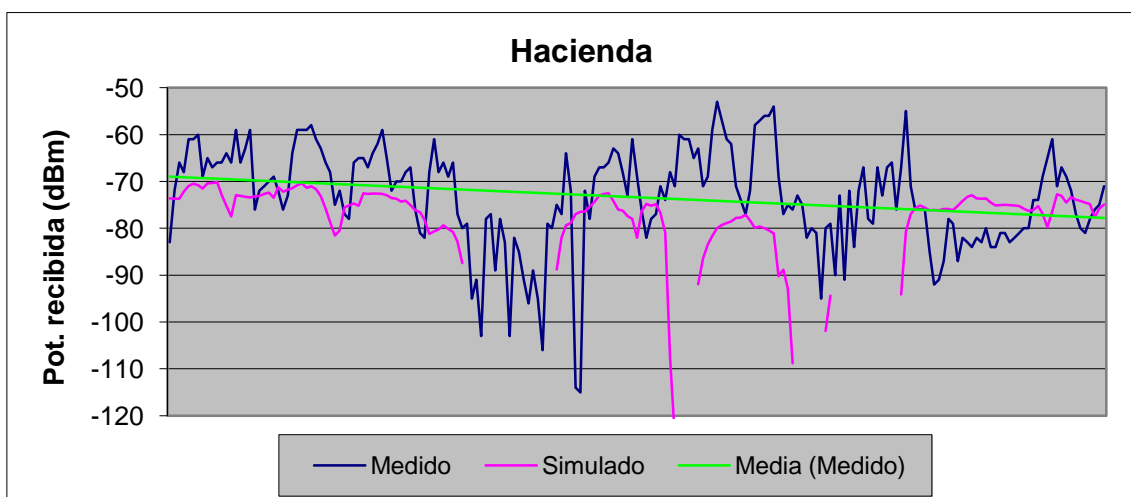


Figura 8.29. Potencia simulada y medida de la estación base de Hacienda zona Gorraiz con Okumura-Hata. Fuente: propia.

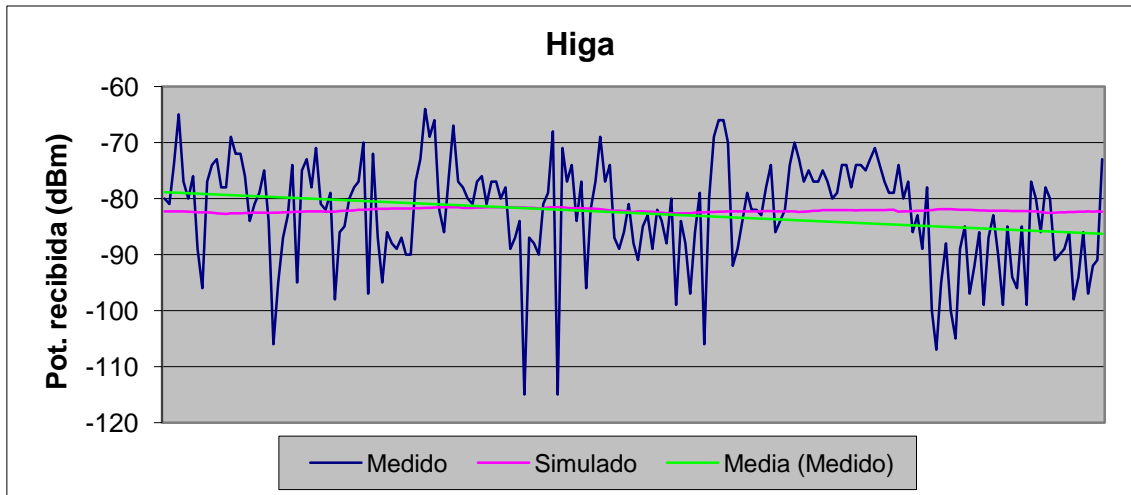


Figura 8.30. Potencia simulada y medida de la estación base de Higa zona Gorraiz con Okumura-Hata. Fuente: propia.

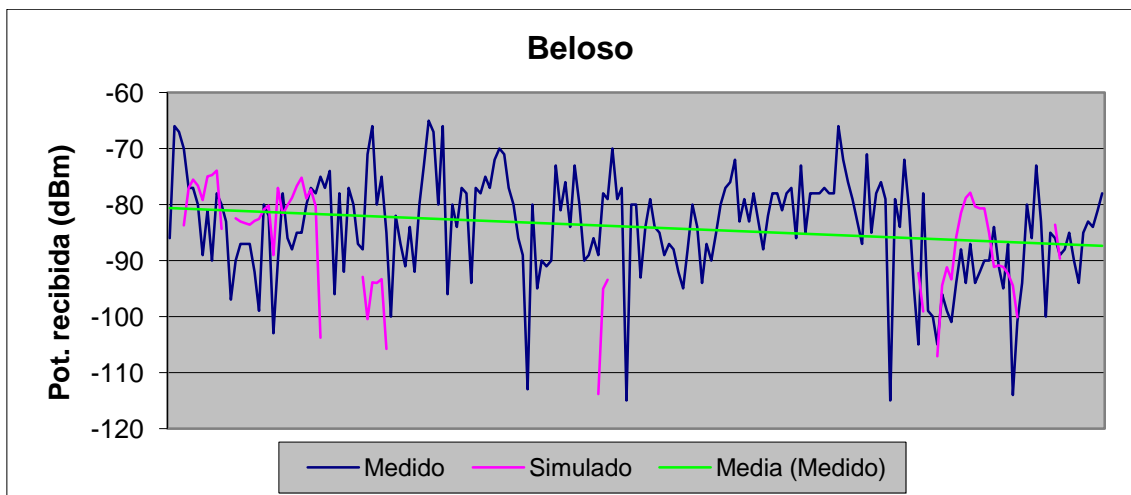


Figura 8.31. Potencia simulada y medida de la estación base de Beloso zona Gorraiz con Okumura-Hata. Fuente: propia.

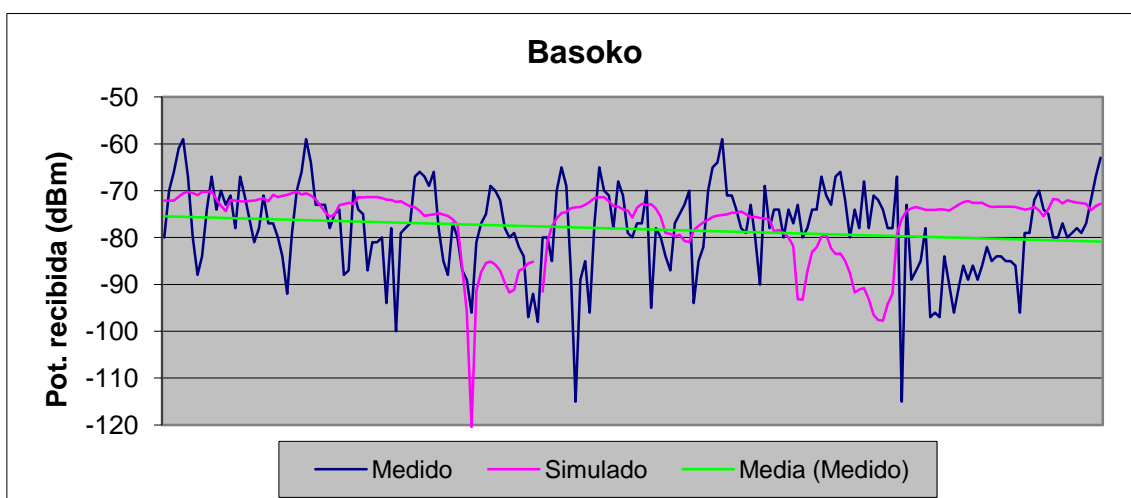


Figura 8.32. Potencia simulada y medida de la estación base de Basoko zona Gorraiz con Okumura-Hata. Fuente: propia.

Estación base	Desviación estándar	Error medio
Higa	5,7553 dB	7,3094 dB
San Cristóbal	7,3156 dB	10,4997 dB
Hacienda	8,5773 dB	9,9752 dB
Beloso	7,5416 dB	9,2654 dB
Basoko	6,9757 dB	9,2175 dB

Tabla 8.7. Resumen error medio y desviación estándar Gorraiz con Okumura-Hata

(En San Cristóbal e Higa urbano ciudad grande, el resto rural)

COST-231 Walfisch-Ikegami

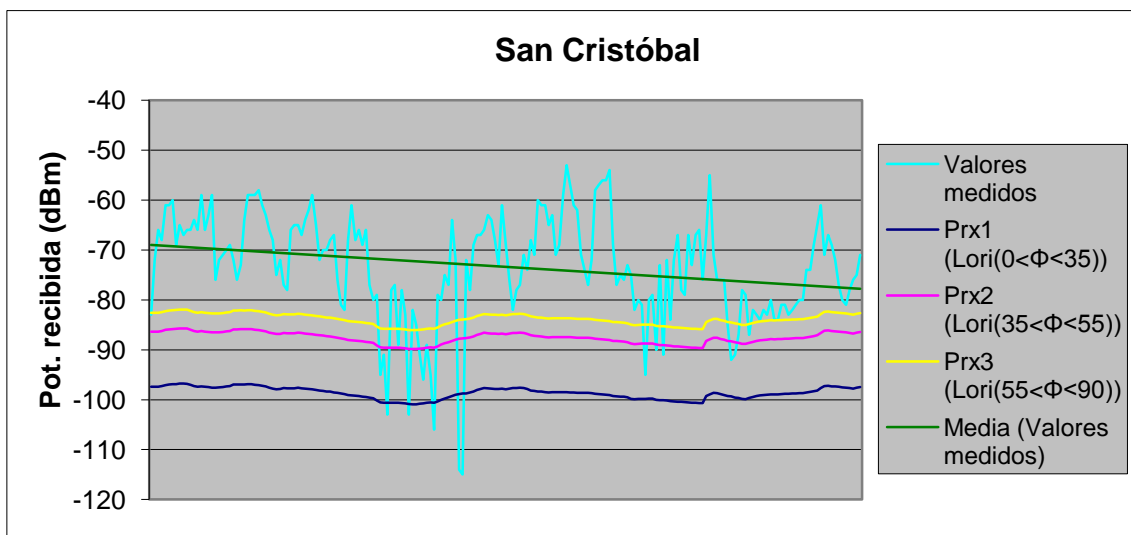


Figura 8.33. Potencia simulada y medida de la estación base de San Cristóbal con COST 231 Walfisch-Ikegami. Fuente: propia.

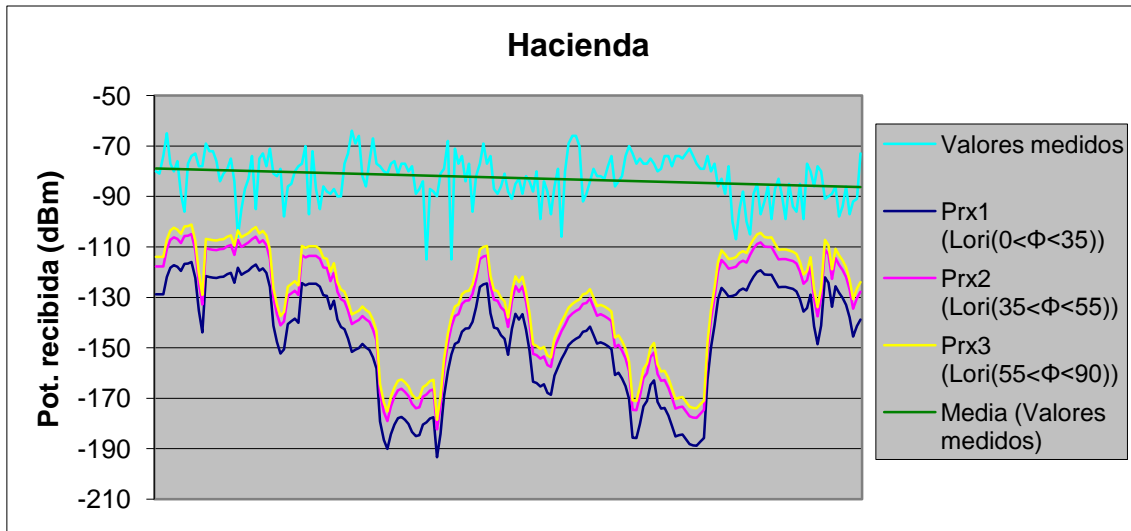


Figura 8.34. Potencia simulada y medida de la estación base de Hacienda con COST 231 Walfisch-Ikegami. Fuente: propia.

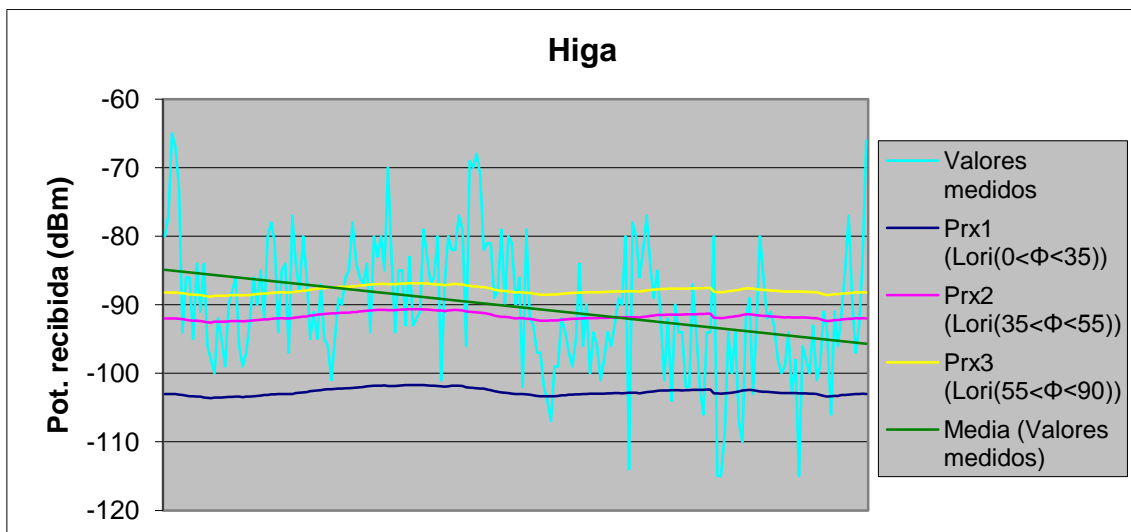


Figura 8.35. Potencia simulada y medida de la estación base de Higa con COST 231 Walfisch-Ikegami. Fuente: propia.

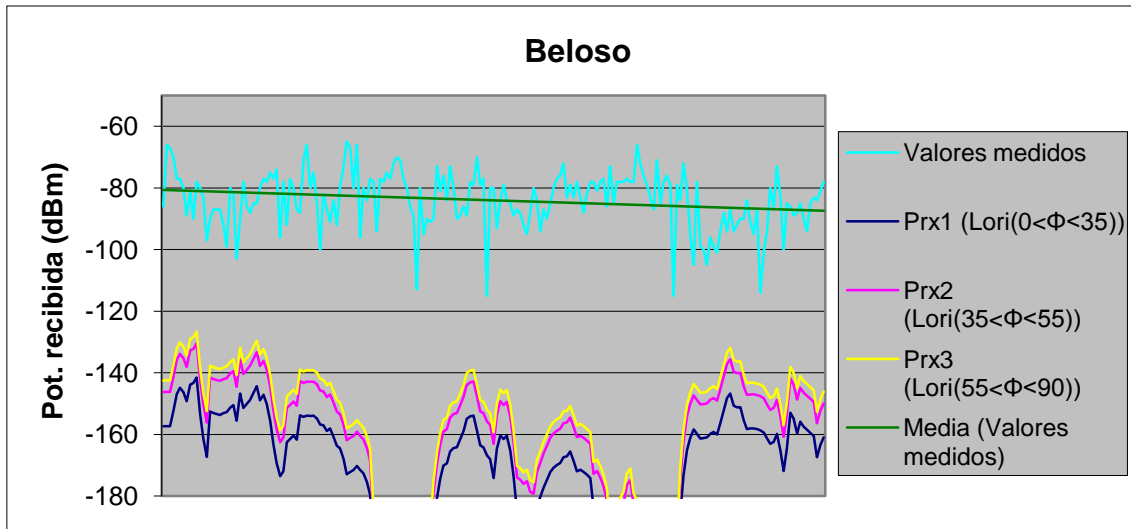


Figura 8.36. Potencia simulada y medida de la estación base de Beloso con COST 231 Walfisch-Ikegami. Fuente: propia.

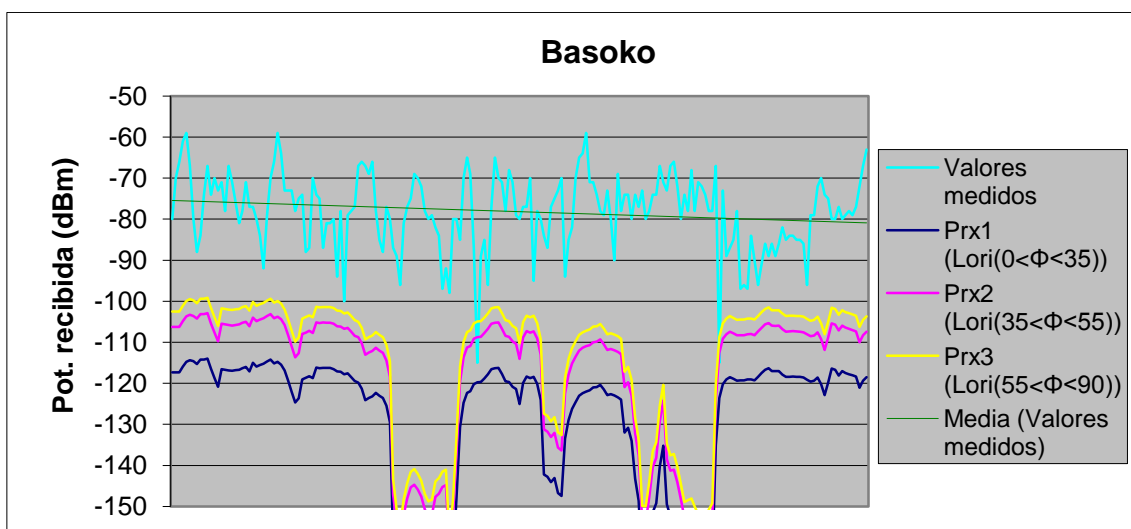


Figura 8.37. Potencia simulada y medida de la estación base de Basoko con COST 231 Walfisch-Ikegami. Fuente: propia.

Estación base	Error medio1	Error medio2	Error medio3	Desv. Estandar1	Desv. Estandar2	Desv. Estandar3
San Cristóbal	25,67 dB	15,53 dB	12,44 dB	9,05 dB	7,97 dB	7,54 dB
Higa	13,23 dB	7,34 dB	7,67 dB	8,12 dB	5,82 dB	5,71 dB
Basoko	50,36 dB	39,40 dB	35,70 dB	19,20 dB	19,02 dB	18,89 dB
Hacienda	62,93 dB	51,88 dB	48,13 dB	25,37 dB	25,37 dB	25,32 dB
Beloso	86,67 dB	75,62 dB	71,84 dB	22,14 dB	22,14 dB	22,14 dB

Tabla 8.8. Resumen error medio y desviación estándar Gorraiz con COST-231 Walfisch-Ikegami

III. Huarte

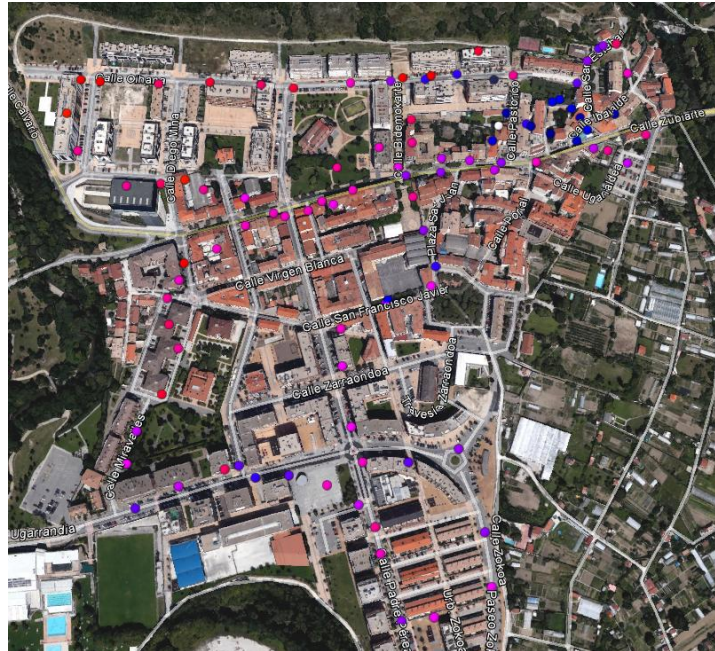


Figura 8.38. Potencia recibida y ruta realizada por Huarte. Fuente: Google Earth

Simulación Radio Mobile

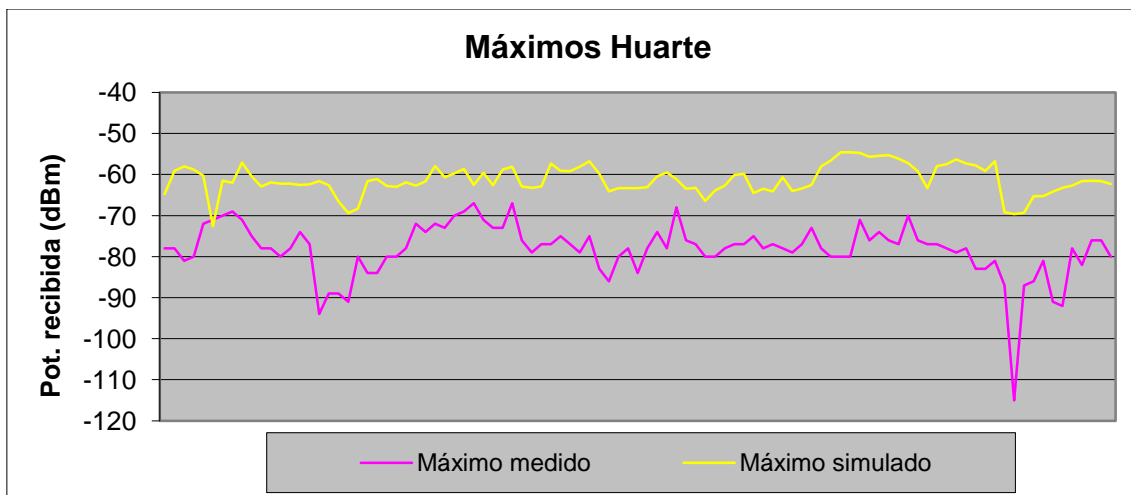


Figura 8.39. Potencia máxima medida y simulada en Huarte

Error medio	17,0191 dB
Desv. Estándar	6,0116 dB

Tabla 8.9. Error medio y desviación estándar Huarte con Radio Mobile

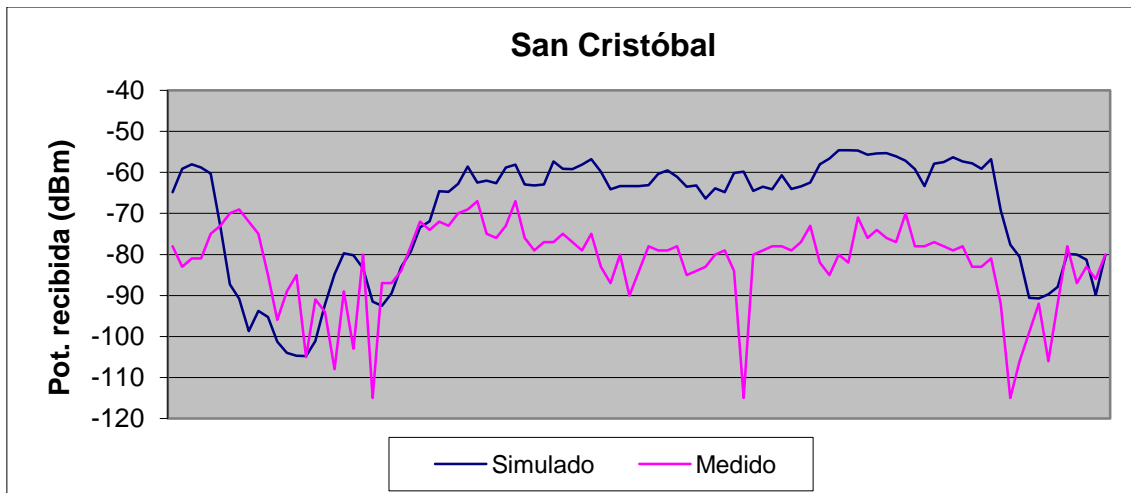


Figura 8.40. Potencia simulada y medida de la estación base de San Crstóbal con Radio Mobile. Fuente: propia.

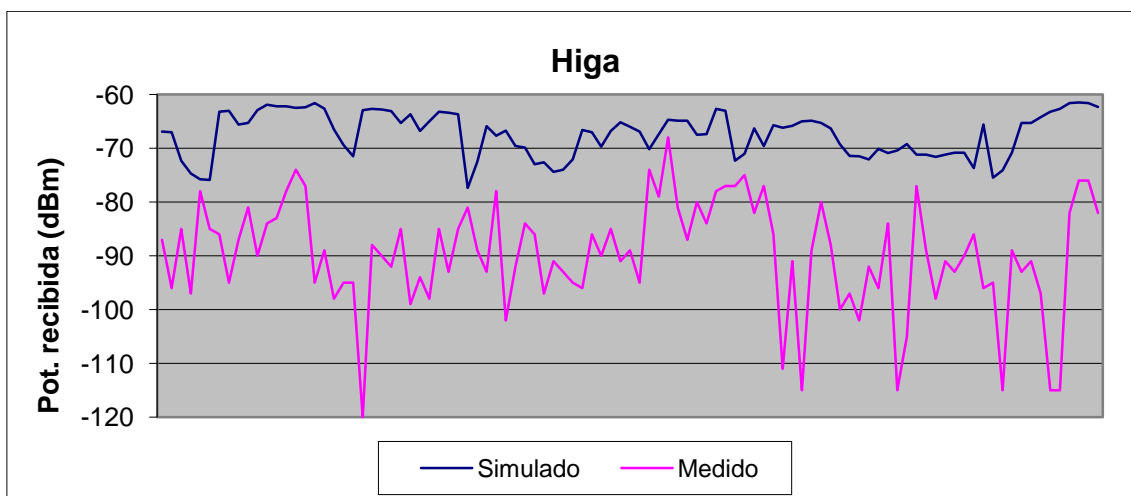


Figura 8.41. Potencia simulada y medida de la estación base de Higa con Radio Mobile. Fuente: propia.

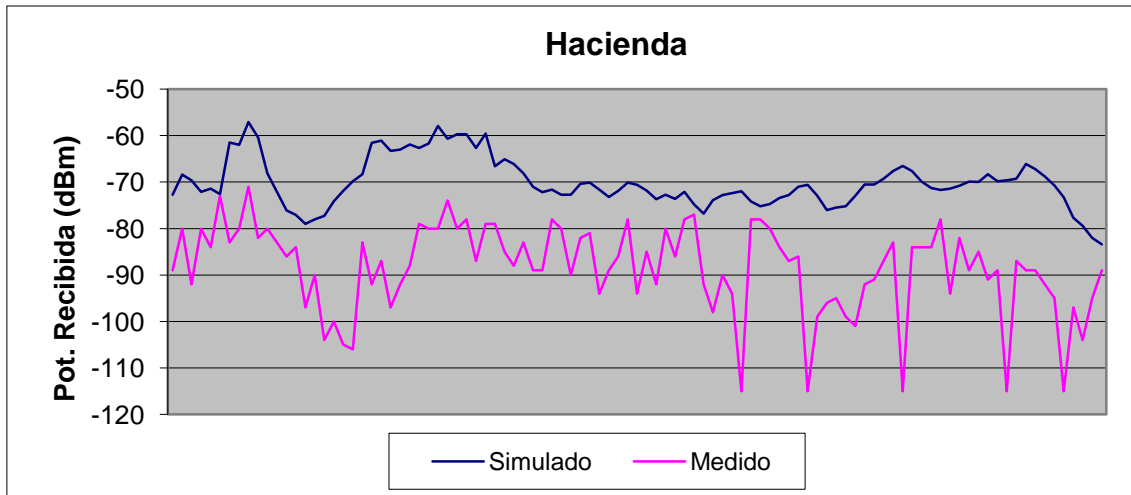


Figura 8.42. Potencia simulada y medida de la estación base de Hacienda con Radio Mobile.
 Fuente: propia.

Estación base	Desviación estándar	Error medio
Higa	10,7151 dB	22,4323 dB
San Cristóbal	8,9748 dB	15,6303 dB
Hacienda	9,3479 dB	18,4565 dB

Tabla 8.10. Resumen error medio y desviación estándar Huarte con Radio Mobile

Simulación Okumura-Hata

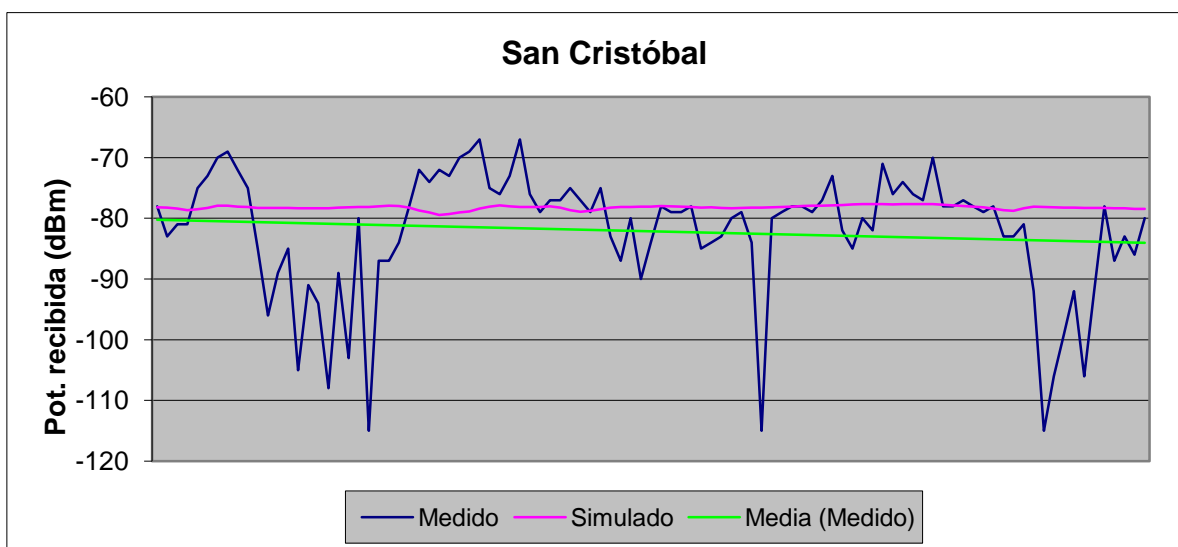


Figura 8.43. Potencia simulada y medida de la estación base de San Cristóbal con Okumura-Hata.
 Fuente: propia.

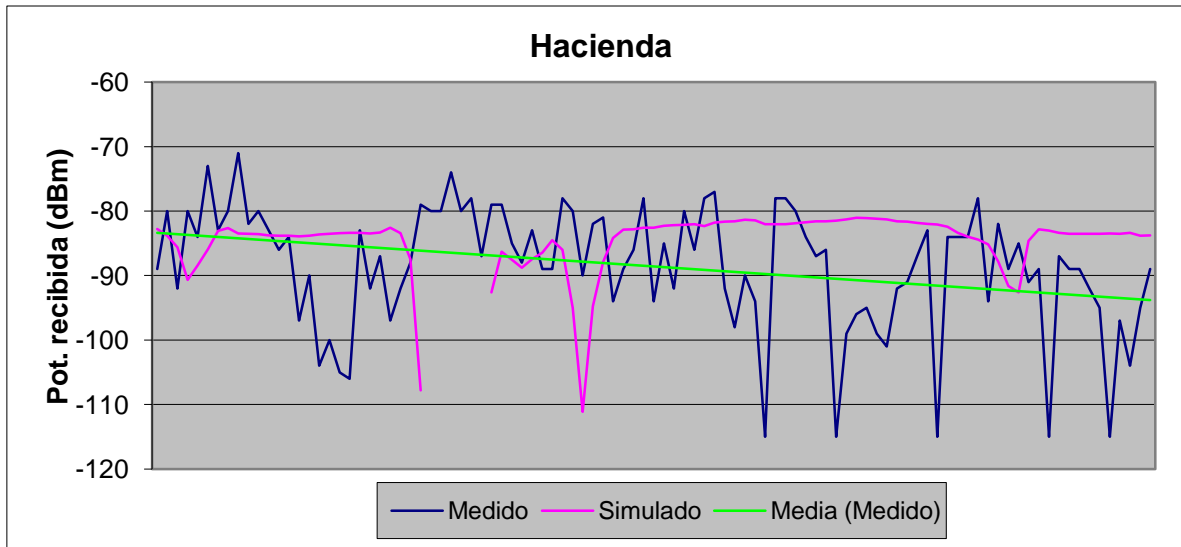


Figura 8.44. Potencia simulada y medida de la estación base de Hacienda con Okumura-Hata. Fuente: propia.

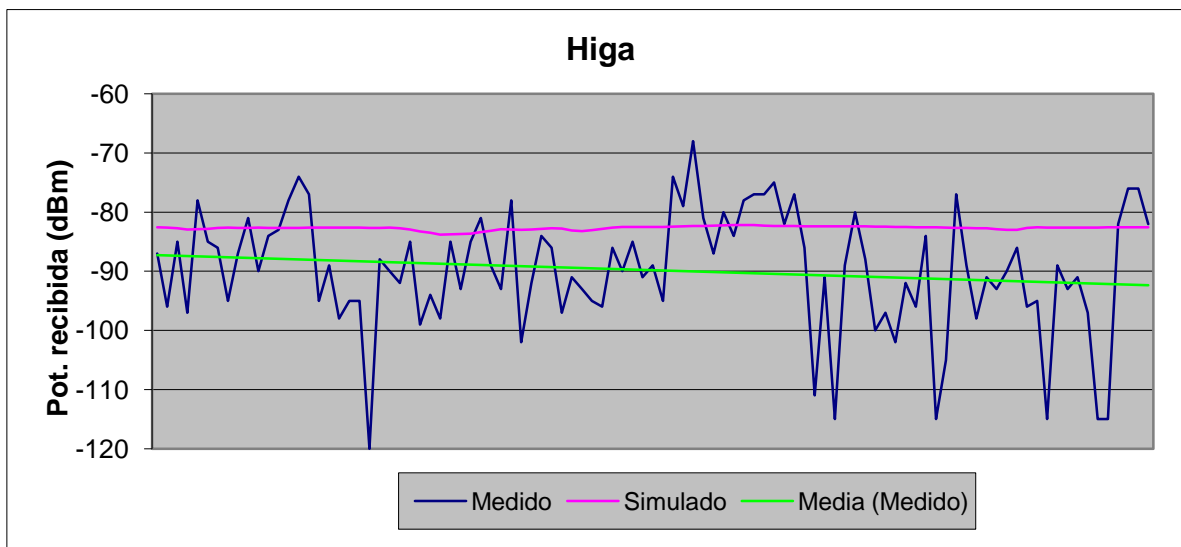


Figura 8.45. Potencia simulada y medida de la estación base de Higa con Okumura-Hata. Fuente: propia.

Estación base	Desviación estándar	Error medio
Higa	8,0793 dB	9,4192 dB
San Cristóbal	8,4084 dB	7,0674 dB
Hacienda	8,2229 dB	9,3471 dB

Tabla 8.11. Resumen error medio y desviación estándar Huarte con Okumura-Hata

Simulación COST-231 Walfisch-Ikegami

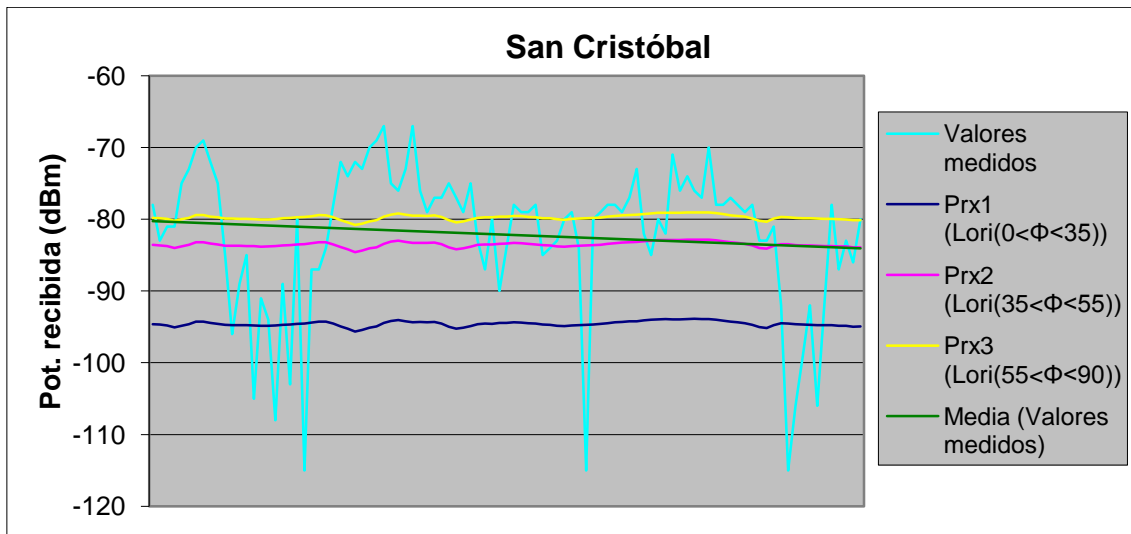


Figura 8.46. Potencia simulada y medida de la estación base de San Cristóbal con COST 231 Walfisch-Ikegami. Fuente: propia.

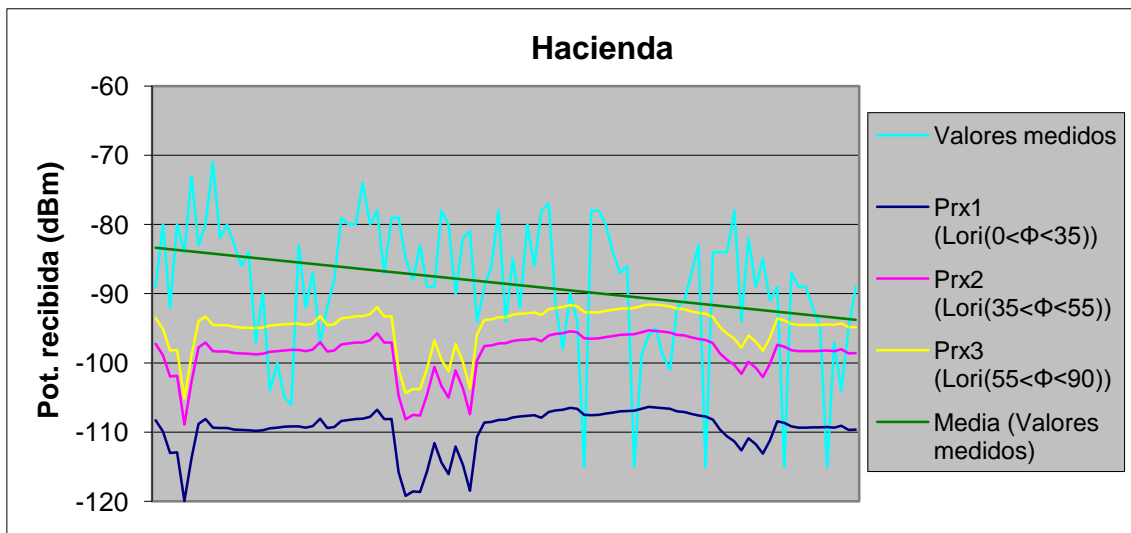


Figura 8.47. Potencia simulada y medida de la estación base de Hacienda con COST 231 Walfisch-Ikegami. Fuente: propia.

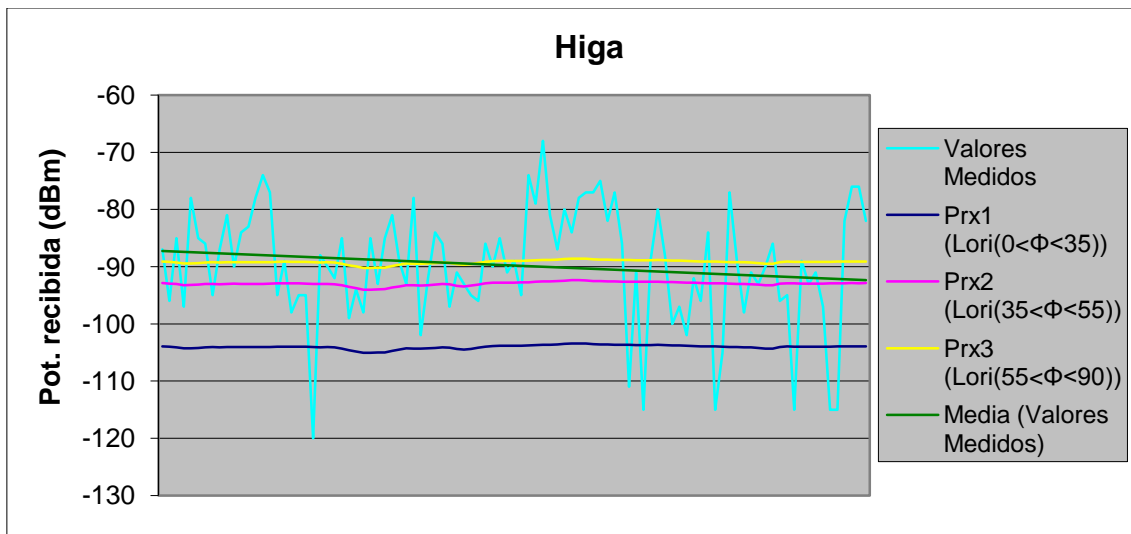


Figura 8.48. Potencia simulada y medida de la estación base de Higa con COST 231 Walfisch-Ikegami. Fuente: propia.

Estación base	Error medio1	Error medio2	Error medio3	Desv. Estandar1	Desv. Estandar2	Desv. Estandar3
San Cristóbal	14,87 dB	7,75 dB	6,90 dB	6,06 dB	6,73 dB	7,86 dB
Higa	15,81 dB	8,31 dB	7,65 dB	7,37 dB	6,58 dB	6,65 dB
Hacienda	21,78 dB	12,72 dB	10,39 dB	9,12 dB	7,20 dB	6,65 dB

Tabla 8.12. Resumen error medio y desviación estándar Huarte con COST-231 Walfisch-Ikegami

IV. Castejón

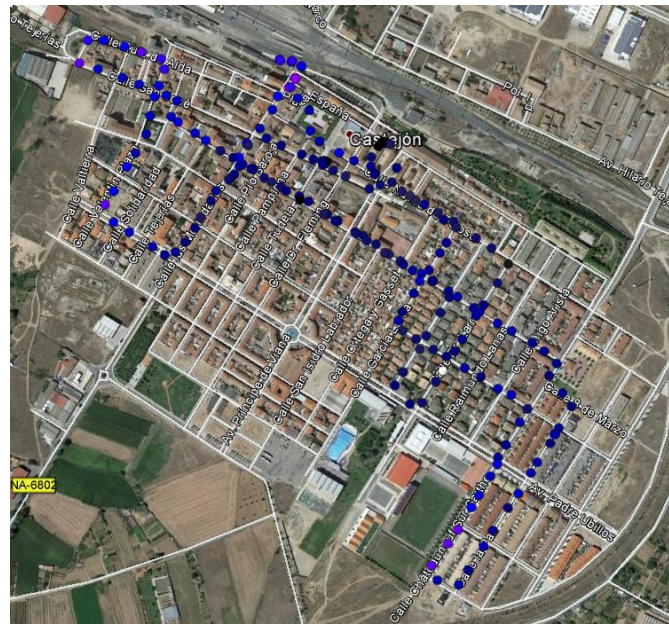


Figura 8.49. Potencia recibida y ruta realizada por Castejón. Fuente: Google Earth

Simulación Radio Mobile

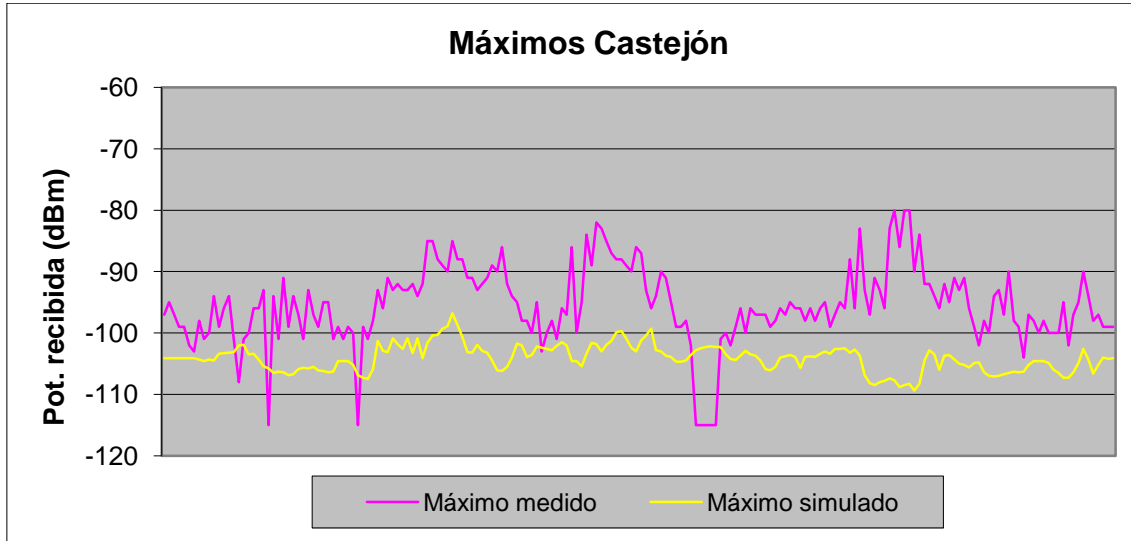


Figura 8.50. Potencia máxima medida y simulada en Castejón con Radio Mobile

Error medio	7,7083 dB
Desv. Estándar	4,6699 dB

Tabla 8.13. Error medio y desviación estándar Castejón Radio Mobile

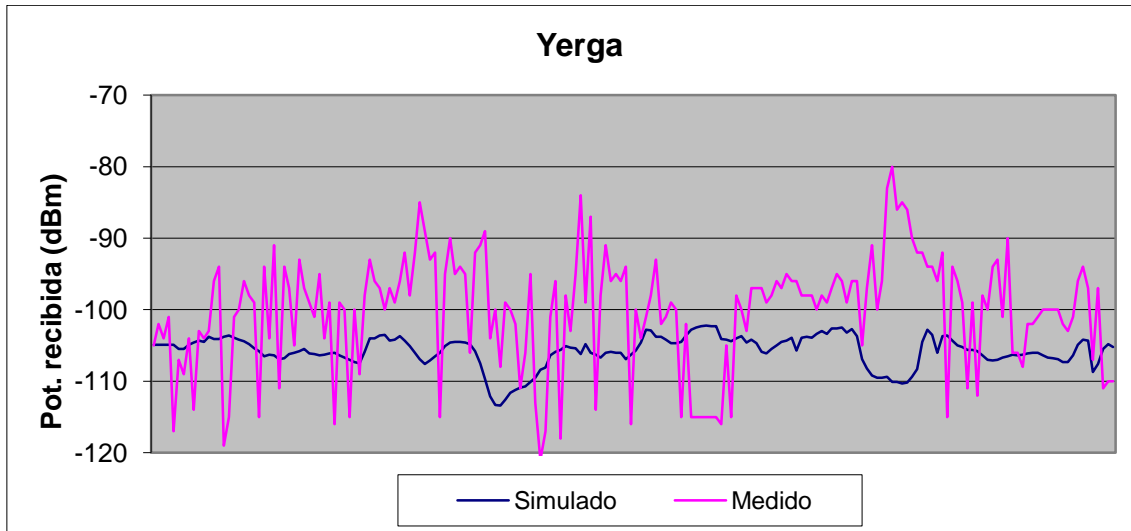


Figura 8.51. Potencia simulada y medida de la estación base de Yerga con Radio Mobile. Fuente: propia.

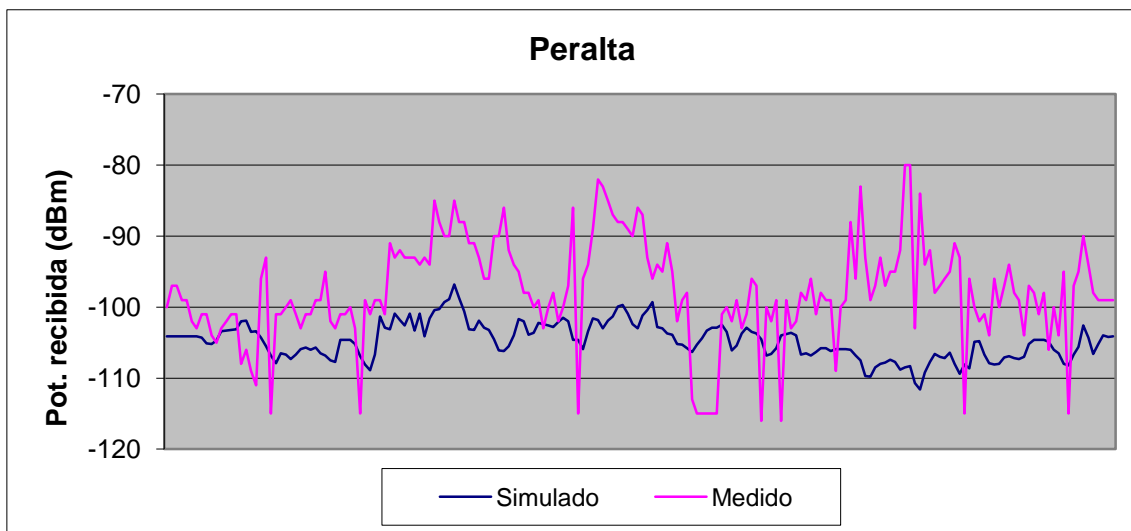


Figura 8.52. Potencia simulada y medida de la estación base de Peralta con Radio Mobile. Fuente: propia.

Estación base	Desviación estándar	Error medio
Yerga	5,3889 dB	8,5921 dB
Peralta	5,2001 dB	8,5046 dB

Tabla 8.14. Resumen error medio y desviación estándar Castejón con Radio Mobile

Simulación Okumura-Hata

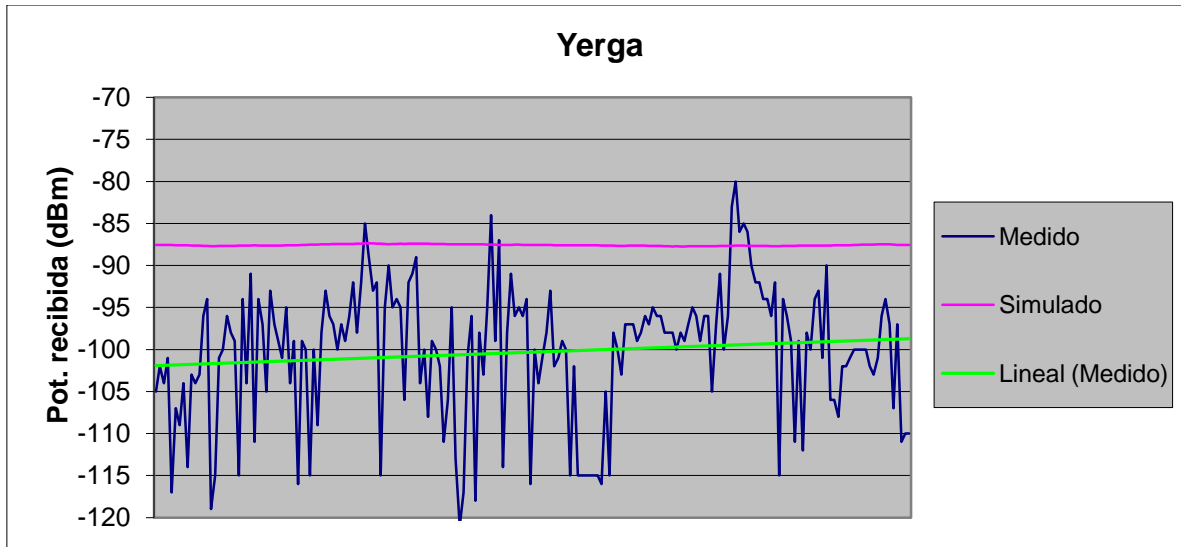


Figura 8.53. Potencia simulada y medida de la estación base de Yerga con Okumura-Hata. Fuente: propia.

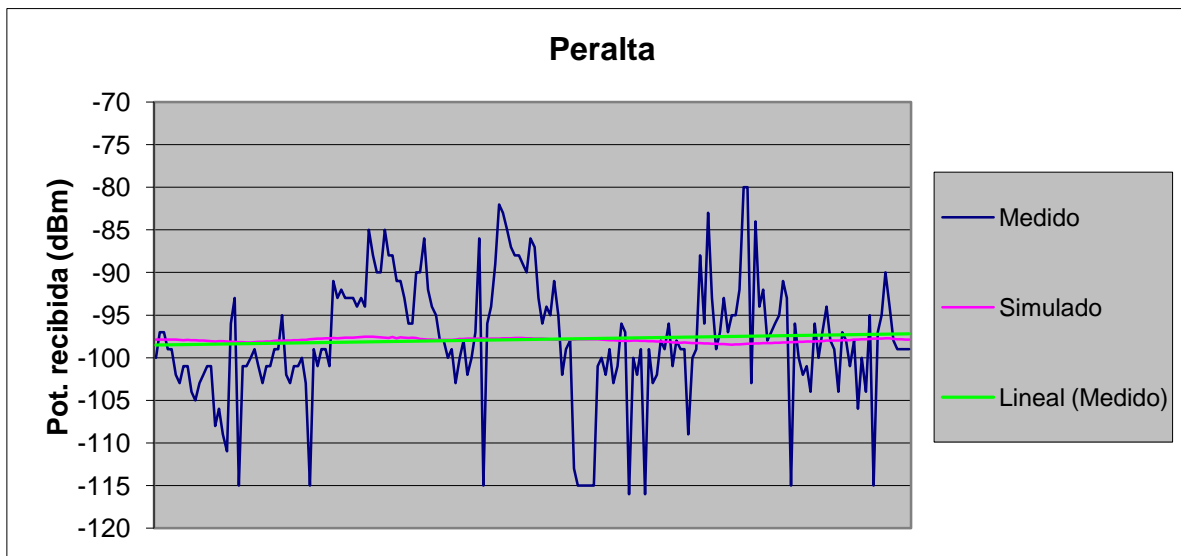


Figura 8.54. Potencia simulada y medida de la estación base de Peralta con Okumura-Hata. Fuente: propia.

Estación base	Desviación estándar	Error medio
Yerga	7,5435 dB	12,986 dB
Peralta	4,8869 dB	5,2825 dB

Tabla 8.15. Resumen error medio y desviación estándar Castejón con Okumura-Hata

Simulación COST-231 Walfisch-Ikegami

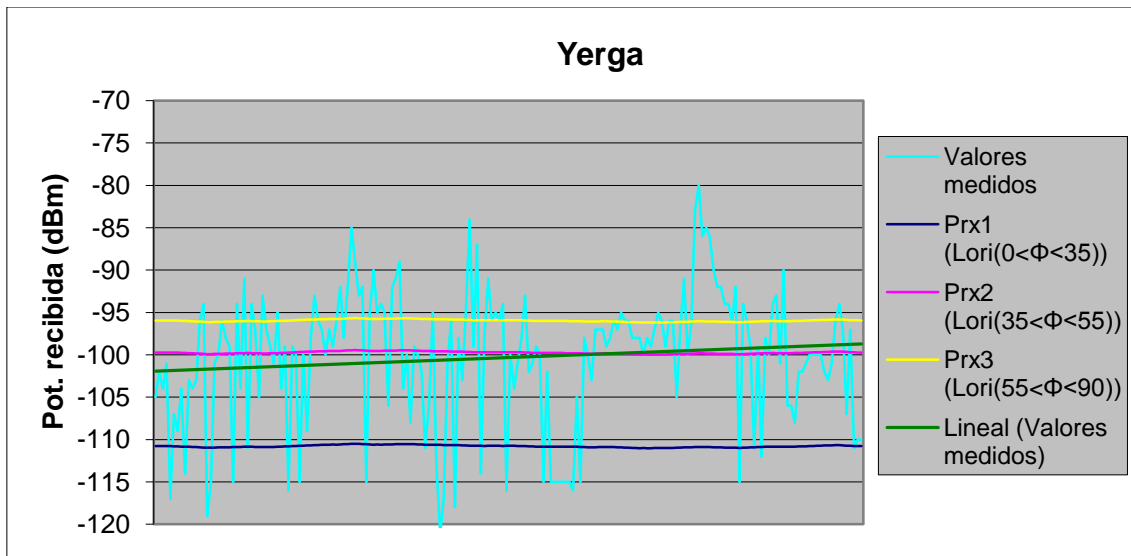


Figura 8.55. Potencia simulada y medida de la estación base de Yerga con COST 231 Walfisch-Ikegami. Fuente: propia.

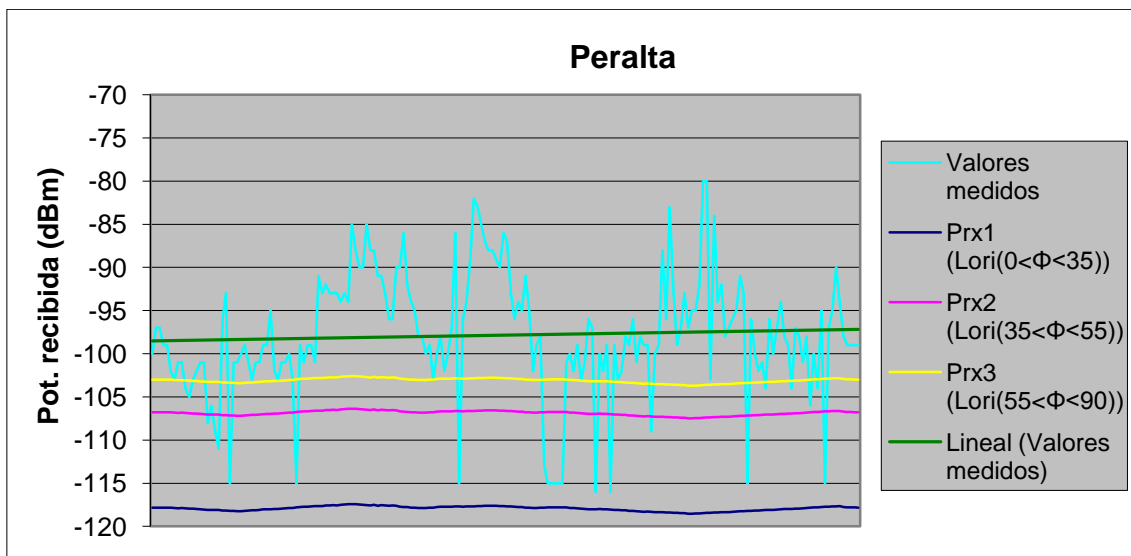


Figura 8.56. Potencia simulada y medida de la estación base de Peralta con COST 231 Walfisch-Ikegami. Fuente: propia.

Estación base	Error medio1	Error medio2	Error medio3	Desv. Estandar1	Desv. Estandar2	Desv. Estandar3
Yerga	11,72 dB	6,03 dB	6,57 dB	5,99 dB	5,21 dB	6,25 dB
Peralta	20,08 dB	10,22 dB	7,23 dB	7,19 dB	5,35 dB	5,18 dB

Tabla 8.16. Resumen error medio y desviación estándar Castejón con COST-231 Walfisch-Ikegami

Error medio	12,777 dB
Desv. Estándar	6,268 dB

Tabla 8.17. Error medio y desviación estándar Tudela Radio Mobile

Simulación Okumura-Hata

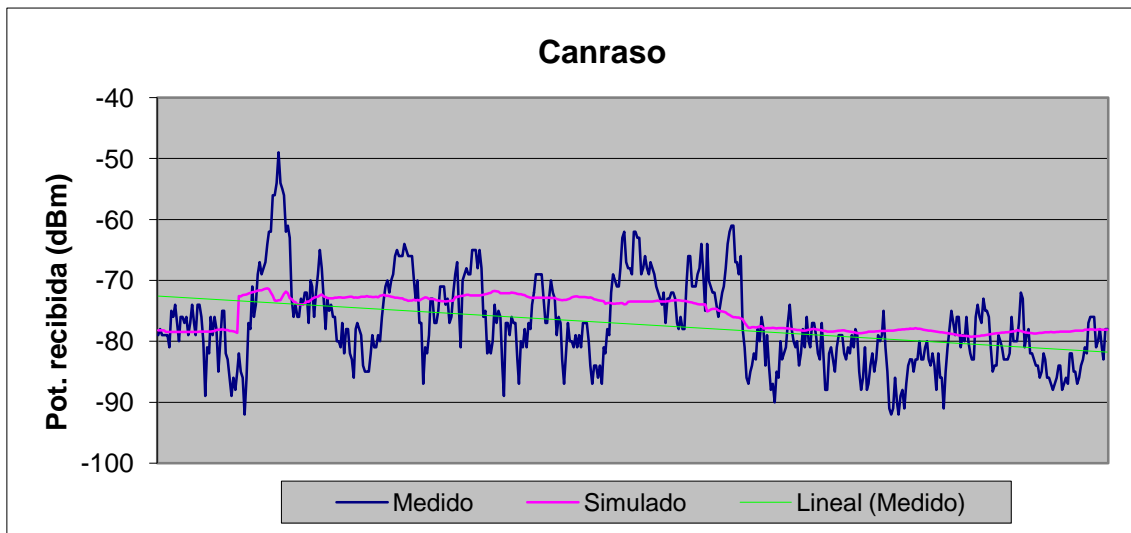


Figura 8.59. Potencia simulada y medida de la estación base de Canraso con Okumura-Hata. Fuente: propia.

Estación base	Desviación estándar	Error medio
Canraso	3,8922 dB	5,1826 dB

Tabla 8.18. Resumen error medio y desviación estándar Tudela con Okumura-Hata

Simulación COST-231 Walfisch-Ikegami

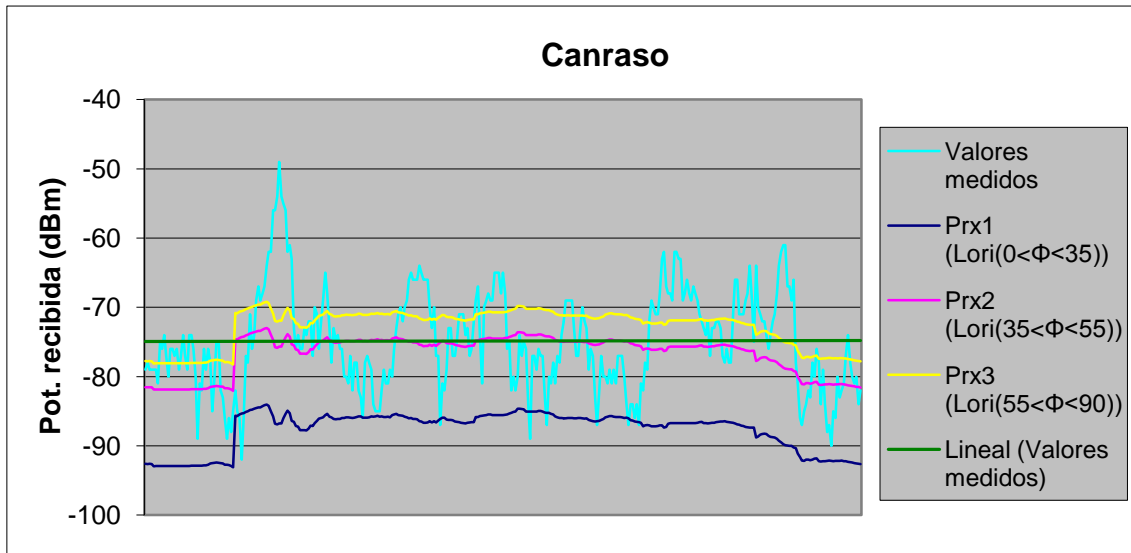


Figura 8.60. Potencia simulada y medida de la estación base de Canraso con COST 231 Walfisch-Ikegami. Fuente: propia.

Estación base	Error medio1	Error medio2	Error medio3	Desv. Estandar1	Desv. Estandar2	Desv. Estandar3
Canraso	12,88 dB	5,71 dB	5,69 dB	6,72 dB	4,23 dB	4,40 dB

Tabla 8.19. Resumen error medio y desviación estándar Tudela con COST-231 Walfisch-Ikegami

VI. Estella

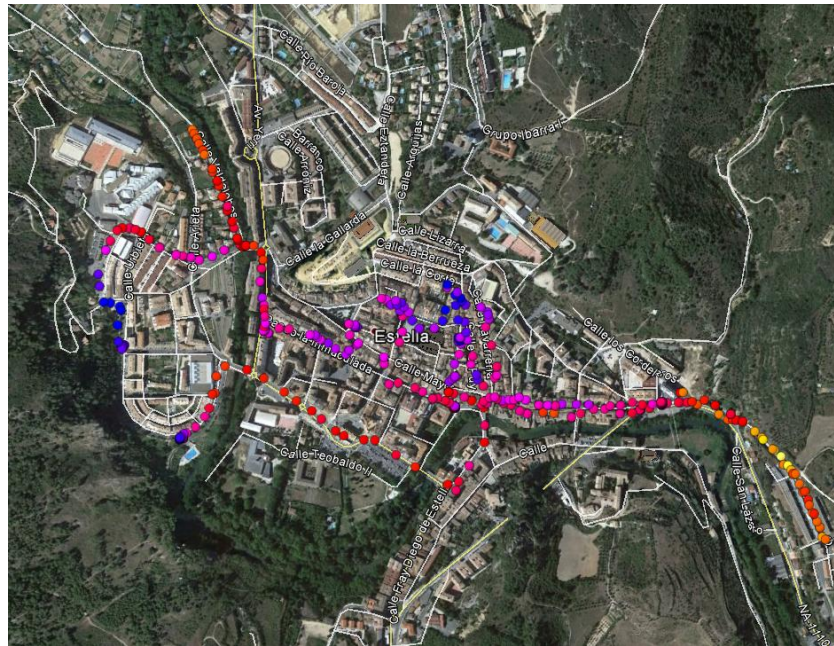


Figura 8.61. Potencia recibida y ruta realizada por Estella. Fuente: Google Earth

Simulación Radio Mobile

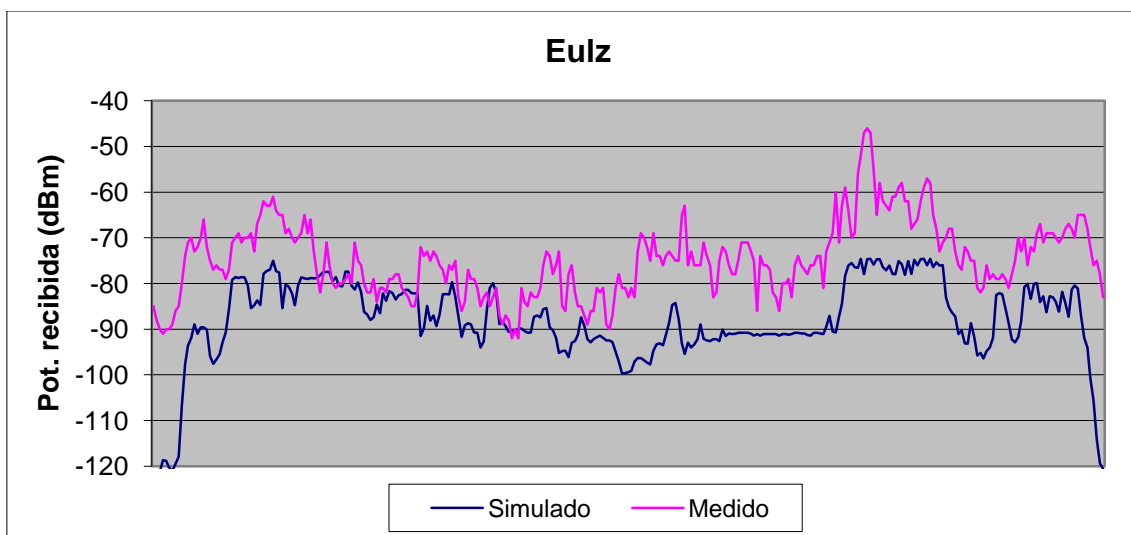


Figura 8.62. Potencia simulada y medida de la estación base de Eulz con Radio Mobile. Fuente: propia.

Error medio	13,3937 dB
Desv. Estándar	8,1185 dB

Tabla 8.20. Error medio y desviación estándar Estella con Radio Mobile

Simulación Okumura-Hata

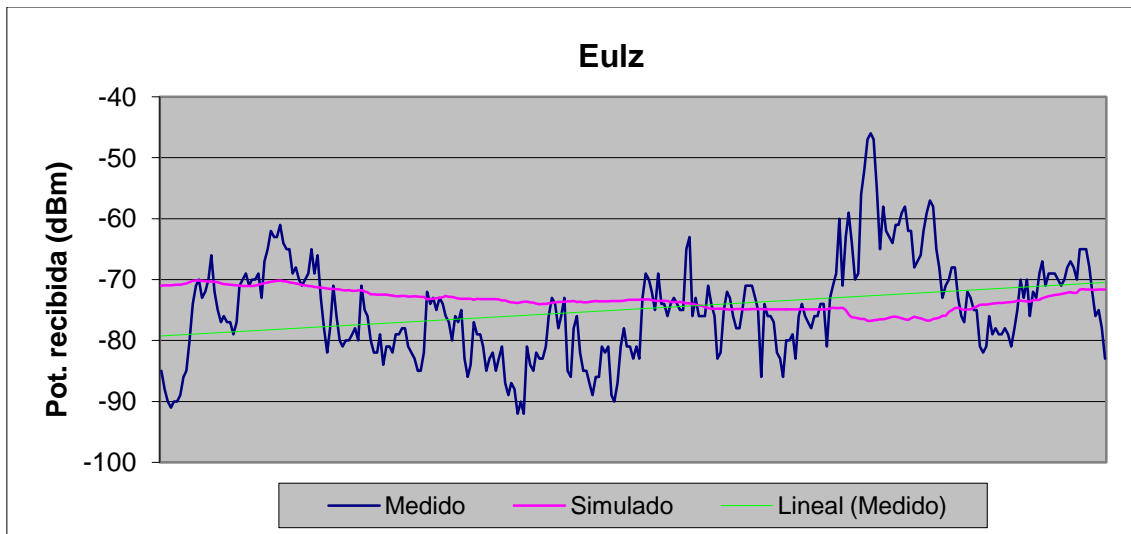


Figura 8.63. Potencia simulada y medida de la estación base de Eulz con Okumura-Hata. Fuente: propia.

Estación base	Desviación estándar	Error medio
Eulz	5,7004 dB	6,7366 dB

Tabla 8.21. Resumen error medio y desviación estándar Eulz con Okumura-Hata

Simulación COST-231 Walfisch-Ikegami

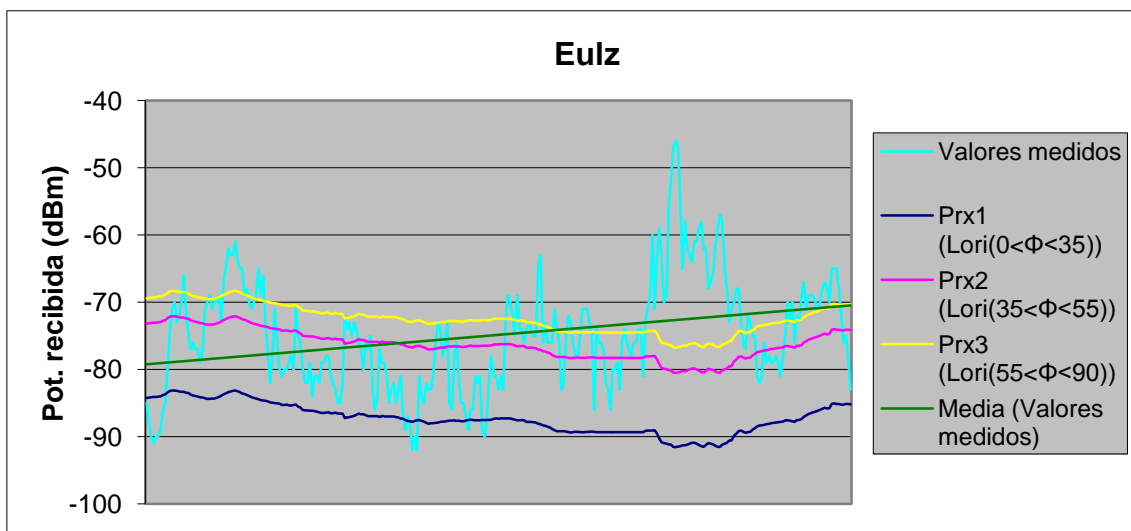


Figura 8.64. Potencia simulada y medida de la estación base de Eulz con COST 231 Walfisch-Ikegami. Fuente: propia.

Estación base	Error medio1	Error medio2	Error medio3	Desv. Estandar1	Desv. Estandar2	Desv. Estandar3
Eulz	12,82 dB	6,79 dB	7,08 dB	8,39 dB	5,95 dB	5,91 dB

Tabla 8.22. Resumen error medio y desviación estándar Castejón con COST-231 Walfisch-Ikegami

VII. Alsasua

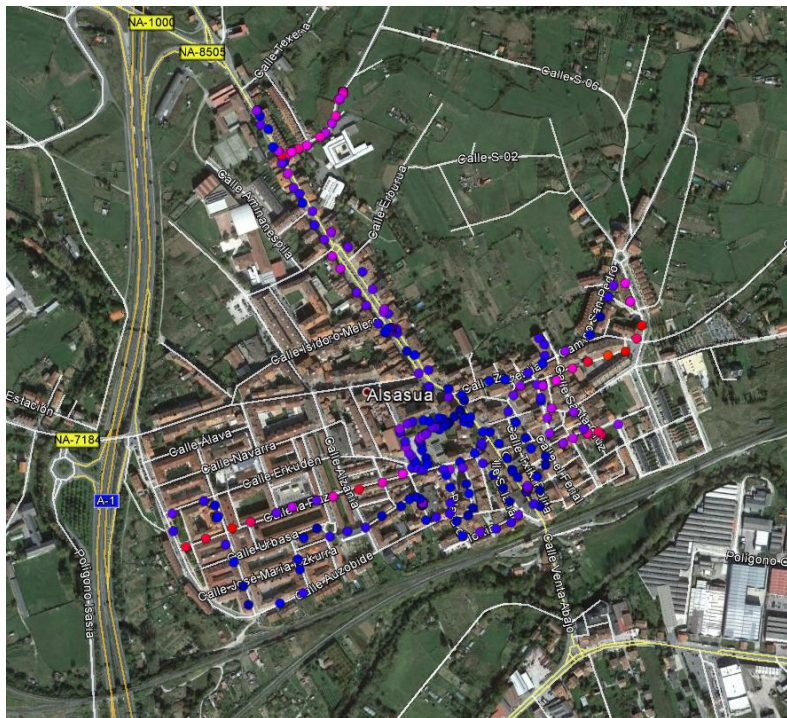


Figura 8.65. Potencia recibida y ruta realizada por Alsasua. Fuente: Google Earth

Simulación Radio Mobile

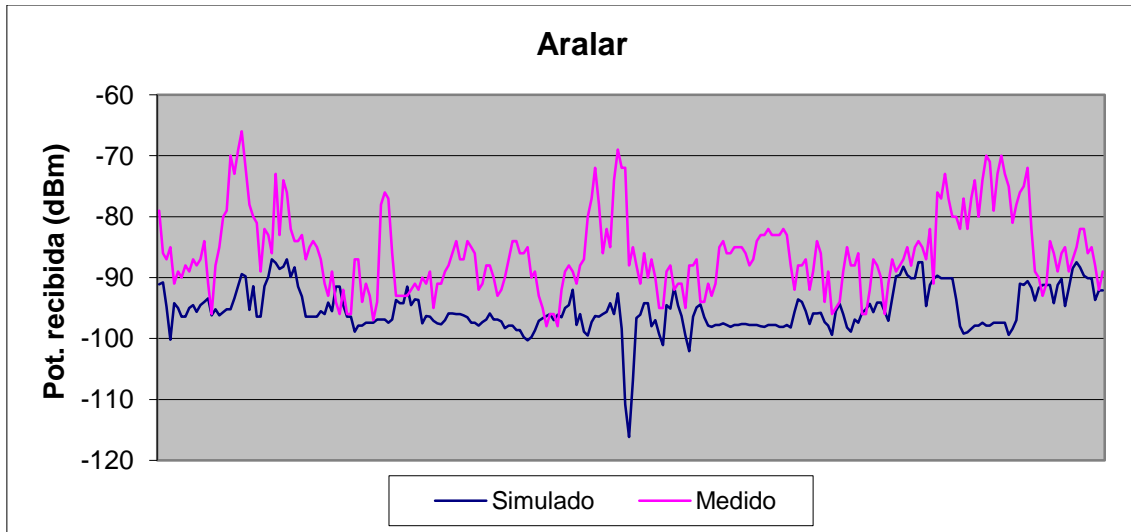


Figura 8.66. Potencia simulada y medida de la estación base de Aralar con Radio Mobile. Fuente: propia.

Error medio	9,4952 dB
Desv. Estandar	6,8771 dB

Tabla 8.23. Error medio y desviación estándar Alsasua con Radio Mobile

Simulación Okumura-Hata

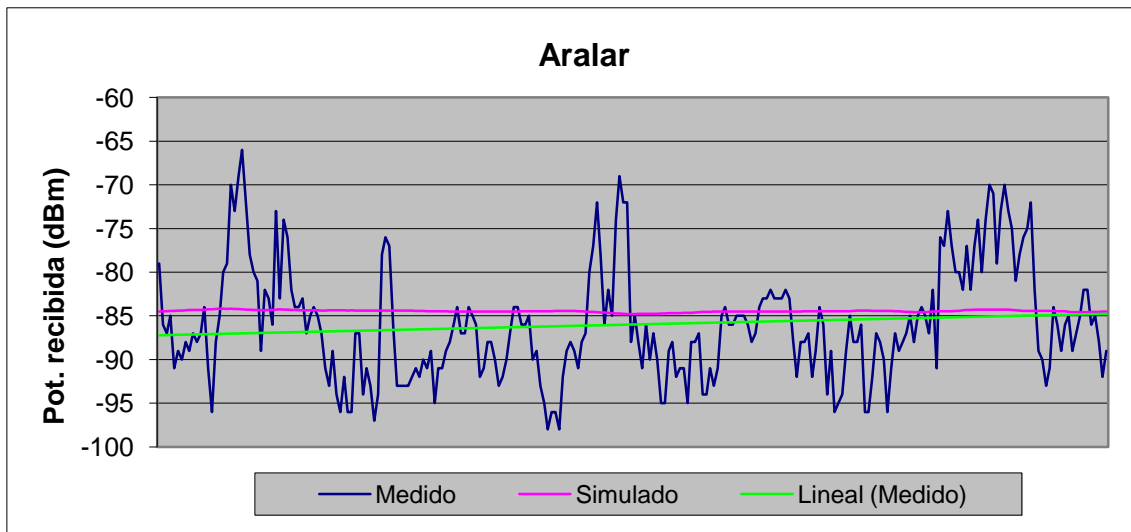


Figura 8.67. Potencia simulada y medida de la estación base de Aralar con Okumura-Hata. Fuente: propia.

Estación base	Desviación estándar	Error medio
Aralar	3,9203 dB	5,3608 dB

Tabla 8.24. Resumen error medio y desviación estándar Aralar con Okumura-Hata

Simulación COST-231 Walfisch-Ikegami

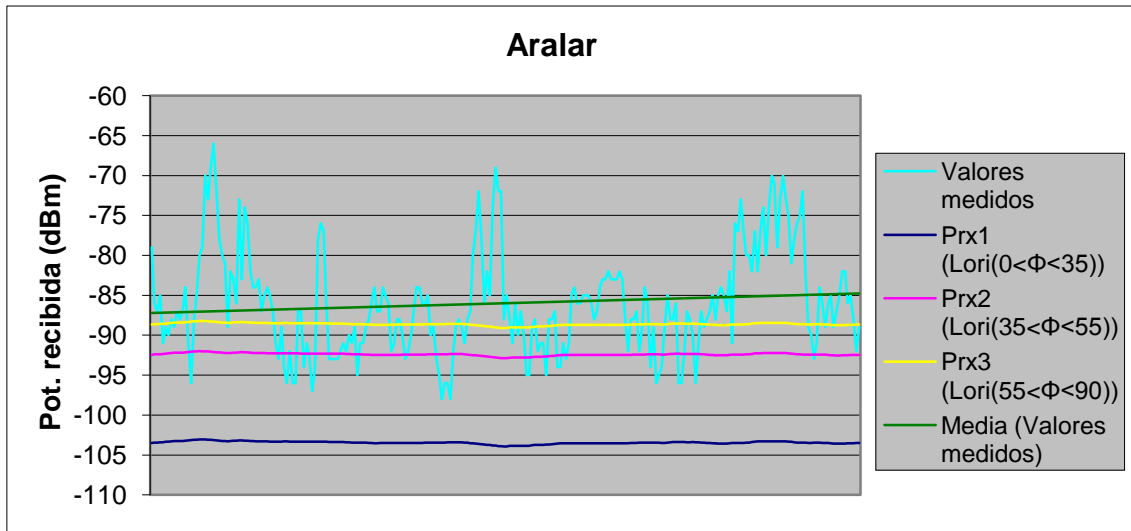


Figura 8.68. Potencia simulada y medida de la estación base de Aralar con COST 231 Walfisch-Ikegami. Fuente: propia.

Estación base	Error medio1	Error medio2	Error medio3	Desv. Estandar1	Desv. Estandar2	Desv. Estandar3
Aralar	17,46 dB	7,09 dB	5,16 dB	6,47 dB	5,72 dB	4,69 dB

Tabla 8.25. Resumen error medio y desviación estándar Aralar con COST-231 Walfisch-Ikegami

ANEXO II: RESULTADOS RADIO MOBILE

I. Alsasua

Amplificador en el Albergue:

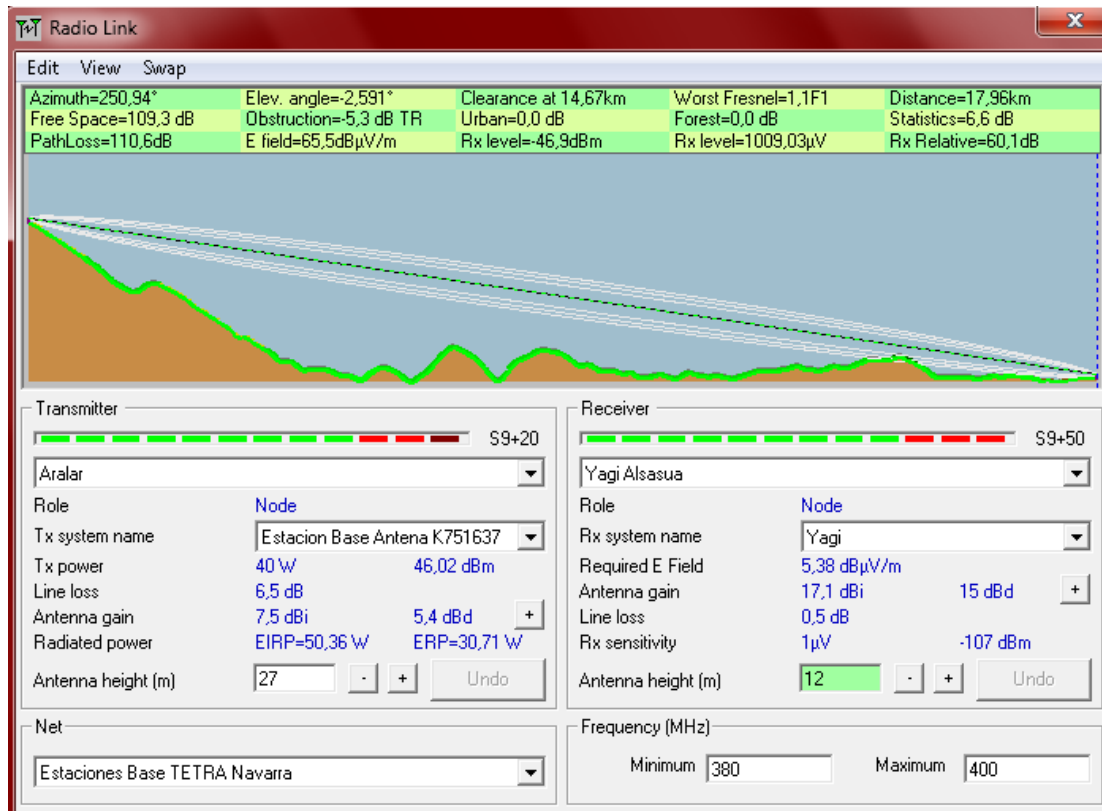


Figura 8.69. Radioenlace entre Aralar y Albergue de Alsasua. Fuente: Radio Mobile

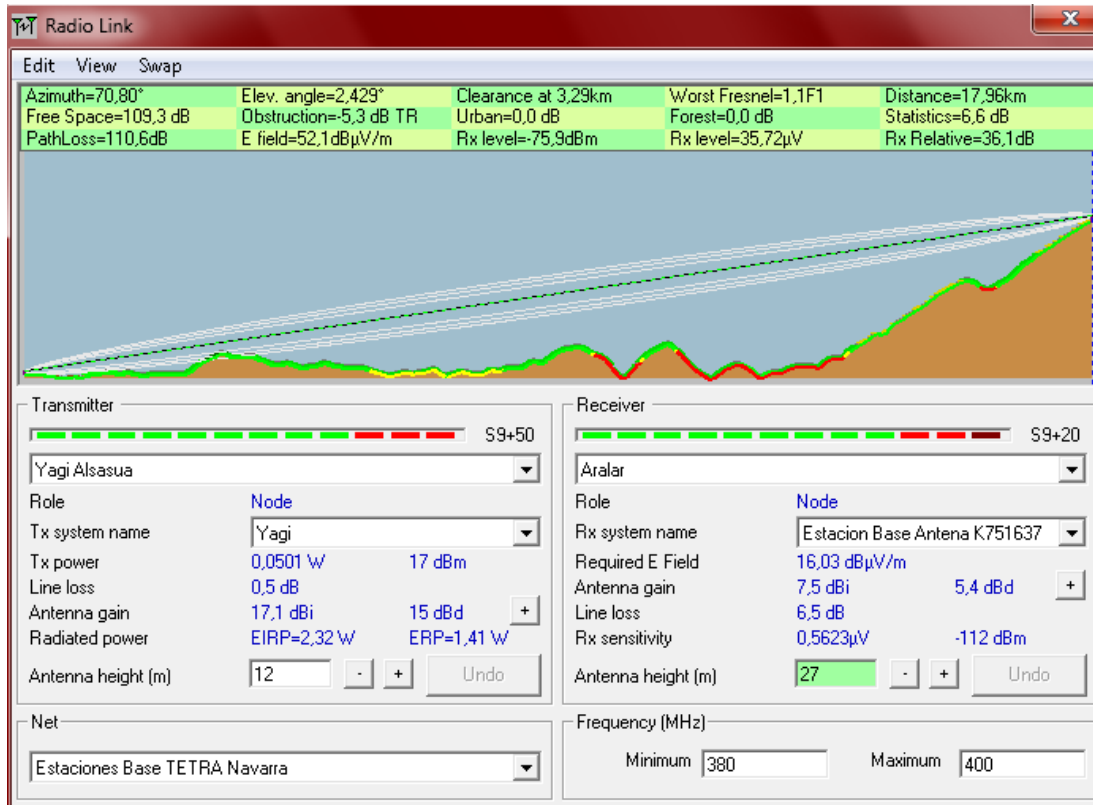


Figura 8.70. Radioenlace entre Albarque de Alsasua y Aralar. Fuente: Radio Mobile

Amplificador en ayuntamiento Alsasua:

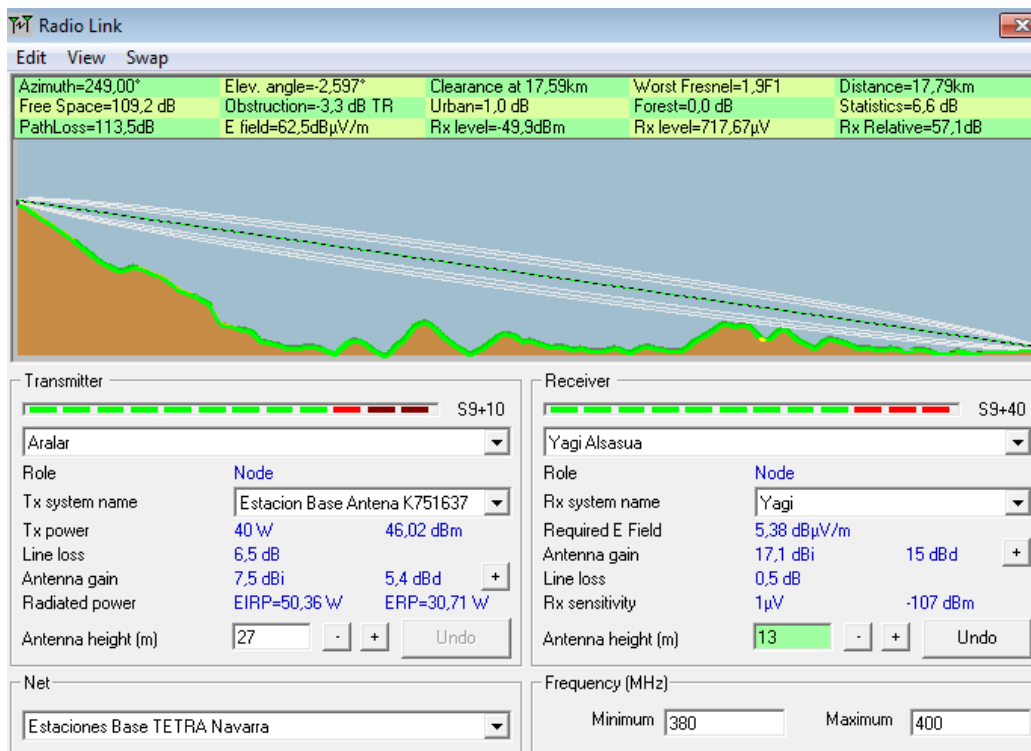


Figura 8.71. Radioenlace entre Aralar y ayuntamiento de Alsasua. Fuente: Radio Mobile

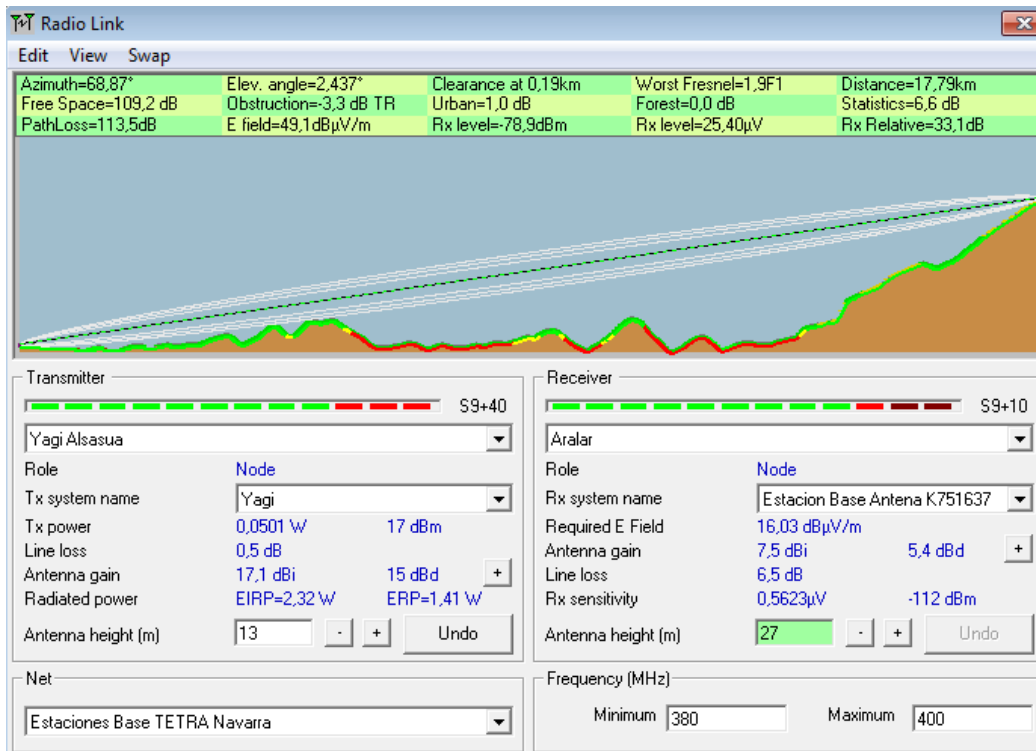


Figura 8.72. Radioenlace entre ayuntamiento de Alsasua y Aralar. Fuente: Radio Mobile

II. Castejón

Amplificador en Torre Vodafone (conectada a Peralta):

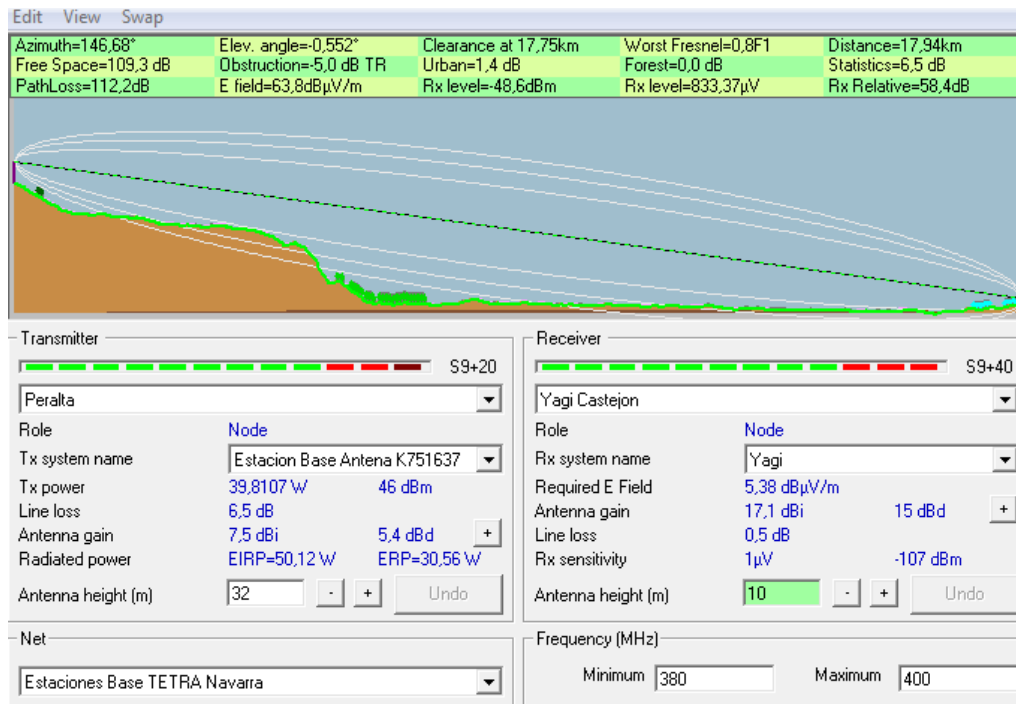


Figura 8.73. Radioenlace entre Peralta y Torre de Vodafone en Castejón. Fuente: Radio Mobile

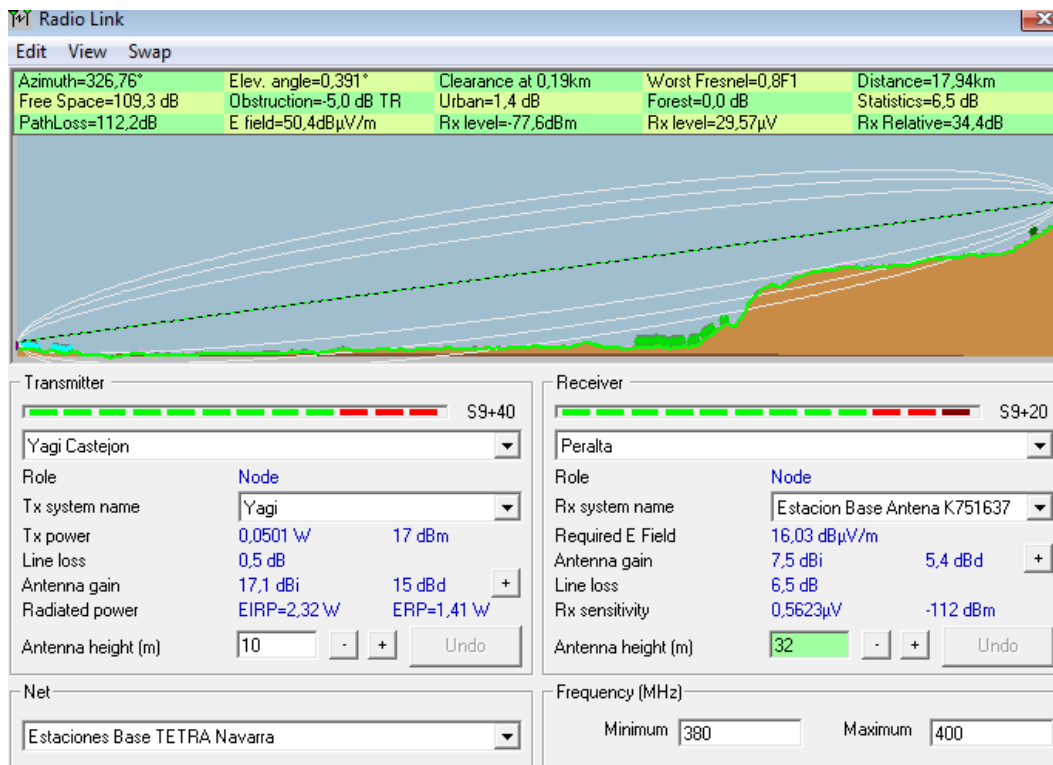


Figura 8.74. Radioenlace entre Torre de Vodafone y Peralta en Castejón. Fuente: Radio Mobile

Amplificador en Torre Vodafone (conectada a Yerga):

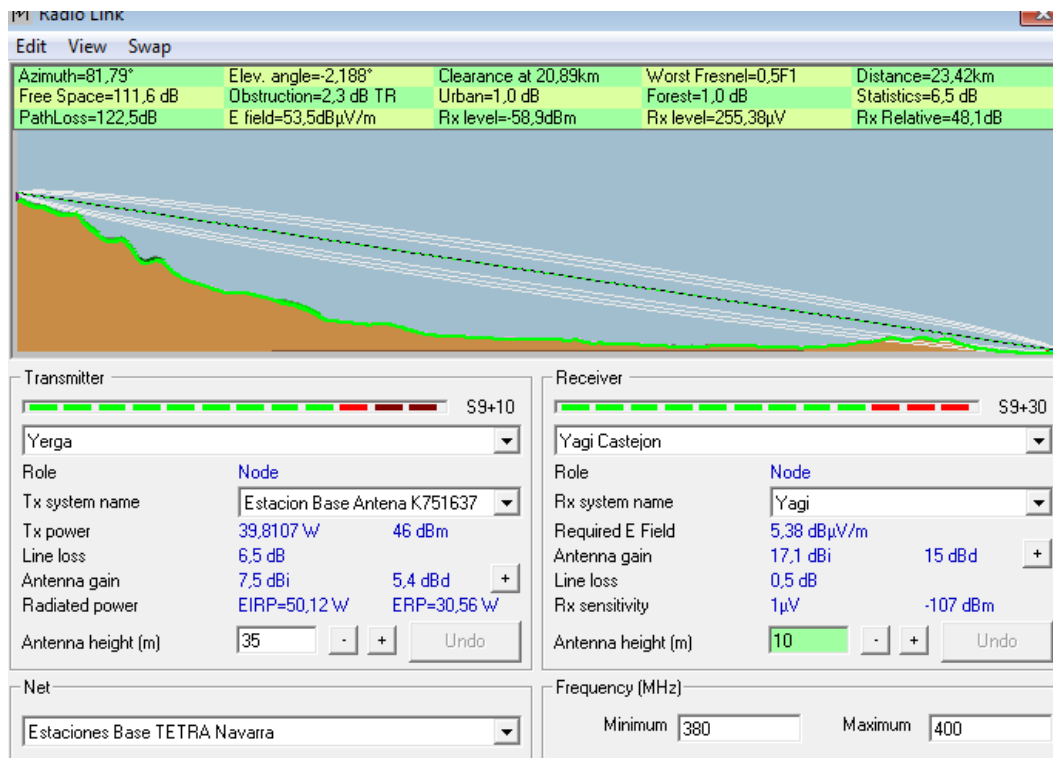


Figura 8.75. Radioenlace entre Yerga y Torre de Vodafone en Castejón. Fuente: Radio Mobile

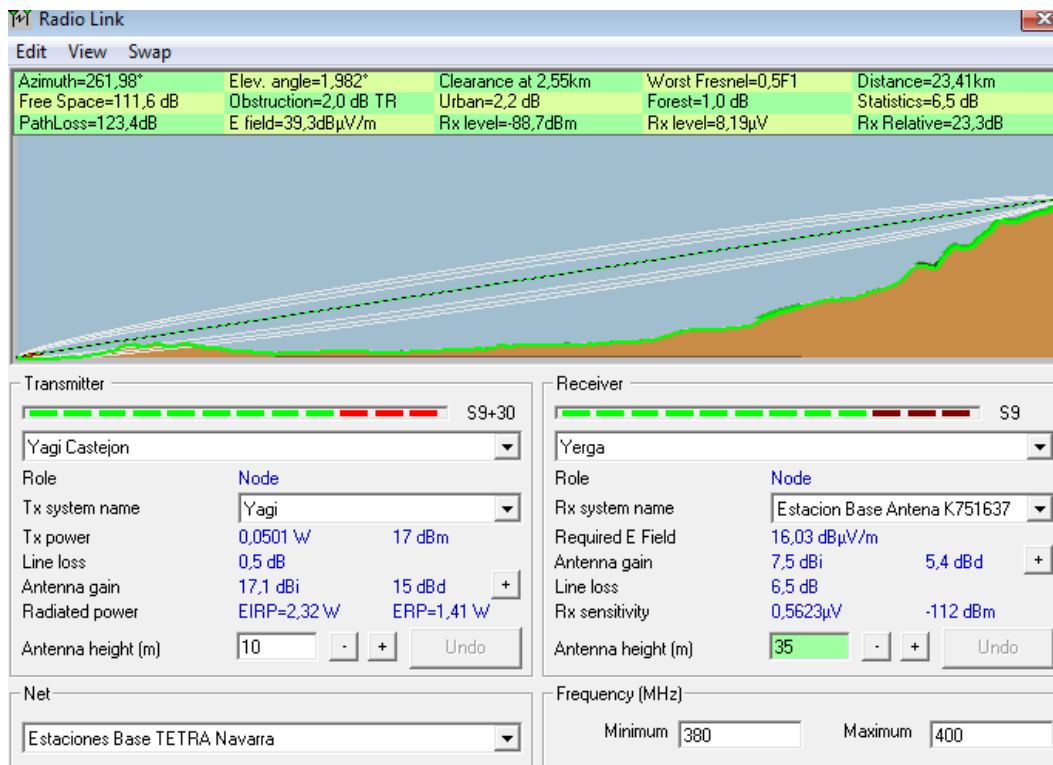


Figura 8.76. Radioenlace entre Torre Vodafone y Peralta en Castejón. Fuente: Radio Mobile

Amplificador en Polideportivo Municipal (conectada a Peralta):

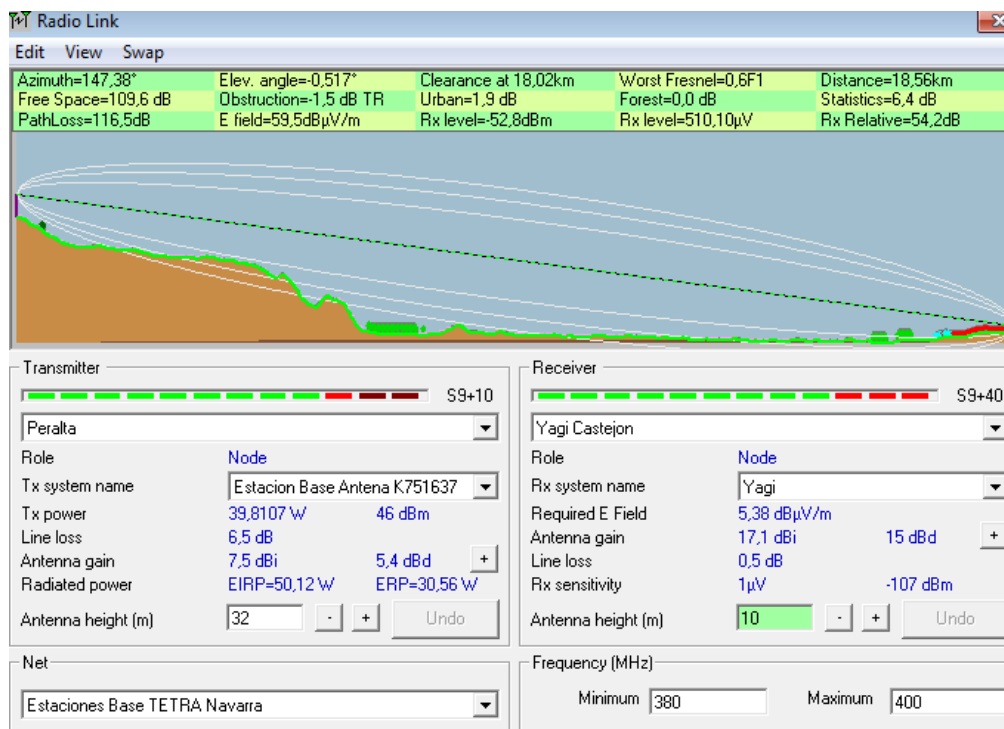


Figura 8.77. Radioenlace entre Peralta y Polideportivo Municipal en Castejón. Fuente: Radio Mobile

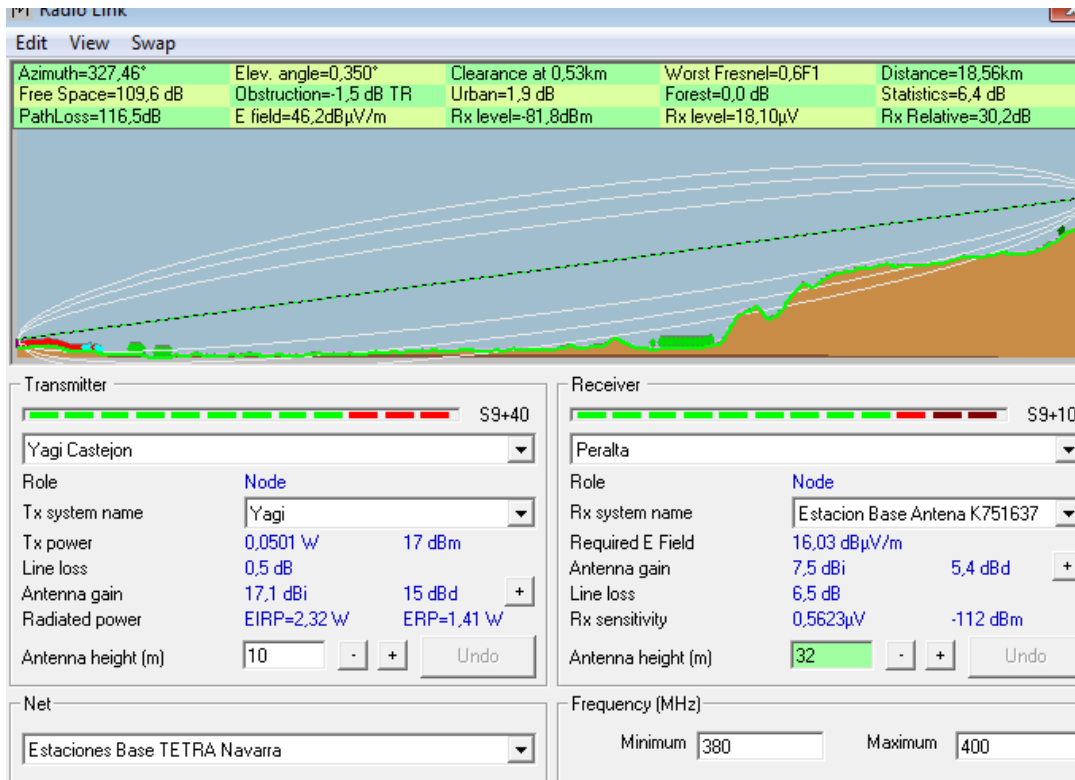


Figura 8.78. Radioenlace entre Polideportivo Municipal y Peralta en Castejón. Fuente: Radio Mobile

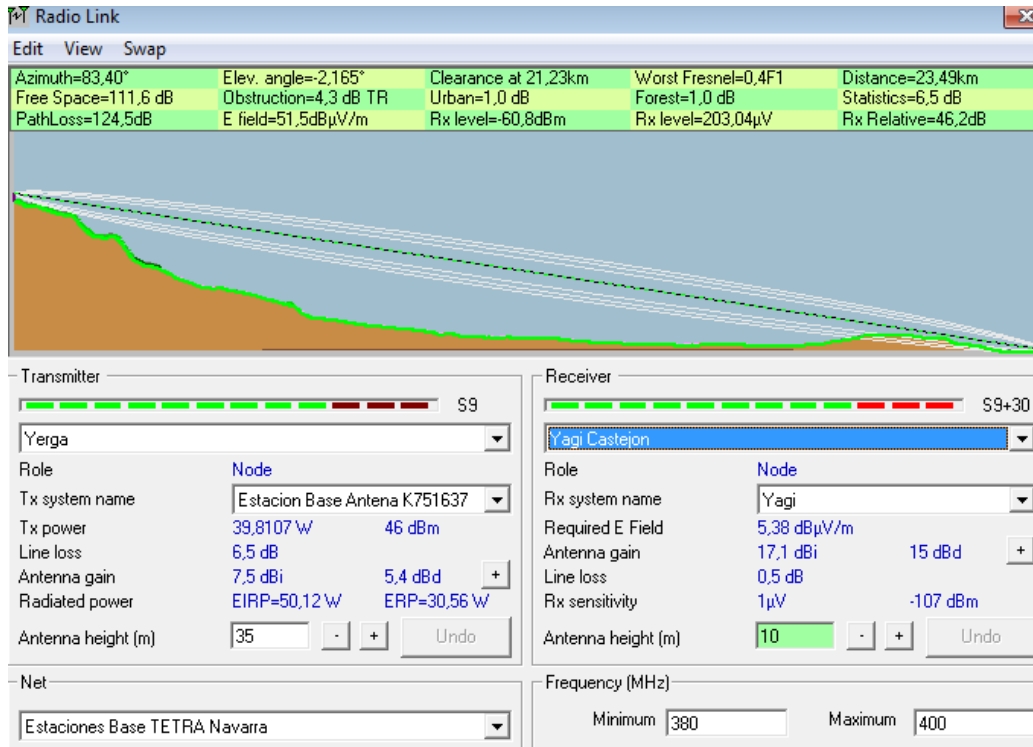


Figura 8.79. Radioenlace entre Yerga y Polideportivo Municipal en Castejón. Fuente: Radio Mobile

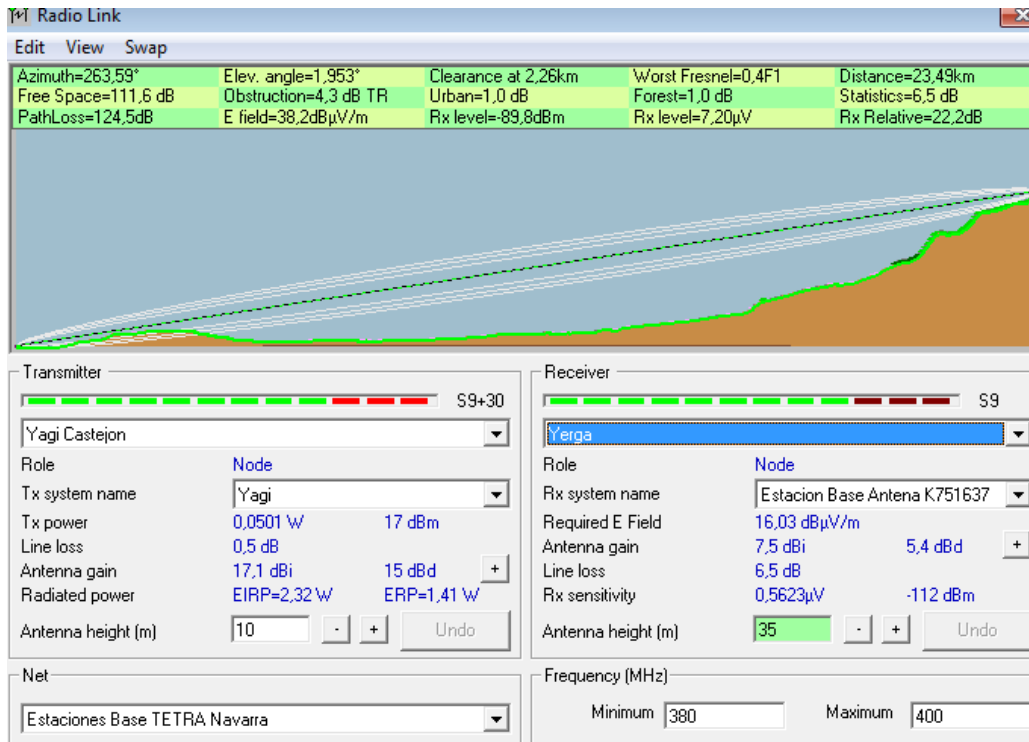


Figura 8.80. Radioenlace entre Polideportivo Municipal y Yerga en Castejón. Fuente: Radio Mobile

III. Estella

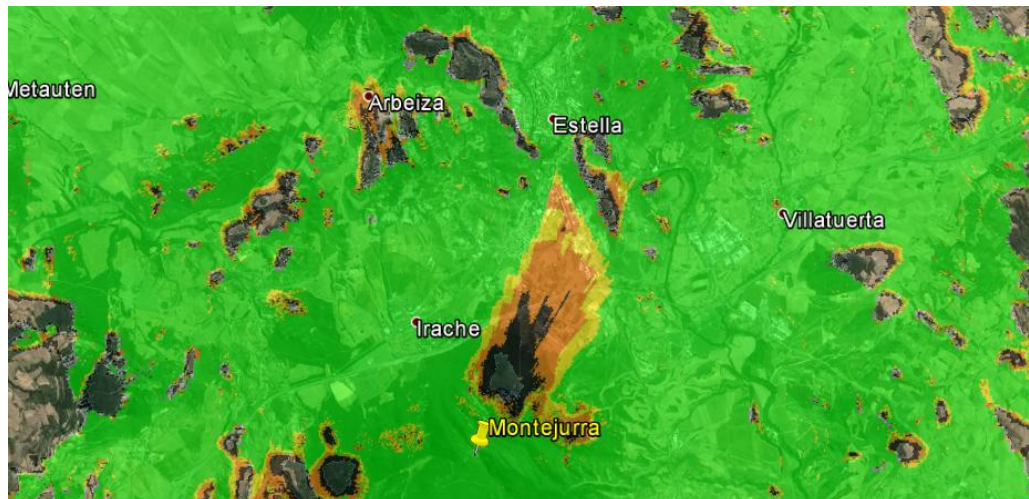


Figura 8.81. Cobertura con estación base en Montejurra. Fuente: Google Earth

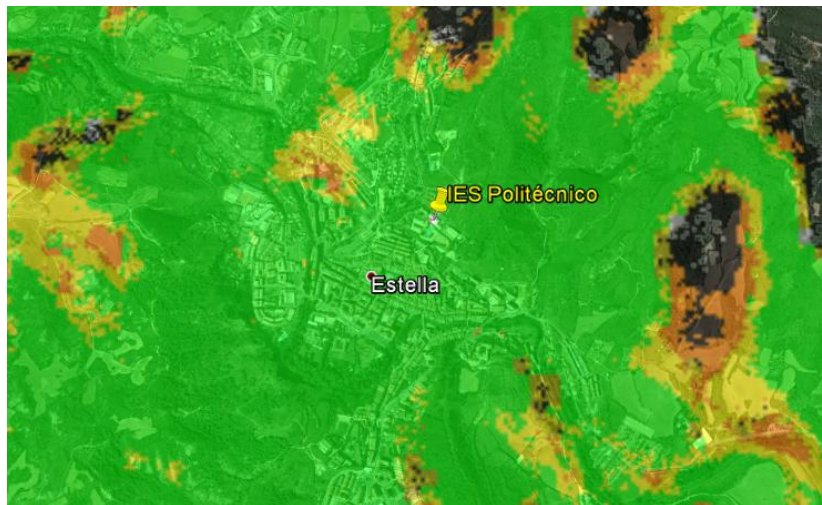


Figura 8.82. Cobertura con antena directiva (azimut 255°) en IES Politécnico de Estella. Fuente: Google Earth

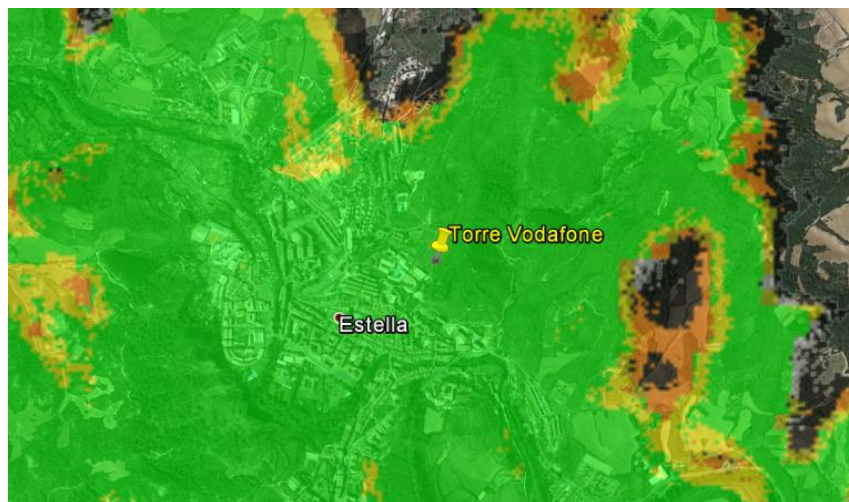


Figura 8.83. Cobertura con antena directiva (azimut 235°) en Torre Vodafone de Estella. Fuente: Google Earth

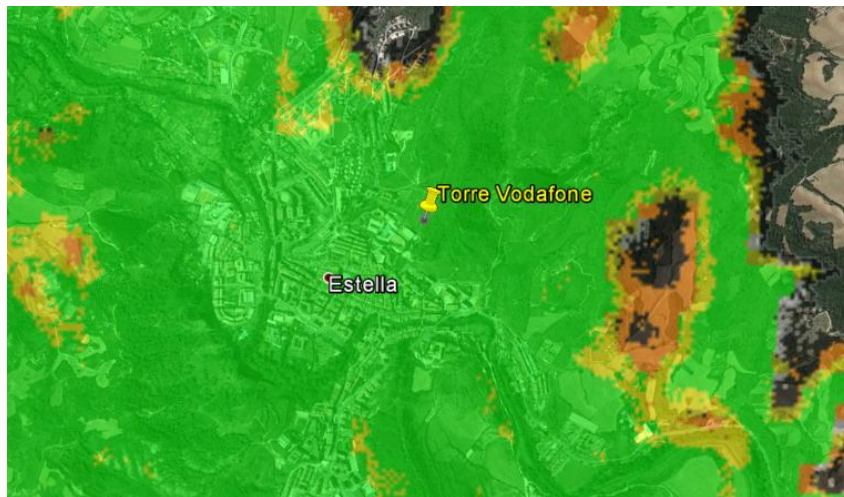


Figura 8.84. Cobertura con antena direcciva (azimut 240°) en Torre Vodafone de Estella. Fuente: Google Earth

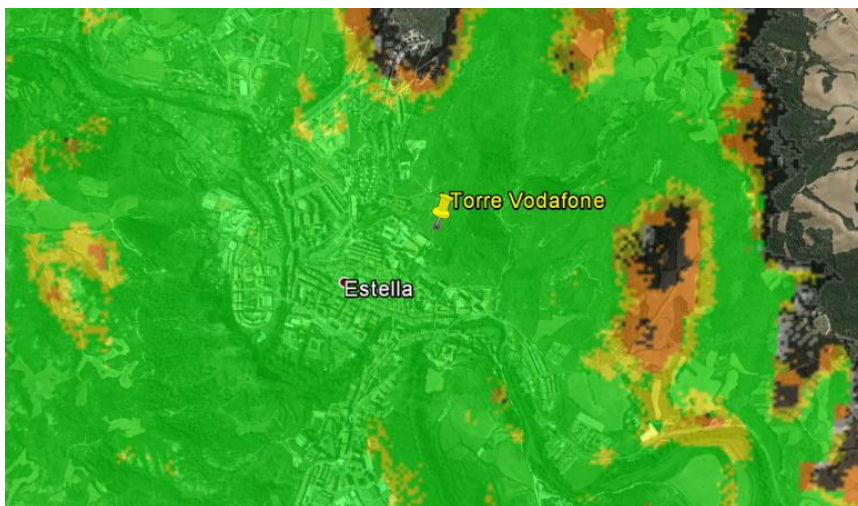


Figura 8.85. Cobertura con antena direcciva (azimut 245°) en Torre Vodafone de Estella. Fuente: Google Earth

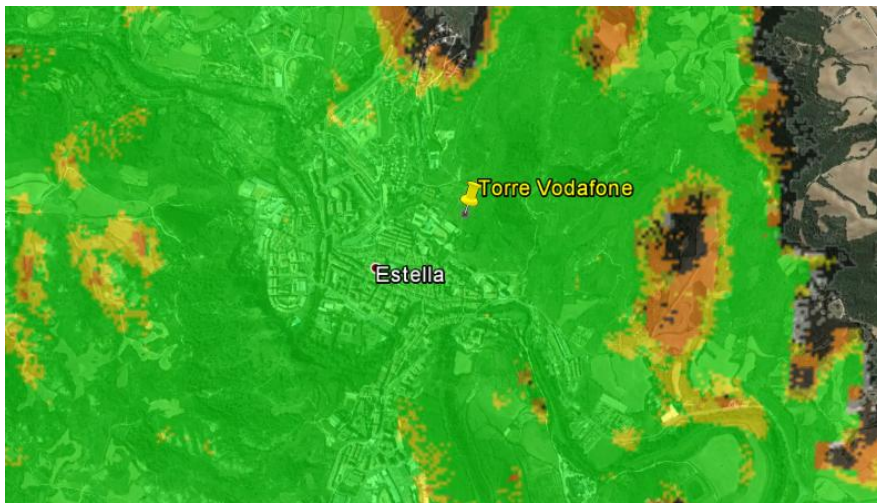


Figura 8.86. Cobertura con antena directiva (azimut 250°) en Torre Vodafone de Estella. Fuente: Google Earth

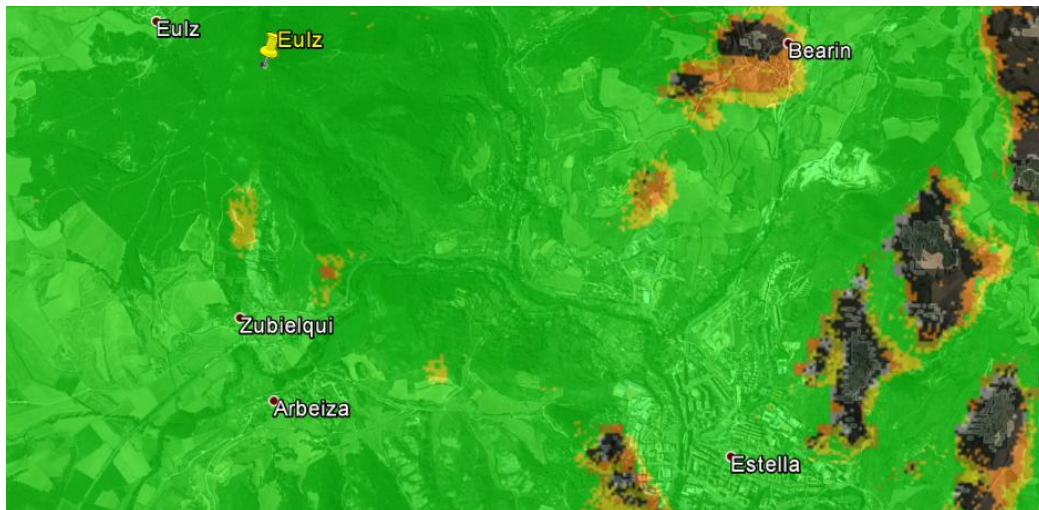


Figura 8.87. Cobertura con antena directiva (azimut 140°) en Eulz sobre Estella. Fuente: Google Earth

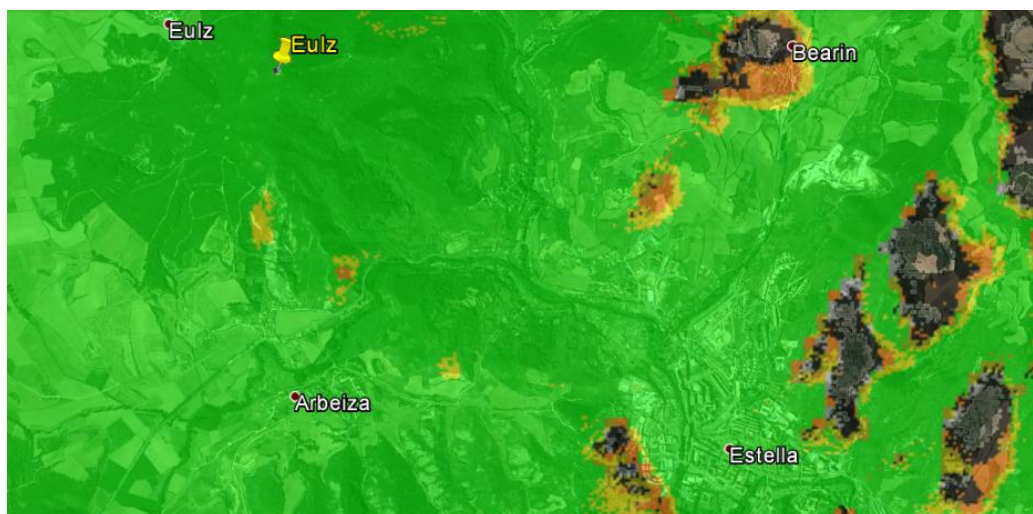


Figura 8.88. Cobertura con antena directiva (azimut 150°) en Eulz sobre Estella. Fuente: Google Earth

ANEXO III: HOJAS DE CARACTERÍSTICAS.

Amplificador de cobertura “Serie RIT-ECHO-REPEATER”

Antena directiva: “SV360-SF3SNF-DM”

Antena panel: “Kathrein 741516”

Antena omnidireccional: “Kathrein 751637”

Estación base: “EADS TB3”

Serie RIT-ECHO-REPEATER

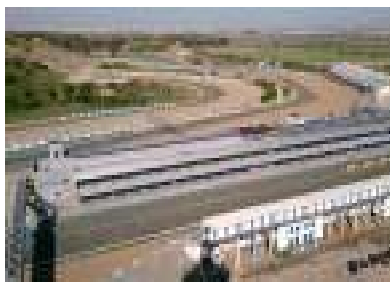
SOLUCIONES DE COBERTURA PARA COMUNICACIONES DE EMERGENCIAS

La Unión Europea, con el objetivo de dar respuesta a la demanda creciente de servicios de voz y datos vía radio, estableció el estándar TETRA (del inglés: Terrestrial Trunked RAdio) como norma para los sistemas de radiocomunicaciones de los cuerpos de seguridad públicos: policías, bomberos y protección civil. La norma hace posible la compatibilidad de las redes de radio desplegadas en los distintos países. De esta forma es posible la colaboración entre cuerpos de distintos países en situaciones de emergencia.

La norma obliga a dar cobertura de radio a todos los lugares donde pueda acceder el público en general y que sean susceptibles de necesitar la intervención de los cuerpos de seguridad del estado en caso de accidente o catástrofe. Así, se exige que haya cobertura TETRA en túneles de carreteras, metros, parkings de gran capacidad, instalaciones donde se celebren acontecimientos deportivos, etc.

Las redes siguientes han optado por los equipos de AD TELECOM para ampliar su área de cobertura:

- Red RESCAT con cobertura en toda Cataluña.
- Aeropuerto de Barajas
- Ferrocarriles de la Generalitat de Cataluña
- Red TETRA del Departamento de Interior del País Vasco.
- Circuito de Jerez de la Frontera



Las ventajas del sistema RIT-ECHO, en comparación con los actuales repetidores TETRA, radica en la cancelación del acoplamiento entre las antenas transmisora y receptora: permite recibir la señal proveniente de una estación base o de un usuario, amplificarla y volverla a transmitir con antenas situadas en la misma torre. La utilización de algoritmos de procesamiento digital de señal (DSP) permiten cancelar este acoplamiento y trabajar de forma estable con una ganancia 20dB superior al aislamiento entre antenas. Esto supone una mejora sustancial respecto a los actuales repetidores sin cancelación, que requieren trabajar con una ganancia al menos 10dB inferior al aislamiento entre antenas para evitar problemas de oscilación.

El repetidor es monocanal, amplificando cada canal físico de TETRA de ancho de banda 25 KHz por separado en lugar de amplificar indiscriminadamente toda la banda asignada. De este modo no se amplifica otras señales que pudieran estar presentes en el medio.

Las frecuencias o canales físicos del sistema TETRA son configurables.

La posibilidad de silenciamiento o squelch por time-slots de la trama TETRA para evitar una desensibilización innecesaria de la estación base donante en aquellos time slots que no tienen tráfico a través del amplificador de cobertura.

Serie RIT-ECHO-REPEATER

ESPECIFICACIONES			
Bandas de frecuencias	Banda Uplink	Banda Downlink	
	380—385 Mhz	390—395 MHz	
	385—390 MHz	395—400 MHz	
	410—415 Mhz	420—425 MHz	
	415—420 MHz	425—430 MHz	
	450—455 MHz	460—465 MHz	
	455—460 MHz	465—470 Mhz	
Distancia Dúplex entre portadoras		5 MHz	
Número de canales		1 a 6 canales	
Ancho de banda del filtro de canal		90 kHz,45KHz y 30KHz, OFF	
Retardo	Sin filtro	3.5us	
	90KHz	12us	
	45KHz	20us	
	30KHz	27us	
Ganancia		Configurable de 60 a 80 dB	
Aislamiento mínimo entre antenas RX-TX		>60 dB	
Número de canales		1 a 6 canales	
Potencia máxima de entrada		-20 dBm	
Potencia de salida del repetidor (downlink) Según normativa ETSI TS 101789-1	1 canal	+36dBm	
	2 canales	+33dBm	
	4 canales	+30dBm	
	6 canales	+27dBm	
Potencia de salida del repetidor (uplink) Según normativa ETSI	1 canal	+20dBm	
	2 canales	+17dBm	
	4 canales	+14dBm	
	6 canales	+12dBm	
Nivel de espúreos		< -36 dBm	
Figura de ruido		<7 dB	
Sistema de control remoto		Servidor WEB, agente SNMP	
Mantenimiento local		USB, Ethernet	
Temperatura de trabajo		-25°C a +55°C	
Cooling		Convección	
Alimentación		90 - 240 VAC 50Hz/60 Hz	
Consumo		< 100 W	
Protección		IP65	
Dimensiones		450x380x200 mm	

Serie RIT-ECHO-REPEATER

Peso	20 Kg
------	-------

CONFIGURACIÓN/SUPERVISIÓN LOCAL

La configuración/supervisión local del equipo se realiza mediante una conexión USB a un ordenador. Con el software de control proporcionado, se pueden configurar todos los parámetros del equipo y visualizar la información de estado y alarmas del equipo.

SUPERVISIÓN REMOTA

La supervisión remota de los amplificadores de cobertura se realiza mediante el MODEM de comunicación GPRS que incorporan los equipos o Ethernet. El equipo incorpora un servidor WEB que permite configurar y monitorizar todos los parámetros del equipo utilizando un navegador WEB, y un agente SNMP que permite su integración en un gestor SNMP. El agente SNMP permite configurar y monitorizar los parámetros del equipo, y el envío de alarmas asíncronas TRAPS al gestor SNMP.

La información que se puede visualizar es la siguiente:

- Potencias de entrada y salida del amplificador
- Ganancia, aislamiento, relación ganancia/aislamiento
- Frecuencia de cada canal, ancho de banda del filtro de canal
- Alarmas estado amplificador de potencia
- Puerta abierta
- Estado de los módulos RX, TX, DSP.



VENTAJAS

- La utilización de estos algoritmos permite cancelar este acoplamiento y trabajar de forma estable con una ganancia 20dB superior al aislamiento entre antenas.

Serie RIT-ECHO-REPEATER

- La posibilidad de silenciamiento o squelch por time-slots de la trama TETRA para evitar una desensibilización innecesaria de la estación base donante en aquellos time slots que no tienen tráfico a través del amplificador de cobertura.

Cumple todas las normativas y estándares del ETSI y de otros organismos que sean de aplicación, siendo de especial interés para este caso concreto la TS 101789-1 del ETSI.

SV360-SF3SNF Parabolic reflector directive, 15 dBd, 380-400 MHz

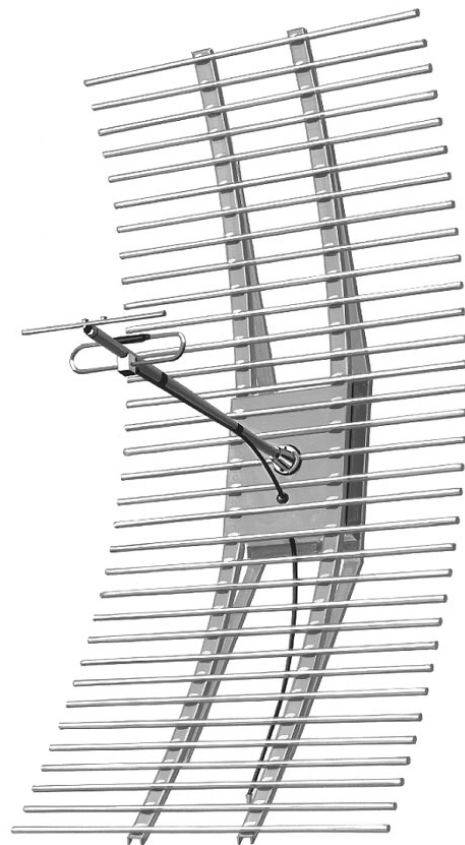
- Highly directive parabolic reflector with welded aluminum rods
- Covers 380-400 MHz frequency range
- Rugged construction
- Suitable for horizontal or vertical polarization

Sinclair's SV360 series of parabolic reflector antennas cover the 335-470 MHz frequency range in 7 different sub-bands with a nominal gain of 15 dBd across the designed bandwidth.

These antennas have a good front-to-back ratio. They are great for point-to-point applications.

Performance is constant throughout the band.

- Each antenna has a rugged design to withstand harsh environmental conditions
- It is a highly directive parabolic antenna consisting of a back-firing dipole reflector assembly for increased gain and directivity
- The mounting hardware supplied will allow for either vertical or horizontal polarization
- DC ground for lightning protection



Region	United States	Europe, Middle East and Africa	Caribbean and Latin America	Canada and rest of the world
Telephone	USA: 1 800 263 3275	International: +44 (0) 1487 84 28 19	International: +1 905 726 7676	Canada: 1 800 263 3275 International: +1 905 727 0165
E-mail	salesusa@sinctech.com	salesuk@sinctech.com	salesla@sinctech.com	salescan@sinctech.com

Electrical Specifications

Frequency Range	MHz	380 to 400
Bandwidth	MHz	20
Connector		N-Female
Gain (nominal)	dBi (dBd)	17.1 (15)
Input VSWR (max)		1.5:1
Polarization		vertical or horizontal
Impedance	Ω	50
Pattern		Directional
Horizontal beamwidth (typ)	degrees	18
Vertical beamwidth (typ)	degrees	32
Average Power Input (max)	W	250
Lightning protection		DC ground
Front-to-back ratio (typ)	dB	25

Notes

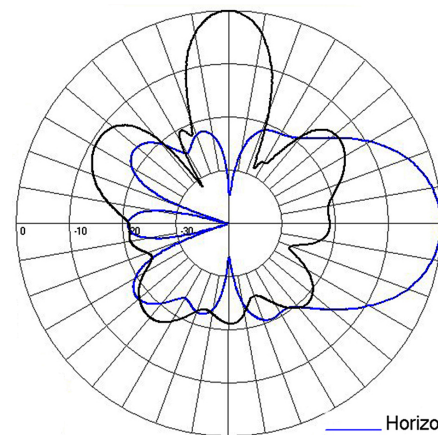
*1 : Worst case rated wind and ice

Mechanical Specifications

Width	mm (in)	2235 (88)
Depth	mm (in)	635 (25)
Length/ Height	mm (in)	1163 (45.8)
Radiating element material		aluminum
Weight	kg (lbs)	16.34 (36)
Mounting Hardware (Standard)		Clamp004
Actual Shipping weight	kg (lbs)	20.88 (46)
Shipping dimensions	mm (in)	1194x229x1092 (47x9x43)

Environmental Specifications

Temperature range	°C (°F)	-40 to +60 (-40 to +140)
Rated wind velocity (no ice)	km/h (mph)	161 (100)
Rated wind velocity (1/2" radial ice)	km/h (mph)	137 (85)
Lateral thrust (100 mph No Ice)	N (lbs)	1877.1 (422) *1



Region	United States	Europe, Middle East and Africa	Caribbean and Latin America	Canada and rest of the world
Telephone	USA: 1 800 263 3275	International: +44 (0) 1487 84 28 19	International: +1 905 726 7676	Canada: 1 800 263 3275 International: +1 905 727 0165
E-mail	salesusa@sinctech.com	salesuk@sinctech.com	salesla@sinctech.com	salescan@sinctech.com

The Kathrein 741 516 directional panel antenna with dual polarization is intended for use in professional fixed-station applications in the 380–500 MHz band. It features:

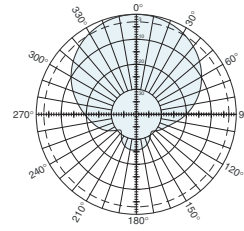
- Heavy-duty stainless steel and aluminum construction throughout.
- Excellent bandwidth and VSWR specifications.
- Cast aluminum dipoles.
- Heavy fiberglass radome assures excellent performance in heavy icing conditions.
- All metal parts at DC ground potential.
- Multiple antennas may be used to meet a variety of radiation patterns.

Specifications:

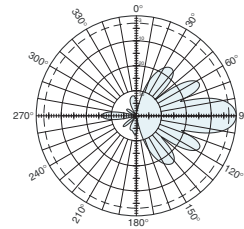
Frequency range	380–500 MHz
Gain	14.5 dBi (380–430 MHz) 15 dBi (430–500 MHz)
Impedance	50 ohms
VSWR	<1.5:1
Intermodulation (2x20w)	IM3: <-150 dBc
Polarization	+45° and -45°
Front to back ratio	> 25 dB (co-polar)
Isolation	> 30 dB
Maximum input power	500 watts (at 50° C)
H-plane beamwidth	± 45° polarization 65 degrees (half-power)
E-plane beamwidth	± 45° polarization 18 degrees (half-power)
Connectors	2 x 7-16 DIN female
Weight	41.9 lb (19 kg)
Dimensions	78.7 x 19.4 x 7.5 inches (2000 x 492 x 190 mm)
Wind load	at 93 mph (150kph)
Front/Side/Rear	248 lbf / 99 lbf / 347 lbf (1100 N) / (440 N) / (1540 N)
Mounting category	H (Heavy)
Wind survival rating*	120 mph (200 kph)
Shipping dimensions	81.9 x 20.6 x 9.9 inches (2080 x 523 x 252 mm)
Shipping weight	56 lb (25.4 kg)
Mounting	See mounting hardware options on reverse.

See reverse for order information.

* Mechanical design is based on environmental conditions as stipulated in TIA-222-G-2 (December 2009) and/or ETS 300 019-1-4 which include the static mechanical load imposed on an antenna by wind at maximum velocity. See the Engineering Section of the catalog for further details.



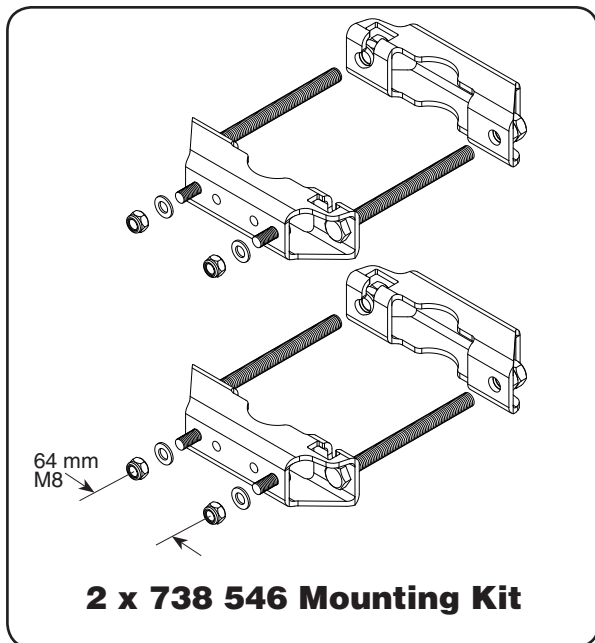
Horizontal pattern
±45°-polarization



Vertical pattern
±45°-polarization

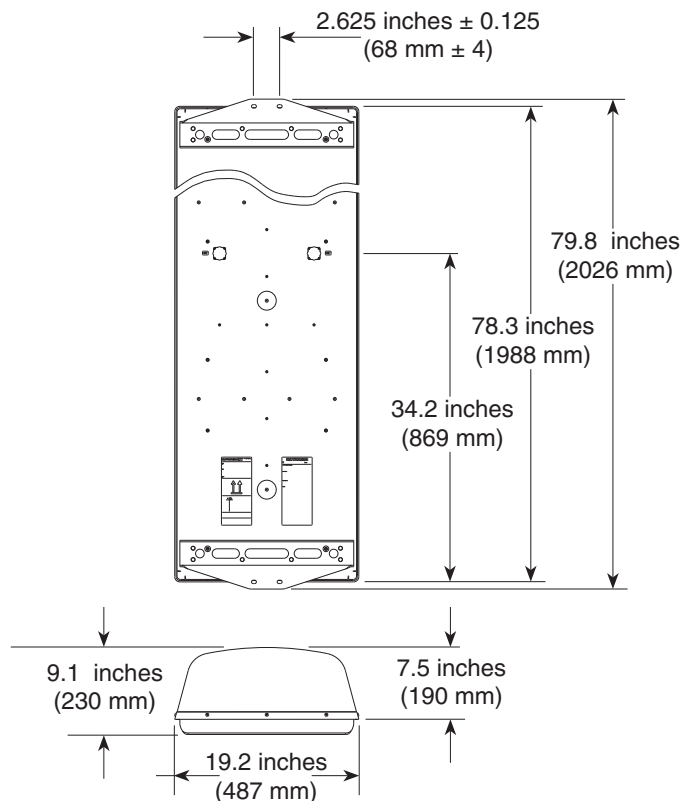


10576-D
936.4115/b



Mounting Options:

Model	Description
2 x 738 546	Mounting Kit for 2 to 4.6 inch (50 to 115 mm) OD mast. 4.4 lb (2 kg)
850 10008	Tilt Mount Kit 0–11 degrees downtilt angle.



Order Information:

Model	Description
741 516	Panel antenna with 7-16 DIN connector

All specifications are subject to change without notice. The latest specifications are available at www.kathrein-scala.com.

Kathrein Inc., Scala Division Post Office Box 4580 Medford, OR 97501 (USA) Phone: (541) 779-6500 Fax: (541) 779-3991
Email: communications@kathrein.com Internet: www.kathrein-scala.com

Omnidirectional Antenna
380–400 MHz

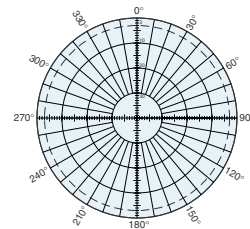
Kathrein's omnidirectional antennas incorporate the quality design and attention to detail that have established our entire line of professional base station antennas as industry leaders. These antennas feature:

- Proven, solid construction, with special attention directed towards the custom fiberglass radome which provides superior stiffness and low tip deflection at wind velocities of up to 120 mph.
- Superior electrical performance, with low VSWR, wide bandwidth, flat frequency response, and extremely low intermodulation products.
- Excellent DC grounding from the solid metal tip to the base.
- Simple, integrated mast attachment system, consists of only two V-bolts, which connect directly to the base.

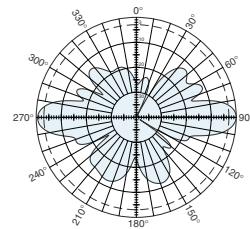
Specifications:

Frequency range	380–400 MHz
Gain	7.5 dBi
Impedance	50 ohms
VSWR	< 1.5:1
Intermodulation (2x20w)	IM3: < -150 dBc
Polarization	Vertical
Maximum input power	500 watts (at 50°C)
H-plane beamwidth	Omni
E-plane beamwidth	17 degrees (half power)
Connector	7-16 DIN female
Weight	17.6 lb (8 kg)
Height	111.8 inches (2840 mm)
Radome diameter	2 inches (51 mm)
Wind load	at 93 mph (150kph) 45 lbf / 200 N
Wind survival rating*	120 mph (200 kph)
Shipping dimensions	130.6 x 5.8 x 4.4 inches (3316 x 148 x 112 mm)
Shipping weight	22 lb (10 kg)
Mounting	For masts of 2 to 3.7 inch (50 to 94 mm) OD.

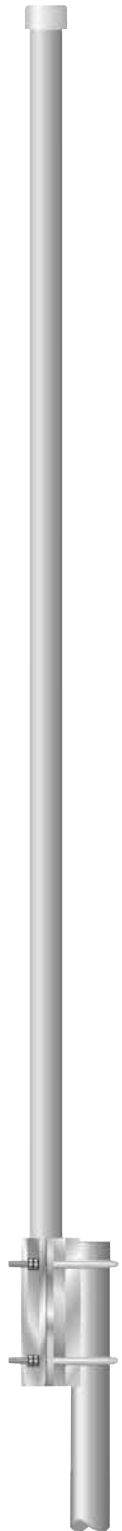
* Mechanical design is based on environmental conditions as stipulated in TIA-222-G-2 (December 2009) and/or ETS 300 019-1-4 which include the static mechanical load imposed on an antenna by wind at maximum velocity. See the Engineering Section of the catalog for further details.



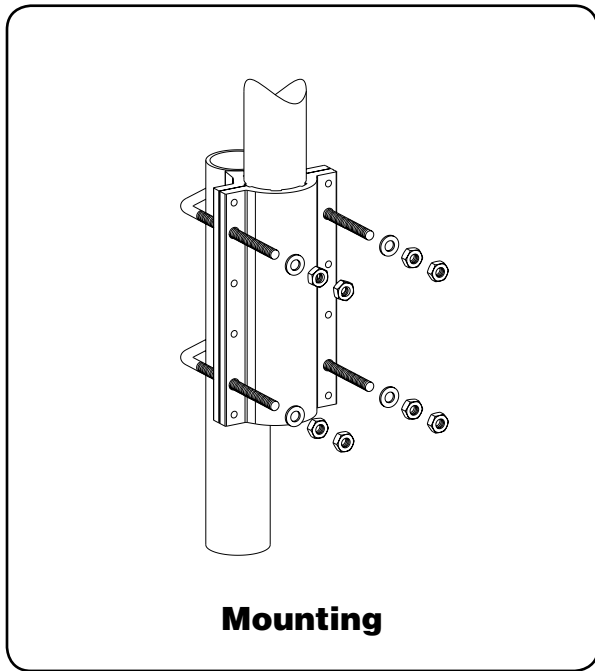
H-plane
Horizontal pattern – V-polarization



E-plane
Vertical pattern – V-polarization



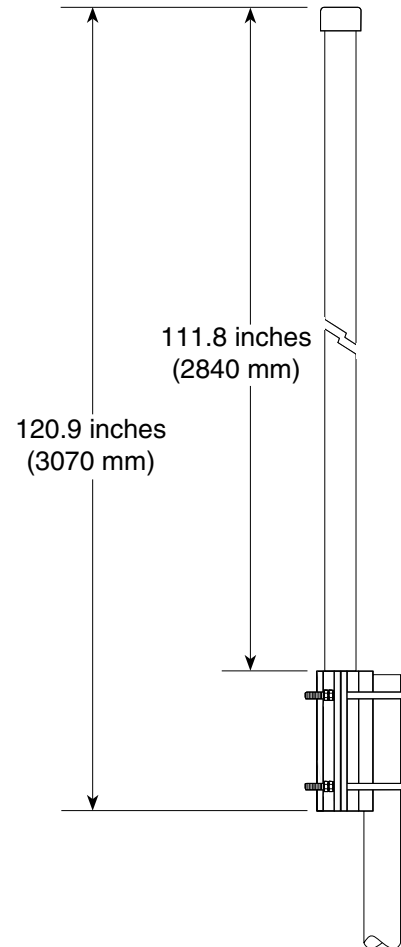
10570-G
936.1347/h



Mounting

Description

Mounting for 2 to 3.7 inch (50 to 94 mm) OD mast



Order Information:

Model	Description
K751637	Antenna with 7-16 DIN female connector



TB3 TETRA BASE STATION

The ultimate coverage engine

Reliable coverage is paramount in a professional communications network. Better network coverage brings better public services. Providing network coverage everywhere, all the time, for the small numbers of officers that are typically using a TETRA network is certainly a tall order.

But this is just what the Cassidian TB3 TETRA base station was designed to achieve. The TB3 can improve quality of service, provide more coverage, or achieve a combination of the two.

The TB3 can be used in a variety of network topologies to implement the best network availability and security. As well as coverage, the TB3 also helps deal with that other major headache – operating costs. For example, remote operation and maintenance greatly reduces these costs and is an important area pioneered by Cassidian TETRA System.



Characteristics

- Frequency bands
 - Rx: 350 -356MHz and Tx: 360 - 366MHz
 - Rx: 380 - 390MHz and Tx: 390 - 400MHz
 - Rx: 410 - 420MHz and Tx: 420 - 430MHz
 - Rx: 450 - 460MHz and Tx: 460 - 470MHz
 - Rx: 806 - 824MHz and Tx: 851 - 869MHz
- Max. TBS power at top of cabinet
 - 25W
 - 40W (with combiner by-pass configuration and duplexer)
- Max power at TTRX output: 65W
- Guaranteed dynamic sensitivity at top of cabinet: < -112dBm (TCH 7.2, BER 4%, TU50) without diversity
- Guaranteed static sensitivity at top of cabinets: < -119dBm (TCH 7.2, BER 4%) without diversity
- Receiver class:
 - Class A and B EN 300 392-2
- Diversity reception: Maximum ratio combining (MRC) improving the uplink budget by 3...8dB compared to single receiver antenna solutions
- Number of receivers per radio:
 - 6 receivers with MRC for e.g. three-sector X-pol panel antennas
- Sectorized reception: Three sector topology improves receiver C/I by 5dB compared to omnidirectional solution
- Duplex spacing:
 - 10MHz (45MHz @ 800MHz band)
- Switching range:
 - < 5MHz (18MHz @ 800MHz)
- Carrier spacing: 25kHz
- Combiner options: Auto-tuned cavity. Manually tuned cavity. Wideband hybrid combiner with duplexers. Combiner by-pass with duplexer.
- Supply voltage options:
 - 230VAC (184VAC...276VAC)
 - - 48VDC (-36VDC...-60VDC)

- Power consumption:
 - Nominal 0.3kW with one TTRX at 65W/100% duty cycle
 - Nominal 1kW with four TTRX at 65W/100% duty cycle
 - Power consumption varies according to the traffic volume
- Width x Height x Depth:
 - 60 x 162 x 48cm, one cabinet
- Weight (max., fully equipped)
 - 200kg (1 cabinet, 4 TTRX)
 - 380kg (2 cabinets, 8 TTRX)
- Operating ambient temperature:
 - 10°C ... + 55°C
- TBS transmit mode: Downlink continuous (D-CT) (as specified in the TETRA standard). Only carriers that are needed to carry the traffic are keyed.

- Transmission:
 - Four E1 interfaces with inbuilt multiplexer and loop protection capability with remote configuration
 - Support for satellite transmission
- O&M functions
 - Remote and local configuration. Remote and local alarm handling.
 - Remote and local SW downloading
 - Remote and local test services. Eight remote outputs.

Additional base station features

- Superior and versatile coverage solutions
- Intelligent Radio Resource Management
- Enhanced fallback
- Standalone mode
- Automatic Main Control Channel change-over
- Air to Ground cell range up to 83km
- Modular design for redundant base station main units
- Jamming detection
- Dynamic air encryption with two simultaneous encryption algorithms
- Adaptive random access window for congestion control
- Additional signaling channel for Automatic Vehicle Location use
- Load directed roaming
- Dynamic channel allocation between voice or packet data
- Optional Global Positioning System (GPS)
- TETRA Enhanced Data Service (TEDS)
- Secondary Control Channel



CASSIDIAN

Wörthstrasse 85
89077 Ulm - Germany
Tel.: +49 (0) 731 392 11

www.cassidian.com/pmr

CASSIDIAN

Hiomotie 32
00380 Helsinki - Finland
Tel.: +358 10 4080 000
email: securenetworks@cassidian.com

CASSIDIAN

Metapole
1, boulevard Jean moulin
CS 40001
78996 Elancourt Cedex - France
Tel.: +33 (0)1 61 38 50 00