

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR



PROYECTO FIN DE CARRERA

Estudio de propagación en diferentes entornos para señales de banda ancha y estrecha en redes UHF

PABLO MANZANO MARTÍN

Mayo de 2011

Estudio de propagación en diferentes entornos para señales de banda ancha y estrecha en redes UHF

AUTOR: Pablo Manzano Martín

TUTOR: Bazil Taha Ahmed

Grupo de Radiofrecuencia

Dpto. de Tecnología Electrónica y de las Comunicaciones

Escuela Politécnica Superior

Universidad Autónoma de Madrid

Mayo de 2011

AGRADECIMIENTOS

Permitidme estos reconocimientos a los que me siento obligado:

En primer lugar, quiero agradecer a mi tutor, Bazil Taha Ahmed, su esfuerzo, dedicación y paciencia en la realización de este Proyecto Fin de Carrera, gracias a él la realización del mismo ha sido agradable y productiva, y no solo me ha servido para realizar un documento, sino sobre todo para aprender.

Especialmente, a José Luís Masa Campos, que pese a no ser mi tutor me ha ayudado siempre que lo he necesitado, ya fuese echándome una mano en la construcción de las antenas, o enseñándome a manejar los equipos que he utilizado.

A mis padres, que me han apoyado siempre en las decisiones importantes a lo largo de mi vida, me han enseñado el valor de la verdad y el respeto a las ideas y a las personas, y me han demostrado que siempre dispondré de su cariño incondicional.

Gracias a mis amigos de toda la vida, que siempre han estado a mi lado cuando los he necesitado, y a los amigos que conocí en la universidad, ya que sin ellos, estos seis años de carrera no hubieran sido lo mismo.

Y muchas gracias a mi novia Sara, que me ha facilitado todo en estos años, me ha dado fuerzas cuando me han faltado, y su amor y apoyo me han servido muchas veces para seguir adelante y conseguir estar hoy aquí.

Muchísimas gracias a todos, ya que sin vosotros hubiera sido casi imposible que llegara este momento, pero sobre todo gracias porque sin vosotros no habría conseguido llegar a ser la persona que soy.

RESUMEN

El objetivo principal de este Proyecto Fin de Carrera es el de construir tres pares de antenas que funcionen a tres frecuencias determinadas (300 MHz-320 MHz, 400 MHz-420 MHz y 880 MHz-900 MHz), para con ellas proceder a realizar una campaña de medidas, tanto en interiores como en exteriores, con la que luego poder caracterizar convenientemente las pérdidas de propagación en los diferentes escenarios.

Se estudiarán distintos tipos de enlaces, aumentando la distancia entre la antena transmisora y la receptora o colocando alguna de ellas en diferentes puntos, sin olvidar que la aplicación práctica principal de este proyecto es poder caracterizar adecuadamente lo que sucedería en un caso de guerra urbana. Por ello, en casi todos los casos la altura de las antenas será de 1.5 m, ya que simulará que es la altura a la que un soldado lleva un equipo de radio.

Los resultados se mostrarán en forma de tablas, como ecuaciones o bien en forma gráfica, en la que se mostraran distintos parámetros que se quieran comparar, ya sea pérdida de propagación frente a distancia, frente a la frecuencia, o frente a los distintos puntos en los que se hayan realizado las medidas.

PALABRAS CLAVE

- *Comunicación inalámbrica.*
- *Radiofrecuencia.*
- *Propagación.*
- *Pérdidas de propagación.*
- *Antena monopolos.*
- *Analizador de redes.*
- *Parámetros S.*

ABSTRACT

The aim of this project is to build three pairs of antennas operating at three specific frequencies (300 MHz-320 MHz, 400 MHz-420 MHz and 880 MHz-900 MHz), so we could be able to proceed with a measurement campaign, both indoors and outdoors, that will enable us to identify properly the propagation loss in different scenarios.

In this project, different types of links will be studied, increasing the distance between the transmitting and receiving antennas or placing some of them at different points, considering that the main practical implementation of this project is to be able to identify what it would happen if an urban warfare take place. Consequently, in all of the cases the height of the antennas will be 1.5 metres (from surrounding ground) due to it will simulate the height at which a soldier carries a radio equipment.

The results will be presented as tables or graphics, showing the parameters to compare propagation loss versus distance, frequency or the different points in which we have made the measurements.

KEY WORDS

- *Wireless communication.*
- *Radiofrequency.*
- *Propagation.*
- *Propagation loss*
- *Monopole antenas*
- *Network analyzer.*
- *S- Parameters.*

INDICE DE CONTENIDOS

Índice de figuras	vi
Índice de tablas.....	xxiii
1 Introducción.....	1
1.1 Introducción general	2
1.2 Motivación y objetivos	3
1.3 Organización de la memoria.....	5
2 Teoría Relacionada.....	7
2.1 Propagación	8
2.2 Modelos de propagación.....	111
2.2.1.1 Modelos de propagación en interiores	112
2.2.1.2 Pérdidas de propagación en interiores	116
2.2.2.1 Modelos de propagación en exteriores	118
2.2.2.2 Pérdidas de propagación en exteriores	119
2.3 Comunicación inalámbrica	19
2.3.1 Introducción.....	19
2.4 Radiofrecuencia	21
2.4.1 Introducción.....	21
2.4.2 Características y ventajas de la banda UHF	23
2.5 Distribuciones de probabilidad.....	24
2.5.1 Normal o Gaussiana.....	24
2.5.2 Rayleigh.....	25
2.5.3 Combinación de Gaussiana y Rayleigh	27

3 Diseño & Desarrollo	33
3.1 Teoría básica de antenas	34
3.1.1 Diagrama de radiación	35
3.1.2 Regiones de campo	36
3.1.3 Directividad	37
3.1.4 Ganancia	37
3.1.5 Ancho de banda	37
3.1.6 Antenas monopolo	38
3.2 Balance de un enlace radioeléctrico	¡Error! Marcador no definido.
3.3 Diseño de las antenas.....	40
3.3.1 Cálculos teóricos.....	40
3.3.2 Material utilizado en la construcción de las antenas	41
3.3.3 Construcción de las antenas.....	42
3.4 Analizador de redes y parámetros S	46
3.4.1 Parámetros S.	46
3.4.2 Analizador de redes.	48
3.4.3 Análisis de la reflexión.	50
3.5 Otros equipos.....	57
3.6 Procedimientos de medidas	59
3.7 Escenarios.....	60
4 Campaña de medidas	61
4.1 ESCENARIO 1	62
4.2 ESCENARIO 2.....	114
4.3 ESCENARIO 3.....	125
4.4 ESCENARIO 4.....	143
4.5 ESCENARIO 5.....	166
4.6 ESCENARIO 6.....	170
4.7 ESCENARIO 7.....	176
4.8 ESCENARIO 8.....	181
4.9 ESCENARIO 9.....	190
4.10 ESCENARIO 10.....	197
4.11 ESCENARIO 11	205
4.12 ESCENARIO 12.....	211

5 Conclusiones y trabajo futuro	217
5.1 Conclusiones.....	218
5.2 Trabajo futuro	219
Referencias	221
Bibliografía.....	221
A MANUAL DEL PROGRAMADOR.....	223
B PRESUPUESTO	231
C PLIEGO DE CONDICIONES	235
D PUBLICACIONES.....	241

ÍNDICE DE FIGURAS

2.1	Reflexión de una onda.....	8
2.2	Onda con multitrayecto.....	8
2.3	Trayectorias de propagación en un escenario interior.....	9
2.4	Trayectorias de propagación en un escenario interior vista de perfil.....	9
2.5	Trayectorias por difracción vista de planta.....	10
2.6	Trayectorias por difracción vista de perfil.....	10
2.7	Sistema de Transmisión y Recepción RF indoor.....	12
2.8	Sistema de Transmisión y Recepción RF outdoor.....	18
2.9	Ejemplo de una red cableada e inalámbrica.....	20
2.10	Distribución de probabilidad Gaussiana en función de distintos valores del valor medio y la desviación típica.....	24
2.11	Distribución de probabilidad Rayleigh para distintos valores de la desviación típica.....	25
2.12	Histograma en el que se superpone la desviación de tipo Rayleigh en la que los valores de x son tratados como potencia.....	26
2.13	Histograma en el que se superpone la distribución normal la de Rayleigh y una combinación de ambas con $k = 0.6$	27
2.14	Figura resultante de una combinación $0.2 * \text{Normal}$ y $0.8 * \text{Rayleigh}$ con $\mu = -5$ y $\sigma = 1.5$	28
2.15	Figura resultante de una combinación $0.5 * \text{Normal}$ y $0.5 * \text{Rayleigh}$ con $\mu = -5$ y $\sigma = 1.5$	28
2.16	Figura resultante de una combinación $0.4 * \text{Normal}$ y $0.6 * \text{Rayleigh}$ con $\mu = -8$ y $\sigma = 1.5$	29
2.17	Figura resultante de una combinación $0.75 * \text{Normal}$ y $0.25 * \text{Rayleigh}$ con $\mu = -8$ y $\sigma = 1.5$	29
2.18	Figura resultante de una combinación $0.25 * \text{Normal}$ y $75 * \text{Rayleigh}$ con $\mu = 0$ y $\sigma = 2$	30
2.19	Figura resultante de una combinación $0.75 * \text{Normal}$ y $0.25 * \text{Rayleigh}$ con $\mu = 0$ y $\sigma = 2$	30

2.20	Figura resultante de una combinación 0.25 *Normal y 0.75 *Rayleigh con $\mu = 8$ y $\sigma = 1.5$	31
2.21	Figura resultante de una combinación 0.75*Normal y 0.25*Rayleigh con $\mu = 8$ y $\sigma = 1.5$	31
3.1	Diagrama de radiación en coordenadas polares.....	35
3.2	Diagrama de radiación en coordenadas cartesianas.....	35
3.3	Campo cercano reactivo, región de Fresnel y campo lejano.....	36
3.4	Antena monopolo.....	38
3.5	Varillas de aluminio pedidas a R&S.....	41
3.6	Láminas de aluminio pedidas a R&S.....	41
3.7	Láminas cortadas.....	42
3.8	Láminas con el agujero del conector.....	42
3.9	Láminas con agujeros para atornillar el conector.....	43
3.10	Lámina con el conector atornillado.....	43
3.11	Varillas cortadas según la distinta longitud del elemento vertical.....	43
3.12	Base de madera para realizar el taladro.....	44
3.13	Realización del taladro.....	44
3.14	Antena de 890 MHz acabada.	44
3.15	Antena de 410 MHz acabada.	44
3.16	Vista de perfil de las antenas finalizadas.....	44
3.17	Vista de planta de las antenas finalizadas.....	44
3.18	Vista de perfil de las antenas que resuenan a 125 MHz.....	45
3.19	Vista de perfil de las antenas que resuenan a 150 MHz.....	45
3.20	Vista de perfil de las antenas finalizadas.....	45
3.21	Analizador de redes.....	48
3.22	Analizador de redes de Rohde&Schwarz.....	49
3.23	Kit de calibración utilizado en la campaña.....	49
3.24	Instrumento calibrado entre 875 MHz y 905 MHz.....	50
3.25	Resultado de la medida de la reflexión a 300 MHz.....	51
3.26	Resultado de la reflexión a 400 MHz.....	51
3.27	Resultado de la reflexión a 880 MHz.....	51
3.28	Resultado de la reflexión de la primera antena que trabaja entre 300 MHz y 320 MHz.....	52

3.29	Resultado de la reflexión de la segunda antena que trabaja entre 300 MHz y 320 MHz.....	52
3.30	Resultado de la reflexión de la primera antena que trabaja entre 400 MHz y 420 MHz.....	53
3.31	Resultado de la reflexión de la segunda antena que trabaja entre 400 MHz y 420 MHz.....	53
3.32	Resultado de la reflexión de la primera antena que trabaja entre 880 MHz y 900 MHz.....	54
3.33	Resultado de la reflexión de la segunda antena que trabaja entre 880 MHz y 900 MHz.....	54
3.34	Resultado de la reflexión de la primera antena que trabaja entre 115 MHz y 225 MHz.....	55
3.35	Resultado de la reflexión de la segunda antena que trabaja entre 115 MHz y 225 MHz.....	55
3.36	Resultado de la reflexión de la segunda antena que trabaja entre 140 MHz y 160 MHz.....	56
3.37	Resultado de la reflexión de la segunda antena que trabaja entre 140 MHz y 160 MHz.....	56
3.38	Generador de señales de Rohde&Schwarz.....	57
3.39	Analizador de espectros de Rohde&Schwarz.....	58

FIGURAS ESCENARIO 1

4.1	Vista de planta del pasillo de la planta baja del edificio C de la EPS. Situación inicial.....	62
4.2	Vista de planta del pasillo de la planta baja del edificio C de la EPS. Situación final.....	62
4.3	Ganancia de propagación básica y aproximación correspondiente del escenario 1 entre (309.9-310.1) MHz	66
4.4	Histograma de la primera parte de la aproximación.....	67
4.5	CDF en escala logarítmica de la primera parte de la aproximación.....	67
4.6	Histograma de la segunda parte de la aproximación.....	68
4.7	CDF en escala logarítmica de la segunda parte de la aproximación.....	68

4.8	Ganancia de propagación básica y aproximación correspondiente del escenario 1 entre <u>(309.5-310.5) MHz</u>	69
4.9	Histograma de la primera parte de la aproximación.....	70
4.10	CDF en escala logarítmica de la primera parte de la aproximación.....	70
4.11	Histograma de la segunda parte de la aproximación.....	71
4.12	CDF en escala logarítmica de la segunda parte de la aproximación.....	71
4.13	Ganancia de propagación básica y aproximación correspondiente del escenario 1 entre <u>(307.5-312.5) MHz</u>	72
4.14	Histograma de la primera parte de la aproximación.....	73
4.15	CDF en escala logarítmica de la primera parte de la aproximación.....	73
4.16	Histograma de la segunda parte de la aproximación.....	74
4.17	CDF en escala logarítmica de la segunda parte de la aproximación.....	74
4.18	Ganancia de propagación básica y aproximación correspondiente del escenario 1 entre <u>(305-315) MHz</u>	75
4.19	Histograma de la primera parte de la aproximación.....	76
4.20	CDF en escala logarítmica de la primera parte de la aproximación.....	76
4.21	Histograma de la segunda parte de la aproximación.....	77
4.22	CDF en escala logarítmica de la segunda parte de la aproximación.....	77
4.23	Ganancia de propagación básica y aproximación correspondiente del escenario 1 entre <u>(300-320) MHz</u>	78
4.24	Histograma de la primera parte de la aproximación.....	79
4.25	CDF en escala logarítmica de la primera parte de la aproximación.....	79
4.26	Histograma de la segunda parte de la aproximación.....	80
4.27	CDF en escala logarítmica de la segunda parte de la aproximación.....	80
4.28	Ganancia de propagación básica y aproximación correspondiente del escenario 1 entre <u>(409.9-410.1) MHz</u>	81
4.29	Histograma de la primera parte de la aproximación.....	82
4.30	CDF en escala logarítmica de la primera parte de la aproximación.....	82
4.31	Histograma de la segunda parte de la aproximación.....	83
4.32	CDF en escala logarítmica de la segunda parte de la aproximación.....	83
4.33	Ganancia de propagación básica y aproximación correspondiente del escenario 1 entre <u>(409.5-410.5) MHz</u>	84
4.34	Histograma de la primera parte de la aproximación.....	85

4.35	CDF en escala logarítmica de la primera parte de la aproximación.....	85
4.36	Histograma de la segunda parte de la aproximación.....	86
4.37	CDF en escala logarítmica de la segunda parte de la aproximación.....	86
4.38	Ganancia de propagación básica y aproximación correspondiente del escenario 1 entre <u>(407.5-412.5) MHz</u>	87
4.39	Histograma de la primera parte de la aproximación.....	88
4.40	CDF en escala logarítmica de la primera parte de la aproximación.....	88
4.41	Histograma de la segunda parte de la aproximación.....	89
4.42	CDF en escala logarítmica de la segunda parte de la aproximación.....	89
4.43	Ganancia de propagación básica y aproximación correspondiente del escenario 1 entre <u>(405-415) MHz</u>	90
4.44	Histograma de la primera parte de la aproximación.....	91
4.45	CDF en escala logarítmica de la primera parte de la aproximación.....	91
4.46	Histograma de la segunda parte de la aproximación.....	92
4.47	CDF en escala logarítmica de la segunda parte de la aproximación.....	92
4.48	Ganancia de propagación básica y aproximación correspondiente del escenario 1 entre <u>(400-420) MHz</u>	93
4.49	Histograma de la primera parte de la aproximación.....	94
4.50	CDF en escala logarítmica de la primera parte de la aproximación.....	94
4.51	Histograma de la segunda parte de la aproximación.....	95
4.52	CDF en escala logarítmica de la segunda parte de la aproximación.....	95
4.53	Ganancia de propagación básica y aproximación correspondiente del escenario 1 entre <u>(889.9-890.1) MHz</u>	96
4.54	Histograma de la primera parte de la aproximación.....	97
4.55	CDF en escala logarítmica de la primera parte de la aproximación.....	97
4.56	Histograma de la segunda parte de la aproximación.....	98
4.57	CDF en escala logarítmica de la segunda parte de la aproximación.....	98
4.58	Ganancia de propagación básica y aproximación correspondiente del escenario 1 entre <u>(889.5-890.5) MHz</u>	99
4.59	Histograma de la primera parte de la aproximación.....	100
4.60	CDF en escala logarítmica de la primera parte de la aproximación.....	100

4.61	Histograma de la segunda parte de la aproximación.....	101
4.62	CDF en escala logarítmica de la segunda parte de la aproximación.....	101
4.63	Ganancia de propagación básica y aproximación correspondiente del escenario 1 entre <u>(887.5-892.5) MHz</u>	102
4.64	Histograma de la primera parte de la aproximación.....	103
4.65	CDF en escala logarítmica de la primera parte de la aproximación.....	103
4.66	Histograma de la segunda parte de la aproximación.....	104
4.67	CDF en escala logarítmica de la segunda parte de la aproximación.....	104
4.68	Ganancia de propagación básica y aproximación correspondiente del escenario 1 entre <u>(885-895) MHz</u>	105
4.69	Histograma de la primera parte de la aproximación.....	106
4.70	CDF en escala logarítmica de la primera parte de la aproximación.....	106
4.71	Histograma de la segunda parte de la aproximación.....	107
4.72	CDF en escala logarítmica de la segunda parte de la aproximación.....	107
4.73	Ganancia de propagación básica y aproximación correspondiente del escenario 1 entre <u>(880-900) MHz</u>	108
4.74	Histograma de la primera parte de la aproximación.....	109
4.75	CDF en escala logarítmica de la primera parte de la aproximación.....	109
4.76	Histograma de la segunda parte de la aproximación.....	110
4.77	CDF en escala logarítmica de la segunda parte de la aproximación.....	110
4.78	Ganancia de propagación básica y aproximación correspondiente del escenario 1 a <u>125 MHz</u>	111
4.79	Ganancia de propagación básica y aproximación correspondiente del escenario 1 entre <u>150 MHz</u>	112

FIGURAS ESCENARIO 2

4.80	Planta 3 del edificio C de la EPS, donde se emplaza el escenario 2	114
4.80.b	Esquema representativo de la vista de planta del escenario 2	114

4.81	Esquema representativo de la vista de planta del escenario 2.1	115
4.82	Ganancia básica de propagación en función de la distancia entre Tx y Rx utilizando antenas que trabajan entre (300-320) MHz	116
4.83	Ganancia básica de propagación en función de la distancia entre Tx y Rx utilizando antenas que trabajan entre (400-420) MHz	117
4.84	Ganancia básica de propagación en función de la distancia entre Tx y Rx utilizando antenas que trabajan entre (880-900) MHz	118
4.85	Esquema representativo de la vista de planta del escenario 2.2	120
4.86	Ganancia básica de propagación en función de la distancia entre Tx y Rx utilizando antenas que trabajan entre (300-320) MHz	120
4.87	Ganancia básica de propagación en función de la distancia entre Tx y Rx utilizando antenas que trabajan entre (400-420) MHz	121
4.88	Ganancia básica de propagación en función de la distancia entre Tx y Rx utilizando antenas que trabajan entre (880-900) MHz	121
4.89	Esquema representativo de la vista de planta del escenario 2.3	122
4.90	Ganancia básica de propagación en función de la distancia entre Tx y Rx utilizando antenas que trabajan entre (300-320) MHz	123
4.91	Ganancia básica de propagación en función de la distancia entre Tx y Rx utilizando antenas que trabajan entre (400-420) MHz	123
4.92	Ganancia básica de propagación en función de la distancia entre Tx y Rx utilizando antenas que trabajan entre (880-900) MHz	124

FIGURAS ESCENARIO 3

4.93	Vista de planta del laboratorio C-007 del edificio C de la EPS.....	125
4.94	Estimación de cómo llegan los rayos de las principales trayectorias al punto 4.....	126
4.95	Ganancia de propagación básica frente a la frecuencia para los puntos de la primera fila con las antenas que funcionan entre (300-320) MHz	128
4.96	Ganancia de propagación básica frente a la frecuencia para los puntos de la segunda fila con las antenas que funcionan entre (300-320) MHz	128

-
- 4.97 Ganancia de propagación básica frente a la frecuencia para los puntos de la **tercera fila** con las antenas que funcionan entre (300-320) MHz129
- 4.98 Ganancia de propagación básica frente a la frecuencia para los puntos de la **cuarta fila** con las antenas que funcionan entre (300-320) MHz129
- 4.99 Ganancia de propagación básica frente a la frecuencia para los puntos de la **quinta fila** con las antenas que funcionan entre (300-320) MHz130
- 4.100 Ganancia de propagación básica frente a la frecuencia para los puntos de la **sexta fila** con las antenas que funcionan entre (300-320) MHz130
- 4.101 Ganancia de propagación básica frente a la frecuencia para los puntos de la **primera fila** con las antenas que funcionan entre (400-420) MHz131
- 4.102 Ganancia de propagación básica frente a la frecuencia para los puntos de la **segunda fila** con las antenas que funcionan entre (400-420) MHz131
- 4.103 Ganancia de propagación básica frente a la frecuencia para los puntos de la **tercera fila** con las antenas que funcionan entre (400-420) MHz132
- 4.104 Ganancia de propagación básica frente a la frecuencia para los puntos de la **cuarta fila** con las antenas que funcionan entre (400-420) MHz132
- 4.105 Ganancia de propagación básica frente a la frecuencia para los puntos de la **quinta fila** con las antenas que funcionan entre (400-420) MHz133
- 4.106 Ganancia de propagación básica frente a la frecuencia para los puntos de la **sexta fila** con las antenas que funcionan entre (400-420) MHz133
- 4.107 Ganancia de propagación básica frente a la frecuencia para los puntos de la **primera fila** con las antenas que funcionan entre (880-900) MHz134
- 4.108 Ganancia de propagación básica frente a la frecuencia para los puntos de la **segunda fila** con las antenas que funcionan entre (880-900) MHz134
- 4.109 Ganancia de propagación básica frente a la frecuencia para los puntos de la **tercera fila** con las antenas que funcionan entre (880-900) MHz135
- 4.110 Ganancia de propagación básica frente a la frecuencia para los puntos de la **cuarta fila** con las antenas que funcionan entre (880-900) MHz135
- 4.111 Ganancia de propagación básica frente a la frecuencia para los puntos de la **quinta fila** con las antenas que funcionan entre (880-900) MHz136
- 4.112 Ganancia de propagación básica frente a la frecuencia para los puntos de la **sexta fila** con las antenas que funcionan entre (880-900) MHz136

4.113	Rango de valores que toma la ganancia básica de propagación en cada punto de medida entre <u>(309.9-310.1) MHz</u>	137
4.114	Rango de valores que toma la ganancia básica de propagación en cada punto de medida entre <u>(309.5-310.5) MHz</u>	137
4.115	Rango de valores que toma la ganancia básica de propagación en cada punto de medida entre <u>(305-315) MHz</u>	138
4.116	Rango de valores que toma la ganancia básica de propagación en cada punto de medida entre <u>(300-320) MHz</u>	138
4.117	Rango de valores que toma la ganancia básica de propagación en cada punto de medida entre <u>(409.9-410.1) MHz</u>	139
4.118	Rango de valores que toma la ganancia básica de propagación en cada punto de medida entre <u>(409.5-410.5) MHz</u>	139
4.119	Rango de valores que toma la ganancia básica de propagación en cada punto de medida entre <u>(405-415) MHz</u>	140
4.120	Rango de valores que toma la ganancia básica de propagación en cada punto de medida entre <u>(400-420) MHz</u>	140
4.121	Rango de valores que toma la ganancia básica de propagación en cada punto de medida entre <u>(889.9-890.1) MHz</u>	141
4.122	Rango de valores que toma la ganancia básica de propagación en cada punto de medida entre <u>(889.5-890.5) MHz</u>	141
4.123	Rango de valores que toma la ganancia básica de propagación en cada punto de medida entre <u>(885-895) MHz</u>	142
4.124	Rango de valores que toma la ganancia básica de propagación en cada punto de medida entre <u>(880-900) MHz</u>	142

FIGURAS ESCENARIO 4

4.125	Vista de planta del escenario 4, emplazado en la tercera planta del edificio C de la EPS.....	143
4.126	Estimación de las principales trayectorias que sigue la señal antes de llegar al punto 16.....	144
4.127	Ganancia de propagación básica frente a la frecuencia para los puntos de la <u>primera fila</u> del <u>primer aula</u> entre <u>(300-320)MHz</u>	145

4.128	Ganancia de propagación básica frente a la frecuencia para los puntos de la <u>segunda fila</u> del <u>primer aula</u> entre <u>(300-320)MHz</u>	145
4.129	Ganancia de propagación básica frente a la frecuencia para los puntos de la <u>tercera fila</u> del <u>primer aula</u> entre <u>(300-320)MHz</u>	146
4.130	Ganancia de propagación básica frente a la frecuencia para los puntos de la <u>primera fila</u> del <u>segundo aula</u> entre <u>(300-320)MHz</u>	146
4.131	Ganancia de propagación básica frente a la frecuencia para los puntos de la <u>segunda fila</u> del <u>segundo aula</u> entre <u>(300-320)MHz</u>	147
4.132	Ganancia de propagación básica frente a la frecuencia para los puntos de la <u>tercera fila</u> del <u>segundo aula</u> entre <u>(300-320)MHz</u>	147
4.133	Ganancia de propagación básica frente a la frecuencia para los puntos de la <u>primera fila</u> del <u>tercer aula</u> entre <u>(300-320)MHz</u>	148
4.134	Ganancia de propagación básica frente a la frecuencia para los puntos de la <u>segunda fila</u> del <u>tercer aula</u> entre <u>(300-320)MHz</u>	148
4.135	Ganancia de propagación básica frente a la frecuencia para los puntos de la <u>tercera fila</u> del <u>tercer aula</u> entre <u>(300-320)MHz</u>	149
4.136	Ganancia de propagación básica frente a la frecuencia para los puntos de la <u>primera fila</u> del <u>primer aula</u> entre <u>(400-420)MHz</u>	149
4.137	Ganancia de propagación básica frente a la frecuencia para los puntos de la <u>segunda fila</u> del <u>primer aula</u> entre <u>(400-420)MHz</u>	150
4.138	Ganancia de propagación básica frente a la frecuencia para los puntos de la <u>tercera fila</u> del <u>primer aula</u> entre <u>(400-420)MHz</u>	150
4.139	Ganancia de propagación básica frente a la frecuencia para los puntos de la <u>primera fila</u> del <u>segundo aula</u> entre <u>(400-420)MHz</u>	151
4.140	Ganancia de propagación básica frente a la frecuencia para los puntos de la <u>segunda fila</u> del <u>segundo aula</u> entre <u>(400-420)MHz</u>	151
4.141	Ganancia de propagación básica frente a la frecuencia para los puntos de la <u>tercera fila</u> del <u>segundo aula</u> entre <u>(400-420)MHz</u>	152
4.142	Ganancia de propagación básica frente a la frecuencia para los puntos de la <u>primera fila</u> del <u>tercer aula</u> entre <u>(400-420)MHz</u>	152
4.143	Ganancia de propagación básica frente a la frecuencia para los puntos de la <u>segunda fila</u> del <u>tercer aula</u> entre <u>(400-420)MHz</u>	153
4.144	Ganancia de propagación básica frente a la frecuencia para los puntos de la <u>tercera fila</u> del <u>tercer aula</u> entre <u>(400-420)MHz</u>	153

4.145	Ganancia de propagación básica frente a la frecuencia para los puntos de la <u>primera fila</u> del <u>primer aula</u> entre <u>(880-900)MHz</u>	155
4.146	Ganancia de propagación básica frente a la frecuencia para los puntos de la <u>segunda fila</u> del <u>primer aula</u> entre <u>(880-900)MHz</u>	155
4.147	Ganancia de propagación básica frente a la frecuencia para los puntos de la <u>tercera fila</u> del <u>primer aula</u> entre <u>(880-900)MHz</u>	156
4.148	Ganancia de propagación básica frente a la frecuencia para los puntos de la <u>primera fila</u> del <u>segundo aula</u> entre <u>(880-900)MHz</u>	156
4.149	Ganancia de propagación básica frente a la frecuencia para los puntos de la <u>segunda fila</u> del <u>segundo aula</u> entre <u>(880-900)MHz</u>	157
4.150	Ganancia de propagación básica frente a la frecuencia para los puntos de la <u>tercera fila</u> del <u>segundo aula</u> entre <u>(880-900)MHz</u>	157
4.151	Ganancia de propagación básica frente a la frecuencia para los puntos de la <u>primera fila</u> del <u>tercer aula</u> entre <u>(880-900)MHz</u>	158
4.152	Ganancia de propagación básica frente a la frecuencia para los puntos de la <u>segunda fila</u> del <u>tercer aula</u> entre <u>(880-900)MHz</u>	158
4.153	Ganancia de propagación básica frente a la frecuencia para los puntos de la <u>tercera fila</u> del <u>tercer aula</u> entre <u>(880-900)MHz</u>	159
4.154	Rango de valores que toma la ganancia básica de propagación en cada punto de medida entre <u>(309.9-310.1) MHz</u>	160
4.155	Rango de valores que toma la ganancia básica de propagación en cada punto de medida entre <u>(309.5-310.5) MHz</u>	160
4.156	Rango de valores que toma la ganancia básica de propagación en cada punto de medida entre <u>(305-315) MHz</u>	161
4.157	Rango de valores que toma la ganancia básica de propagación en cada punto de medida entre <u>(300-320) MHz</u>	161
4.158	Rango de valores que toma la ganancia básica de propagación en cada punto de medida entre <u>(409.9-410.1) MHz</u>	162
4.159	Rango de valores que toma la ganancia básica de propagación en cada punto de medida entre <u>(409.5-410.5) MHz</u>	162
4.160	Rango de valores que toma la ganancia básica de propagación en cada punto de medida entre <u>(405-415) MHz</u>	163
4.161	Rango de valores que toma la ganancia básica de propagación	

	en cada punto de medida entre <u>(400-420) MHz</u>	163
4.162	Rango de valores que toma la ganancia básica de propagación en cada punto de medida entre <u>(889.9-890.1) MHz</u>	164
4.163	Rango de valores que toma la ganancia básica de propagación en cada punto de medida entre <u>(889.5-890.5) MHz</u>	164
4.164	Rango de valores que toma la ganancia básica de propagación en cada punto de medida entre <u>(885-895) MHz</u>	165
4.165	Rango de valores que toma la ganancia básica de propagación en cada punto de medida entre <u>(880-900) MHz</u>	165

FIGURAS ESCENARIO 5

4.166	Vista de perfil de las escaleras que constituyen el escenario 5 Escaleras interiores del edificio C de la EPS.....	166
4.167	Vista frontal de los distintos puntos de medida del escenario 5 Escaleras interiores del edificio C de la EPS.....	167
4.168	Ganancia básica de propagación en función de los distintos puntos de medida utilizando antenas que trabajan entre <u>(300-320) MHz</u>	167
4.169	Ganancia básica de propagación en función de los distintos puntos de medida utilizando antenas que trabajan entre <u>(400-420) MHz</u>	168
4.170	Ganancia básica de propagación en función de los distintos puntos de medida utilizando antenas que trabajan entre <u>(880-900) MHz</u>	168

FIGURAS ESCENARIO 6

4.171	Esquema representativo de la vista de planta del escenario 6	170
4.172	Ganancia básica de propagación en función de los distintos puntos de medida de la <u>fila central</u> utilizando antenas que trabajan entre <u>(300-320) MHz</u>	171
4.173	Ganancia básica de propagación en función de los distintos puntos de medida de la <u>fila central</u> utilizando antenas que trabajan entre <u>(400-420) MHz</u>	171
4.174	Ganancia básica de propagación en función de los distintos puntos de medida de la <u>fila central</u> utilizando antenas que trabajan entre <u>(880-900) MHz</u>	172
4.175	Ganancia básica de propagación en función de los distintos puntos de medida de la <u>fila izquierda</u> utilizando antenas que trabajan entre <u>(300-320) MHz</u>	172

4.176	Ganancia básica de propagación en función de los distintos puntos de medida de la <u>fila izquierda</u> utilizando antenas que trabajan entre <u>(400-420) MHz</u>173
4.177	Ganancia básica de propagación en función de los distintos puntos de medida de la <u>fila izquierda</u> utilizando antenas que trabajan entre <u>(880-900) MHz</u>173
4.178	Ganancia básica de propagación en función de los distintos puntos de medida de la <u>fila derecha</u> utilizando antenas que trabajan entre <u>(300-320) MHz</u>174
4.179	Ganancia básica de propagación en función de los distintos puntos de medida de la <u>fila derecha</u> utilizando antenas que trabajan entre <u>(400-420) MHz</u>174
4.180	Ganancia básica de propagación en función de los distintos puntos de medida de la <u>fila derecha</u> utilizando antenas que trabajan entre <u>(880-900) MHz</u>175

FIGURAS ESCENARIO 7

4.181	Esquema representativo de la vista de planta del escenario 7.1176
4.182	Ganancia básica de propagación en cada punto de medida utilizando las antenas que resuenan a <u>125 MHz</u>177
4.183	Ganancia básica de propagación en cada punto de medida utilizando las antenas que resuenan a <u>150 MHz</u>177
4.184	Esquema representativo de la vista de planta del escenario 7.2178
4.185	Ganancia básica de propagación en cada punto de medida utilizando las antenas que resuenan a <u>125 MHz</u>179
4.186	Ganancia básica de propagación en cada punto de medida utilizando las antenas que resuenan a <u>150 MHz</u>179

FIGURAS ESCENARIO 8

4.187	Esquema representativo de la vista de planta del escenario 8181
4.188	Calibración a cero entre 300 MHz y 320 MHz.....182
4.189	Ganancia básica de inserción frente a la frecuencia para los 3 sujetos.....183
4.190	Rango de valores que toma la ganancia básica de inserción en cada punto de medida para el sujeto <u>1</u> entre <u>(300-320) MHz</u>184
4.191	Rango de valores que toma la ganancia básica de inserción en cada punto de medida para el sujeto <u>2</u> entre <u>(300-320) MHz</u>184
4.192	Rango de valores que toma la ganancia básica de inserción en

	cada punto de medida para el sujeto 3 entre <u>(300-320) MHz</u>	185
4.193	Rango de valores que toma la ganancia básica de inserción en cada punto para todos los sujetos entre <u>(300-320) MHz</u>	185
4.194	Rango de valores que toma la ganancia básica de inserción en cada punto de medida para el sujeto 1 entre <u>(400-420) MHz</u>	186
4.195	Rango de valores que toma la ganancia básica de inserción en cada punto de medida para el sujeto 2 entre <u>(400-420) MHz</u>	186
4.196	Rango de valores que toma la ganancia básica de inserción en cada punto de medida para el sujeto 3 entre <u>(400-420) MHz</u>	187
4.197	Rango de valores que toma la ganancia básica de inserción en cada punto para todos los sujetos entre <u>(400-420) MHz</u>	187
4.198	Rango de valores que toma la ganancia básica de inserción en cada punto de medida para el sujeto 1 entre <u>(880-900) MHz</u>	188
4.199	Rango de valores que toma la ganancia básica de inserción en cada punto de medida para el sujeto 2 entre <u>(880-900) MHz</u>	188
4.200	Rango de valores que toma la ganancia básica de inserción en cada punto de medida para el sujeto 3 entre <u>(880-900) MHz</u>	189
4.201	Rango de valores que toma la ganancia básica de inserción en cada punto para todos los sujetos entre <u>(880-900) MHz</u>	189

FIGURAS ESCENARIO 9

4.202	Vista de perfil de un esquema en el que se refleja la situación del escenario 9 Tx desde el interior y Rx desde el exterior del edificio C de la EPS.....	190
4.203	Rango de valores que toma la ganancia básica de inserción en cada punto de medida para el sujeto 1 entre <u>(300-320) MHz</u>	191
4.204	Rango de valores que toma la ganancia básica de inserción en cada punto de medida para el sujeto 2 entre <u>(300-320) MHz</u>	191
4.205	Rango de valores que toma la ganancia básica de inserción en cada punto de medida para el sujeto 3 entre <u>(300-320) MHz</u>	192
4.206	Rango de valores que toma la ganancia básica de inserción en cada punto para todos los sujetos entre <u>(300-320) MHz</u>	192
4.207	Rango de valores que toma la ganancia básica de inserción en	

	cada punto de medida para el sujeto 1 entre (400-420) MHz	193
4.208	Rango de valores que toma la ganancia básica de inserción en cada punto de medida para el sujeto 2 entre (400-420) MHz	193
4.209	Rango de valores que toma la ganancia básica de inserción en cada punto de medida para el sujeto 3 entre (400-420) MHz	194
4.210	Rango de valores que toma la ganancia básica de inserción en cada punto para todos los sujetos entre (400-420) MHz	194
4.211	Rango de valores que toma la ganancia básica de inserción en cada punto de medida para el sujeto 1 entre (880-900) MHz	195
4.212	Rango de valores que toma la ganancia básica de inserción en cada punto de medida para el sujeto 2 entre (880-900) MHz	195
4.213	Rango de valores que toma la ganancia básica de inserción en cada punto de medida para el sujeto 3 entre (880-900) MHz	196
4.214	Rango de valores que toma la ganancia básica de inserción en cada punto para todos los sujetos entre (880-900) MHz	196

FIGURAS ESCENARIO 10

4.215	Esquema representativo de la vista de planta del escenario 10	197
4.216	Posiciones en las que se colocan los distintos sujetos dentro del aula.....	197
4.217	Rango de valores que toma la ganancia básica de inserción en cada punto de medida para el sujeto 1 entre (300-320) MHz	198
4.218	Rango de valores que toma la ganancia básica de inserción en cada punto de medida para el sujeto 2 entre (300-320) MHz	198
4.219	Rango de valores que toma la ganancia básica de inserción en cada punto de medida para el sujeto 3 entre (300-320) MHz	199
4.220	Rango de valores que toma la ganancia básica de inserción en cada punto para todos los sujetos entre (300-320) MHz	199
4.221	Rango de valores que toma la ganancia básica de inserción en cada punto de medida para el sujeto 1 entre (400-420) MHz	200
4.222	Rango de valores que toma la ganancia básica de inserción en cada punto de medida para el sujeto 2 entre (400-420) MHz	200

4.223	Rango de valores que toma la ganancia básica de inserción en cada punto de medida para el sujeto 3 entre (400-420) MHz	201
4.224	Rango de valores que toma la ganancia básica de inserción en cada punto para todos los sujetos entre (400-420) MHz	201
4.225	Rango de valores que toma la ganancia básica de inserción en cada punto de medida para el sujeto 1 entre (880-900) MHz	202
4.226	Rango de valores que toma la ganancia básica de inserción en cada punto de medida para el sujeto 2 entre (880-900) MHz	202
4.227	Rango de valores que toma la ganancia básica de inserción en cada punto de medida para el sujeto 3 entre (880-900) MHz	203
4.228	Rango de valores que toma la ganancia básica de inserción en cada punto para todos los sujetos entre (880-900) MHz	203

FIGURAS ESCENARIO 11

4.229	Vista de planta de un esquema en el que se refleja la situación del escenario 11.1 Tx desde el interior y Rx desde el exterior del edificio C de la EPS.....	205
4.230	Vista de planta de un esquema en el que se refleja la situación del escenario 11.2 Tx desde el interior y Rx desde el exterior del edificio C de la EPS.....	205
4.231	Ganancia básica de propagación en función de la distancia a la puerta utilizando antenas que trabajan entre (300-320) MHz	206
4.232	Ganancia básica de propagación en función de la distancia a la puerta utilizando antenas que trabajan entre (400-420) MHz	206
4.233	Ganancia básica de propagación en función de la distancia a la puerta utilizando antenas que trabajan entre (880-900) MHz	207
4.234	Ganancia básica de propagación en función de la distancia hacia la derecha utilizando antenas que trabajan entre (300-320) MHz	209
4.235	Ganancia básica de propagación en función de la distancia hacia la derecha utilizando antenas que trabajan entre (400-420) MHz	209
4.236	Ganancia básica de propagación en función de la distancia hacia la derecha utilizando antenas que trabajan entre (880-900) MHz	210

FIGURAS ESCENARIO 12

4.237	Esquema representativo de la vista de perfil del escenario 12	211
4.238	Ganancia básica de propagación en función de los distintos puntos de medida utilizando antenas que trabajan entre (300-320) MHz	212
4.239	Ganancia básica de propagación en función de los distintos puntos de medida utilizando antenas que trabajan entre (400-420) MHz	212
4.240	Ganancia básica de propagación en función de los distintos puntos de medida utilizando antenas que trabajan entre (880-900) MHz	213
4.241	Esquema representativo de la vista de perfil del escenario 6.2	214
4.242	Ganancia básica de propagación en función de los distintos puntos de medida utilizando antenas que trabajan entre (300-320) MHz	214
4.243	Ganancia básica de propagación en función de los distintos puntos de medida utilizando antenas que trabajan entre (400-420) MHz	215

INDICE DE TABLAS

2.1	Valores de los factores de pérdidas.....	14
2.2	Parámetros de propagación en interiores según el tipo de edificio.....	16
2.3	Pérdidas de propagación en interiores según el tipo de material	16
2.4	Bandas en las que se divide la radiofrecuencia.....	21
4.1	Resultados de la ganancia básica de propagación en cada punto de medida del escenario 1.....	113
4.2	Resultados de la ganancia básica de propagación en cada punto de medida del escenario 2.1.....	119
4.3	Resultados de la ganancia básica de propagación en cada punto de medida del escenario 2.2.....	122
4.4	Resultados de la ganancia básica de propagación en cada punto de medida del escenario 2.3.....	124
4.5	Resultados de la ganancia básica de propagación en cada punto de medida del escenario 5.....	169
4.6	Resultados de la ganancia básica de propagación en cada punto de medida del escenario 7.1.....	180
4.7	Resultados de la ganancia básica de propagación en cada punto de medida del escenario 7.2.....	180
4.8	Tabla con las características de los sujetos analizados.....	182
4.9	Resultados de la ganancia básica de propagación En cada punto de medida del escenario 11.....	208
4.10	Resultados de la ganancia básica de propagación En cada punto de medida del escenario 11.2.....	210
4.11	Búsqueda de la sensibilidad del escenario 11.2.....	210
4.12	Resultados de la ganancia básica de propagación En cada punto de medida del escenario 12.....	213
4.13	Resultados de la ganancia básica de propagación En cada punto de medida del escenario 12.2.....	215

1

Introducción

1.1 Introducción general

Desde los orígenes de la humanidad, uno de los objetivos primordiales del ser humano, ha sido el poder comunicarse con sus semejantes. Conforme han ido avanzando las habilidades humanas, a la par, han ido avanzando los medios que tenemos para transmitir información, desde las señales de humo, pasando por el telégrafo, hasta la telefonía móvil.

Para entender mejor los objetivos perseguidos con la realización de este Proyecto Fin de Carrera, en esta breve introducción es conveniente familiarizar al lector con una serie de conceptos, con el fin de facilitar la comprensión de este documento.

Se llama *propagación* al conjunto de fenómenos físicos que conducen a las ondas del transmisor al receptor, en el caso que nos atañe, la propagación se hará de manera inalámbrica. Las *transmisiones inalámbricas* o también llamadas medios no guiados, llevan a cabo la transmisión y la recepción por medio de antenas.

Al hablar de transmisión inalámbrica, otro término que es interesante conocer es el de radiofrecuencia. La *radiofrecuencia* (ó espectro de radiofrecuencia ó RF) es un término utilizado para referirnos a la corriente alterna con características tales que si con ella alimentamos una antena, se genera un campo electromagnético adecuado para la transmisión de manera inalámbrica. La radiofrecuencia cubre desde unos pocos KHz, hasta muchos GHz. De entre todas las bandas en las que se divide la radiofrecuencia, nosotros trabajaremos en UHF (Ultra High Frequency), que cubre desde 300MHz, hasta 3 GHz.

Entendemos por *atenuación* de una señal, la pérdida de potencia sufrida por la misma al transitar por cualquier medio de transmisión en un canal obstruido (con la presencia de objetos entre Tx y Rx), esta atenuación puede ser provocada por la distancia entre transmisor y receptor, por paredes, ventanas, puertas, tipo de edificio, diferencia entre plantas ó movimiento de personas y objetos (en entornos indoor), y cualquier objeto que se pueda encontrar en el exterior, en entornos outdoor. Adicionalmente, nos encontraremos con otras pérdidas, provocadas por la atenuación introducida por los cables.

1.2 Motivación y objetivos

La principal ventaja de la transmisión UHF es la longitud de onda corta. El tamaño de las antenas transmisora y receptora está relacionado con el tamaño de la onda. La banda UHF es ampliamente usada en sistemas de transmisión y recepción para teléfonos inalámbricos. Las señales UHF viajan a través de trayectorias que son las líneas de vista. Las transmisiones generadas por radios de transmisión y recepción (transceptores) y teléfonos inalámbricos no viajan muy lejos de la distancia de la vista directa (LoS) como para interferir con las transmisiones locales de otros sistemas. Algunas comunicaciones públicas seguras y de negocios son tomadas en UHF. Aquí es donde empezamos a vislumbrar el objetivo de este proyecto.

Todas las medidas que se realizan a lo largo del proyecto, nos sirven para estudiar y comprender mejor el comportamiento de la señal en los entornos analizados, para las distintas frecuencias analizadas, para así poder caracterizar convenientemente el medio de transmisión. Este estudio me parece especialmente motivante ya que gracias a él se podrán aplicar medidas a posteriori para proporcionar un servicio de una determinada calidad.

Por tanto, con este proyecto se persigue el aumento del conocimiento sobre el comportamiento de la propagación, para poder incrementar su utilización dentro de la banda UHF (entre 300 MHz y 3GHz). El proyecto consistirá en el diseño de 6 antenas (que funcionarán entre (300–320) MHz, (400-420) MHz y (880-900) MHz), su construcción y la realización de medidas en diferentes entornos, tanto interiores como exteriores, en los que o bien variará la distancia entre las antenas transmisora y receptora, o bien se colocará alguna de ellas en distintos puntos dentro de cada escenario.

El objetivo de todas estas medidas, es el poder analizar las pérdidas de propagación, sus diferencias según el entorno en el que estemos trabajando, así como calcular empíricamente el efecto que tiene en la señal atravesar paredes y demás objetos que se puede encontrar en su recorrido entre transmisor y receptor, es decir, calcular la atenuación que introduce a la señal el atravesar estos objetos.

El estudio llevado a un caso práctico, nos servirá para poder garantizar la calidad de la transmisión y recepción de la señal en una hipotética guerra urbana, en el que los soldados se encuentren tanto en el exterior como en el interior de un edificio. (Hemos estudiado el edificio C de la EPS, pero tampoco habrá importantes variaciones en otros edificios similares).

Por tanto, nos interesa estudiar la atenuación y las pérdidas de propagación sufridas por la señal en distintos escenarios, para así poder conocer la potencia necesaria a entregar en la transmisión con el fin de garantizar un cierto nivel de señal en recepción.

Por tanto, estudiaremos todas las posibles situaciones que se podrían dar en esa hipotética guerra urbana, como sería que un soldado transmitiera desde una habitación y otro lo recibiera en distintas posiciones de alguna de las habitaciones cercanas, o que un soldado transmitiera con objetos y personas entre él y el receptor, que el envío de información se hiciera a través de un pasillo... y por supuesto también nos interesará especialmente el efecto de la distancia entre soldados.

Para poder efectuar un estudio válido, al analizar las posibles situaciones, se colocarán tanto la antena transmisora como la receptora a una distancia de 1.5 m respecto del suelo, ya que hemos estimado que es la altura media a la que un soldado llevaría un equipo de radio.

Así, una vez finalizado el estudio, dispondremos de los suficientes datos para poder caracterizar convenientemente el entorno analizado, tanto la influencia que tiene la presencia de distintos obstáculos y la distancia a los mismos en la atenuación, como el efecto que tienen las distintas situaciones estudiadas en las pérdidas de propagación.

1.3 Organización de la memoria

La memoria está dividida en cinco capítulos:

El primero de estos capítulos sirve a modo de introducción general, se presentan los objetivos, las motivaciones, y por tanto se explica el porque de la realización de este Proyecto Fin de Carrera, así como la organización del mismo.

En el segundo capítulo, se explican detalladamente aquellos conceptos que el autor considera que son convenientes conocer para poder entender el resto del documento. Se explican términos relacionados con la propagación (como propagación en interiores y exteriores, porque se producen...). Posteriormente, en este mismo capítulo, se explica una teoría más general, pero igualmente necesaria (Comunicaciones inalámbricas, espectro de radiofrecuencia, características de la banda UHF, teoría básica sobre distribuciones de probabilidad...).

En el tercer capítulo, Diseño y Desarrollo, comienza con una breve teoría básica sobre antenas, continua con la explicación de cómo se diseñaron y construyeron las antenas. Luego se realiza una breve explicación sobre los parámetros S y el funcionamiento del analizador de redes, para luego poder comprobar si las antenas funcionan como deberían. También se explica brevemente el funcionamiento del generador de señales y el analizador de espectros. En resumen, en este capítulo se explica todo lo que falta por conocer antes de realizar la campaña de medidas.

En el cuarto capítulo se presentan los escenarios, datos y resultados que se obtuvieron en la campaña de medidas de cada escenario. Estos datos fueron procesados previamente con Matlab, por lo que se presentan en forma de gráficas para cada uno de los escenarios.

En el quinto capítulo se exponen las conclusiones de este Proyecto Fin de Carrera, y a continuación aparecen algunos anexos (códigos de Matlab y datos del analizador)

Por último se presentan una serie de anexos (publicaciones, presupuesto...)

2

Teoría Relacionada

2.1 Propagación

Cuando una onda de radio choca con un obstáculo, parte de la onda se refleja y experimenta una cierta pérdida de la intensidad. La reflexión es tal que el ángulo de incidencia equivale al ángulo de reflexión.

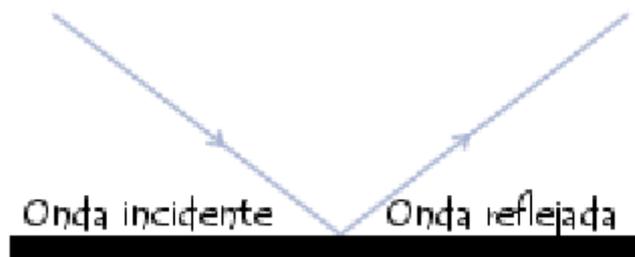


Figura 2-1: Reflexión de una onda

Por definición, una onda de radio es susceptible de propagarse en varias direcciones. Después de reflejarse varias veces, una señal de origen puede llegar a una estación o punto de acceso después de tomar muchas rutas diferentes (llamadas multitrayecto).

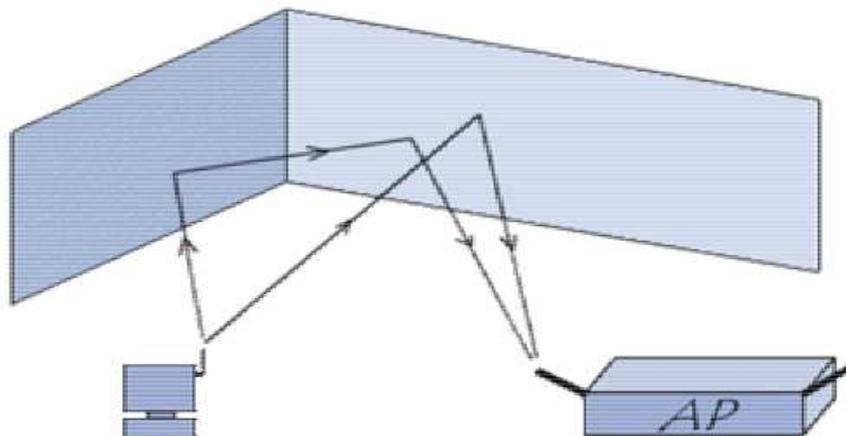


Figura 2-2: Onda con multitrayecto

La diferencia temporal en la propagación (llamada retraso de propagación) entre dos señales que toman diferentes rutas puede interferir en la recepción, ya que los flujos de datos que se reciben se superponen entre sí.

Conforme aumenta la directividad de las antenas, la trayectoria principal tiene más intensidad respecto del resto de trayectorias, y nos dará pérdidas parecidas al espacio libre, mientras las otras nos harán desviarnos más o menos de las mismas.

En el caso de los escenarios en interiores, la situación general es tener 9 trayectorias de propagación significativas [1].

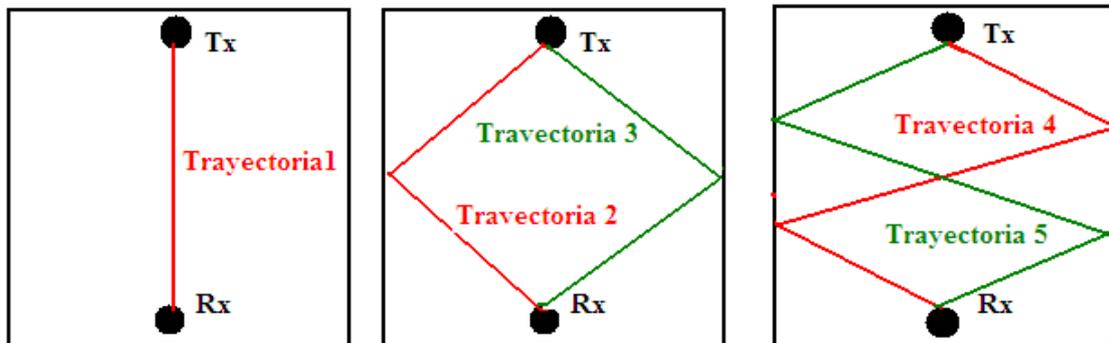


Figura 2-3: Trayectorias de propagación en un escenario interior visto de planta

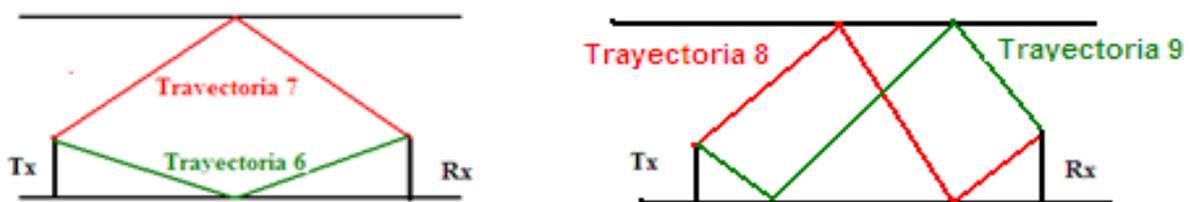


Figura 2-4: Trayectorias de propagación en un escenario interior visto de perfil (reflexión con el suelo y el techo)

La trayectoria 1, es la que mayor intensidad de señal tiene ya que no se refleja en ningún sitio. Si tuviéramos en cuenta esta trayectoria, los resultados nos darían similares a la propagación por el espacio libre, pero la aportación de las otras cuatro trayectorias que sufren reflexión en algún punto de los planos superior, inferior y laterales, provocara que los resultados se acerquen o alejen de las pérdidas por el espacio libre.

En contraposición, en las medidas estudiadas en los escenarios exteriores, en general, solo tendremos el rayo principal y el reflejado en el plano inferior, y en algún caso particular los rayos reflejados en los planos laterales. Esto supone que las medidas en exteriores en zonas abiertas se aproximarán mas a las pérdidas en el espacio libre.

Un fenómeno que también tenemos que tener en cuenta en la propagación de las señales de radio, es el fenómeno de difracción. La difracción es un fenómeno característico de las ondas, éste se basa en el curvado y esparcido de las ondas cuando encuentran un obstáculo o al atravesar una rendija. La difracción ocurre en todo tipo de ondas, desde ondas sonoras, ondas en la superficie de un fluido y ondas electromagnéticas como la luz y las ondas de radio.

El fenómeno de la difracción es un fenómeno de tipo interferencial y como tal requiere la superposición de ondas coherentes entre sí.

En nuestro caso, este fenómeno aparecerá cuando una de las trayectorias de la señal se encuentre con un objeto metálico, especialmente, si la altura del objeto es la misma que la altura de las antenas.

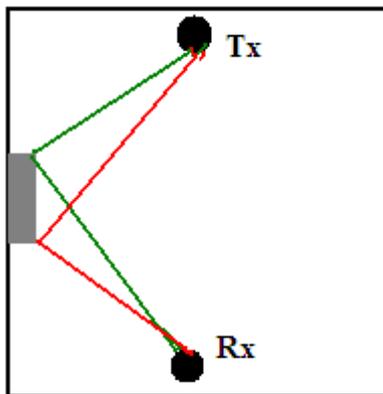


Figura 2-5: Trayectorias por difracción
vista de planta

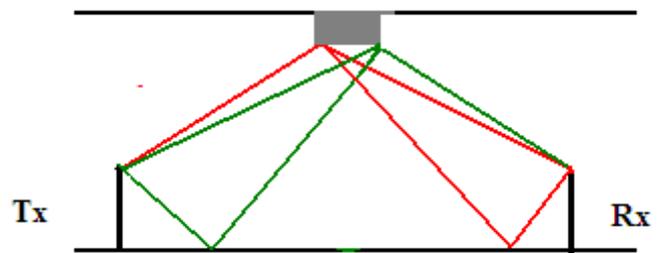


Figura 2-6: Trayectorias por difracción
vista de perfil

2.2 Modelos de propagación

Un modelo de propagación es un conjunto de expresiones matemáticas, diagramas y algoritmos usados para representar las características de radio de un ambiente dado. Generalmente los modelos de predicción se pueden clasificar en empíricos (también llamados estadísticos), teóricos (también llamados determinísticos) o una combinación de estos dos (semi-empíricos). Mientras que los modelos empíricos se basan en mediciones, los modelos teóricos se basan en los principios fundamentales de los fenómenos de propagación de ondas de radio.

En los modelos empíricos, todas las influencias ambientales se tienen en cuenta implícitamente, sin importar que ellas puedan identificarse por separado. Esta es la principal ventaja de estos modelos. Por otro lado, la precisión de estos modelos no sólo depende de la exactitud de las mediciones, sino también de las similitudes entre el ambiente para ser analizado y el ambiente dónde las mediciones se llevan a cabo. La eficiencia computacional de estos modelos es generalmente satisfactoria. Los modelos determinísticos están basados en los principios de la física y, debido a eso, pueden aplicarse a ambientes diferentes sin afectar la exactitud. En la práctica, su implementación requiere normalmente una base de datos grande de características ambientales que a veces son imprácticas o imposibles de obtener. Los algoritmos usados por los modelos determinísticos normalmente son muy complejos y carecen de eficiencia computacional. Por tal razón, la aplicación de los modelos determinísticos, normalmente se restringe a áreas más pequeñas o interiores. No obstante, si los modelos determinísticos son implementados correctamente, puede esperarse mayor exactitud de la predicción que en el caso de los modelos empíricos.

Los modelos de propagación predicen la pérdida por trayectoria que una señal de RF puede tener entre una estación base y un receptor, sea móvil o fijo.

La ventaja de modelar radio canales teniendo en cuenta las características de la trayectoria entre transmisor y receptor, es conocer la viabilidad de los proyectos que se deseen planear en determinados sectores, de esta manera se podrá hacer una estimación acerca de la necesidad, costos y capacidad de los equipos requeridos (especificaciones técnicas).

2.2.1.1 Modelos de propagación en interiores

Con la llegada de los Servicios de Comunicación Personal (PCS) se ha incrementado el interés en caracterizar la radio propagación dentro de edificios. Estos modelos difieren de los modelos tradicionales de telefonía móvil en dos aspectos principales: Primero, las distancias a considerar son mucho más pequeñas y segundo, la variabilidad del ambiente es mucho mayor tomando en cuenta el pequeño rango de separación entre transmisor y receptor. La radio propagación de interiores es dominada por los mismos mecanismos que la de exteriores: reflexión, difracción, refracción y dispersión. Sin embargo las condiciones varían mucho más en función de diferentes factores físicos que involucran tanto el diseño de los edificios, como su altura y los materiales con los que son construidos. En general los canales de propagación de interiores (indoor channels) pueden ser clasificados en dos: Línea de Vista (LoS) y canal con obstrucciones (OBS) .

LoS: Line of Sight, es decir, existe visión directa entre transmisor y receptor.

OBS: Obstruidos, con distintos tipos de obstaculización. En este caso si que puede haber obstáculos físicos como paredes, muebles, ventanas, personas, o el suelo y el techo entre plantas



Figura 2-7: Sistema de Tx y Rx RF indoor

- Modelo de pendiente única (One-Slope model)

Es el modelo de propagación más simple que presenta una dependencia lineal entre la pérdida de propagación y la distancia. Es un método muy fácil de usar y de implementar y las pérdidas vienen dadas por [2]:

$$L_p = L_0 + 10 n_1 \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + \xi_1 \quad (2.1)$$

Lo son las pérdidas a la distancia de referencia, n es el índice de propagación y d es la distancia entre transmisor y receptor.

- Modelo de pendiente doble (Two-Slope model)

Es un modelo de propagación muy similar al anterior, con la única salvedad de que el camino para el cual se van a calcular las pérdidas de propagación se divide en 2 partes, la primera hasta una distancia d , y la segunda después de ella.

$$L_p(dB) = \begin{cases} L_0 + 10 n_1 \log_{10}(d_b) + \xi_1 & d \leq d_b \\ L_1 + 10 n_2 \log_{10}(d / d_b) + \xi_2 & d > d_b \end{cases} \quad (2.2)$$

Lo son las pérdidas a la distancia de referencia, n_1 es el índice de propagación de la primera parte, d es la distancia entre transmisor y receptor y d_b es la distancia elegida a partir de la cual las pérdidas de propagación se aproximan por lo segunda parte de la ecuación, en la que L_1 son las pérdidas de propagación a la distancia d_b y n_2 es el índice de propagación de la segunda parte del recorrido.

Este modelo es el que se utilizará en este PFC cuando se quieran representar las pérdidas de propagación en función de la distancia, con la única salvedad de que en vez de pérdidas, se representará la Ganancia Básica de Propagación, y por tanto los valores serán negativos en vez de positivos como eran cuando se representaban las pérdidas

- Modelo de pérdida de trayecto teniendo en cuenta las pérdidas introducidas por las paredes y entreplantas basado en COST-231

Este es el modelo de propagación indoor utilizado en UMTS. Se ha recogido del ETSI TR-101-112 Ch. B.1.8, la cual es una especificación de los procedimientos seleccionados para la elección de las tecnologías de transmisión de radio para UMTS.

Este modelo da la pérdida en espacio libre (LOS) más la pérdida introducida por las paredes y obstáculos. La pérdida introducida por el número de plantas que se atraviesan en la comunicación no es una función lineal y viene dada por un factor b

$$L = L_{FS} + L_C + \sum K_{wi} L_{wi} + n^{\left(\frac{n+2}{n+1}b\right)} L_f \quad (2.3)$$

Donde

L_{FS} = Pérdida en espacio libre entre transmisor y receptor

L_C = Constante de pérdida (Suele fijarse en 37 dB)

K_{wi} = Número de paredes de tipo i penetradas

n = Número de suelos penetrados.

L_{wi} = Pérdida debida a los muros de tipo i

L_f = Pérdida entre suelos adyacente.

b = Parámetro empírico.

Tabla 2-1: Valores de L_f y L_w

	Descripción	Factor (dB)
L_f	Suelos (estructura típica) - Baldosas - Revestimiento de hormigón - Espesor típico < 30 cm	18.3
L_{w1}	Muros internos finos - Yeso - Muros con muchos huecos (ventanas)	3.4
L_{w2}	Muros internos - Hormigón, ladrillos - Mínimo número de huecos	6.9

- Modelo basado en el número de muros y suelos (simplificado)

Caracteriza la pérdida de trayecto en interior por un exponente fijo de 2 (como en el espacio libre) y unos factores de pérdida relacionados con el número de suelos y muros que atraviesa la línea recta entre emisor y receptor.

$$L = L_1 + 20\log_{10}(r) + n_f a_f + n_w a_w \quad (2.4)$$

$$L_T = L_{FS} + L \quad (2.5)$$

Donde:

r = Distancia en metros en línea recta

L_1 = Pérdida de referencia con $r=1$ metro

a_f = Atenuación por cada suelo que atraviesa

a_w = Atenuación por cada muro que atraviesa

n_f = Número de suelos que atraviesa

n_w = Número de muros que atraviesa

L_{FS} = Pérdidas en el espacio libre.

Modelo de atenuación lineal , LAM (Linear Attenuation Model)

Es un modelo que asume que el exceso de pérdida esta linealmente relacionado con la distancia.

$$L = L_{FS} + \alpha_x d \quad (2.6)$$

En esta expresión, α es el coeficiente de atenuación y se expresa en dB/m.

Este modelo se utiliza en túneles a partir de una distancia d .

- Factores de pérdidas en la propagación en interiores:

En las comunicaciones por radio siempre se producen pérdidas debido a muchos factores, pero no siempre nos van a afectar todas. Tenemos que ponernos siempre en la peor situación para llegar a resultados que sean lo más fiables posibles. En nuestro caso siempre vamos a establecer una comunicación con la antena base estando situados en el interior de un edificio en el que podemos encontrar los siguientes tipos de pérdidas:

Debidas a muros y paredes.

Debidas a la diferencia entre plantas.

De la señal al atravesar muros dentro del edificio.

Causadas por el mobiliario y el movimiento de las personas.

Debidas al tipo de edificio.

Tabla 2-2: Parámetros según el tipo de edificio [1]

Tipo de edificio	Frecuencia (MHz)	n	Sigma (dB)
Grandes superficies	914	2.2	8.7
Tienda alimentación	914	1.8	5.2
Oficina con paredes	1500	3.0	7.0
Oficina con biombo	900	2.4	9.6
Oficina con biombo	1900	2.6	14.1
Casa suburbana	900	3.0	7.0

Parámetros según tipo de edificio

Tabla 2-3: Pérdidas según el tipo de material [1]

Materia	Pérdidas (dB)	Frecuencia (MHz)
Todo de metal	26	815
Aluminio	20-4	815
Una pared	3-9	1300
Entre plantas	20-30	1300
Esquinas de pasillos	10-15	1300
Una planta	10	1300

Pérdidas según tipo de material

2.2.2.1. Modelos de propagación en exteriores

Generalmente los sistemas de transmisión de comunicación móvil, son instalados en zonas o sectores de superficies irregulares. Dicha característica debe ser tomada en cuenta para poder estimar las pérdidas por propagación. Los modelos de propagación "outdoor" son una herramienta muy útil para estas situaciones, los cuales consideran parámetros como el perfil del terreno, que puede variar en diferentes características (por ejemplo montañoso o muy inclinado) así como los demás elementos que también deben ser tomados en cuenta, tales como la presencia de árboles, edificios y otros obstáculos. Mientras todos estos modelos se usan para predecir la intensidad de la señal en un punto receptor particular o en un área local específica (llamada sector), los métodos varían ampliamente en su aproximación, complejidad, y exactitud. La mayoría de estos modelos están basados en una interpretación sistemática de la medición de datos obtenidos en el área de servicio.

En el campo Outdoor existen muchos más modelos, debido principalmente a que se utilizan desde hace mucho tiempo. Dentro de los modelos Outdoor se puede hacer una clasificación atendiendo al tamaño del área de cobertura. Así los modelos que cubren áreas del orden de varias decenas de Km, con emisiones de potencia de varias decenas de vatios, desde antenas bastante elevadas se clasifican como macroceldas.

Los modelos que cubren áreas del orden de 200 a 1000 metros, con emisiones de potencia del orden de 10 mW a 1W y antenas de entre 3 a 10 metros se clasifican como microceldas. Por ejemplo una calle con la antena en un tejado de los edificios de alrededor.

Existen multitud de modelos para macroceldas, entre otros: el Modelo de Bullington, el Modelo de Okumura, el Modelo ITU (CCIR), el Modelo Hata, el Modelo Ericsson 9999, el Modelo Lee, el Modelo COST 231-Walfisch-Ikegami, el Modelo ANN y muchos más.

No entraremos en profundidad en dichos modelos, ya que nuestro enlace cubre hasta 32m como mucho, por lo que nos servirá con los modelos de pendiente simple y doble.

2.2.2.2 Pérdidas de propagación en exteriores

En el exterior, si consideramos un escenario sin obstáculos, las únicas pérdidas que tendremos serán las provocadas por el espacio libre (considerando que no existieran pérdidas por la presencia de edificios próximos, objetos que nos pudieran interferir y que el terreno fuera totalmente firme).

Pérdidas por espacio libre: Se definen como el cociente entre la potencia radiada por la antena transmisora y la captada por la antena receptora.

$$L_p [\text{dB}] = 10 \log_{10}((4 \pi d) / \lambda) \quad (2.7)$$

En dB, utilizando unidades prácticas se puede expresar como

$$L_p [\text{dB}] = 32.45 + 20\log_{10}(f) + 20\log_{10}(d) \quad (2.8)$$

Donde f es la frecuencia expresada en MHz y d la distancia expresada en Km.

Es muy importante el hecho de que estas pérdidas son totalmente independientes de la antena (de su tipo, características, ganancia...) ya que se deben a que la onda electromagnética al propagarse se atenúa según la ley de la inversa de la distancia.



Figura 2-8: Sistema de Tx y Rx RF outdoor

2.3 Comunicación inalámbrica

2.3.1 Introducción

El simple hecho de ser seres humanos nos hace desenvolvernos en medios donde tenemos que estar comunicados. Por eso la gran importancia de la transmisión y la recepción de información. Además ahora, cada vez mas los seres humanos necesitan libertad de comunicación, es decir, poder seguir comunicándose sin necesidad de estar en un lugar determinado. Por ello, se hace cada vez más necesaria la transmisión y recepción de información independientemente del lugar en el que esté el usuario, y para ello, uno de los temas mas importantes actualmente dentro de las telecomunicaciones es la comunicación inalámbrica [3].

La comunicación inalámbrica o sin cables es aquella en la que extremos de la comunicación (emisor/receptor) no se encuentran unidos por un medio de propagación físico, sino que se utiliza la modulación de ondas electromagnéticas a través del espacio. En este sentido, los dispositivos físicos sólo están presentes en los emisores y receptores de la señal, entre los cuales encontramos: antenas, computadoras portátiles, PDA, teléfonos móviles, etc.

La comunicación inalámbrica, que se realiza a través de ondas de radiofrecuencia, facilita la operación en lugares donde el transmisor, el receptor, o ambos, no se encuentran en una ubicación fija (almacenes, oficinas de varios pisos, etc.); pero se trata de una tecnología sometida a investigación que en el futuro será utilizada de forma general.

Cabe también mencionar actualmente que las redes cableadas presentan ventaja en cuanto a transmisión de datos sobre las inalámbricas. Mientras que las cableadas proporcionan velocidades de hasta 1 Gbps (Red Gigabit), las inalámbricas alcanzan sólo hasta 108 Mbps.

Sin embargo, esta situación no quiere decir que las redes cableadas vayan a ser suplantadas. Mas bien la instalación de redes inalámbricas servirá de complemento a las redes cableadas con el objetivo de proporcionar movilidad a un determinado número de usuarios. Se puede realizar una “mezcla” entre inalámbricas y fijas, de manera que pueden funcionar de la siguiente manera: que el sistema cableado sea la parte principal y la inalámbrica sea la que le proporcione movilidad al equipo y al operador para desplazarse con facilidad en distintos campo (almacén u oficina).

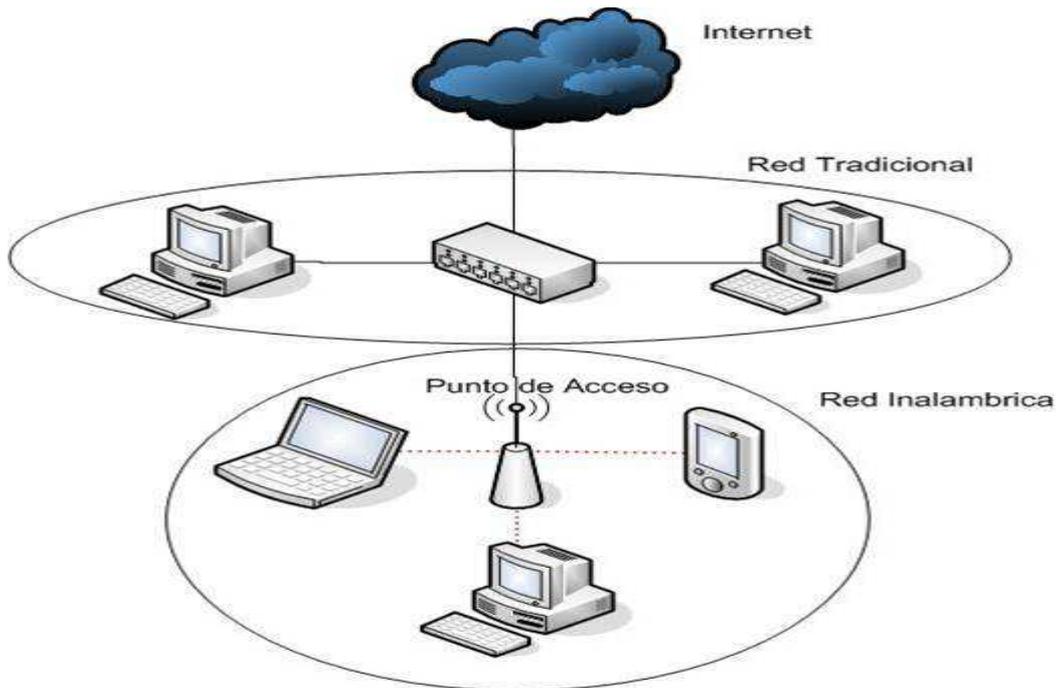


Figura 2-9: Ejemplo de una red cableada e inalámbrica

Actualmente, las transmisiones inalámbricas constituyen una eficaz herramienta que permite la transferencia de voz, datos y vídeo sin la necesidad de cableado. Esta transferencia de información es lograda a través de la emisión de ondas de radio teniendo dos ventajas: movilidad y flexibilidad del sistema en general.

En general, la tecnología inalámbrica utiliza ondas de radiofrecuencia de baja potencia y una banda específica, de uso libre para transmitir, entre dispositivos

2.4 Radiofrecuencia

2.4.1 Introducción

La radiofrecuencia (= espectro de radiofrecuencia = RF) es un termino utilizado para referirnos a la corriente alterna con características tales que si con ella alimentamos una antena, se genera un campo electromagnético adecuado para la transmisión de manera inalámbrica. La radiofrecuencia cubre desde unos pocos KHz, hasta muchos GHz.

Podemos dividir la radiofrecuencia en las siguientes bandas de espectro.

Tabla 2-4: - Valores en los que se divide el espectro RF

	BANDA	DENOMINACION	FREC. MINIMA	FREC. MAXIMA	λ MINIMA	λ MAXIMA
Bandas Marinas y Aeronauticas	ELF	Extremely Low Frequency	.	3 kHz	.	100 km
	VLF	Very Low Frequency	3 kHz	30kHz	100 km	10 km
	LF	Low Frequency	30 kHz	300 kHz	10 km	1 km
Radio Onda Media	MF	Medium Frequency	300 kHz	3 MHz	1 km	100 m
Radio Onda Corta	HF	High Frequency	3 MHz	30 MHz	100 m	10 m
TV y FM	VHF	Very High Frequency	30 MHz	300 MHz	10 m	1 m
Microondas	UHF	Ultra High Frequency	300 MHz	3 GHz	1 m	10 cm
	SHF	Super High Frequency	3 GHz	30 GHz	10 cm	1 cm
	EHF	Extremely High Frequency	30 GHz	300 GHz	1 cm	1 mm

La principal ventaja, es que las aplicaciones RF, igual que el resto de la tecnología electrónica, han venido experimentado una reducción de precios en favor de los usuarios, ya no son exclusivas de grandes empresas, hoy son accesibles y rentables incluso para las pequeñas organizaciones.

En este documento me centraré en las bandas UHF, aunque para la realización del proyecto construiremos antenas que trabajan en la banda de 300-320, 400-420 y 880-900 MHz (según la tabla anterior, la primera está en el límite entre VHF y UHF, y las otras dos están dentro de la banda UHF)

VHF- MUY ALTAS FRECUENCIAS

- Gama de Frecuencia: de 30 MHz a 300 MHz.
- Longitud de Onda: de 10 a 1 metros.
- Características: prevalentemente propagación directa, esporádicamente propagación Ionosférica o Troposférica.
- Uso Típico: Enlaces de radio a corta distancia, Televisión, Radiodifusión en Frecuencia Modulada.

UHF- ULTRA ALTAS FRECUENCIAS

- Gama de Frecuencia: de 300 MHz a 3.000 MHz.
- Longitud de Onda: de 1 metro a 10 centímetros.
- Características: Exclusivamente propagación directa, posibilidad de enlaces por reflexión o a través de satélites artificiales.
- Uso Típico: Enlaces de radio, RADAR, Ayuda a la navegación aérea, Televisión.

Si tratáramos de evaluar uno frente al otro, concluiríamos que ambos tienen ventajas, y que la decisión sobre qué banda es mejor utilizar dependerá en gran medida de la aplicación requerida, ya que en función de eso, las ventajas y desventajas de cada uno tendrán más o menos peso. Aunque en términos generales podríamos concluir que los sistemas UHF son por lo general más caros, por emplear componentes de ultra alta frecuencia y técnicas de construcción más costosas, por otra parte, estos sistemas tienen menos problemas de interferencias intersistemas, ya que hay menos transmisores operando a frecuencias que causen problemas, y además el ruido y las señales espurias de otros equipos se atenúan conforme aumenta la frecuencia.

2.4.2 Características y ventajas de la banda UHF

La transmisión punto a punto de ondas de radio se ve afectada por múltiples variables, como la humedad atmosférica o la corriente de partículas del sol llamada viento solar que varían según el momento en que se lleve a efecto la transmisión de la señal. La energía de la onda de radio es parcialmente absorbida por la humedad atmosférica (moléculas de agua). La absorción atmosférica reduce o atenúa la intensidad de las señales de radio para grandes distancias. Los efectos de la atenuación aumentan de acuerdo a la frecuencia. Usualmente, las bandas de señales de UHF se degradan más por la humedad que bandas de menor frecuencia como la VHF.

La principal ventaja de la transmisión UHF es la longitud de onda corta

El tamaño de las antenas utilizadas está relacionado con el tamaño de la onda. En este caso microondas. Las antenas más pequeñas, y menos aparatosos, se pueden usar con las bandas de alta frecuencia. La UHF es ampliamente usada en sistemas de transmisión y recepción para teléfonos inalámbricos.

Las señales UHF viajan a través de trayectorias que son las líneas de vista. Las transmisiones generadas por radios de transmisión y recepción (transceptores) y teléfonos inalámbricos no viajan muy lejos de la zona de vista directa como para interferir con otras transmisiones locales. Algunas comunicaciones públicas seguras y de negocios son tomadas en UHF. Las aplicaciones civiles como GMRS, PMR446, UHF CB, y los estándares WiFi 802.11b y 802.11g (los más habituales en Europa) son usos populares de frecuencias UHF. Para propagar señales UHF a una distancia más allá de la línea de vista se usa un repetidor.

2.5 Distribuciones de probabilidad

En teoría de la probabilidad y estadística, la distribución de probabilidad de una variable aleatoria es una función que asigna a cada suceso definido sobre la variable aleatoria la probabilidad de que dicho suceso ocurra. La distribución de probabilidad está definida sobre el conjunto de todos los eventos rango de valores de la variable aleatoria.

Cuando la variable aleatoria toma valores en el conjunto de los números reales, la distribución de probabilidad está completamente especificada por la función de distribución, cuyo valor en cada real x es la probabilidad de que la variable aleatoria sea menor o igual que x .

2.5.1 Normal o Gaussiana

Se llama distribución normal, distribución de Gauss o Distribución Gaussiana, a una de las distribuciones de probabilidad de variable continua que con más frecuencia aparece en fenómenos reales.

La gráfica de su función de densidad tiene una forma acampanada y es simétrica respecto de un determinado parámetro. Esta curva se conoce como campana de Gauss.

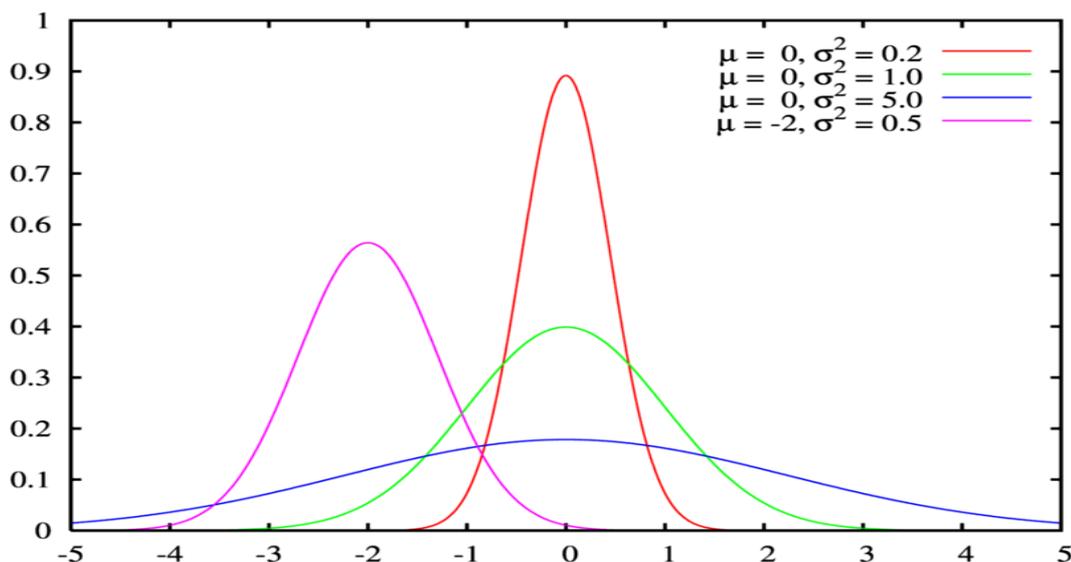


Figura 2-10: Distribución de probabilidad Gaussiana en función de distintos valores del valor medio y la desviación típica.

Viene dada por la siguiente ecuación:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma_{norm} \sqrt{2\Pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{z-\mu}{\sigma_{norm}}\right)^2} \quad (2.9)$$

Donde μ es la media y σ_{norm} la desviación típica.

2.5.2 Rayleigh

Se dice que una variable aleatoria tiene una distribución de Rayleigh si su densidad de probabilidad viene dada por

$$f(x; \sigma_{Ray}) = \frac{x}{\sigma_{Ray}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma_{Ray}^2}} \quad (2.10)$$

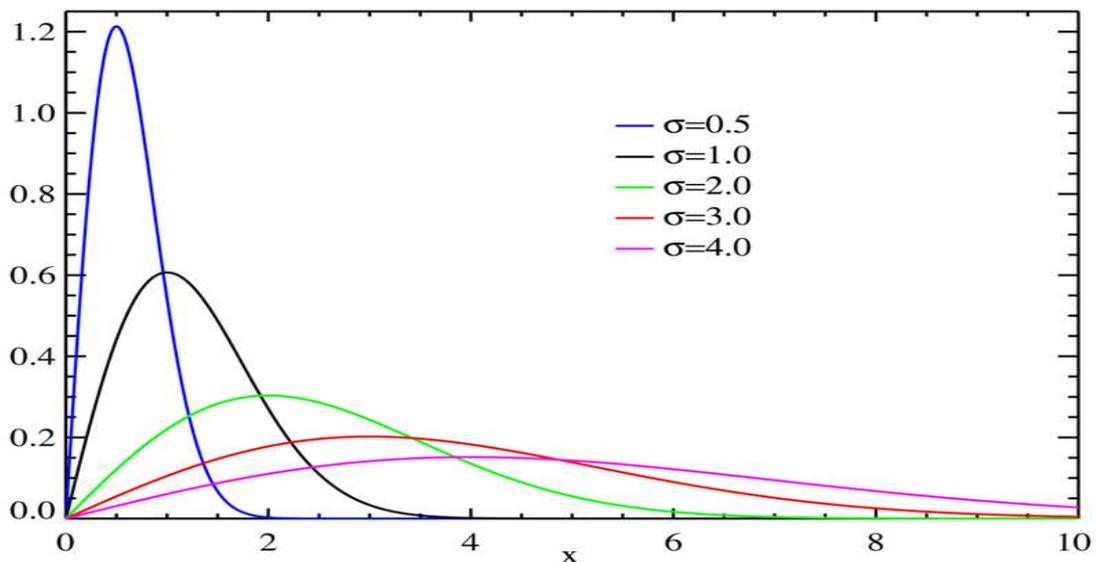


Figura 2-11: Distribución de probabilidad Rayleigh para distintos valores de la desviación típica

Donde σ_{Ray} se puede estimar por máxima verosimilitud de esta manera:

$$\sigma_{Ray} \approx \sqrt{\frac{1}{2N} \sum_{i=0}^N X_i^2} \quad (2.11)$$

En nuestro caso, x ha de ser tratada como potencia (en vez de cómo tensión), es decir:

$$x_{potencia} = 10^{\frac{x_{medidas}}{10}} \quad (2.12)$$

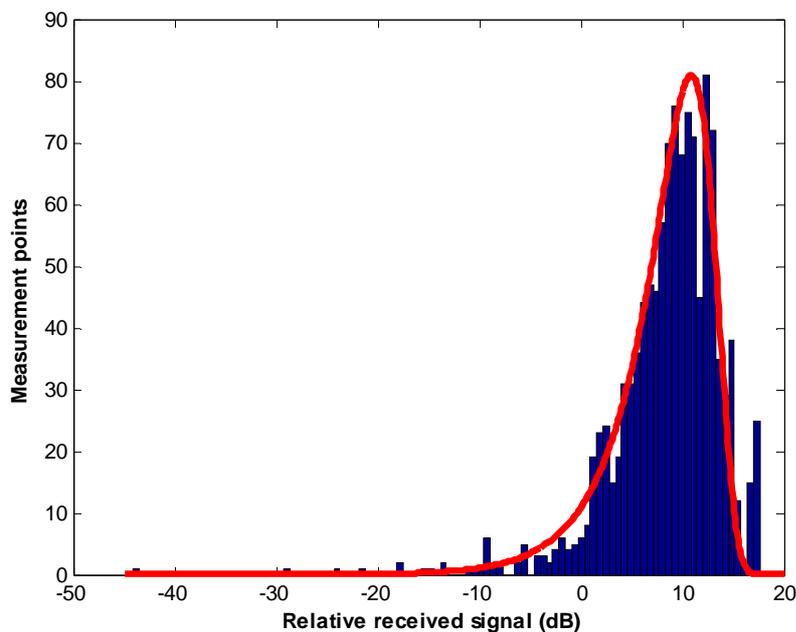


Figura 2-12: Histograma en el que se superpone la desviación de tipo Rayleigh en la que los valores de x son tratados como potencia

La distribución de tipo Rayleigh se pone de manifiesto cuando existe multitrayecto. La señal total recibida es una combinación de todas las señales que llegan al receptor a través de los diferentes caminos posibles. Al ser una combinación de todas estas señales, hay que tener en cuenta la fase, dado que hará variar la amplitud de la señal.

2.5.3 Combinación de Gaussiana y Rayleigh

En la práctica nos encontramos con que la gran mayoría de los enlaces radioeléctricos se pueden caracterizar por una combinación de una distribución Rayleigh y múltiples distribuciones normales, cumpliendo esta ecuación

$$f(x) = P_{Rayleigh} \times f(x)_{Rayleigh} + \sum_{n=1}^N P_{n,Normal} \times f(x)_{n,Normal} \quad (2.13)$$

Donde P es la contribución de cada distribución y f(x) es la propia distribución.

Se ha de cumplir que:

$$P_{Rayleigh} + \sum_{n=1}^N P_{n,Normal} = 1 \quad (2.14)$$

En nuestro caso analizamos los valores de desviación típica con un programa realizado en Matlab, en el que definimos la distribución Gaussiana y la distribución Rayleigh empleando las funciones de Matlab

Gauss = normpdf(x,media,desv_tipica); para la distribución gaussiana

Rayleigh = raylpdf(x2,desv_Ray); para la distribución Rayleigh.

En este caso, x2 es $X_{potencia}$ y desv_Ray es σ_{Ray}

Finalmente creamos la combinación de ambas de la siguiente manera:

comb = *k*gauss*+(1-*k*)**ray*; Donde k es un número entre 0 y 1.

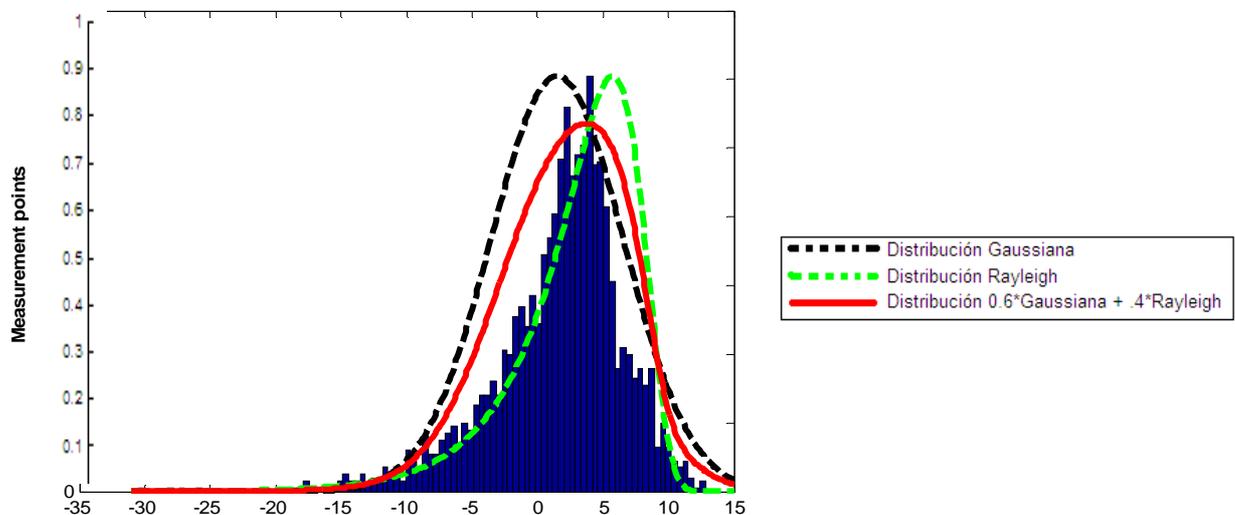


Figura 2-13: Histograma en el que se superpone la distribución normal, la de Rayleigh, y una combinación de ambas con $k = 0.6$

En función de los valores de la media y la varianza introducidos en la función Rayleigh y en la función Gaussiana podemos obtener diferentes formas en la combinación.

Veamos algunos ejemplos en los utilizaremos $\mu = -5$ y $\sigma_{\text{norm}} = 1.5$

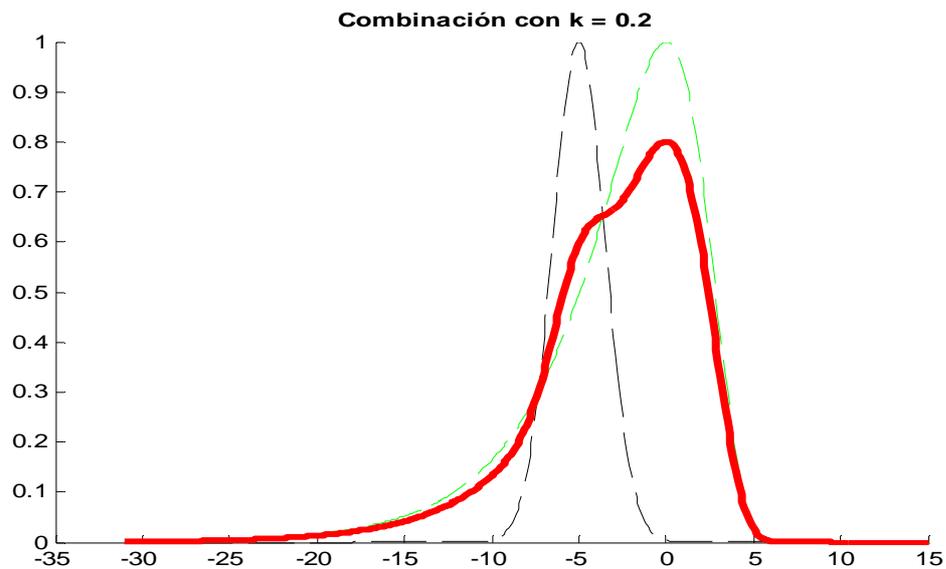


Figura 2-14: Combinación 0.2*Normal y 0.8*Rayleigh

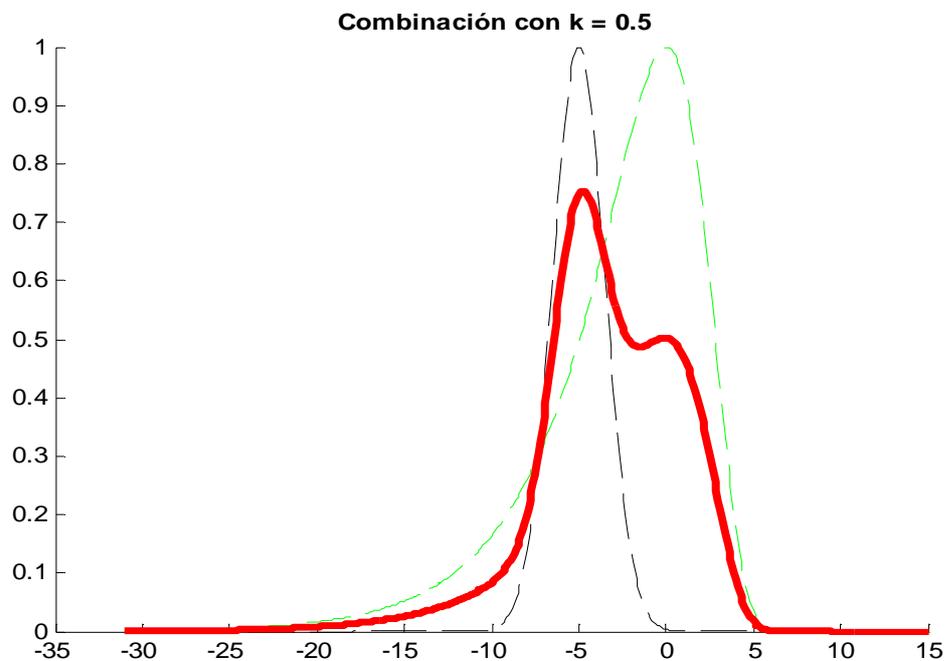


Figura 2-15: Combinación 0.5*Normal y 0.5*Rayleigh

Veamos ahora algunos ejemplos en los utilizaremos $\mu = -8$ y $\sigma_{\text{norm}} = 1.5$

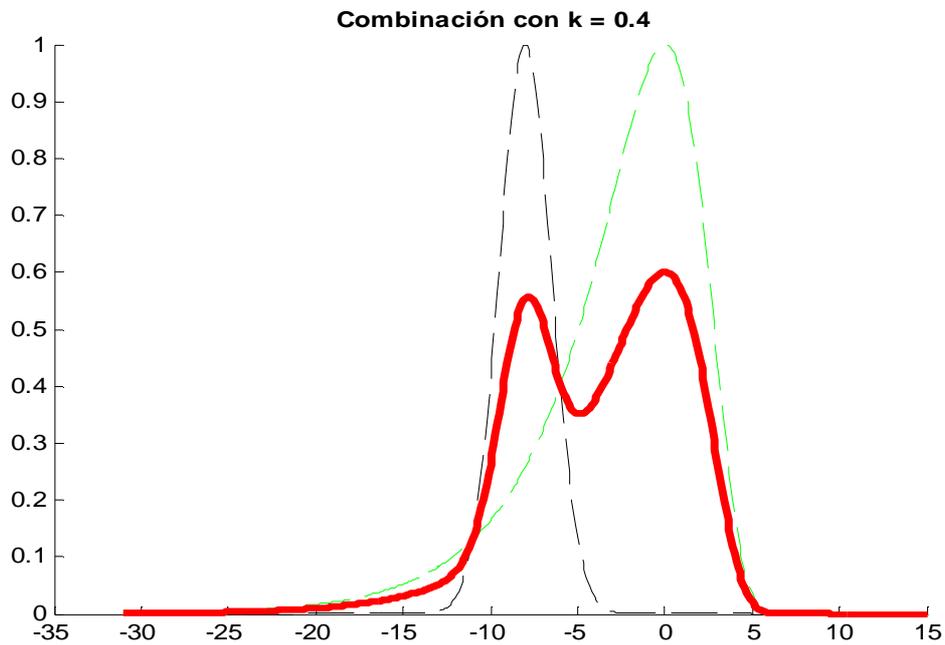


Figura 2-16: Combinación 0.4*Normal y 0.6*Rayleigh

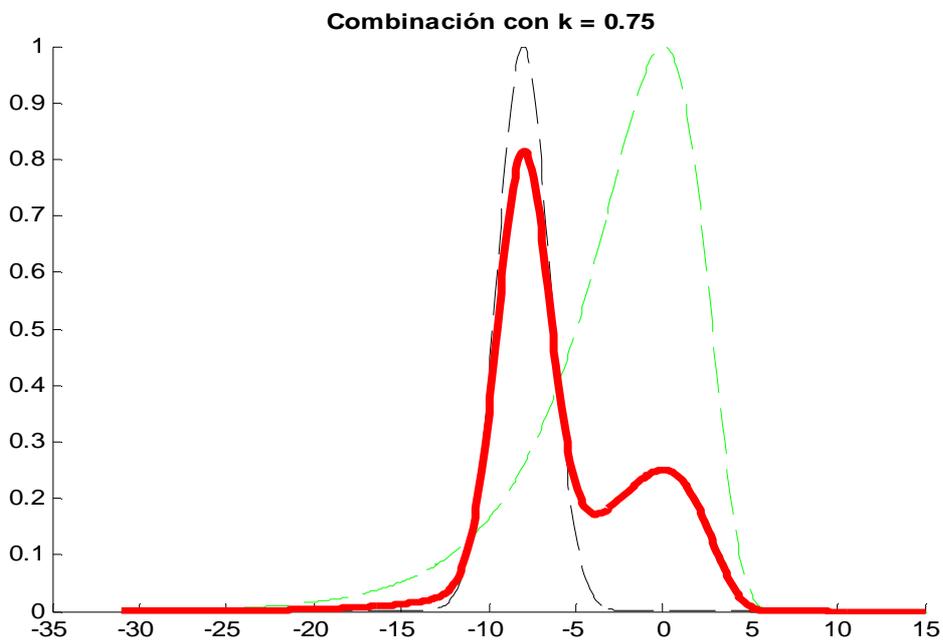


Figura 2-17: Combinación 0.75*Normal y 0.25*Rayleigh

$\mu = 0$ y $\sigma_{\text{norm}} = 2$

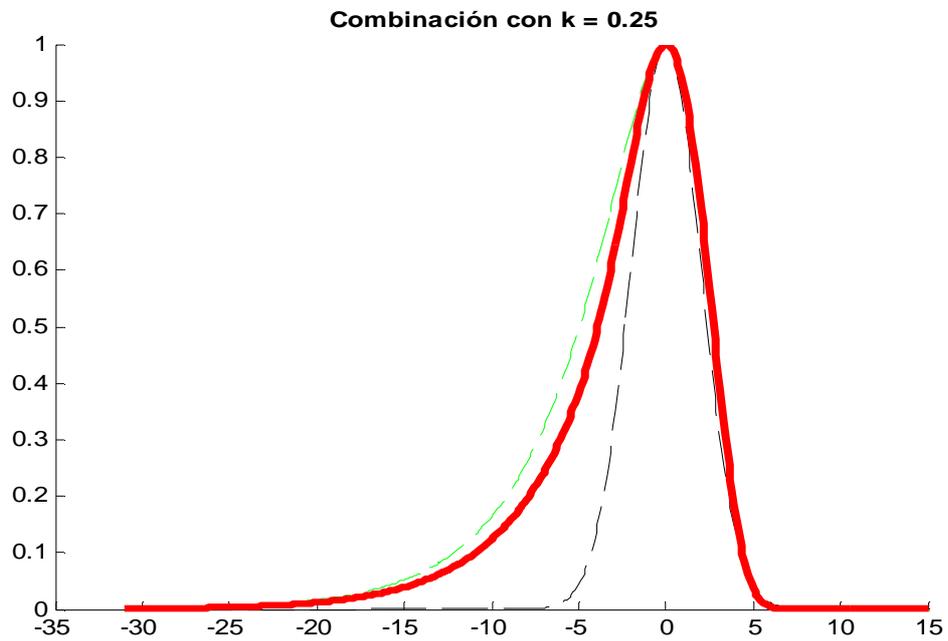


Figura 2-18: Combinación 0.25*Normal y 0.75*Rayleigh

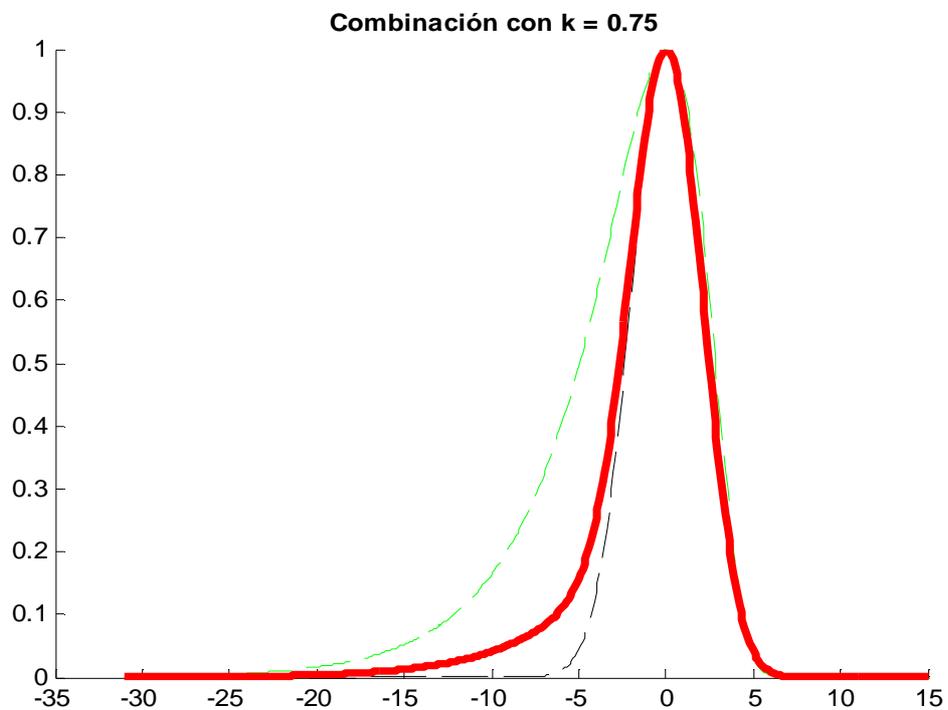


Figura 2-19: Combinación 0.75*Normal y 0.25*Rayleigh

$\mu = 8$ y $\sigma_{\text{norm}} = 2$

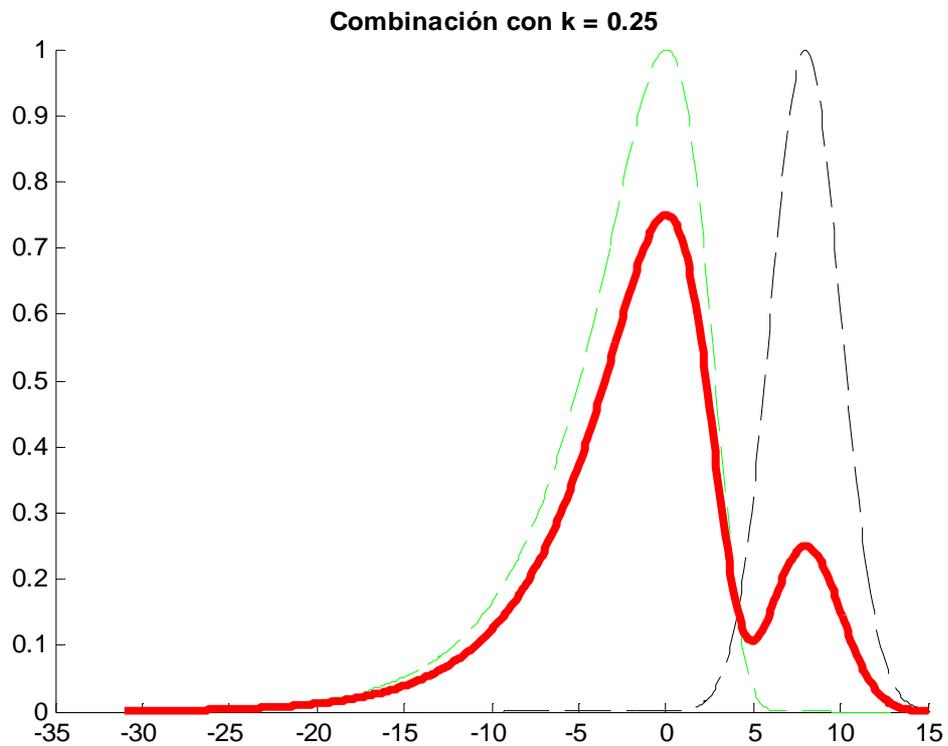


Figura 2-20: Combinación 0.25*Normal y 0.75*Rayleigh

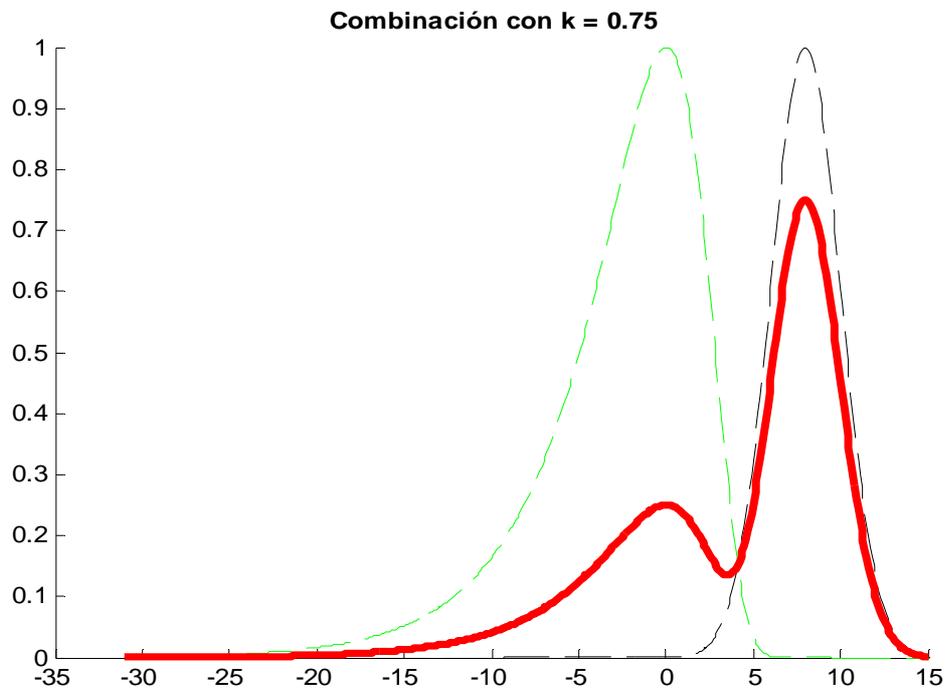


Figura 2-21: Combinación 0.75*Normal y 0.25*Rayleigh

3

Diseño & Desarrollo

3.1 Teoría básica de antenas

Tal y como hemos dicho antes, la comunicación inalámbrica o sin cables es aquella en la que extremos de la comunicación (emisor/receptor) no se encuentran unidos por un medio de propagación físico, sino que se utiliza la modulación de ondas electromagnéticas a través del espacio, y para ello se utilizan medios no guiados.

Los medios de transmisión no guiados son los que no confinan las señales mediante ningún tipo de cable, sino que las señales se propagan libremente a través del medio. Entre los medios más importantes se encuentran el aire y el vacío.

Tanto la transmisión como la recepción de información se llevan a cabo mediante antenas. A la hora de transmitir, la antena irradia energía electromagnética en el medio. Por el contrario en la recepción la antena capta las ondas electromagnéticas del medio que la rodea. La configuración para las transmisiones no guiadas puede ser direccional y omnidireccional.

En la direccional, la antena transmisora emite la energía electromagnética concentrándola en un haz, por lo que las antenas emisora y receptora deben estar alineadas.

En la omnidireccional, la radiación se hace de manera dispersa, emitiendo en todas direcciones en el plano horizontal, pudiendo la señal ser recibida por varias antenas. Generalmente, cuanto mayor es la frecuencia de la señal transmitida es más factible confinar la energía en un haz direccional.

3.1.1 Diagrama de radiación

Podemos definir el diagrama de radiación de la antena como una función matemática o una representación gráfica de las propiedades de radiación de la antena en función de las coordenadas espaciales. Normalmente se suele estudiar este patrón en la zona de campo lejano, representando el patrón de campo, amplitud del campo eléctrico o magnético en función del espacio angular, y el diagrama de potencia del campo magnético o eléctrico en decibelios. Se suelen representar normalizados a su máximo valor y generalmente se pueden distinguir el lóbulo principal, que conlleva la dirección de máxima radiación, el lóbulo trasero, que se sitúa en sentido opuesto al lóbulo principal, y varios lóbulos laterales, de menor radiación que el principal. Todos estos lóbulos están separados por puntos donde no hay radiación.

El diagrama de radiación se puede representar en coordenadas tridimensionales, polares, o cartesianas.

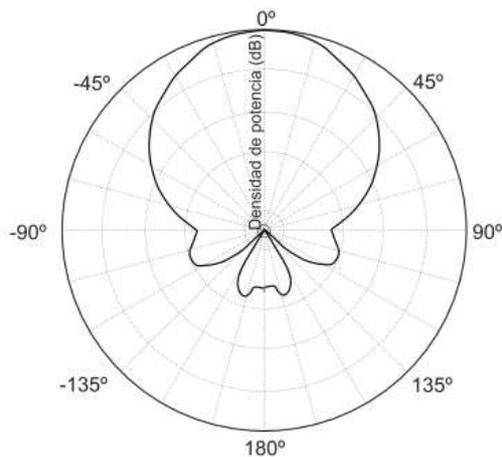


Figura 3-1: Diagrama de radiación en coordenadas polares

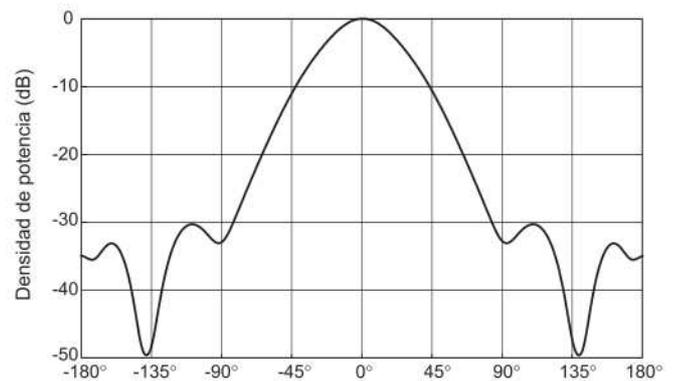


Figura 3-2: Diagrama de radiación en coordenadas cartesianas

3.1.2 Regiones de campo

En una antena, la potencia radiada está formada por una parte real y una imaginaria. La parte real es la llamada potencia radiativa, la cual puede ser transferida a un medio y por lo tanto es la que se puede utilizar. La parte imaginaria, es la potencia reactiva, y esta no puede ser transferida a un medio. La potencia reactiva y radiativa se presentan en diferentes proporciones dependiendo de la distancia donde se midan a partir de la antena, se han definido tres regiones de campo.

Campo cercano.

Campo cercano reactivo. Es aquella inmediatamente cercana a la antena. Esta región está definida por la Ecuación 3.1, siendo D el diámetro de la antena y R la distancia desde el punto de radiación hasta el punto de medición.

Campo cercano radiante o región de Fresnel. Se encuentra limitada entre la región de campo cercano reactivo y la de campo lejano.

Campo lejano o región Fraunhofer. Es la región limitada por la Ecuación 3.2, donde la potencia radiada está constituida en su mayoría por potencia radiativa.

$$R \leq 0.62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} \quad (3.1)$$

$$R \geq \frac{2 D^2}{\lambda} \quad (3.2)$$

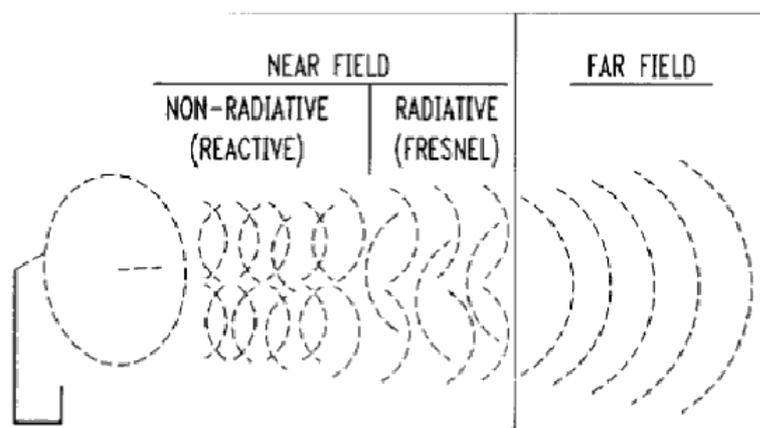


Figura 3-3: Campo cercano reactivo, región de Fresnel y campo lejano

3.1.3 Directividad

La directividad es posiblemente el parámetro de mayor importancia a la hora de analizar un patrón de radiación de una antena. La directividad se define como la relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección, a una distancia, y la densidad de potencia que radiaría a la misma distancia una antena isotrópica, a igualdad de potencia total radiada, y viene dada por la siguiente ecuación:

$$D = \frac{U}{U_0} = \frac{4 \Pi U}{P_{rad}} \quad (3.3)$$

Cuanto más alta sea la directividad, el haz de radiación será mas afilado.

3.1.4 Ganancia

La ganancia de una antena se define como la relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección y la densidad de potencia que radiaría una antena isotrópica, a igualdad de distancias y potencias entregadas a la antena. La ganancia viene dada por la siguiente ecuación:

$$G = 4 \Pi \frac{\textit{Intensidad _ de _ radiación}}{\textit{Potencia _ total _ de _ entrada}} \quad (3.4)$$

3.1.5 Ancho de banda

El ancho de banda es un valor subjetivo, limitado por las características buscadas en el funcionamiento de la antena. El ancho de banda puede describirse como el rango de frecuencias dentro del cual, el funcionamiento de la antena se ajusta a un estándar especificado para alguna de sus características.

3.1.6 Antenas monopolo

De entre los diversos tipos de antenas, en este apartado nos centraremos en las antenas monopolos, ya que son las utilizadas en la realización de este proyecto.

El monopolo vertical o antena vertical es una antena constituida de un solo brazo rectilíneo irradiante en posición vertical. La longitud de dicho brazo es casi $\lambda/4$, con lo cual, la longitud del elemento vertical depende de la frecuencia a la que se quiera que funcione la antena.

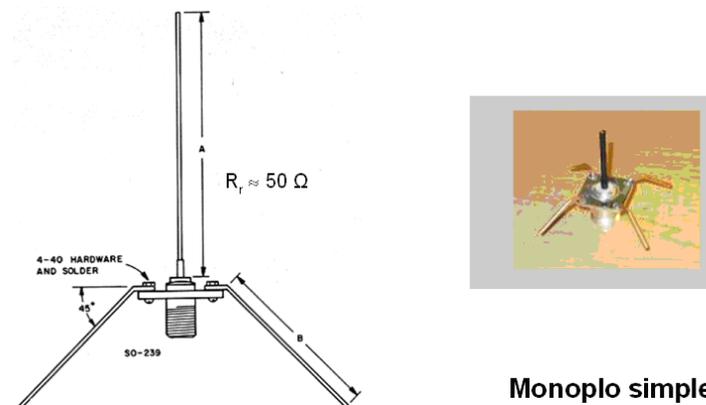


Figura 3-4: Antena monopolo

La antena vertical emite en polarización vertical, o sea, el campo eléctrico es perpendicular al plano del suelo.

Para ajustar el valor de la frecuencia de resonancia de las antenas monopolo se necesita variar el tamaño del elemento vertical de la antena, y se calcula como $0.24 \cdot \lambda_0$, siendo, como todos sabemos, $\lambda_0 = c/f_{\text{resonancia}}$.

De todas formas, en la construcción de antenas monopolo, es conveniente dejar un pequeño margen por encima, es decir, escoger una longitud un poco mayor que la deseada (en general entre un 5% y un 10% mayor, medir el parámetro S11 para ver su frecuencia de resonancia, y si es preciso cortar ligeramente el elemento vertical).

3.2 Balance de un enlace radioeléctrico

El balance del enlace es la ecuación que relaciona la potencia disponible en el receptor en función de la potencia entregada por el transmisor y las diferentes pérdidas y ganancias que puedan existir entre ambos puntos. Para un enlace como el que hemos estudiado, tendremos el siguiente balance de potencias:

$$P_{rx} = P_{tx} + G_{atx} + G_{arx} - L_{prop} \quad (3.5)$$

Donde P_{rx} es la potencia de la señal en recepción, P_{tx} es la potencia de la señal transmitida, G_{atx} y G_{arx} son las ganancias de las antenas transmisora y receptora y L_{prop} son las pérdidas del enlace debidas a la propagación. Las pérdidas y las ganancias están en dB y las potencias del enlace en unidades logarítmicas, como dBW o dBm.

En nuestro caso, nos interesa valorar las pérdidas sufridas en el enlace debidas a la propagación en un entorno cerrado. Por lo tanto, a la hora de tomar las medidas, hemos calculado el resto de los parámetros de la ecuación, como son, potencias en transmisión y recepción, ganancias de las antenas, y pérdidas del enlace ajenas a las deseadas (en este caso debidas a los cables). Una vez que hemos tomado esos datos, solo nos queda despejar las pérdidas de propagación del balance del enlace:

$$L_p = (P_{tx} - P_{rx}) + (G_{atx} + G_{arx}) \quad (3.6)$$

En nuestro caso, utilizaremos la ganancia básica de propagación (G_{bp}), en la cual no tenemos en cuenta la ganancia de las antenas, y en la que es razonable suponer que tendremos valores negativos en vez de positivos (ya que representamos ganancia, no pérdidas).

$$G_{bp} = P_{rx} - P_{tx} \quad (3.7)$$

3.3 *Diseño de las antenas*

3.3.1 Cálculos teóricos.

Como hemos dicho antes, la longitud de resonancia de las antenas monopolo es casi $\lambda/4$. Por tanto, en función de la frecuencia a la que queramos que trabaje nuestra antena, calculamos $\lambda = c/f$. El valor de c (velocidad de la luz en el vacío) es 299.792.458 m/s.

Por tanto, como nosotros estamos interesados en construir 3 antenas que funcionen respectivamente entre (300-320) MHz, (400-420) MHz y (880-900) MHz, calculamos las correspondientes λ de las frecuencias centrales ($f_1 = 310$ MHz, $f_2 = 410$ MHz y $f_3 = 890$ MHz). Obteniendo las siguientes longitudes de onda:

$$\lambda_1 = 0.9671 \text{ m}$$

$$\lambda_2 = 0.7312 \text{ m}$$

$$\lambda_3 = 0.3368 \text{ m}$$

Por tanto, las longitudes del elemento vertical de nuestras antenas será respectivamente:

$$l_1 = 0.2418 \text{ m}$$

$$l_2 = 0.1828 \text{ m}$$

$$l_3 = 0.0842 \text{ m}$$

Una vez realizados estos cálculos, hemos mirado en el catálogo de RS para ver que materiales elegíamos para la construcción de la antena, decantándonos finalmente por varillas de aluminio para el elemento vertical, y láminas de aluminio para realizar la función de tierra. Hemos elegido aluminio en lugar de cobre por su menor peso, algo que será muy provechoso para nuestro proyecto.

Después de elegir el material que vamos a utilizar, hemos calculado la cantidad que necesitaremos del mismo (la cantidad para la realización de las antenas y un poco mas por si acaso), y en función de esto hemos realizado el pedido de RS que se adjunta en la siguiente página.

3.3.2 Material utilizado en la construcción de las antenas

Para la construcción del elemento vertical de las antenas utilizamos varillas de aluminio de 6 mm de diámetro (El diámetro debe estar entre 3mm y 1 cm, por ser la parte disponible del conector).

Attribute Type	Attribute Value
Form	Rod
Rod Diameter	6 mm
Length	24 in.

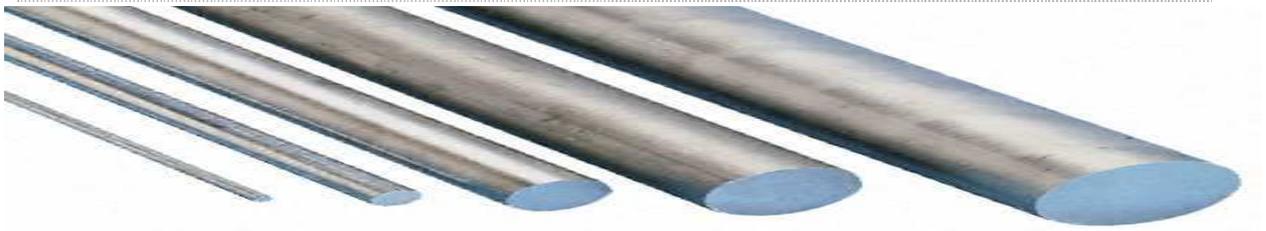


Figura 3-5: Varillas de aluminio

Para la construcción de la lámina que constituirá el plano de masa, también hemos elegido aluminio, por su menor peso frente al cobre. Hemos encargado suficiente teniendo en cuenta que la longitud de cada plano de masa será similar a la longitud de su correspondiente elemento vertical

Attribute Type	Attribute Value
Form	Sheet
Thickness	1.2 mm
Width	300 mm
Length	200 mm



Figura 3-6: Láminas de aluminio

El precio final del pedido ha sido de 104 €.

3.3.3 Construcción de las antenas.

Para la construcción de la antena, he utilizado la maquinaria (taladro, broca, sierra, hoja metálica, destornillador...) disponible en el taller de circuitos impresos.

Una vez que recibimos el pedido de varillas y láminas de aluminio que habíamos hecho a RS, el primer paso de la construcción de las antenas ha sido el cortar las láminas de aluminio, tomando como referencia que el largo y el ancho de la base de las antenas, debe ser aproximadamente $0.8 \cdot \lambda$.

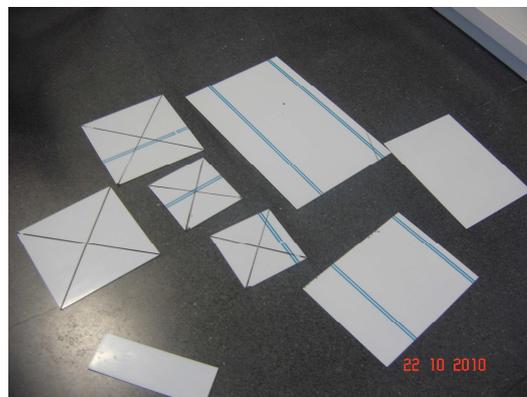


Figura 3-7: Láminas cortadas

Posteriormente se han realizado unos agujeros en las láminas, para colocar el conector

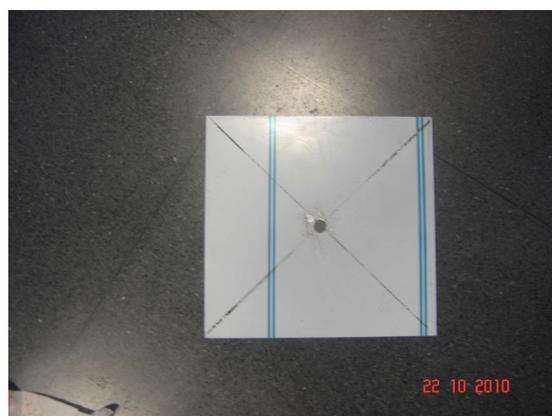


Figura 3-8: Láminas con el agujero del conector

El siguiente paso ha sido realizar unos pequeños taladros a través de los cuales atornillaremos el conector a la lámina.

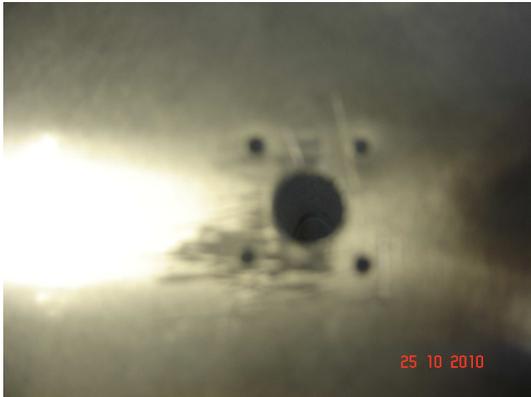


Figura 3-9: Láminas con agujeros para atornillar el conector

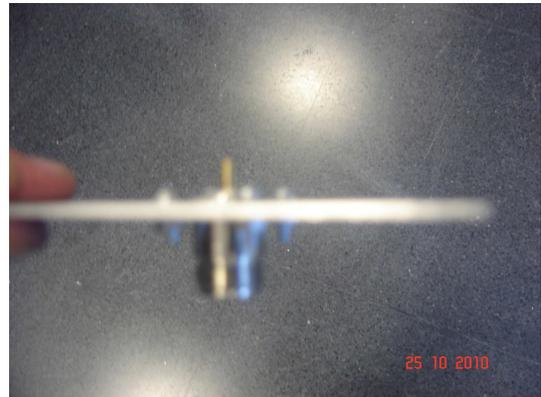


Figura 3-10: Lámina con el conector atornillado

A continuación se ha cortado la varilla de aluminio para que tenga la longitud que había calculado antes para que trabajara a una determinada frecuencia.

En la siguiente imagen se muestran las varillas cortadas para las tres frecuencias buscadas, obviamente después tuve que realizar el mismo proceso para construir las homólogas de estas antenas, ya que para cada frecuencia utilizaré dos antenas.

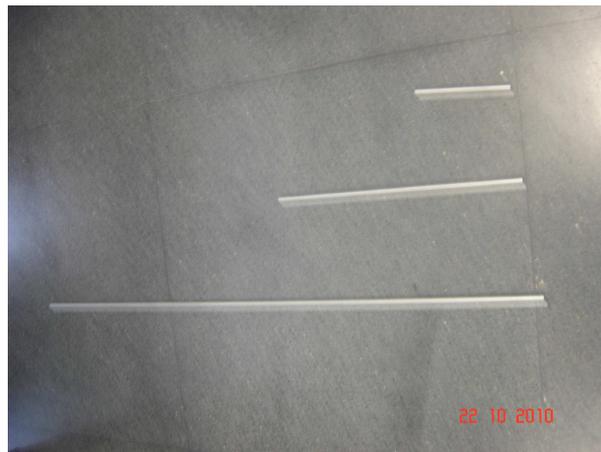


Figura 3-11: Varillas cortadas según la distinta longitud del elemento vertical

Una vez cortada la varilla, se ha realizado un pequeño taladro a través de la misma para poder acoplarla al conector. Este taladro es de especial dificultad, ya que se debe realizar un taladro sobre una varilla con un diámetro relativamente pequeña. Por eso, primero se ha realizado un taladro sobre un bloque de madera para disponer de una base que haga que la varilla no rote mientras se realiza el taladro



Figura 3-12: Base de madera para realizar el taladro



Figura 3-13: Realización del taladro

Después de realizar todos estos pasos, las 6 antenas están construidas



Figura 3-14: Antena de 890 MHz acabada



Figura 3-15: Antena de 410 MHz acabada



Figura 3-16: Vista de perfil de las antenas finalizadas



Figura 3-17: Vista de perfil de las antenas finalizadas

Adicionalmente, después de realizar todas las medidas con las antenas anteriormente mencionadas, se ha pensado que sería interesante estudiar el comportamiento de antenas que resonaran a 125 MHz y 150 MHz respectivamente.

Su realización se llevará a cabo de manera análoga a la construcción de las antenas anteriores. Primero se calcula la longitud que deben tener las antenas conociendo la frecuencia a la que deben resonar, tal y como se ha explicado antes $0.24 \cdot \lambda$, siendo, $\lambda = c/f$, y siendo f la frecuencia de resonancia.

Por tanto, siendo las frecuencias de resonancia $f_4 = 125$ MHz y $f_5 = 150$ MHz:

$$\lambda_4 = 2,4 \text{ m}$$

$$l_4 = 0.576 \text{ m}$$

$$\lambda_5 = 2 \text{ m}$$

$$l_5 = 0.48 \text{ m}$$



Figura 3-18: Vista de perfil de las antenas que trabajan entre 115 MHz y 135 MHz finalizadas



Figura 3-19: Vista de perfil de las antenas que trabajan entre 140 MHz y 160 MHz finalizadas



Figura 3-20: Vista de perfil de las antenas finalizadas con 5 frecuencias de resonancia distintas

3.4 Analizador de redes y parámetros S

3.4.1 Parámetros S.

Utilizamos los parámetros-S para describir el comportamiento eléctrico de redes eléctricas lineales cuando las sometemos a varios estímulos de régimen permanente.

Se pueden aplicar en cualquier frecuencia, pero utilizamos los parámetros-S especialmente para redes que operan en radiofrecuencia (RF).

Obviamente los parámetros-S cambian según la frecuencia, por lo que es importante especificar en que frecuencia estamos trabajando, así como la impedancia característica de la línea.

Los parámetros S describen la respuesta de una red de N-puertos a las señales de tensión de cada puerto. El primer número del subíndice se refiere al puerto receptor, mientras que el segundo número se refiere al puerto incidente. Así, S₂₁ es la respuesta del puerto 2 debido a una señal proveniente del puerto 1. En microondas, lo más común es que tratemos con uno y dos puertos, el caso de tres puertos, se puede modelar con software como el Agilent ADS (utilizado en las prácticas de la asignatura TRSF), pero las mediciones de tres puertos de parámetros S son muy difíciles de realizar con precisión.

Los parámetros-S se representan en una matriz y por lo tanto obedecen las reglas del álgebra de matrices. Muchas propiedades eléctricas útiles de las redes o de componentes pueden expresarse por medio de los parámetros-S, como por ejemplo la ganancia, pérdida por retorno, relación de onda estacionaria de tensión (ROEV), coeficiente de reflexión y estabilidad de amplificación.

En el contexto de los parámetros-S, el término dispersión (del inglés, *scattering*) se refiere a la forma en que las corrientes y tensiones que se desplazan en una línea de transmisión son afectadas cuando se encuentran con una discontinuidad debida por la introducción de una red en una línea de transmisión. Esto equivale a la onda encontrándose con una impedancia diferente de la impedancia característica de la línea.

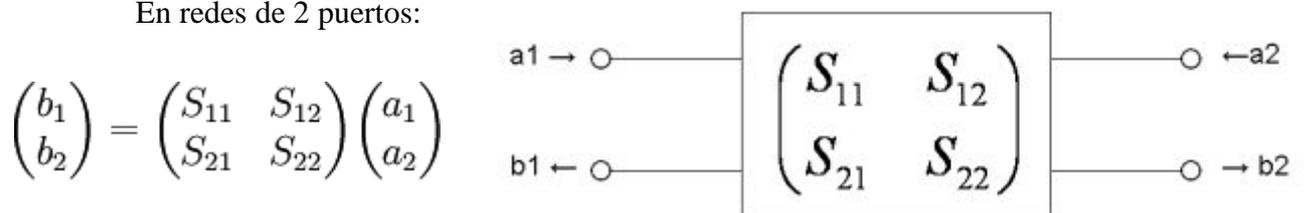
Matriz de parámetros S

$$a_n = \frac{V_n^+}{\sqrt{Z_0}}$$

$$b_n = \frac{V_n^-}{\sqrt{Z_0}}$$

$$\begin{pmatrix} b_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ b_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} & \cdot & \cdot & S_{1n} \\ S_{21} & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ S_{n1} & \cdot & \cdot & \cdot & S_{nn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ a_n \end{pmatrix}$$

En redes de 2 puertos:



$$S_{11} = \frac{b_1}{a_1} = \frac{V_1^-}{V_1^+}$$

$$S_{21} = \frac{b_2}{a_1} = \frac{V_2^-}{V_1^+}$$

$$S_{12} = \frac{b_1}{a_2} = \frac{V_1^-}{V_2^+}$$

$$S_{22} = \frac{b_2}{a_2} = \frac{V_2^-}{V_2^+}$$

S_{11} es el coeficiente de reflexión de la tensión del puerto de entrada

S_{12} es la ganancia de la tensión en reversa (Transferencia de señal desde el puerto 2 hasta el puerto 1 cuando la entrada se encuentra cargada.)

S_{21} es la ganancia de la tensión en directa (Transferencia de señal desde el puerto 1 hasta el puerto 2 cuando la entrada se encuentra cargada) y es el utilizado en medidas de propagación.

S_{22} es el coeficiente de reflexión de la tensión del puerto de salida

3.4.2 Analizador de redes.

Los analizadores de redes son considerados instrumentos que son utilizados para determinar la calidad, la cantidad y el flujo de las redes eléctricas. El instrumento es muy utilizado en la radiofrecuencia y en los amplificadores de elevadas potencias. Los tipos más comunes de analizadores de redes es el analizador de red escalar SNA (Scalar Network Analyzer), el cual tiene como prioridad medir las cualidades y las propiedades de la amplitud y el analizador de redes vectoriales VNA (Vector Network Analyzer), el cual aparte de la amplitud mide la fase. Los analizadores de redes más comunes en el mercado son los de dos puertos, aunque también existen algunos con pantallas sensibles al tacto y una plataforma de base Windows. Otro tipo de analizador de red que existe es el MTA (Microwave Transition Analyzer) y el LSNA (Large Signal Network Analyzer). El primero significa analizador de transición de microondas y el segundo analizador de redes de señales de alta potencia. En la calibración de un analizador de red debe de tomarse en cuenta la impedancia y las condiciones en las cuales esta trabajando el equipo. Los parámetros existentes en impedancia son 50 Ohms para la telefonía celular y 75 Ohms para otras aplicaciones. Los dispositivos utilizados en el estándar de calibración son el Open o red abierta, Short o red en corto circuito y Thru o red conectada. También existe el modulo de calibración eléctrico, el cual lleva una ventaja ante los otros equipos de calibración y es que tiene una mayor precisión.

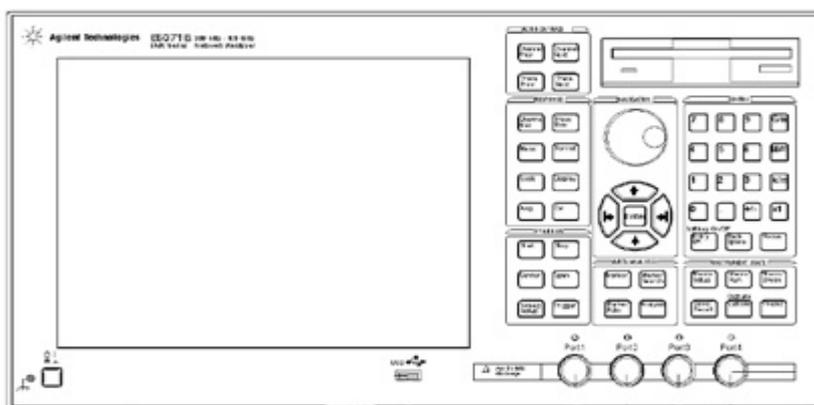


Figura 3-21: Analizador de redes

En nuestro caso utilizaremos el analizador de redes ZVL Network Analyzer fabricado por Rohde&Schwarz, y preparado para trabajar desde 9 KHz hasta 6 GHz.



Figura 3-21: Analizador de redes de Rohde&Schwarz

El primer paso es calibrar el instrumento.

Para elegir la frecuencia a la que queremos trabajar tenemos dos opciones:

- 1) Elegir la frecuencia de comienzo, frecuencia final y número de puntos.
- 2) Elegir la frecuencia central y SPAN

A continuación pulsamos el botón “Cal”, elegimos el puerto que queremos calibrar, si queremos realizar una calibración sencilla o completa, y el método de calibración (calibrar con Kit, o calibrar a cero en una situación determinada)

En el caso de calibrar con Kit, vamos realizando las operaciones que se nos van indicando por pantalla (conexión de open, short, y de una impedancia de 50 Ω).



Figura 3-22: Kit de calibración

3.4.3 Análisis de la reflexión.

Después de realizar la calibración, debemos comprobar que el parámetro S11 vale 0 en toda la banda frecuencial en la que estamos trabajando.



Figura 3-23: Instrumento calibrado entre 875 MHz y 905 MHz

A continuación procedemos a conectar la antena correspondiente, y después pulsamos la tecla MEAS (= measure = medida) y seleccionamos el parámetro que nos interese medir. Podemos colocar marcas (markers) para ver con mayor claridad el valor en ciertos puntos.

A nosotros nos interesa que el parámetro que indica el nivel de señal que se refleja en el puerto 1 (S11) sea menor que -10dB en la banda en la que deba trabajar la antena, en la primera prueba comprobé que esto no ocurría, ya que o bien habíamos cortado las varillas por exceso o por defecto.

En la antena que debía trabajar entre 300 MHz y 320MHz vemos que trabaja (cumple el requisito de -10dB) entre 260 y 290 MHz, y que tiene el pico mínimo en 275MHz

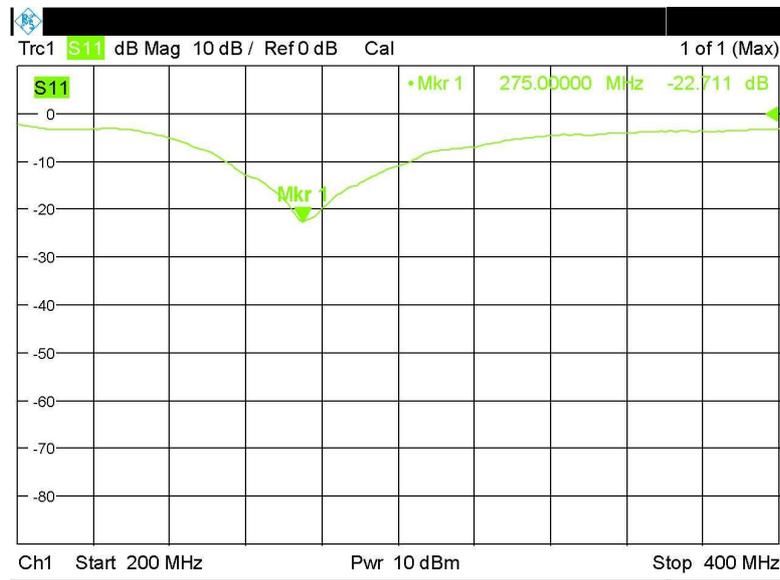
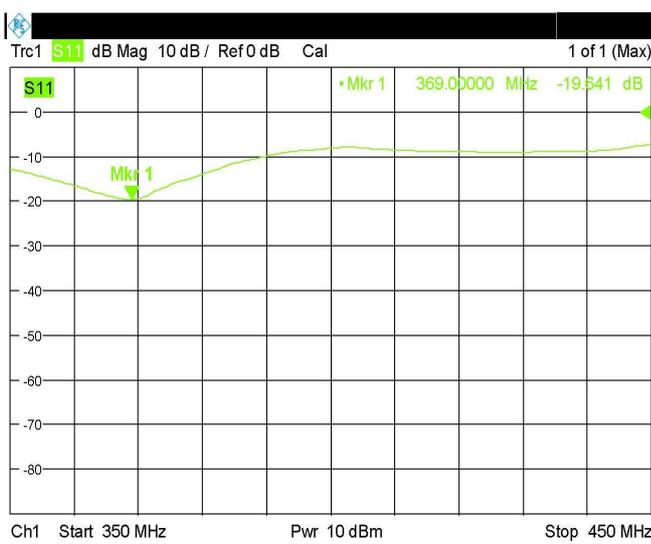


Figura 3-24: Resultado de la medida de la reflexión a 310 MHz

Análogamente, las otras dos antenas tampoco trabajaban en la banda esperada, por lo que fue necesario reducir la longitud de la varilla, o volver a cortarla y taladrarla para aumentarla



Date: 27.OCT.2010 13:24:57

Figura 3-25: Resultado de la reflexión a 369 MHz

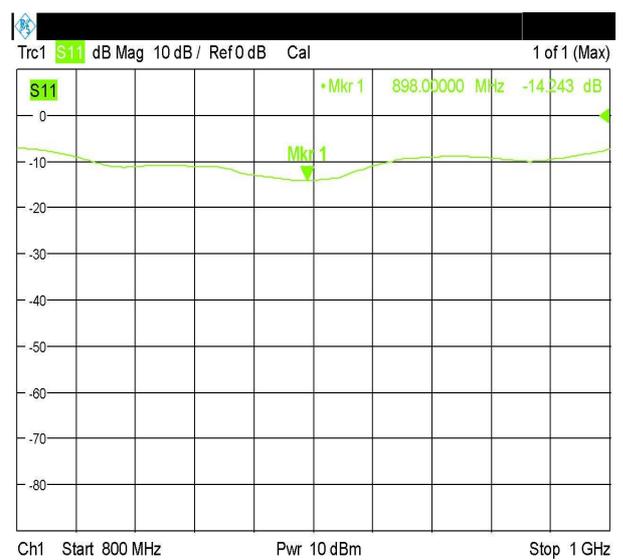
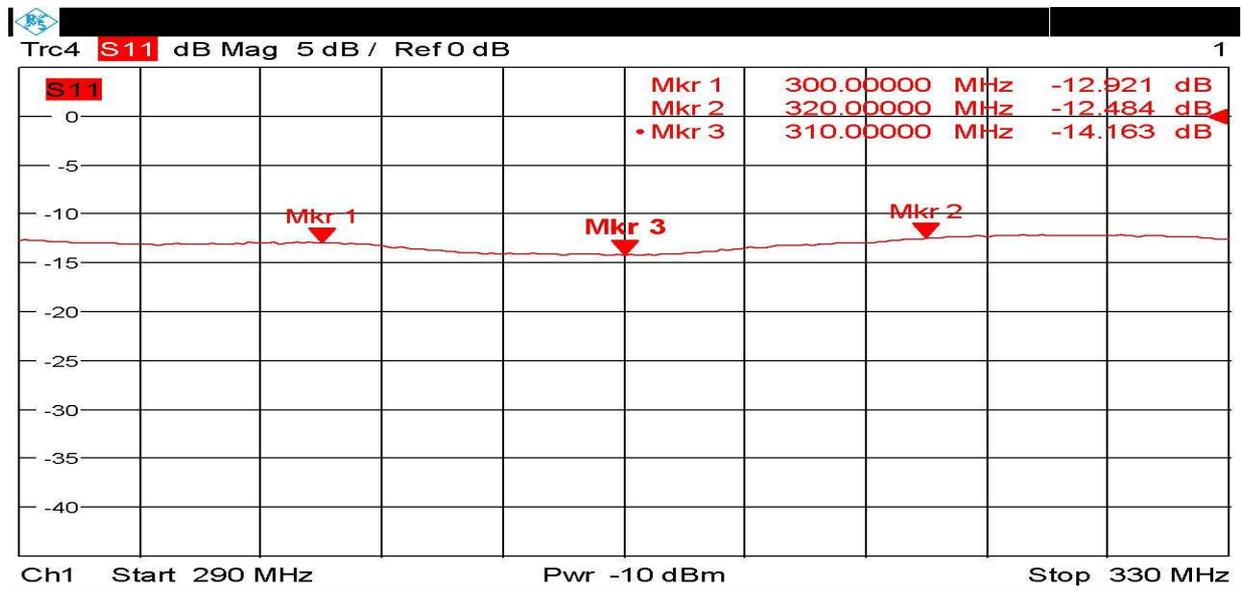


Figura 3-26: Resultado de la reflexión a 898 MHz

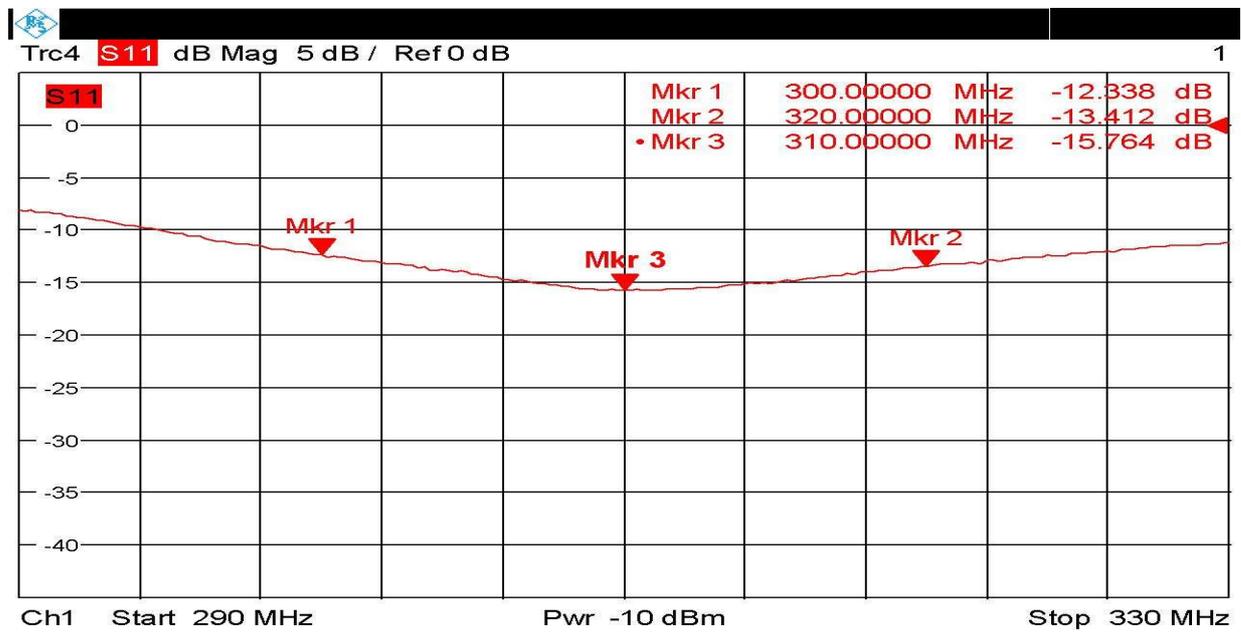
Finalmente, después del arreglo de la longitud de las varillas se obtuvo:

Para las antenas que debían trabajar entre 300MHz y 320 MHz.



Date: 12.APR.2011 13:55:35

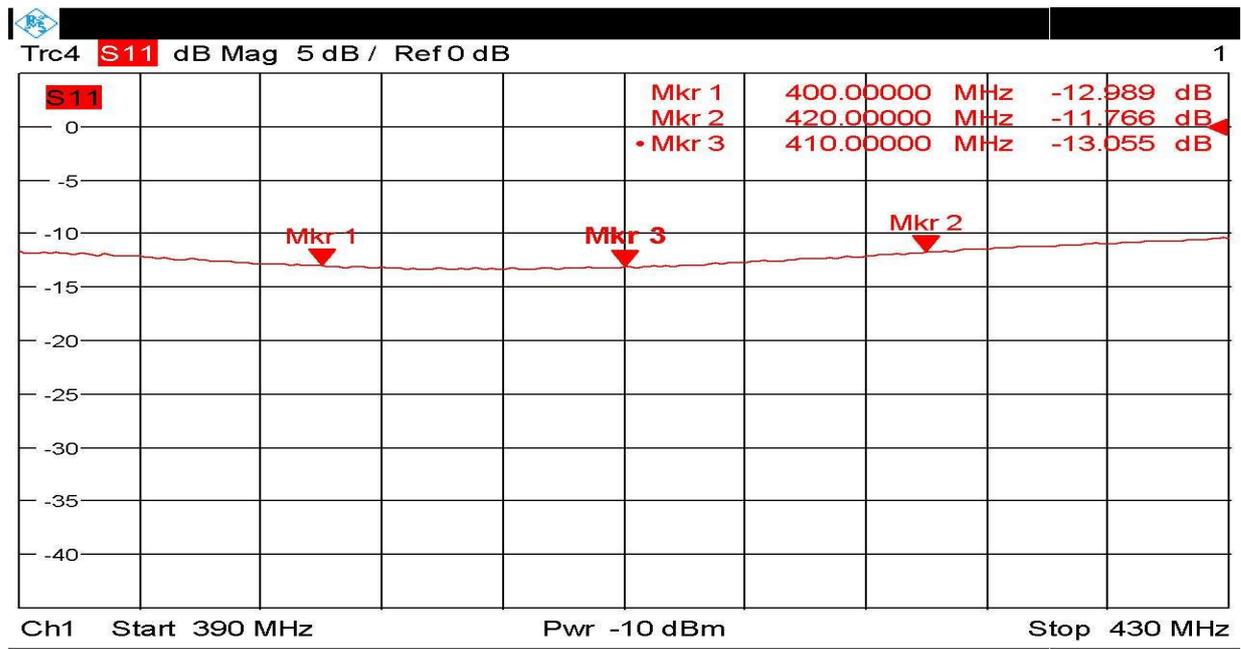
Figura 3- 27: Resultado de la reflexión de la primera antena que trabaja entre 300 MHz y 320 MHz



Date: 12.APR.2011 13:56:01

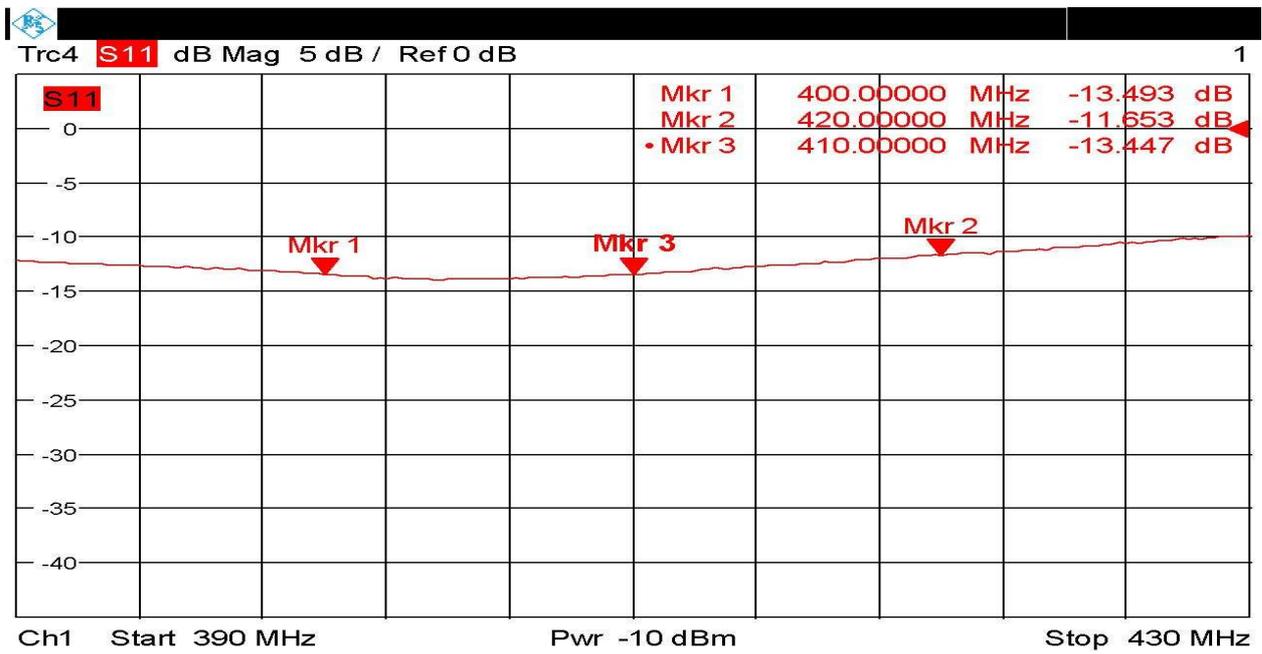
Figura 3- 28: Resultado de la reflexión de la segunda antena que trabaja entre 300 MHz y 320 MHz

Para las antenas que debían trabajar entre 400MHz y 420 MHz.



Date: 12.APR.2011 14:16:28

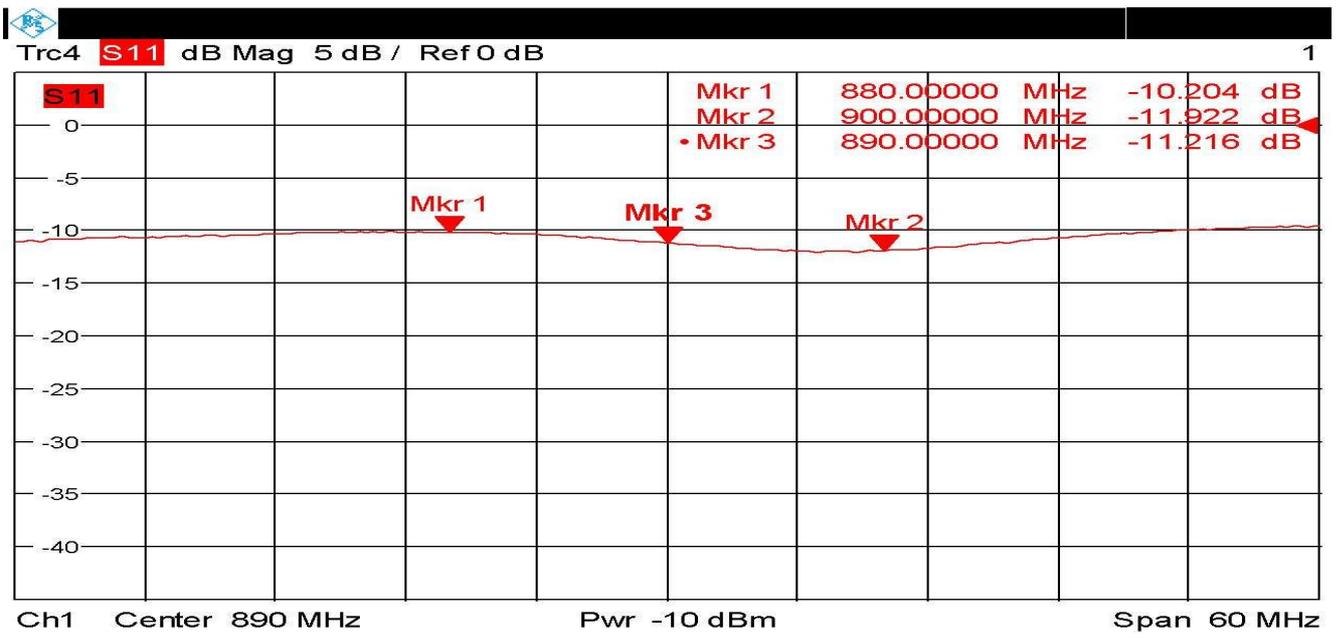
Figura 3- 29: Resultado de la reflexión de la primera antena que trabaja entre 400 MHz y 420 MHz



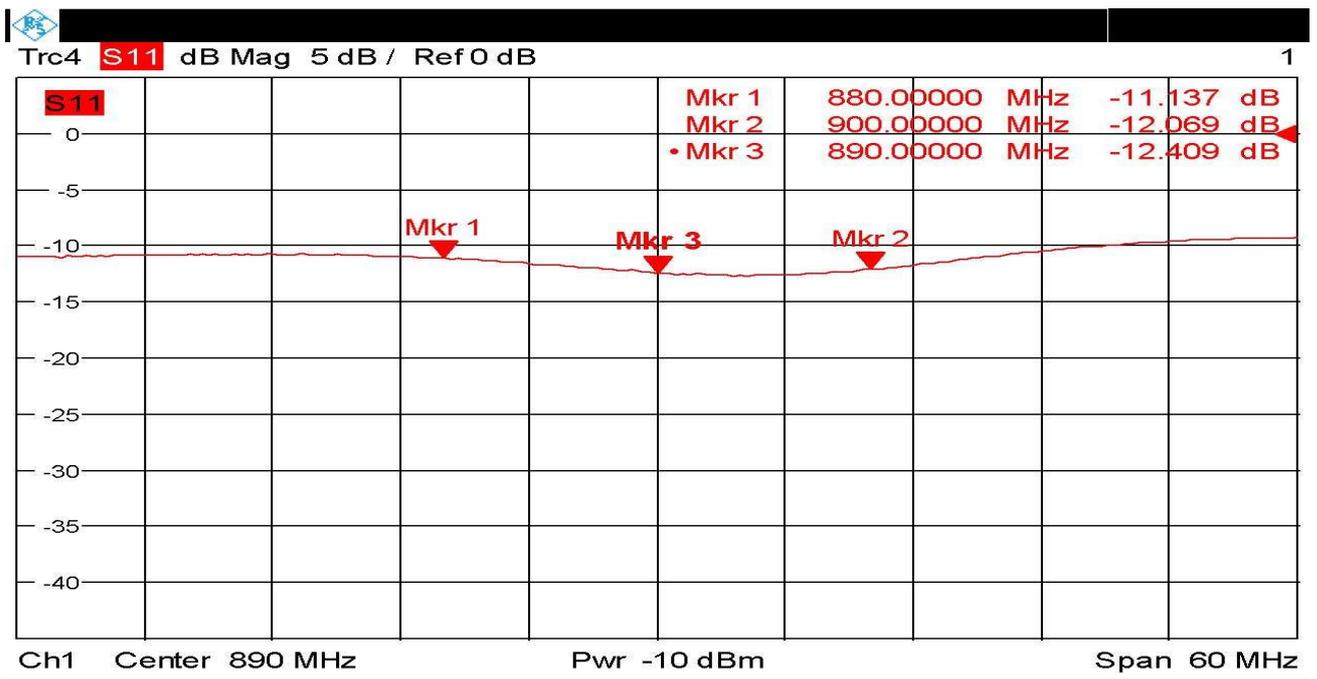
Date: 12.APR.2011 14:16:54

Figura 3- 30: Resultado de la reflexión de la segunda antena que trabaja entre 400 MHz y 420 MHz

Para las antenas que debían trabajar entre 880MHz y 900 MHz.



Date: **Figura 3- 31:** Resultado de la reflexión de la primera antena que trabaja entre 880 MHz y 900 MHz



Date: 12.APR.2011 14:19:19

Figura 3-32: Resultado de la reflexión de la segunda antena que trabaja entre 880 MHz y 900 MHz

Por tanto, compruebo que todas las antenas funcionan correctamente en la banda adecuada (tienen una reflexión inferior a -10 dB en toda la banda) y que tienen la frecuencia de resonancia aproximadamente en el centro de la banda.

Para las antenas que debían trabajar entre 115 MHz y 135 MHz.

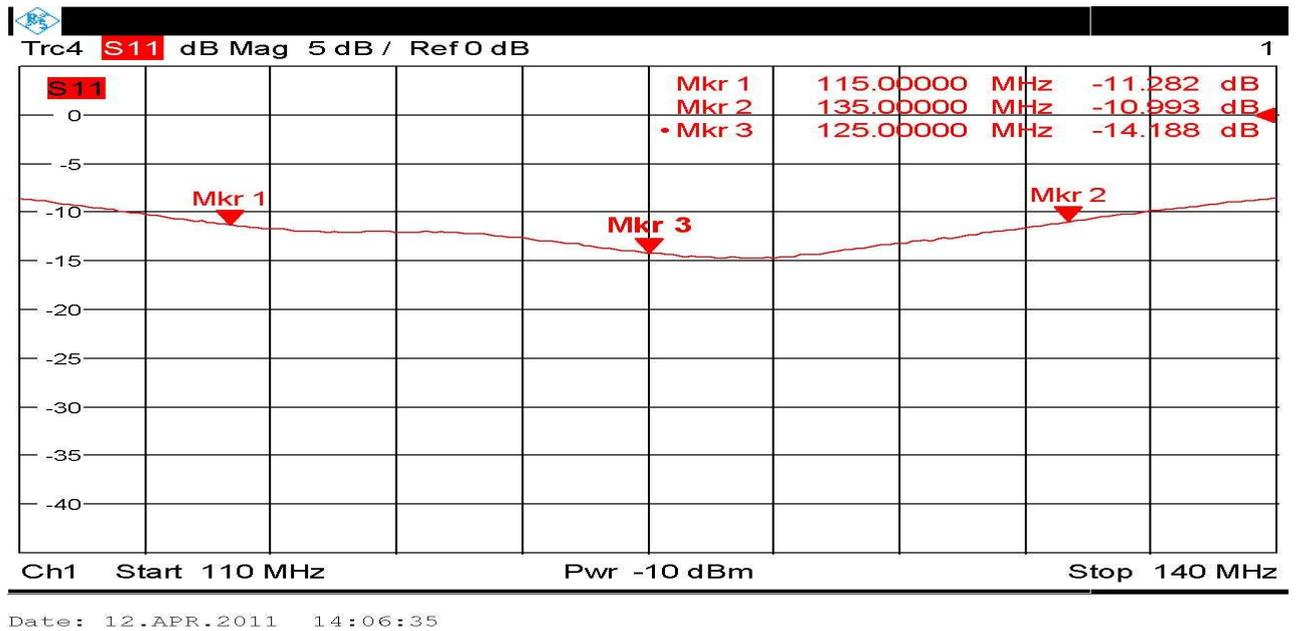


Figura 3-33: Resultado de la reflexión de la primera antena que trabaja entre 115 MHz y 135 MHz

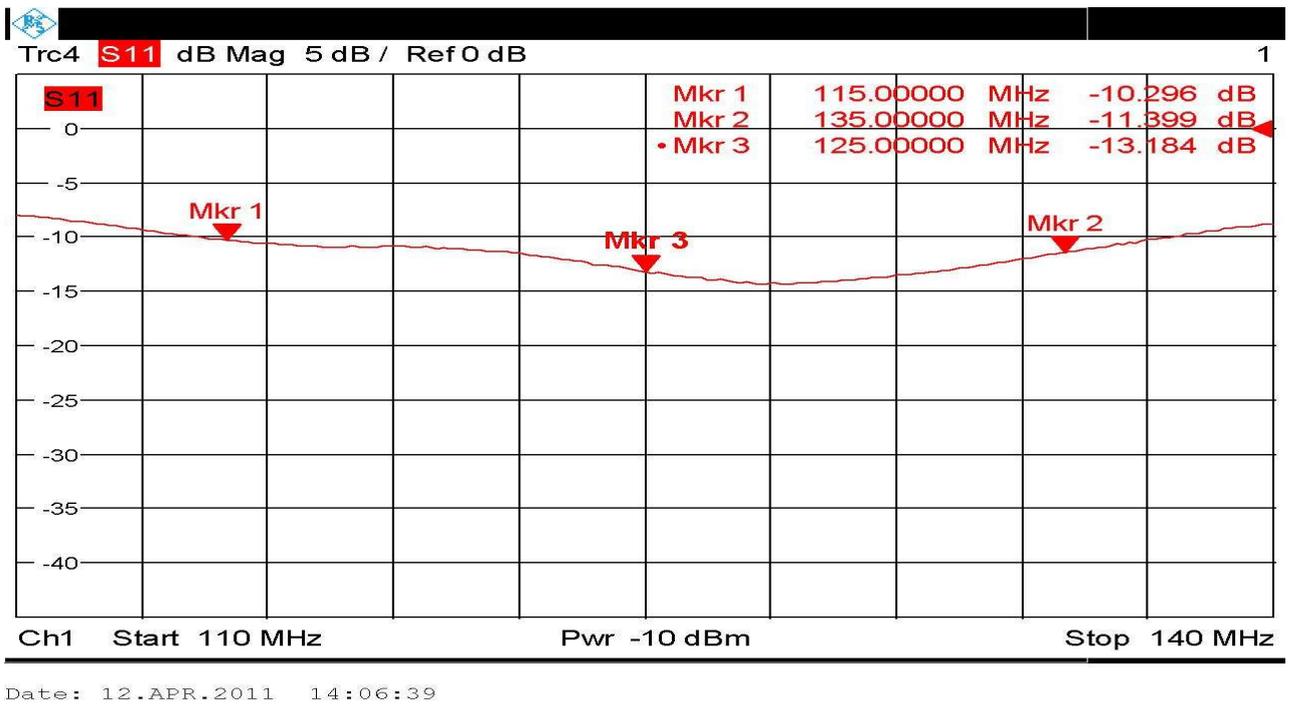


Figura 3-34: Resultado de la reflexión de la segunda antena que trabaja entre 115 MHz y 135 MHz

Para las antenas que debían trabajar entre 140 MHz y 160 MHz.

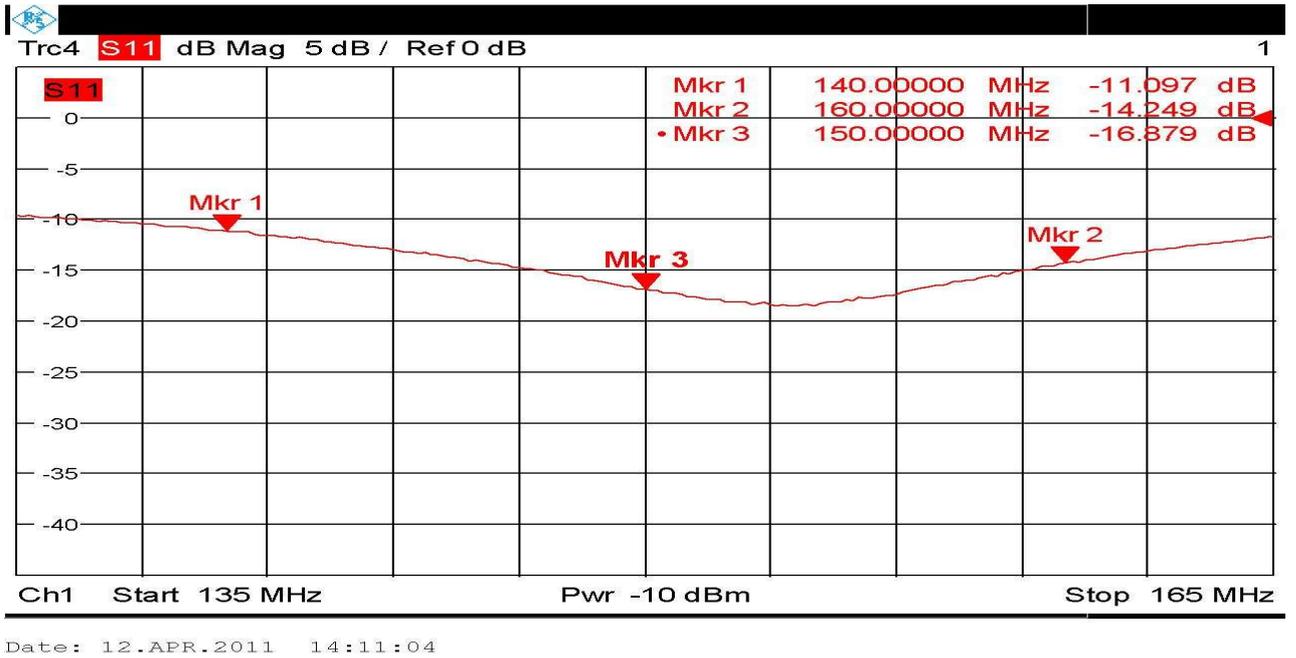


Figura 3-35: Resultado de la reflexión de la primera antena que trabaja entre 140 MHz y 160 MHz

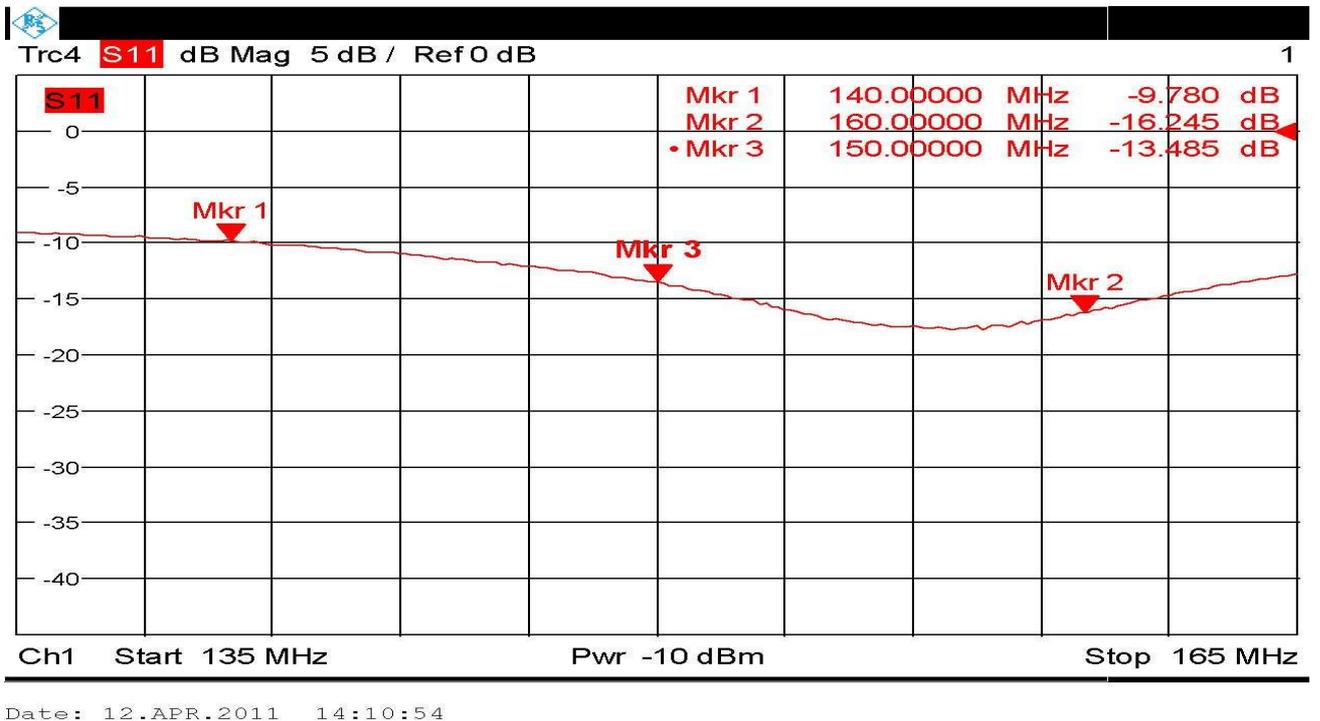


Figura 3-36: Resultado de la reflexión de la segunda antena que trabaja entre 140 MHz y 160 MHz

3.5 Otros equipos.

Cuando la excesiva distancia entre la antena transmisora y la receptora nos impida utilizar el analizador de redes, nos veremos obligados a trabajar con dos equipos adicionales, un generador de señales para la emisión, y un analizador de espectros para la recepción.

ANALIZADOR DE ESPECTROS

Utilizaremos el analizador de espectro “Spectrum analyzer FSL” fabricado también por Rohde&Schwarz



Figura 3-38: Analizador de espectros de R&S

Utilizaremos el analizador de espectros, sobretodo, para medir la potencia disponible en recepción, así, conociendo la potencia transmitida y la recibida, podemos calcular las pérdidas de propagación entre transmisor y receptor. Es importante saber utilizar una función de la que dispone el analizador consistente en que en vez de mostrar un barrido continuo, muestra los valores que máximos que va alcanzando para cada punto frecuencial dentro de la banda. (Esto se realiza pulsando el botón Mkr search y luego accionando la tecla Pico). Igual que en el caso de utilizar el analizador de redes grabábamos un archivo que contenía el valor del parámetro S21 y luego lo procesábamos con Matlab, en este caso apuntaremos manualmente el valor de potencia recibida y lo expresaremos en tablas o gráficas según la situación lo requiera

GENERADOR DE SEÑALES

Para generar las señales conectamos a la antena transmisora el “Signal generator” SMB100A de R&S.



Figura 3-39: Generador de señales de R&S

Es imprescindible saber realizar un barrido en frecuencia con el generador de señal. Para ello se deben pulsar las teclas Setup--Rf -- Rf Freq Sweep. A continuación introducimos los valores correspondientes a la frecuencia inicial, final, y el número de puntos que queremos para la realización de este barrido frecuencial.

Otra opción, es realizar la transmisión a una única frecuencia. Para ello seleccionamos la frecuencia central a la que queremos transmitir. Es imprescindible cerciorarse de que se encuentra habilitado el modo RF (RF-ON)

EQUIPO DIVERSO

Como cabe suponer, para la toma de medidas durante el proyecto se ha necesitado de diverso material de laboratorio como soportes para las antenas y material para su sujeción, dispositivos de medida, estabilizadores, cableado diverso...

Para el procesamiento de los resultados se ha necesitado computadores, programas para el procesamiento y análisis de los datos y un procesador de texto. Sin embargo, dichos elementos y dispositivos no requieren un análisis específico, por lo que no se detallan en esta memoria.

3.6 Procedimientos de medidas

Para el análisis de las pérdidas de propagación a lo largo del proyecto se ha seguido el siguiente procedimiento:

En primer lugar, hay que realizar un análisis del escenario en el que vamos a realizar las medidas, para caracterizarlo convenientemente, y para decidir si utilizar el analizador de redes, o bien utilizar el generador de señales y el analizador de espectros.

Cuando estemos en un escenario en el que las antenas transmisora y receptora estén colocadas de tal manera que se puedan conectar ambas al analizador de redes mediante cables (disponemos de un cable de 1m y otro de 20m) utilizaremos el analizador de redes. En este caso, lo primero es conectar un cable que una los dos puertos del analizador de redes R&S, configurar la frecuencia del dispositivo según la frecuencia de nuestras antenas y calibrar el “Thru”. Posteriormente elegimos una potencia de salida de 10 dBm. Hemos colocado las antenas en la posición inicial, y luego hemos ido separando la antena receptora de la emisora según el paso establecido en cada escenario, y recogido los resultados del analizador por medio de una hoja de datos, de extensión.txt, que ofrece 201 puntos frecuenciales y el valor del parámetro S21 en cada uno de ellos.

Una vez disponemos de una hoja de datos que contiene los valores de la frecuencia y su correspondiente valor del parámetro S21, los hemos procesado con diversos programas de Matlab, en los que la lectura del archivo siempre se realiza de la misma manera, pero difieren en la forma en la que queremos mostrar las correspondientes gráficas por pantalla.

Para medir la atenuación sufrida en la señal por la presencia de distintos objetos o personas, hemos seguido un procedimiento similar, en el que en vez de calibrar utilizando el Kit, escogemos una situación de partida a la que asignamos el valor $S_{21} = 0$, y a partir de esta situación inicial vemos la atenuación sufrida por los cambios en la situación (que se ponga una persona en medio, que se cierre una puerta que estaba abierta...)

Cuando estemos en un escenario en el que no sea posible medir utilizando el analizador de redes, utilizaremos un generador de señales y un analizador de espectros. El primer paso (equivalente a lo que antes era calibrar) consistirá en programar el generador de señales para que transmita 10dBm a una frecuencia determinada, y conectarlo

directamente al analizador de espectros mediante un cable, para así, eligiendo la correspondiente frecuencia en el analizador de espectros comprobar la potencia que se pierde por el cable y las operaciones internas de los equipos. Posteriormente, conectamos el generador a la antena transmisora y el analizador de espectros a la receptora, y apuntamos el valor de pico (que corresponde con la frecuencia a la que transmite el generador) de las distintas situaciones. Para finalizar, procesamos los datos en una hoja de Excel y los pasamos a Matlab en caso de que queramos realizar alguna gráfica.

3.7 Escenarios.

La campaña de medidas se ha llevado a cabo en el edificio C de la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Autónoma de Madrid.

La descripción, esquemas y fotografías de los distintos escenarios aparecen el siguiente capítulo: Campaña de medidas. Ya que considero que es mas ilustrativo y enriquecedor el observar la descripción del escenario junto al análisis de los resultados de las medidas efectuadas en el mismo

4

Campaña de medidas

ESCENARIO 1

En este primer escenario, nos encontramos en la planta baja del edificio C de la EPS. Colocaremos el transmisor fijo, e iremos variando la posición del receptor desde 1m de distancia con el transmisor, hasta que esté a 15 m de distancia, en pasos de 0.25 metros. La altura del transmisor y del receptor es de 1.5m en ambos casos



Figura 4-1-a: Vista frontal del pasillo de la planta baja del edificio C de la EPS.

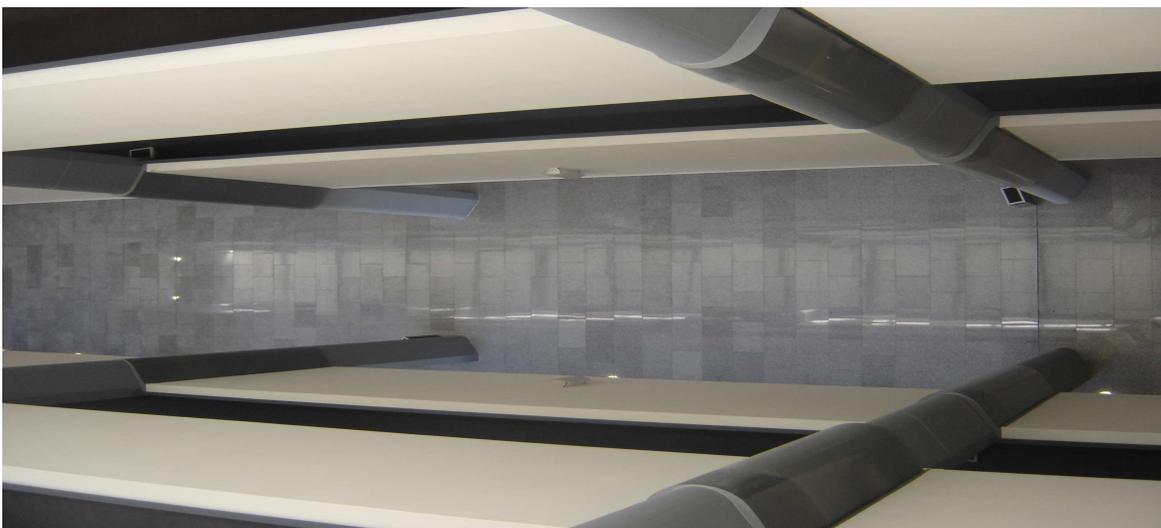


Figura 4-1-b: Vista de planta del pasillo de la planta baja del edificio C de la EPS.

Partimos de esta situación inicial, Tx y Rx de 1.5 m de altura, separados 1m entre si.

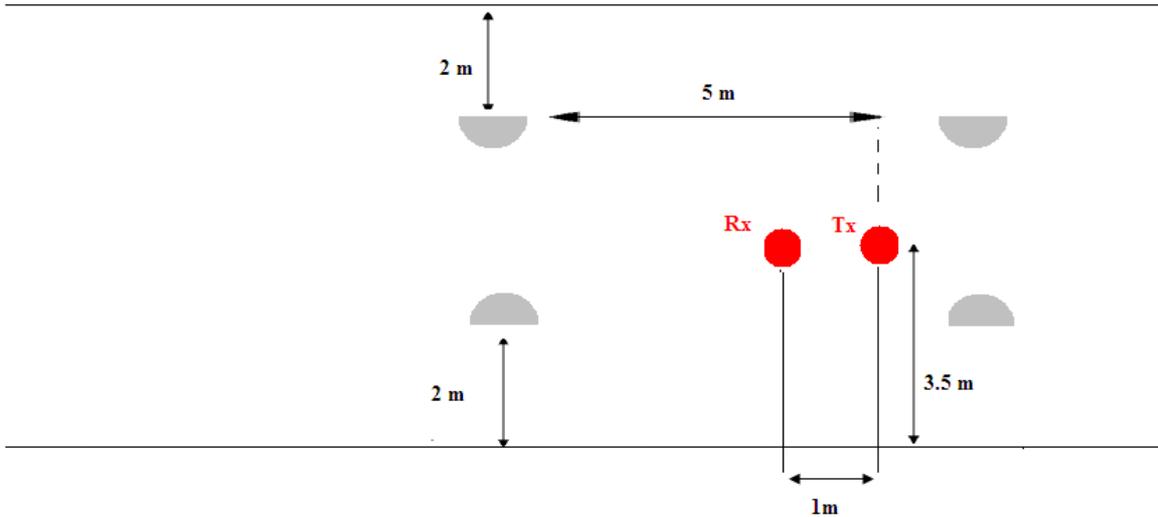


Figura 4-2-a: Vista de planta del esquema del pasillo de la planta baja del edificio C de la EPS. Situación inicial

Vamos aumentando la separación 0.25 m cada vez, hasta llegar a esta situación final.

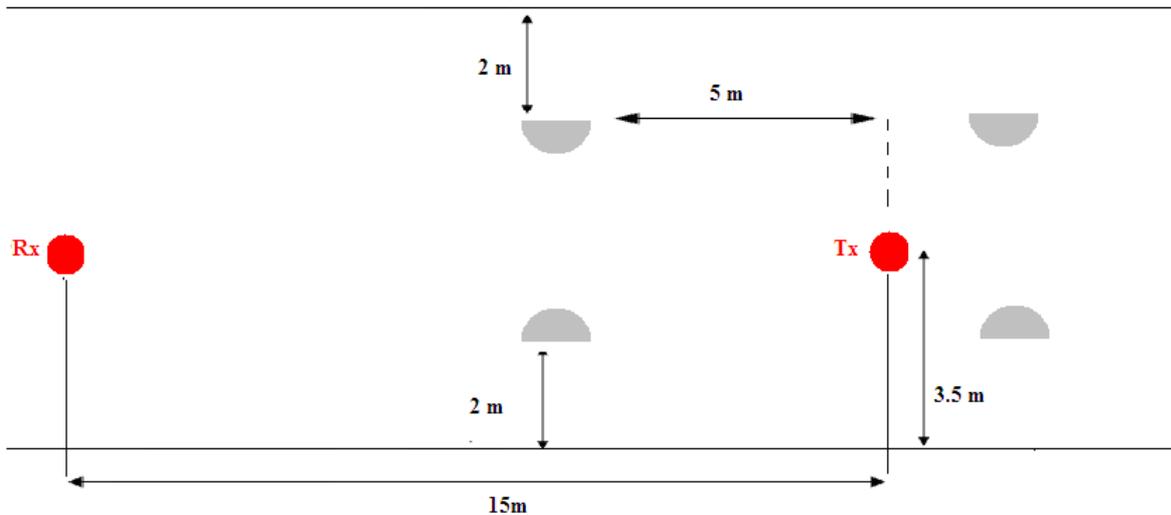


Figura 4-2-b: Vista de planta del pasillo de la planta baja del edificio C de la EPS. Situación final

Por tanto, la representación de los puntos se hará desde 1m (distancia mínima entre las antenas), hasta 15 m (distancia máxima entre las antenas) cada 0.25 metros, en escala logarítmica. Dentro de cada frecuencia, se utilizarán canales de distinto ancho de banda, por lo que se muestran representaciones de canales de 0.2 MHz, 5 MHz, 10 MHz y 20 MHz de ancho de banda.

Para cada tipo de antena dentro de cada canal, se ha realizado una aproximación lineal dividida en dos tramos. Todas las representaciones pertinentes se realizan en tres páginas para cada tipo de antena. En la primera página se muestra el tipo de canal, banda de trabajo, gráfica de las pérdidas básicas de propagación en función de la distancia con sus correspondientes aproximaciones y la fórmula que representa dichas aproximaciones de la ganancia básica de propagación. En la segunda página se muestran el histograma y una representación de la función distribución de probabilidad acumulada empírica sobrepuesta con la representación de la función distribución de probabilidad acumulada estimada representadas en escala logarítmica.

Se representan los puntos en:

- 309.9 MHz a 310.1 MHz cada 0.1MHz (3 puntos)
para las antenas que funcionan entre 300 y 320 MHz y un canal de BW= 0.2MHz
- 409.9 MHz a 410.1 MHz cada 0.1MHz (3 puntos)
para las antenas que funcionan entre 300 y 320 MHz y un canal de BW= 0.2MHz
- 889.9 MHz a 890.1 MHz cada 0.1MHz (3 puntos)
para las antenas que funcionan entre 300 y 320 MHz y un canal de BW= 0.2MHz
- 309.5 MHz a 310.5 MHz cada 0.25MHz (5 puntos)
para las antenas que funcionan entre 300 y 320 MHz y un canal de BW= 1 MHz
- 409.5 MHz a 410.5 MHz cada 0.25MHz (5 puntos)
para las antenas que funcionan entre 300 y 320 MHz y un canal de BW= 1 MHz
- 889.5 MHz a 890.5 MHz cada 0.25MHz (5 puntos)
para las antenas que funcionan entre 300 y 320 MHz y un canal de BW= 1 MHz
- 407.5 MHz a 412.5 MHz cada 0.5MHz (11 puntos)
para las antenas que funcionan entre 400 y 420 MHz y un canal de BW= 5MHz
- 887.5 MHz a 8912.5 MHz cada 0.5MHz (11 puntos)
para las antenas que funcionan entre 880 y 900 MHz y un canal de BW= 5MHz
- 307.5 MHz a 312.5 MHz cada 0.5MHz (11 puntos)
para las antenas que funcionan entre 300 y 320 MHz y un canal de BW= 5MHz
- 407.5 MHz a 412.5 MHz cada 0.5MHz (11 puntos)
para las antenas que funcionan entre 400 y 420 MHz y un canal de BW= 5MHz

- 887.5 MHz a 8912.5 MHz cada 0.5MHz (11 puntos)
para las antenas que funcionan entre 880 y 900 MHz y un canal de BW= 5MHz
- 305 MHz a 315 MHz cada 0.5MHz (21 puntos)
para las antenas que funcionan entre 300 y 320 MHz y un canal de BW= 10MHz
- 405 MHz a 415 MHz cada 0.5MHz (21 puntos)
para las antenas que funcionan entre 400 y 420 MHz y un canal de BW= 10MHz
- 885 MHz a 895 MHz cada 0.5MHz (21 puntos)
para las antenas que funcionan entre 880 y 900 MHz y un canal de BW= 10MHz
- 300 MHz a 320 MHz cada 0.5MHz (41 puntos)
para las antenas que funcionan entre 300 y 320 MHz y un canal de BW= 20MHz
- 400 MHz a 420 MHz cada 0.5MHz (41 puntos)
para las antenas que funcionan entre 400 y 420 MHz y un canal de BW= 20MHz
- 880 MHz a 900 MHz cada 0.5MHz (41 puntos)
para las antenas que funcionan entre 880 y 900 MHz y un canal de BW= 20MHz .

El número de puntos elegido se antoja pequeño en el caso de representar canales de pequeño ancho de banda, por lo que las aproximaciones que obtendremos en estos canales no serán tan precisas como las que obtenemos en canales de mayor ancho de banda en los que disponemos de un mayor número de puntos.

Antenas que operan entre 300 MHz y 320 MHz

CANAL DE 0.2 MHz DE ANCHO DE BANDA

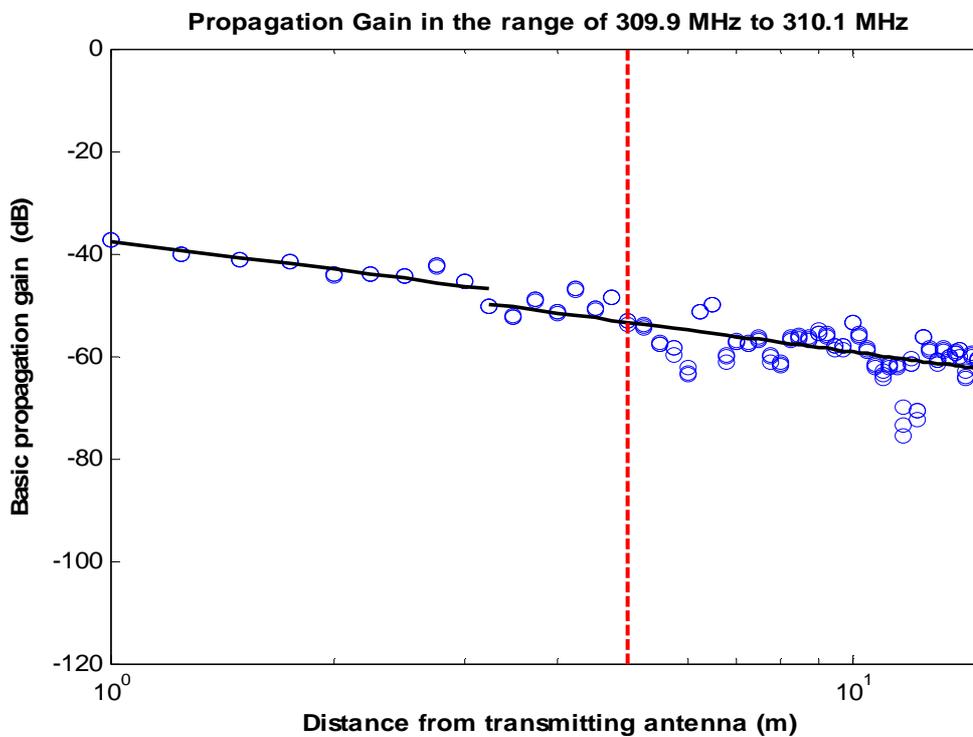


Figura 4-3: Ganancia de propagación básica en función de la distancia entre Tx y Rx para un canal de 0.2 MHz.

La Figura 4-3 representa la ganancia básica de propagación en función de la distancia entre el transmisor y el receptor para el rango entre 309.9 MHz y 310.1 MHz. La línea vertical roja representa la posición de las columnas de hormigón.

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera

$$G_{bp} \text{ (dB)} = \begin{cases} - \{37.68 + 18.14 \log_{10}(d)\} & d \leq 3.25 \text{ m} \\ - \{49.86 + 19.17 \log_{10}(d / 3.25)\} & d > 3.25 \text{ m} \end{cases}$$

En este caso se puede apreciar, que hay dos exponentes de propagación ($n_1=1.81$ y $n_2=1.92$) siendo ambos ligeramente menores que el exponente de propagación en el caso de las pérdidas por espacio libre ($n = 2$)

Ahora se representa el histograma de la primera parte del recorrido, que se ha aproximado por una Función Gaussiana, y en la figura de abajo, sus correspondientes CDFs

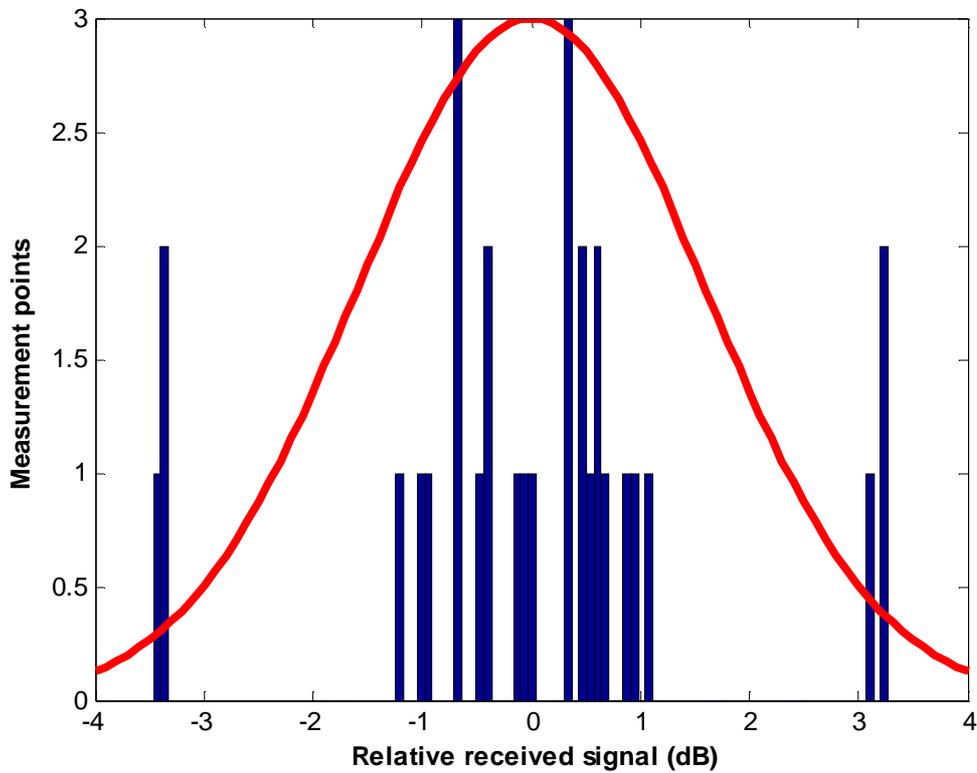


Figura 4-4: Histograma 1 y ajuste correspondiente para un canal de 0.2 MHz.

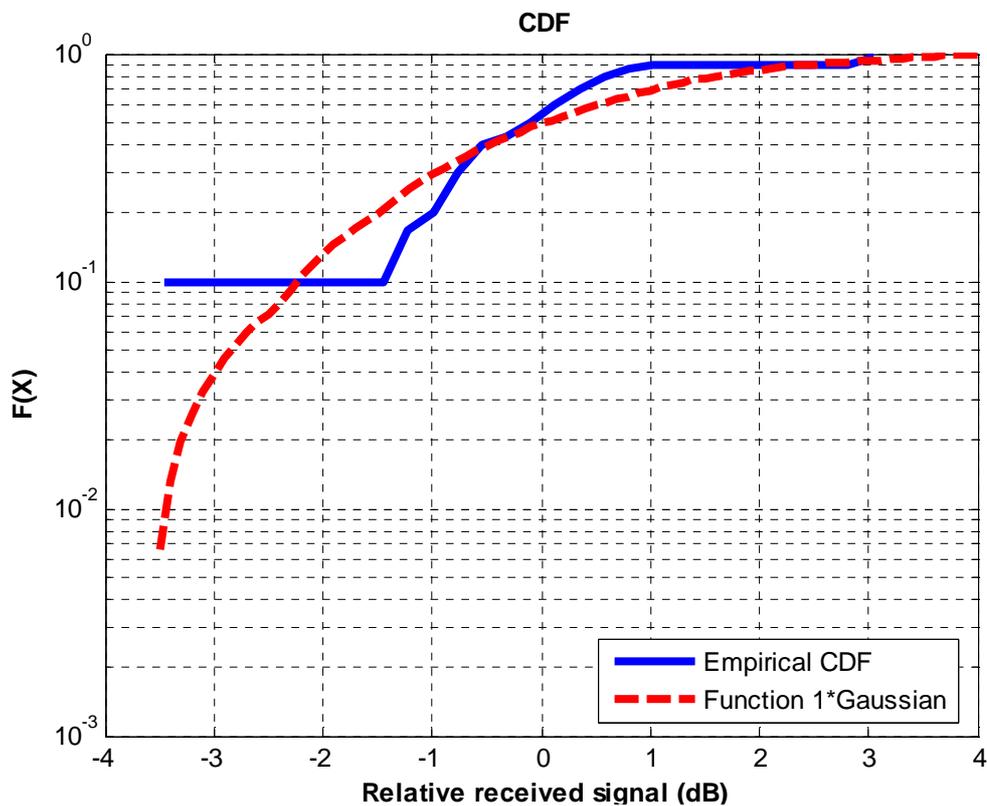


Figura 4-5: CDF 1 en escala logarítmica para un canal de 0.2 MHz.

Ahora se representa el histograma de la segunda parte del recorrido, que se ha aproximado por una Función Rayleigh, y en la figura de abajo, sus correspondientes CDFs

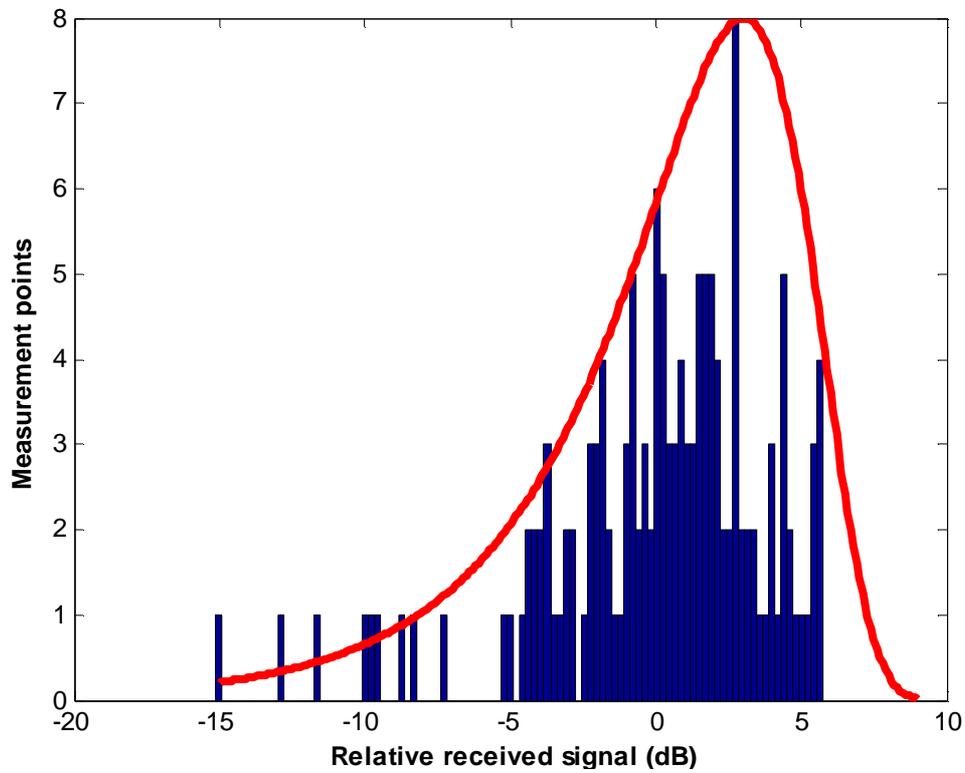


Figura 4-6: Histograma 2 y ajuste correspondiente para un canal de 0.2 MHz.

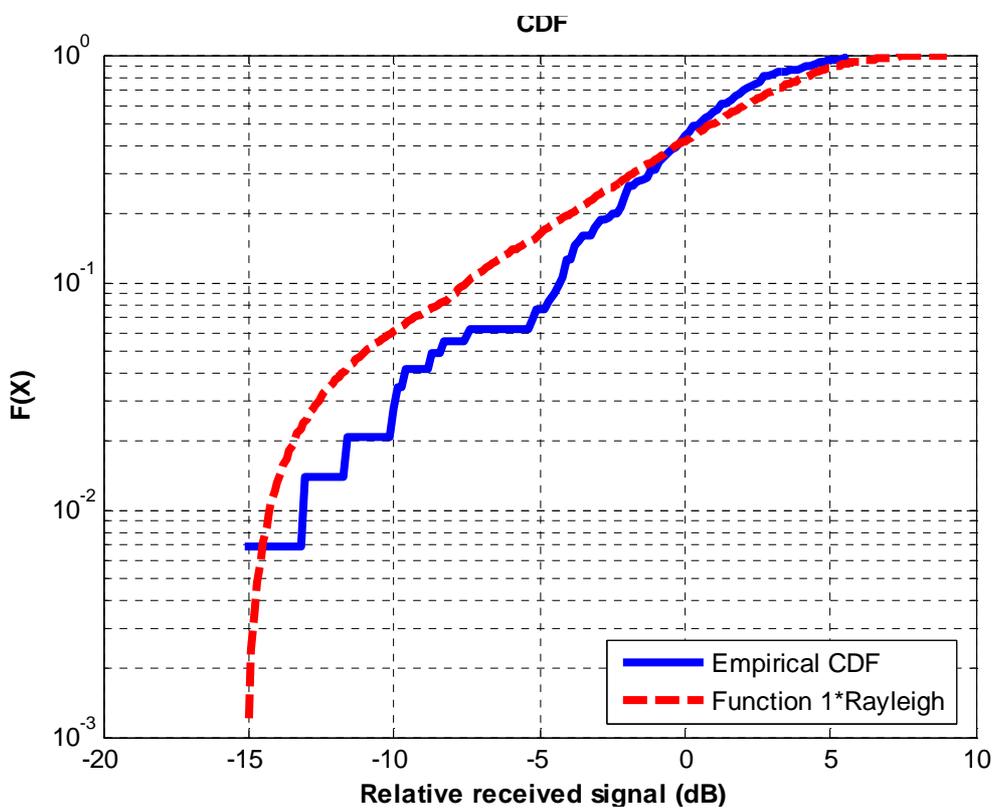


Figura 4-7: CDF 2 en escala logarítmica para un canal de 0.2 MHz.

CANAL DE 1 MHz DE ANCHO DE BANDA

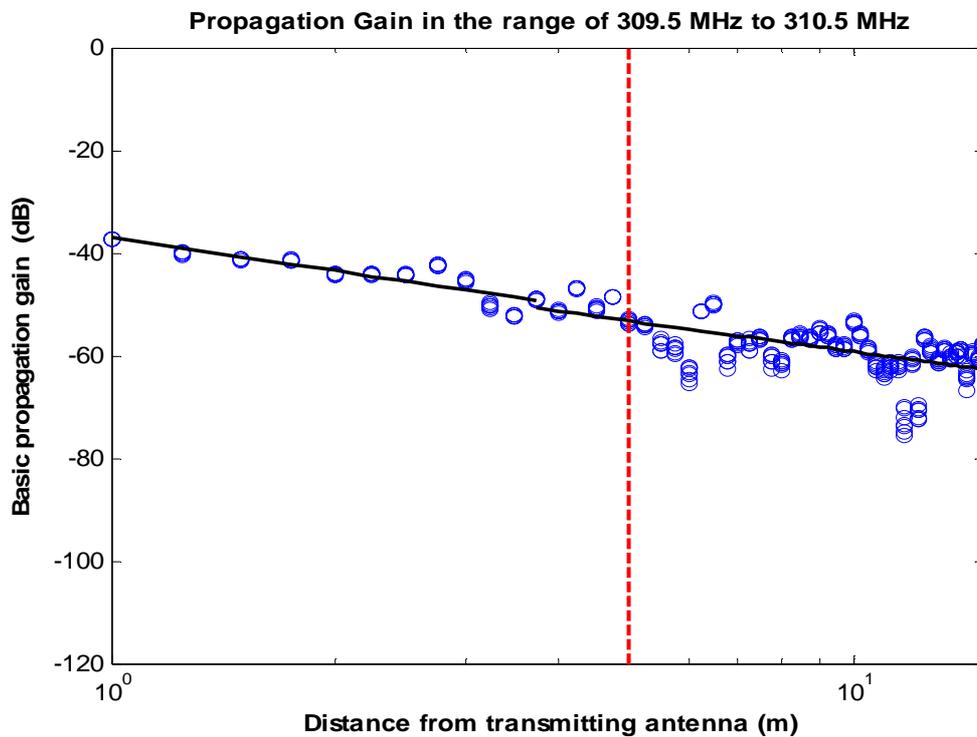


Figura 4-8: Ganancia de propagación básica en función de la distancia entre Tx y Rx para un canal de 1 MHz.

La Figura 4-8 representa la ganancia básica de propagación en función de la distancia entre el transmisor y el receptor para el rango entre 309.5 MHz y 310.5 MHz. La línea vertical roja representa la posición de las columnas de hormigón.

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera

$$G_{bp} \text{ (dB)} = \begin{cases} -\{37.04 + 21.39 \log_{10}(d)\} & d \leq 3.75\text{m} \\ -\{50.81 + 19.82 \log_{10}(d/3.75)\} & d > 3.75\text{m} \end{cases}$$

En este caso se puede apreciar, que hay dos exponentes de propagación ($n_1=2.14$ y $n_2=1.98$) siendo ambos prácticamente iguales (el primero ligeramente superior y el segundo ligeramente inferior) al exponente de propagación del caso de las pérdidas por espacio libre ($n=2$)

Ahora se representa el histograma de la primera parte del recorrido, que se ha aproximado por una combinación de una Función Gaussiana (95%) y una Función Rayleigh (5%), y en la figura de abajo se representan sus correspondientes CDFs

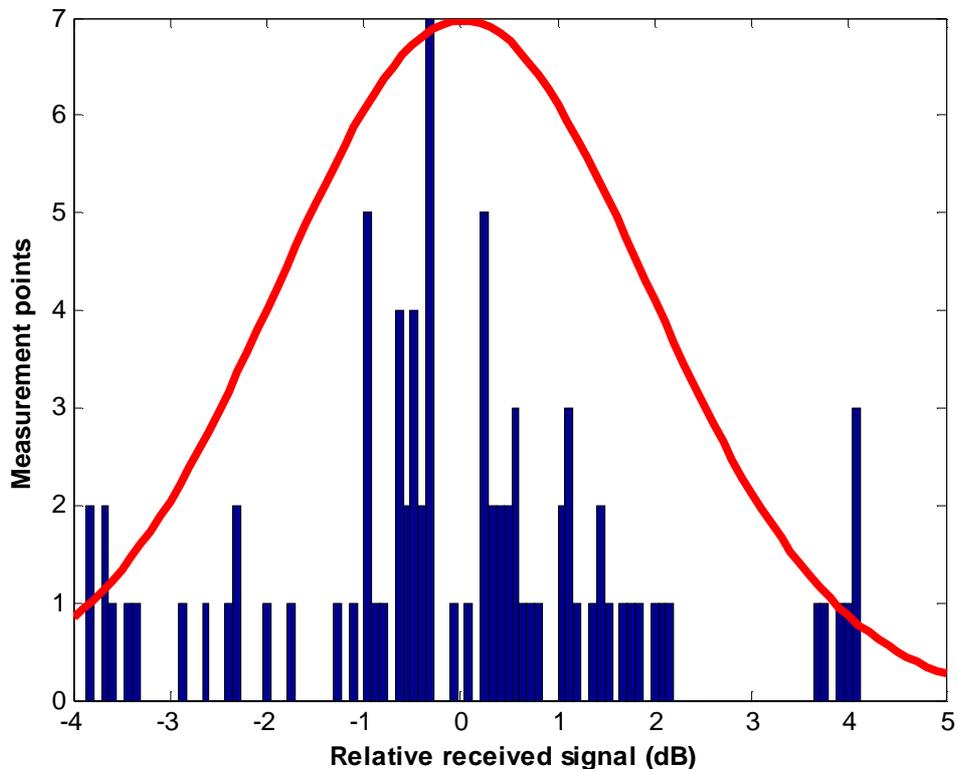


Figura 4-9: Histograma 1 y ajuste correspondiente para un canal de 1 MHz.

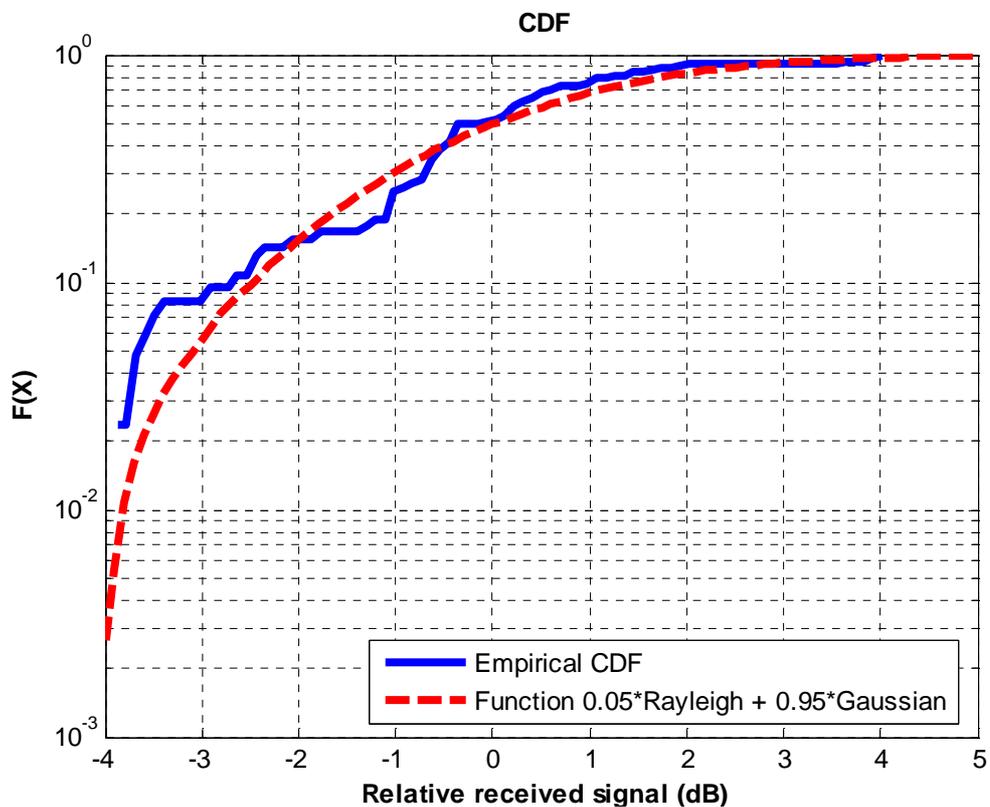


Figura 4-10 CDF 1 en escala logarítmica para un canal de 1 MHz.

Ahora se representa el histograma de la segunda parte del recorrido, que se ha aproximado por una combinación de una Función Gaussiana (5%) y una Función Rayleigh (95%), y en la figura de abajo se representan sus correspondientes CDFs

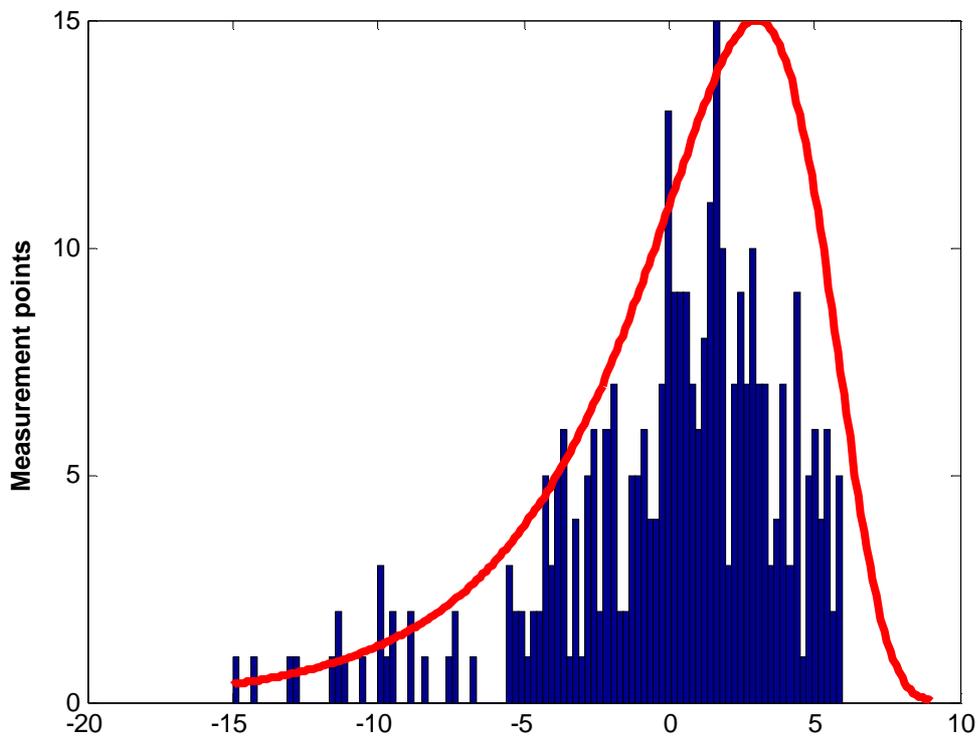


Figura 4-11: Histograma 2 y ajuste correspondiente para un canal de 1 MHz.

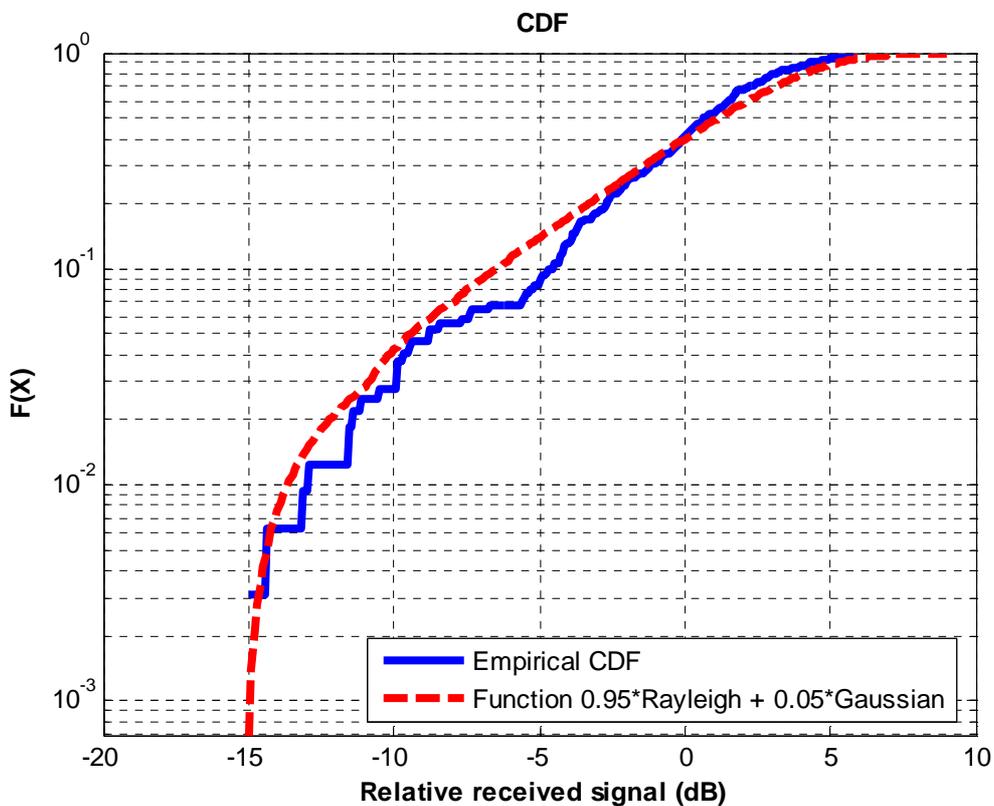


Figura 4-12: CDF 2 en escala logarítmica para un canal de 1 MHz.

CANAL DE 5 MHz DE ANCHO DE BANDA

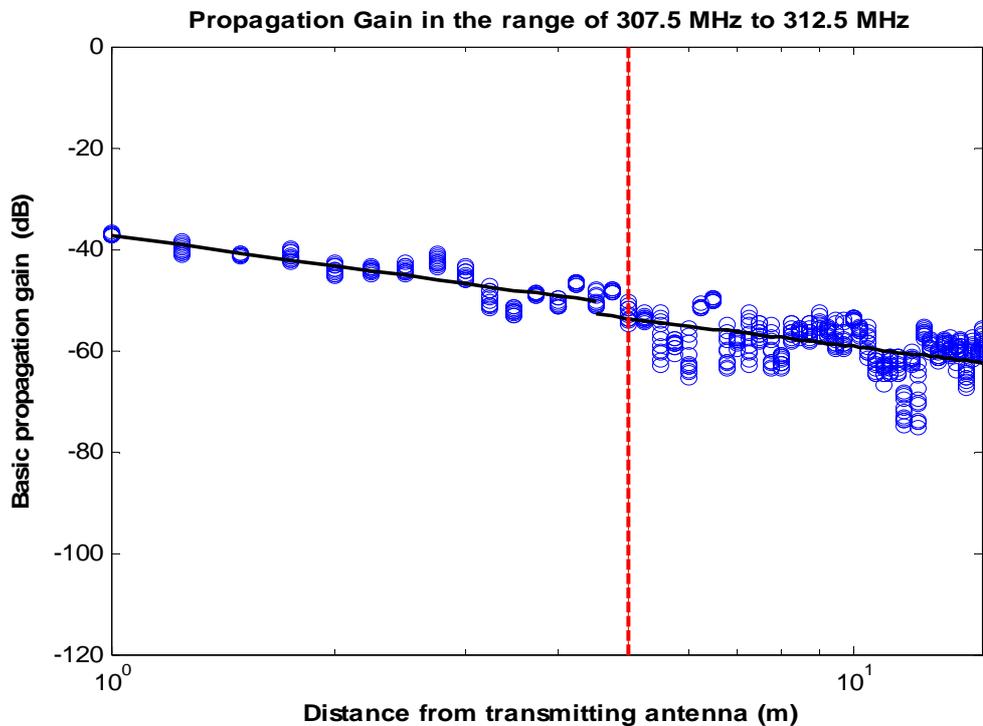


Figura 4-13: Ganancia de propagación básica en función de la distancia entre Tx y Rx para un canal de 5 MHz.

La Figura 4-13 representa la ganancia básica de propagación en función de la distancia entre el transmisor y el receptor para el rango entre 307.5 MHz y 312.5 MHz. La línea vertical roja representa la posición de las columnas de hormigón.

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera

$$G_{bp} \text{ (dB)} = \begin{cases} - \{37.26 + 19.95 \log_{10} (d)\} & d \leq 4.5\text{m} \\ - \{52.85 + 18.46 \log_{10} (d/4.5)\} & d > 4.5\text{m} \end{cases}$$

En este caso se puede apreciar, que hay dos exponentes de propagación ($n_1=1.99$ y $n_2=1.85$), siendo ambos prácticamente iguales (ligeramente inferiores) al exponente de propagación del caso de las pérdidas por espacio libre ($n=2$)

Ahora se representa el histograma de la primera parte del recorrido, que se ha aproximado por una combinación de una Función Gaussiana (95%) y una Función Rayleigh (5%), y en la figura de abajo se representan sus correspondientes CDFs

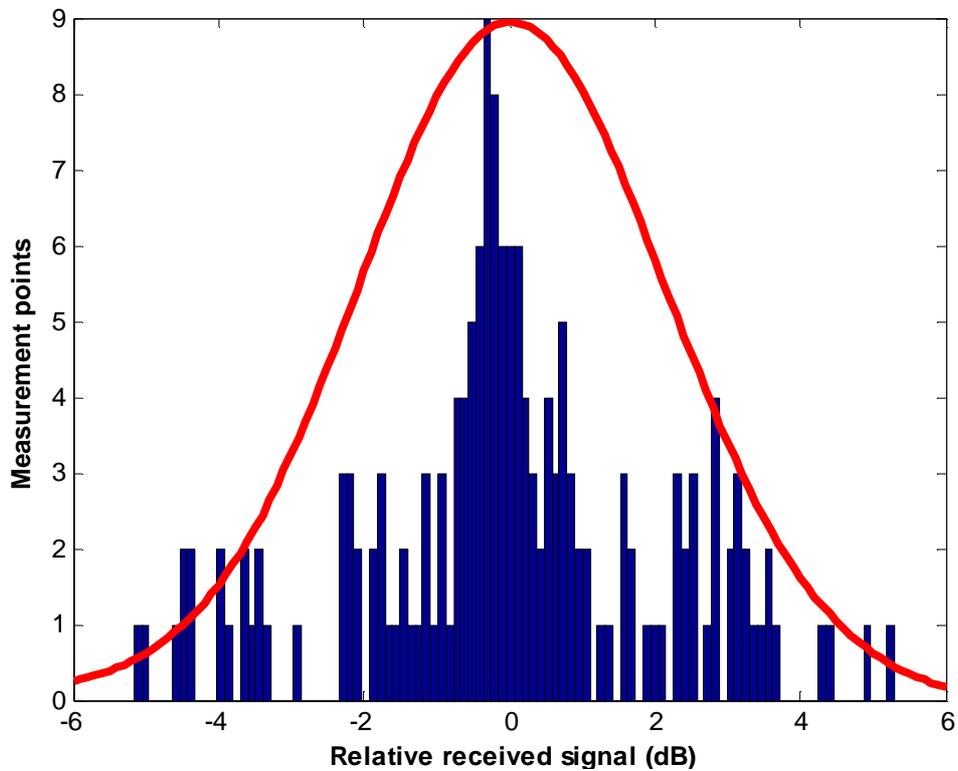


Figura 4-14: Histograma 1 y ajuste correspondiente para un canal de 5 MHz.

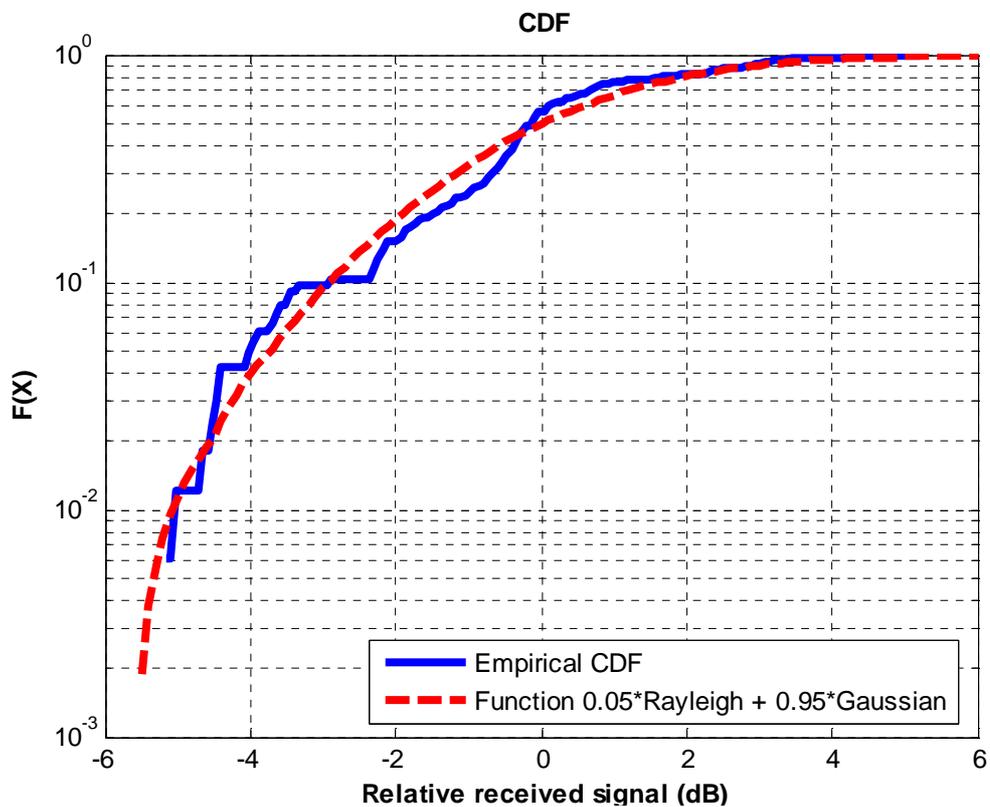


Figura 4-15: CDF 1 en escala logarítmica para un canal de 5 MHz.

Ahora se representa el histograma de la segunda parte del recorrido, que se ha aproximado por una combinación de una Función Gaussiana (5%) y una Función Rayleigh (95%), y en la figura de abajo se representan sus correspondientes CDFs

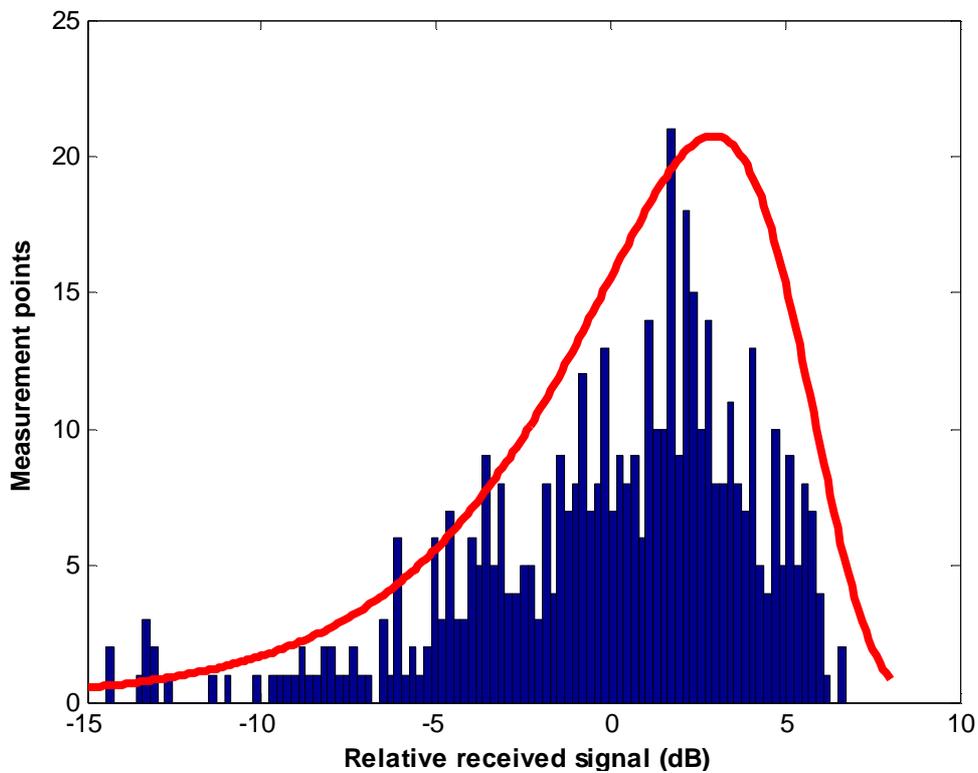


Figura 4-16: Histograma 2 y ajuste correspondiente para un canal de 5 MHz.

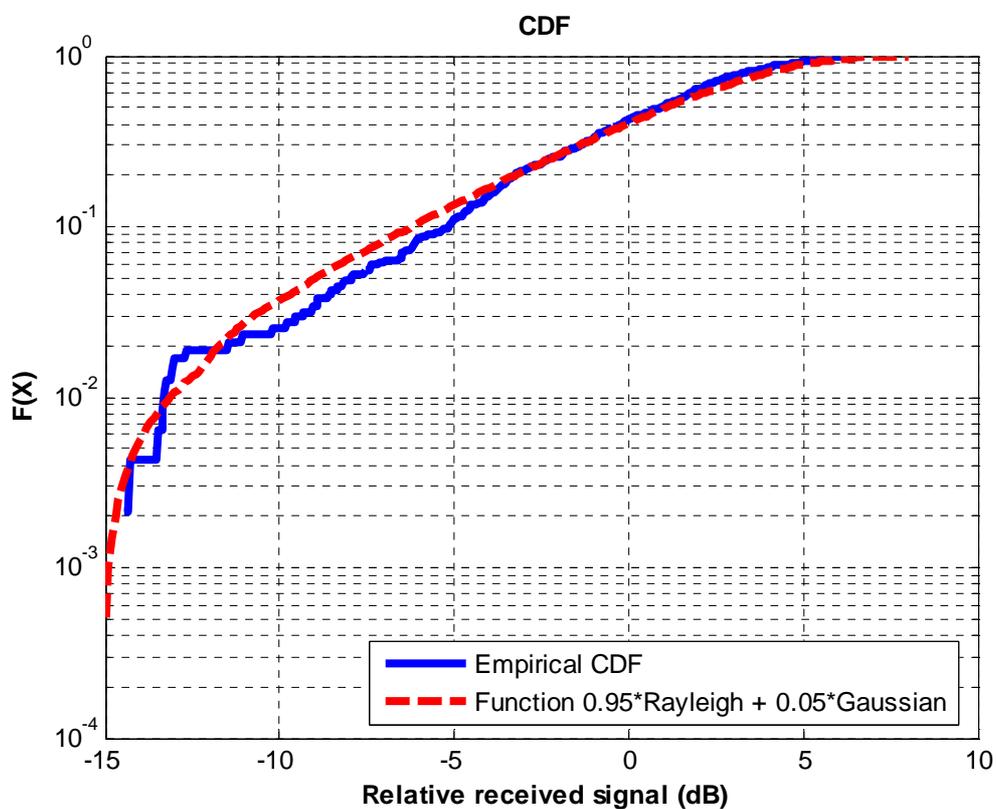


Figura 4-17: CDF 2 en escala logarítmica para un canal de 5 MHz.

CANAL DE 10 MHz DE ANCHO DE BANDA

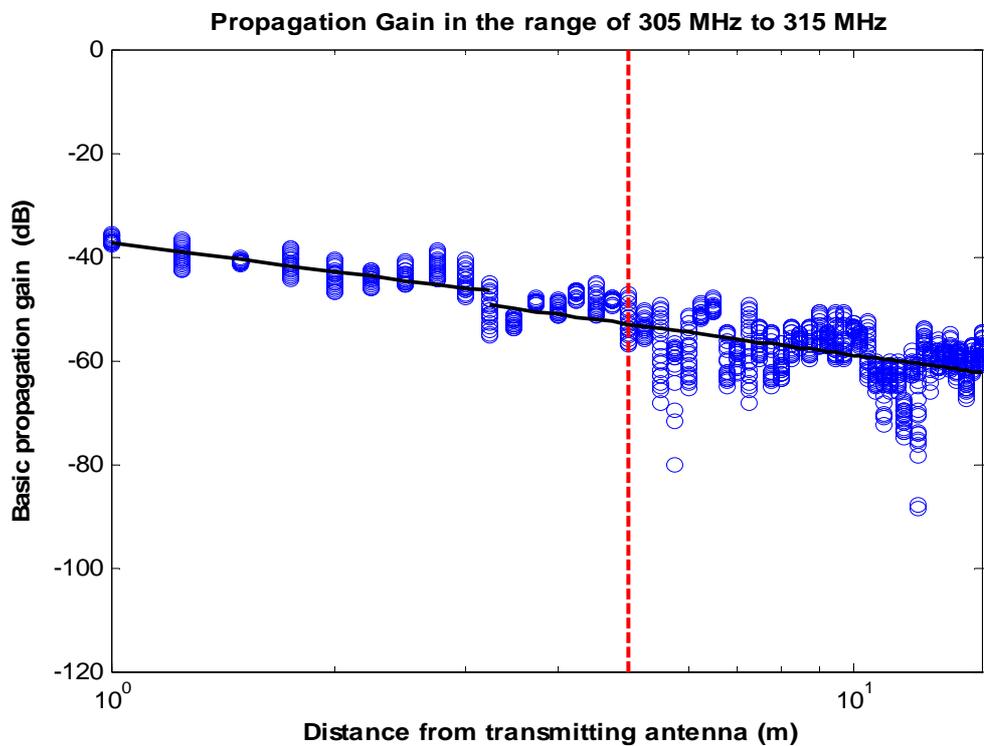


Figura 4-18: Ganancia de propagación básica en función de la distancia entre Tx y Rx para un canal de 10 MHz.

La Figura 4-18 representa la ganancia básica de propagación en función de la distancia entre el transmisor y el receptor para el rango entre 305 MHz y 315 MHz. La línea vertical roja representa la posición de las columnas de hormigón. La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera

$$G_{bp} \text{ (dB)} = \begin{cases} -\{37.48 + 17.82 \log_{10}(d)\} & d \leq 3.25 \text{ m} \\ -\{49.39 + 19.62 \log_{10}(d-3.25)\} & d > 3.25 \text{ m} \end{cases}$$

En este caso se puede apreciar, que hay dos exponentes de propagación ($n_1=1.78$ y $n_2=1.96$), siendo ambos ligeramente inferiores al exponente de propagación del caso de las pérdidas por espacio libre ($n=2$)

Ahora se representa el histograma de la primera parte del recorrido, que se ha aproximado por una combinación de una Función Gaussiana (95%) y una Función Rayleigh (5%), y en la figura de abajo se representan sus correspondientes CDFs

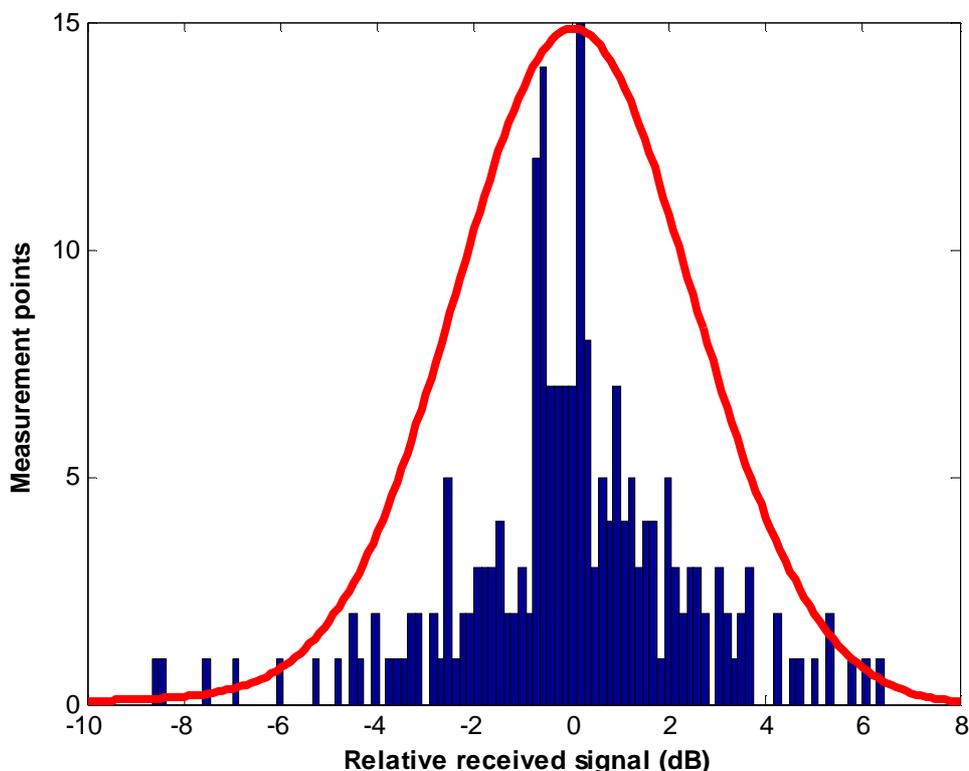


Figura 4-19: Histograma 1 y ajuste correspondiente para un canal de 10 MHz.

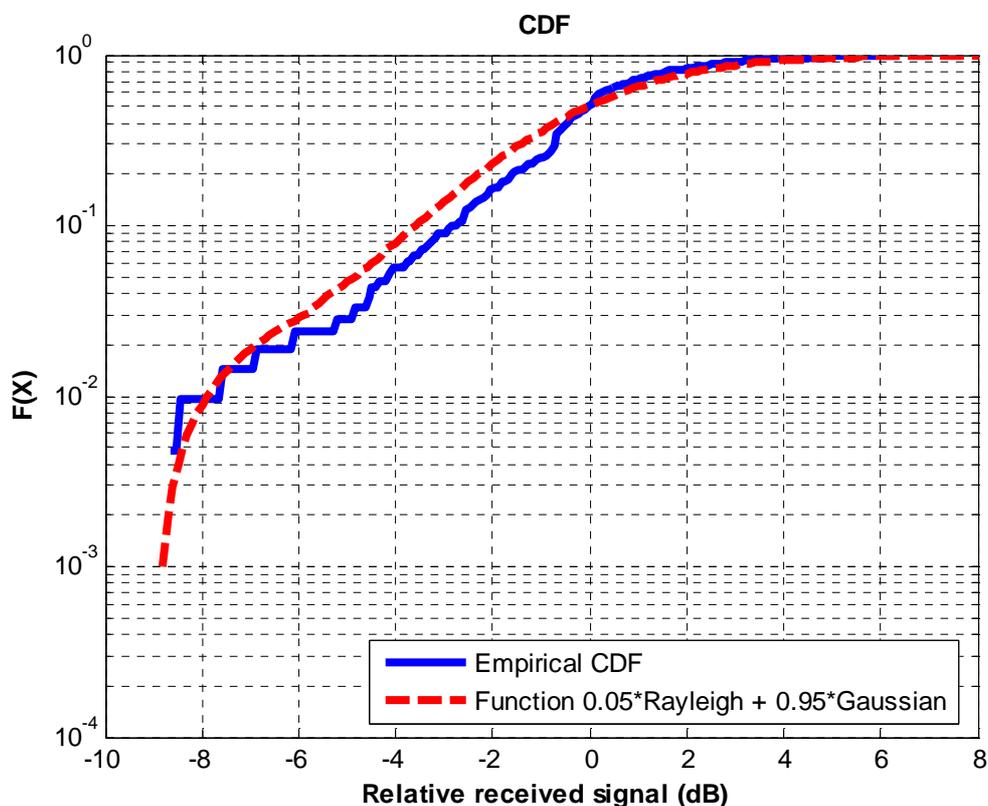


Figura 4-20: CDF 1 en escala logarítmica para un canal de 10 MHz.

Ahora se representa el histograma de la segunda parte del recorrido, que se ha aproximado por una Función Rayleigh, y en la figura de abajo se representan sus correspondientes CDFs

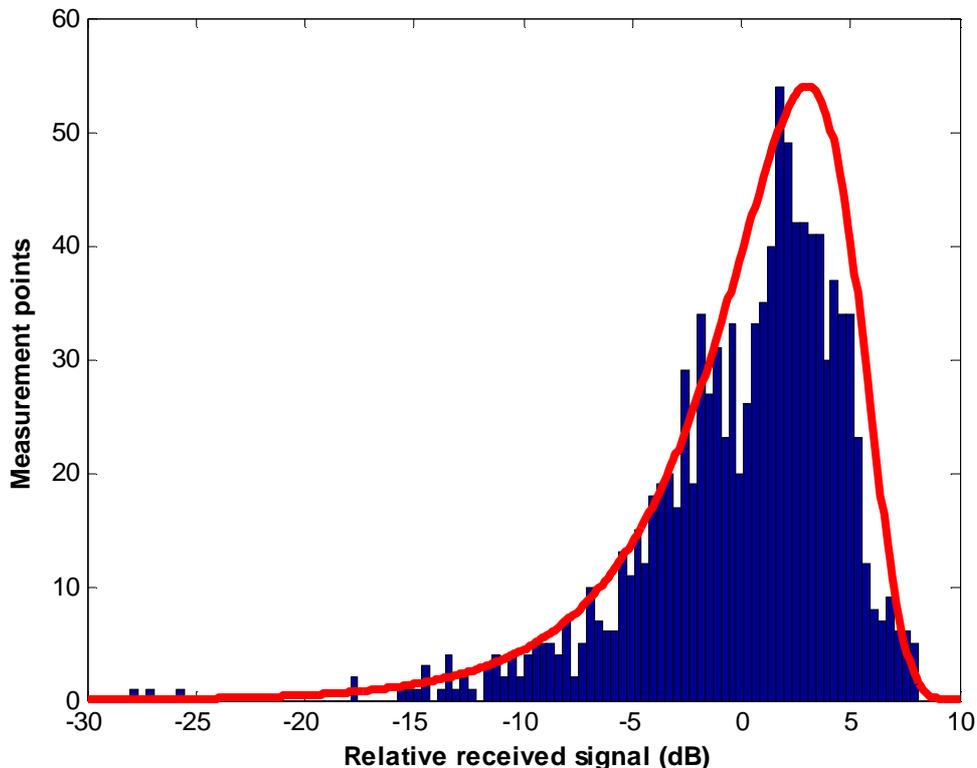


Figura 4-21: Histograma 2 y ajuste correspondiente para un canal de 10 MHz.

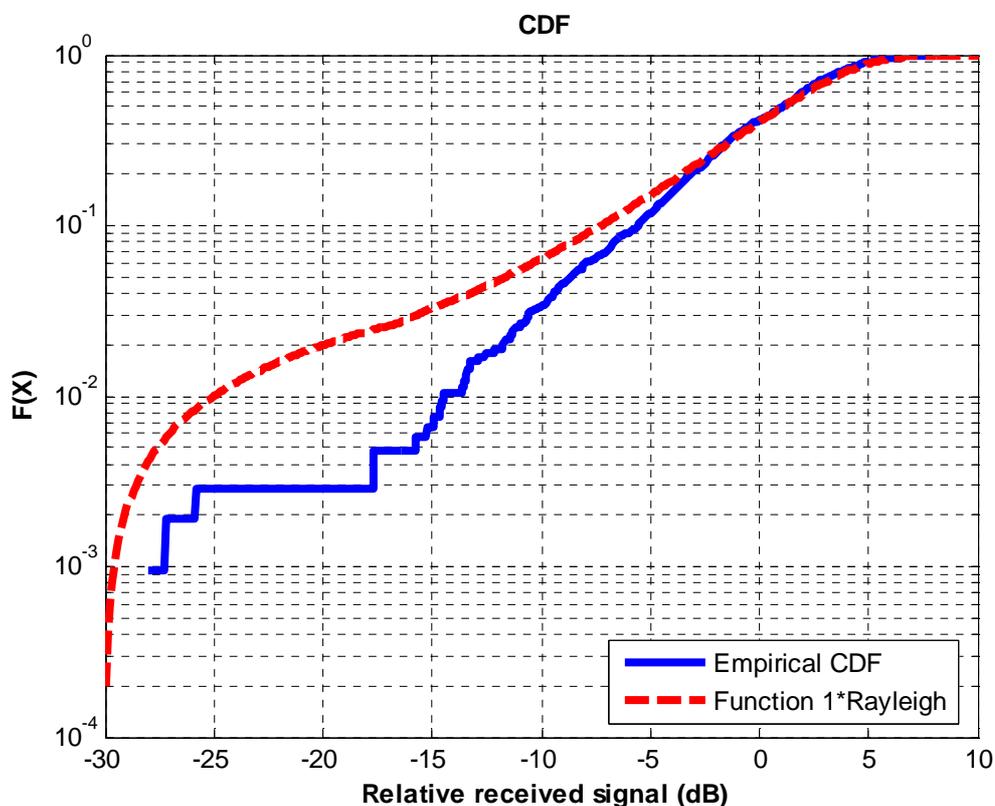


Figura 4-22: CDF 2 en escala logarítmica para un canal de 10 MHz.

CANAL DE 20 MHz DE ANCHO DE BANDA

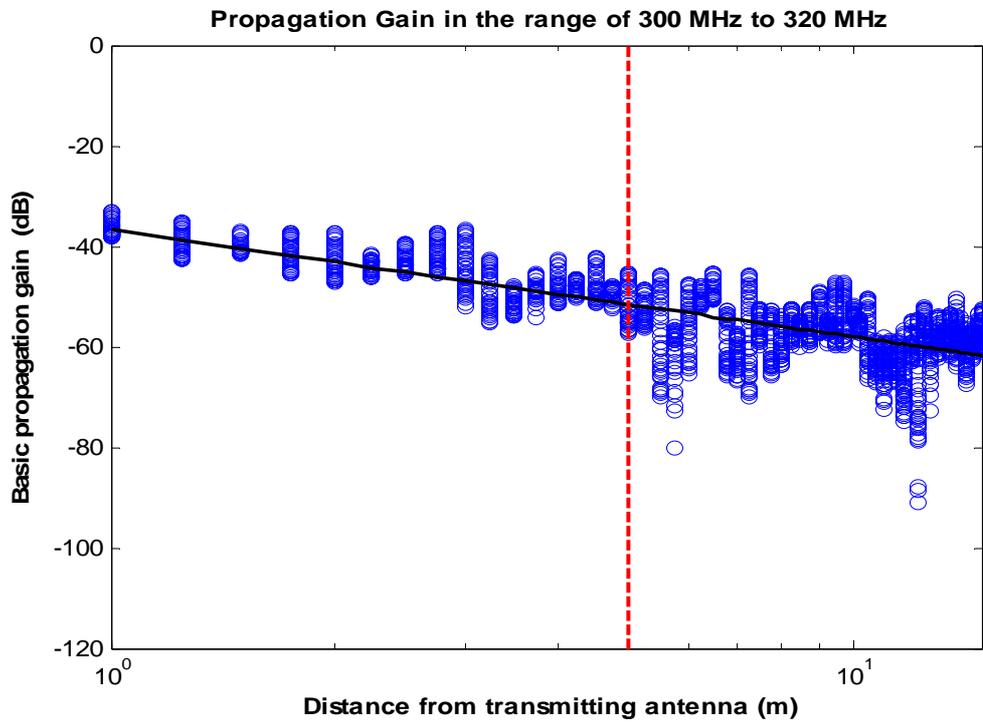


Figura 4-23: Ganancia de propagación básica en función de la distancia entre Tx y Rx para un canal de 20 MHz.

La Figura 4-23 representa la ganancia básica de propagación en función de la distancia entre el transmisor y el receptor para el rango entre 300 MHz y 320 MHz. La línea vertical roja representa la posición de las columnas de hormigón.

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera

$$G_{bp} \text{ (dB)} = \begin{cases} -\{36.79 + 20.83 \log_{10}(d)\} & d \leq 2 \text{ m} \\ -\{43.15 + 21.26 \log_{10}(d/2)\} & d > 2 \text{ m} \end{cases}$$

En este caso se puede apreciar, que hay dos exponentes de propagación ($n_1=2.08$ y $n_2=2.13$), prácticamente iguales (ligeramente superiores) al exponente de propagación del caso de las pérdidas por espacio libre ($n=2$)

Ahora se representa el histograma de la primera parte del recorrido, que se ha aproximado por una Función Gaussiana y en la figura de abajo se representan sus correspondientes CDFs

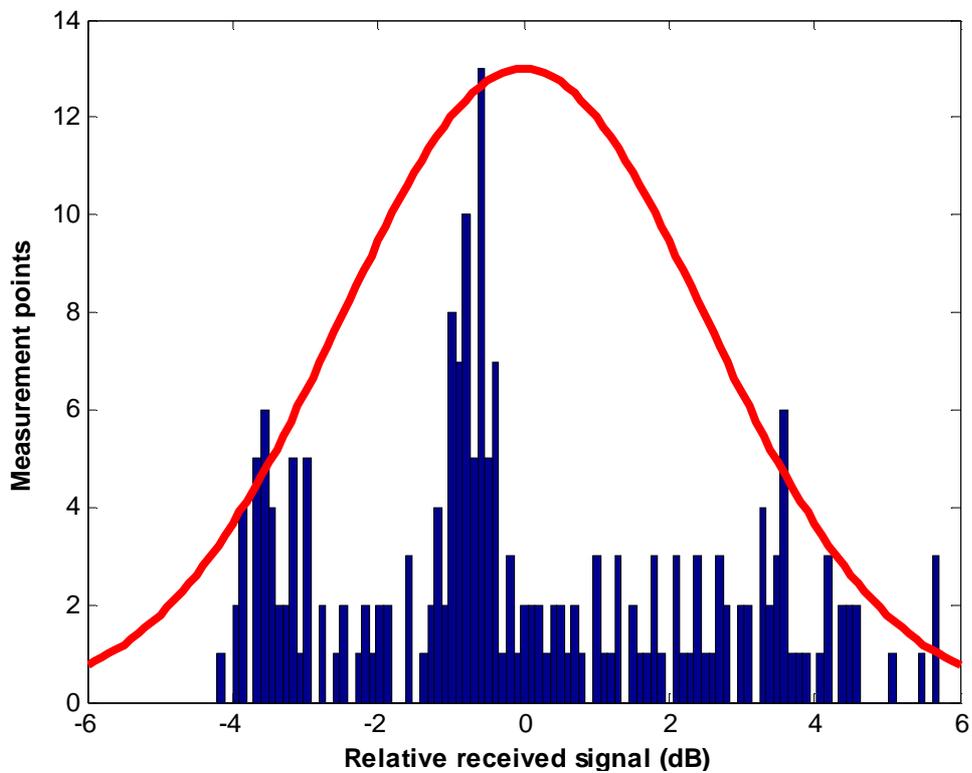


Figura 4-24: Histograma 1 y ajuste correspondiente para un canal de 20 MHz.

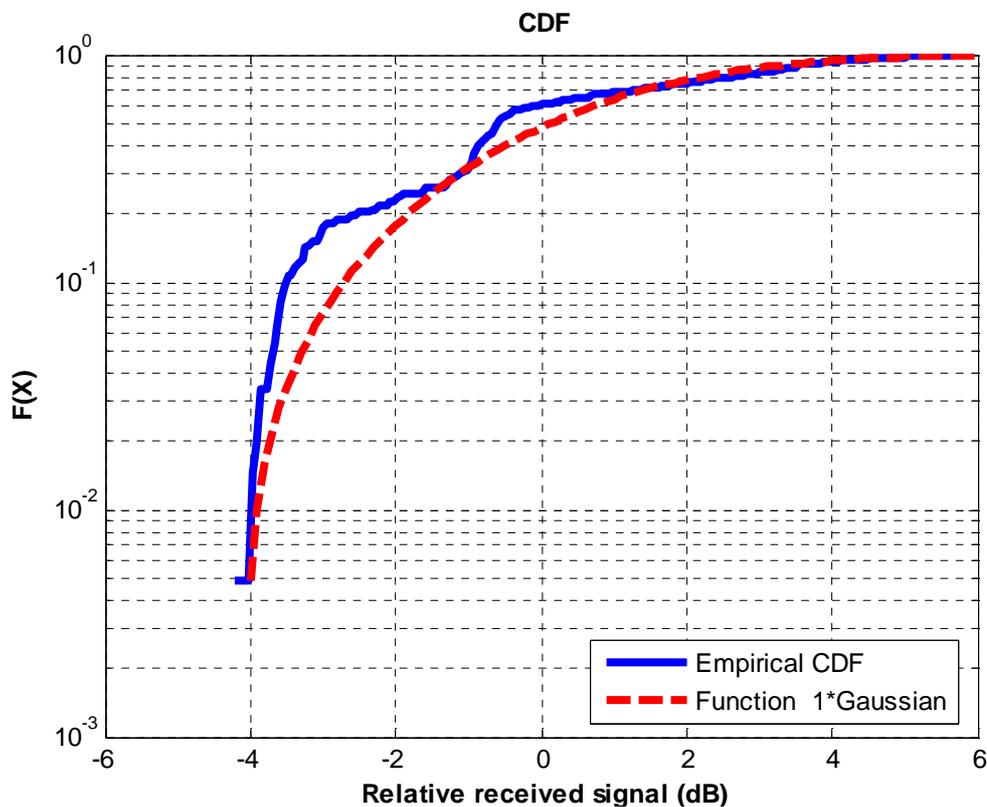


Figura 4-25: CDF 1 en escala logarítmica para un canal de 20 MHz.

Ahora se representa el histograma de la segunda parte del recorrido, que se ha aproximado por una combinación de una Función Gaussiana (5%) y una Función Rayleigh (95%), y en la figura de abajo se representan sus correspondientes CDFs

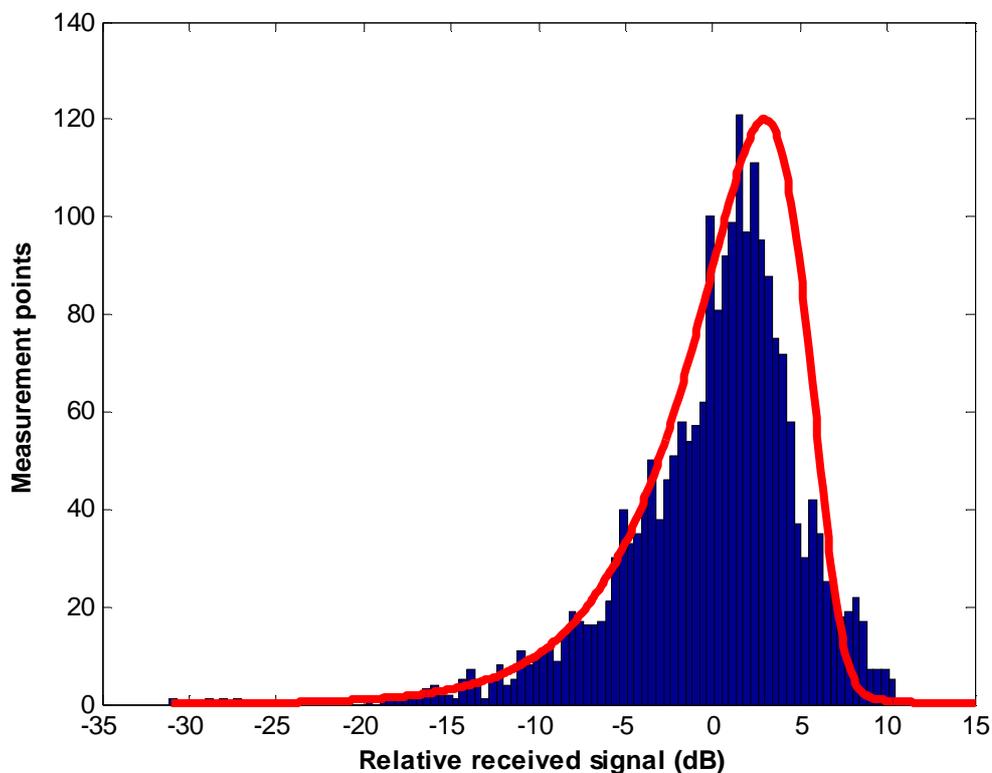


Figura 4-26: Histograma 2 y ajuste correspondiente para un canal de 20 MHz.

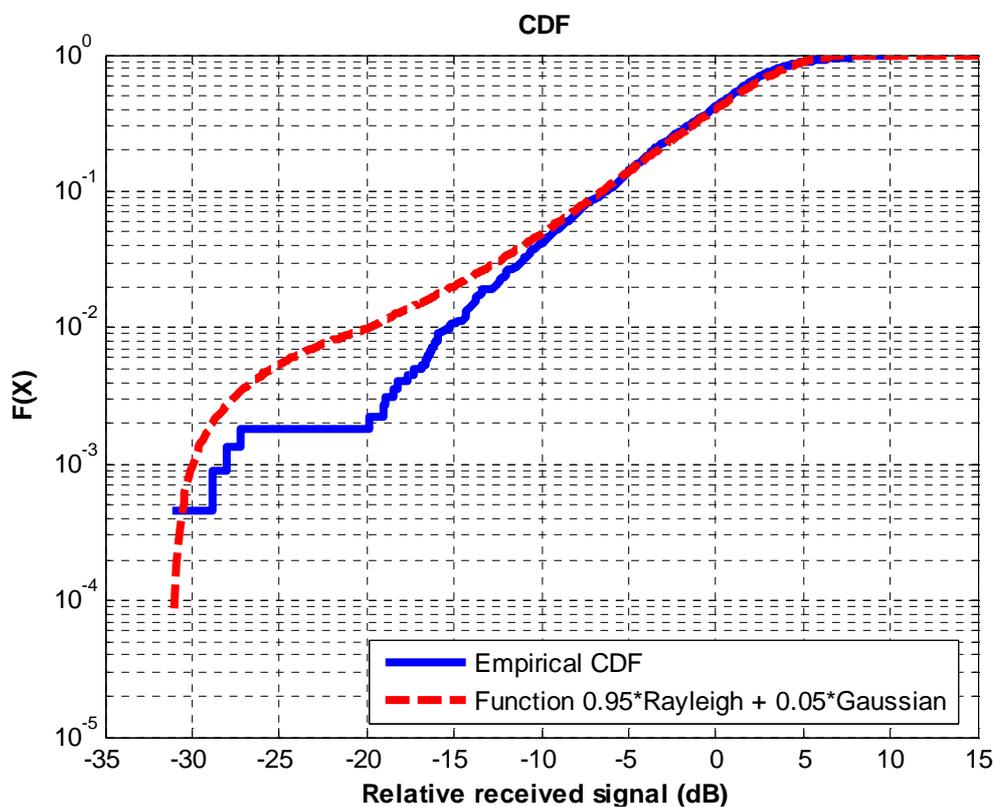


Figura 4-27: CDF 2 en escala logarítmica para un canal de 20 MHz.

Antenas que operan entre 400 MHz y 420 MHz

CANAL DE 0.2 MHz DE ANCHO DE BANDA

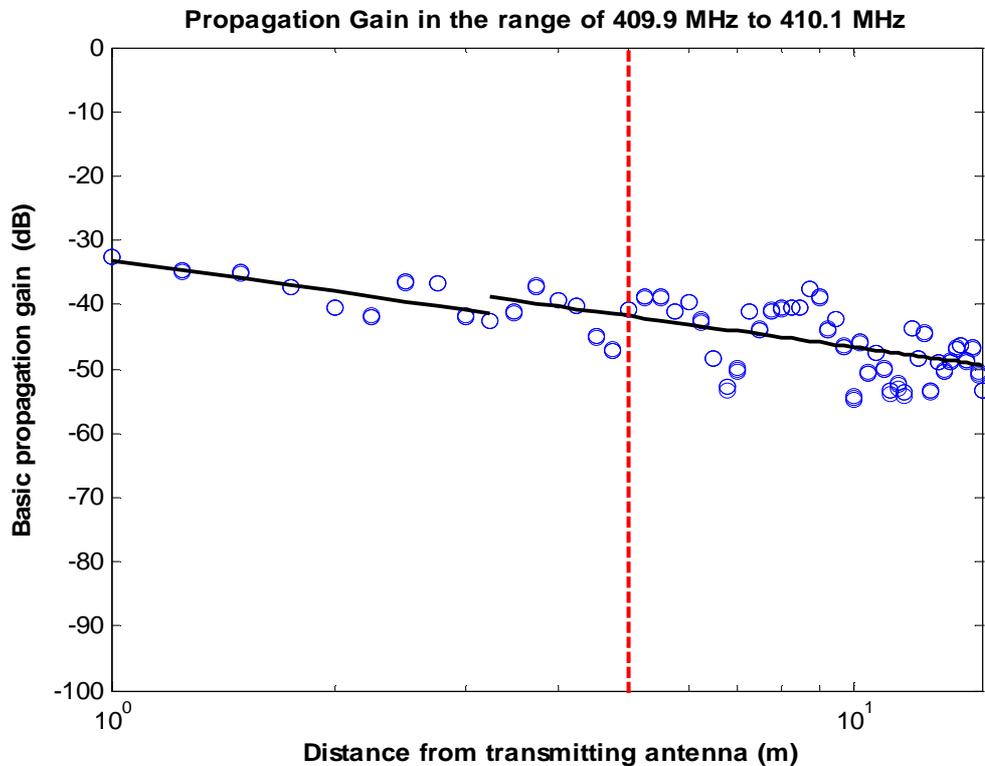


Figura 4-28: Ganancia de propagación básica en función de la distancia entre Tx y Rx para un canal de 0.2 MHz.

La Figura 4-28 representa la ganancia básica de propagación en función de la distancia entre el transmisor y el receptor para el rango entre 409.9 MHz y 410.1 MHz. La línea vertical roja representa la posición de las columnas de hormigón.

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera

$$G_{bp} \text{ (dB)} = \begin{cases} -\{33.07 + 16.26 \log_{10}(d)\} & d \leq 3.25 \text{ m} \\ -\{38.82 + 15.96 \log_{10}(d/3.25)\} & d > 3.25 \text{ m} \end{cases}$$

En este caso se puede apreciar, que hay dos exponentes de propagación ($n_1=1.62$ y $n_2=1.6$), siendo ambos menores que el exponente de propagación del caso de las pérdidas por espacio libre ($n=2$)

Ahora se representa el histograma de la primera parte del recorrido, que se ha aproximado por una combinación de una Función Gaussiana (75%) y una Función Rayleigh (25%), y en la figura de abajo se representan sus correspondientes CDFs

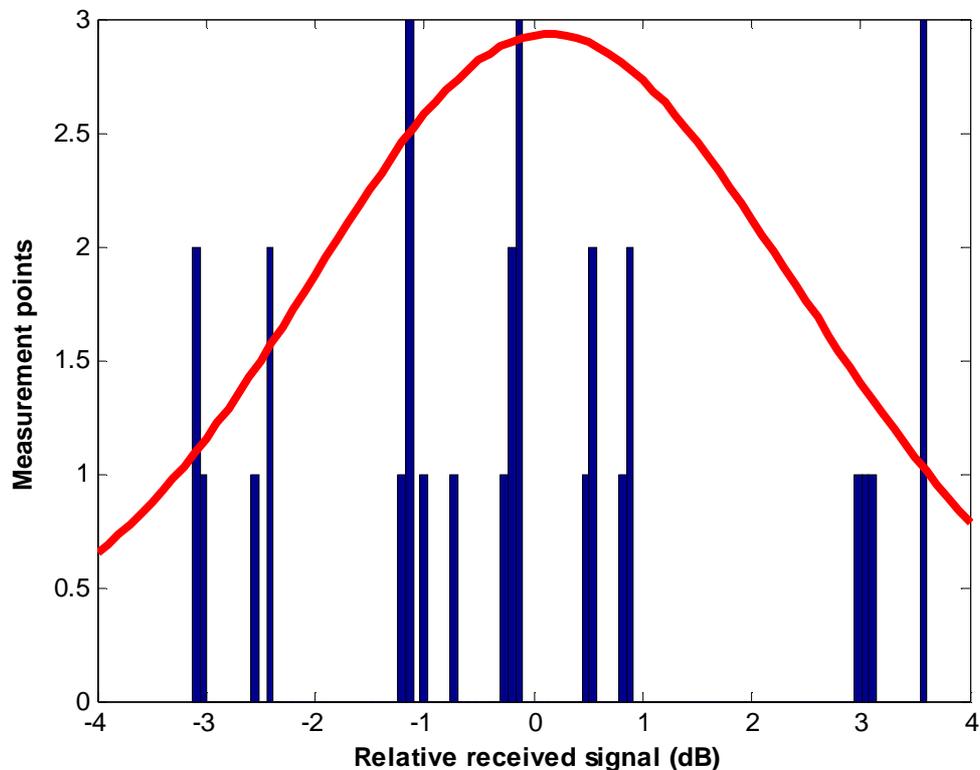


Figura 4-29: Histograma 1 y ajuste correspondiente para un canal de 0.2 MHz.

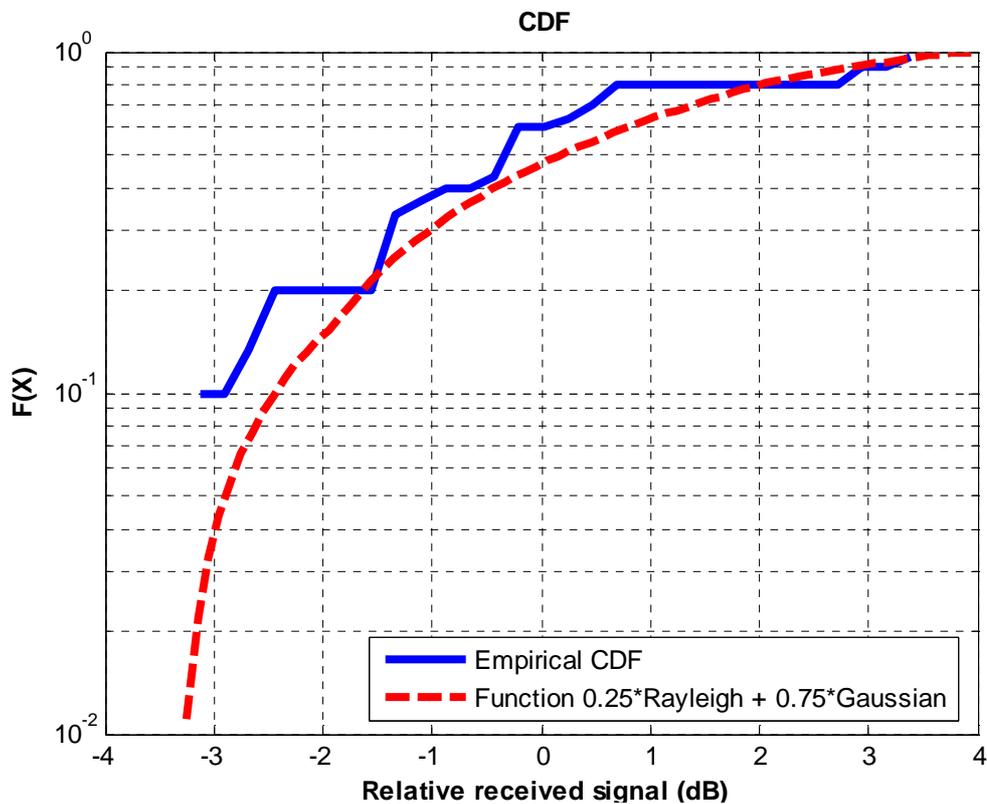


Figura 4-30: CDF 1 en escala logarítmica para un canal de 0.2 MHz

Ahora se representa el histograma de la segunda parte del recorrido, que se ha aproximado por una combinación de una Función Gaussiana (25%) y una Función Rayleigh (75%) , y en la figura de abajo se representan sus correspondientes CDFs

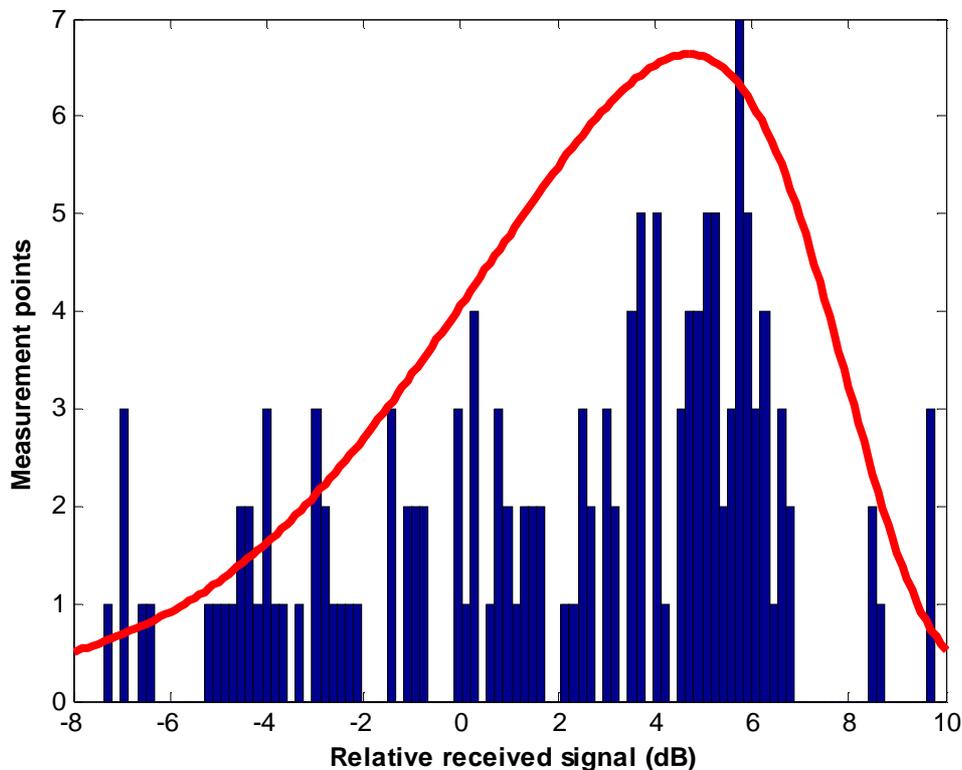


Figura 4-31: Histograma 2 y ajuste correspondiente para un canal de 0.2 MHz.

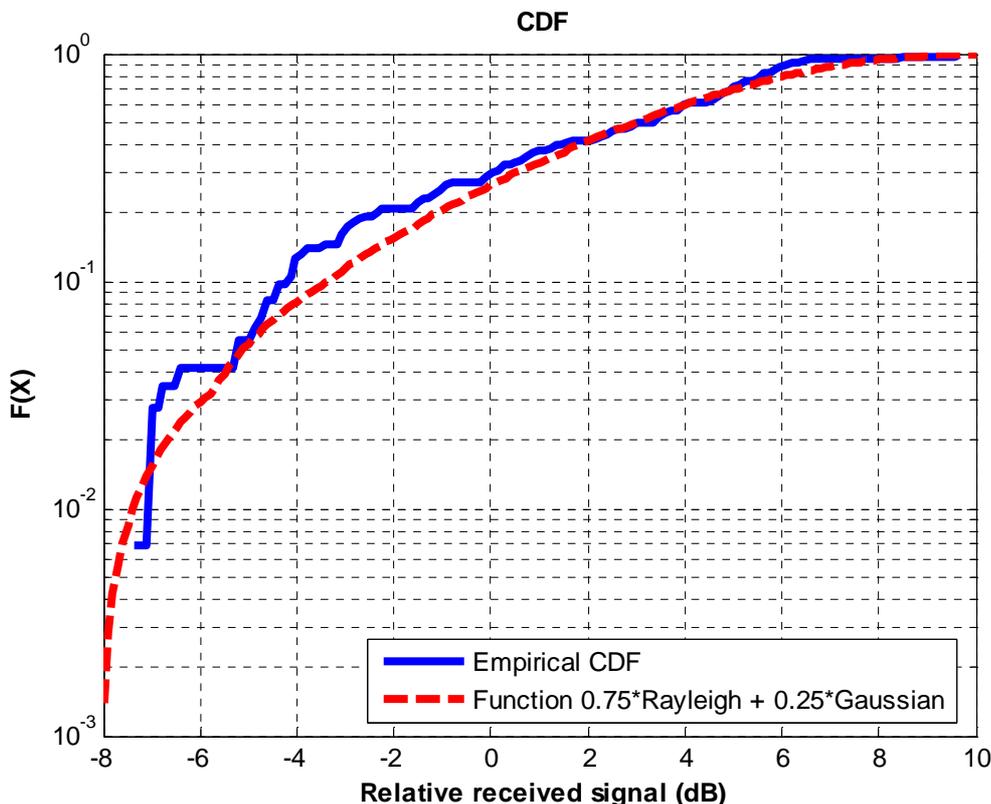


Figura 4-32: CDF 2 en escala logarítmica para un canal de 0.2 MHz.

CANAL DE 1 MHz DE ANCHO DE BANDA

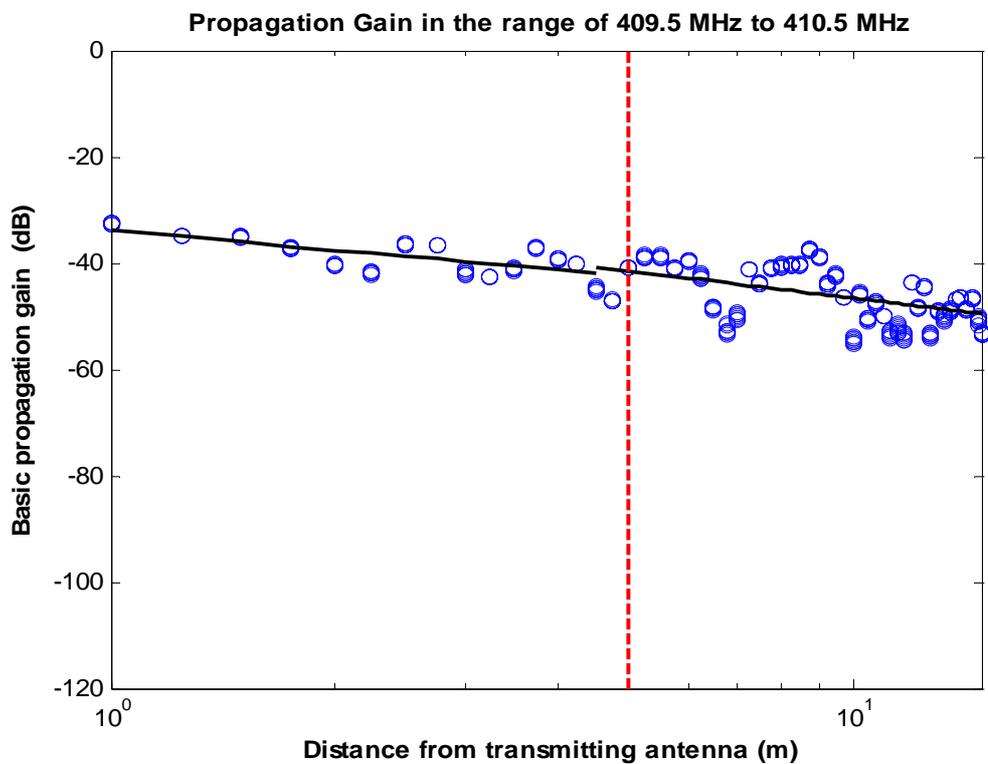


Figura 4-33: Ganancia de propagación básica en función de la distancia entre Tx y Rx para un canal de 1 MHz.

La Figura 4-33 representa la ganancia básica de propagación en función de la distancia entre el transmisor y el receptor para el rango entre 409.5 MHz y 410.5 MHz. La línea vertical roja representa la posición de las columnas de hormigón.

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera

$$G_{bp} \text{ (dB)} = \begin{cases} - \{33.85 + 12.39 \log_{10} (d)\} & d \leq 4.5\text{m} \\ - \{40.73 + 16.97 \log_{10} (d/4.5)\} & d > 4.5 \text{ m} \end{cases}$$

En este caso se puede apreciar, que hay dos exponentes de propagación ($n_1=1.24$ y $n_2=1.7$), siendo ambos menores que el exponente de propagación del caso de las pérdidas por espacio libre ($n=2$)

Ahora se representa el histograma de la primera parte del recorrido, que se ha aproximado por una combinación de una Función Gaussiana (90%) y una Función Rayleigh (10%), y en la figura de abajo se representan sus correspondientes CDFs

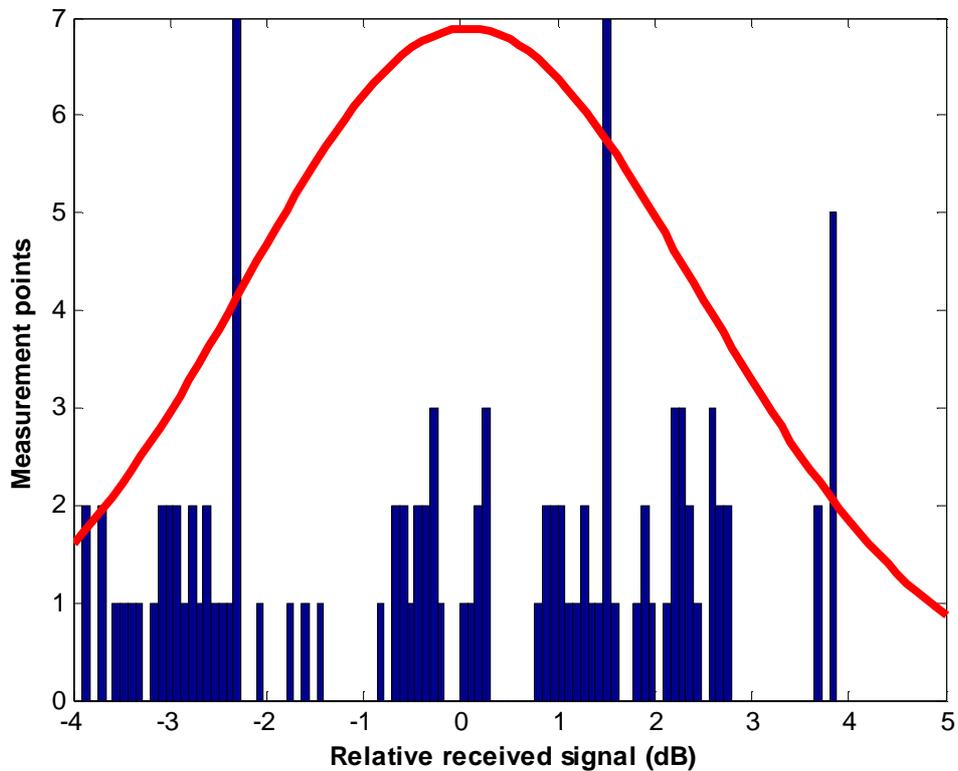


Figura 4-34: Histograma 1 y ajuste correspondiente para un canal de 1 MHz.

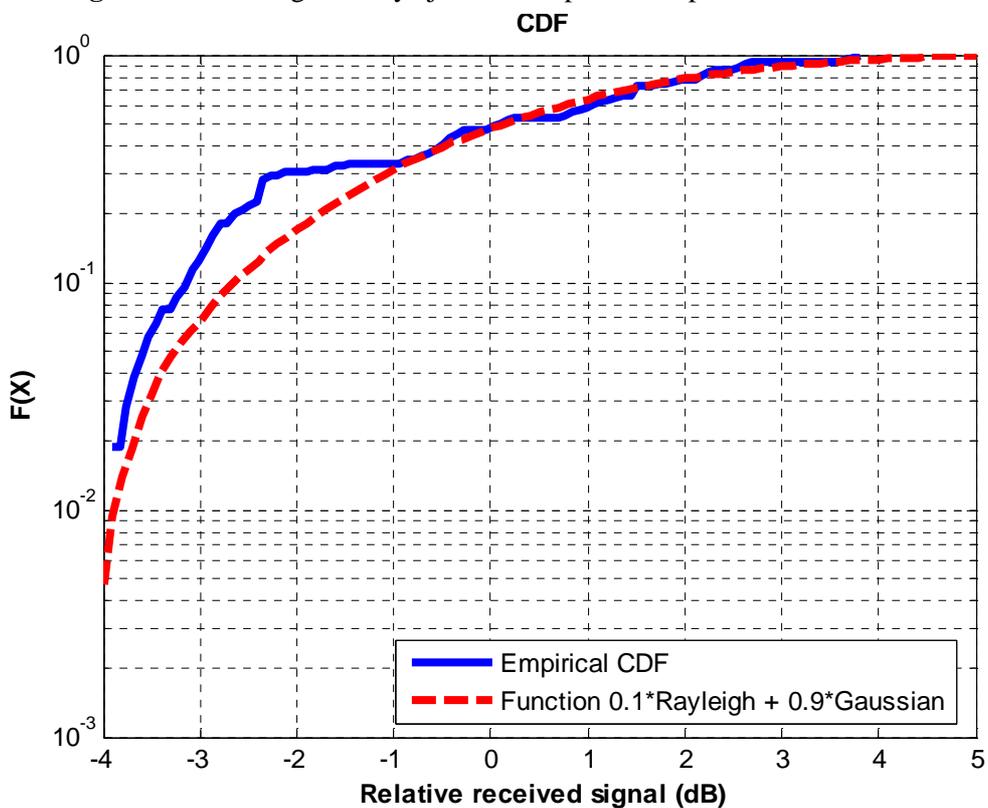


Figura 4-35: CDF 1 en escala logarítmica para un canal de 1 MHz.

Ahora se representa el histograma de la segunda parte del recorrido, que se ha aproximado por una combinación de una Función Gaussiana (5%) y una Función Rayleigh (95%), y en la figura de abajo se representan sus correspondientes CDFs

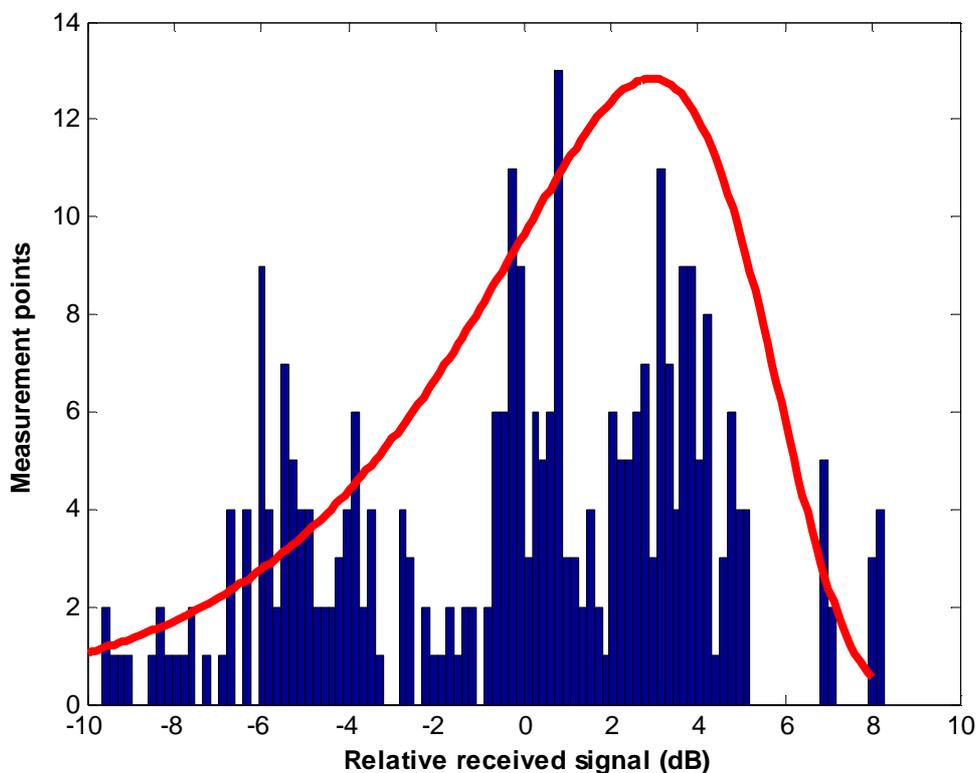


Figura 4-36: Histograma 2 y ajuste correspondiente para un canal de 1 MHz.

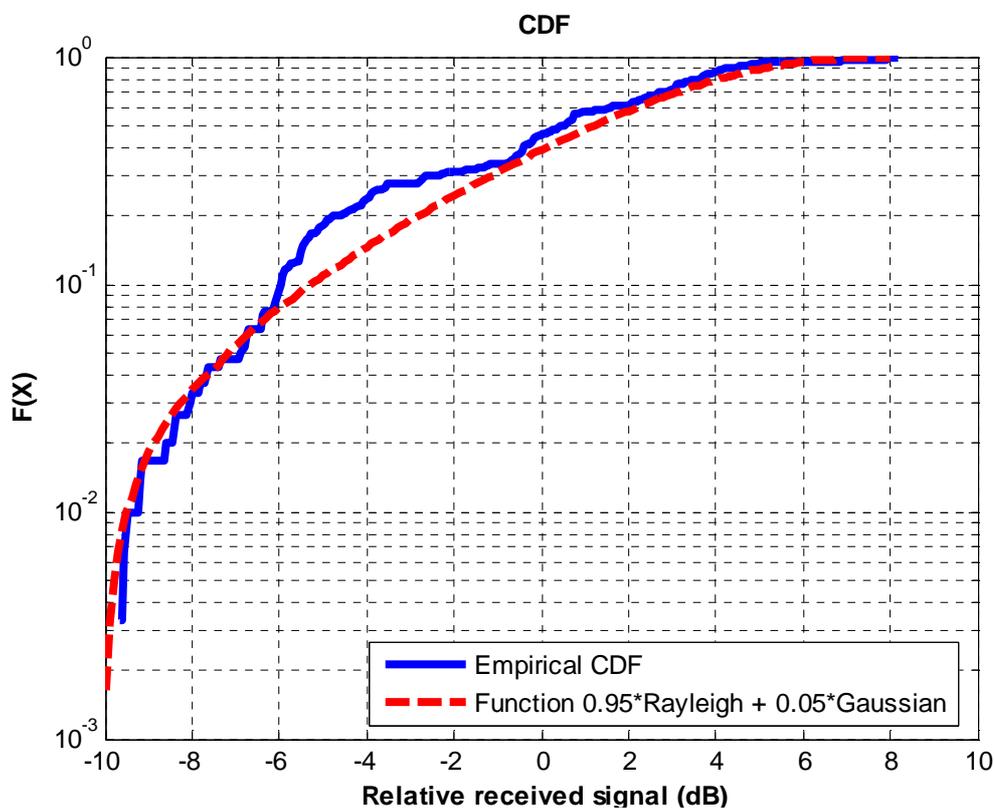


Figura 4-37: CDF 2 en escala logarítmica para un canal de 1 MHz.

CANAL DE 5 MHz DE ANCHO DE BANDA

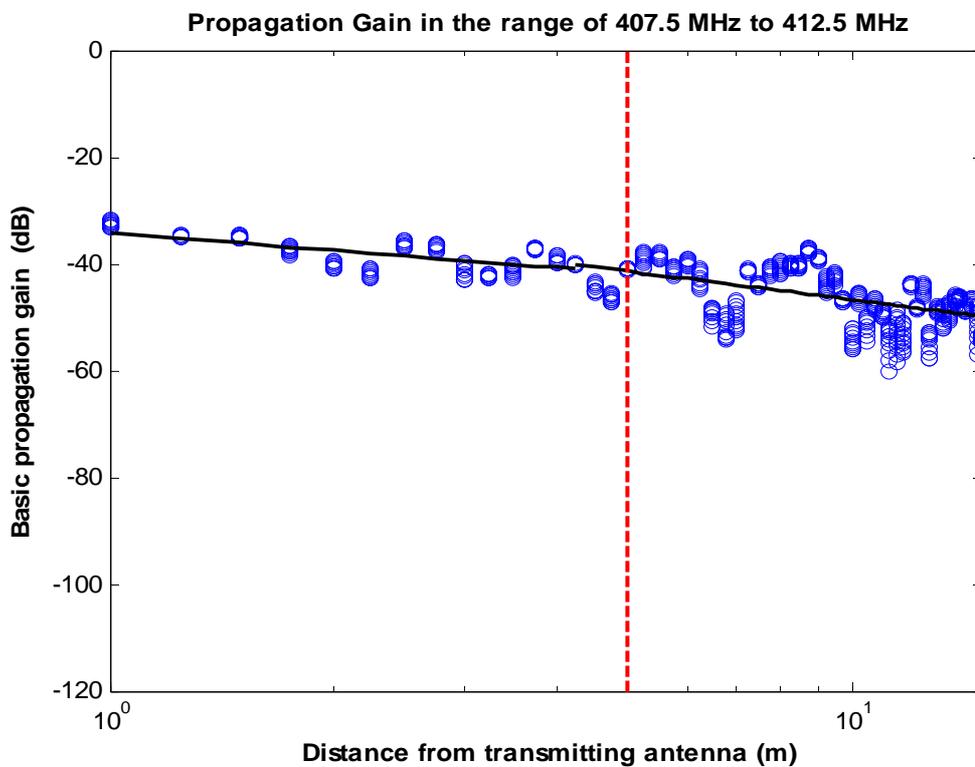


Figura 4-38: Ganancia de propagación básica en función de la distancia entre Tx y Rx para un canal de 5 MHz.

La Figura 4-38 representa la ganancia básica de propagación en función de la distancia entre el transmisor y el receptor para el rango entre 407.5 MHz y 412.5 MHz. La línea vertical roja representa la posición de las columnas de hormigón.

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera

$$G_{bp} \text{ (dB)} = \begin{cases} -\{34.24 + 10.73 \log_{10}(d)\} & d \leq 4.25 \text{ m} \\ -\{40.14 + 17.68 \log_{10}(d/4.25)\} & d > 4.25 \text{ m} \end{cases}$$

En este caso se puede apreciar, que hay dos exponentes de propagación ($n_1=1.07$ y $n_2=1.77$), siendo ambos menores que el exponente de propagación del caso de las pérdidas por espacio libre ($n=2$)

Ahora se representa el histograma de la primera parte del recorrido, que se ha aproximado por una combinación de una Función Gaussiana (40%) y una Función Rayleigh (60%), y en la figura de abajo se representan sus correspondientes CDFs

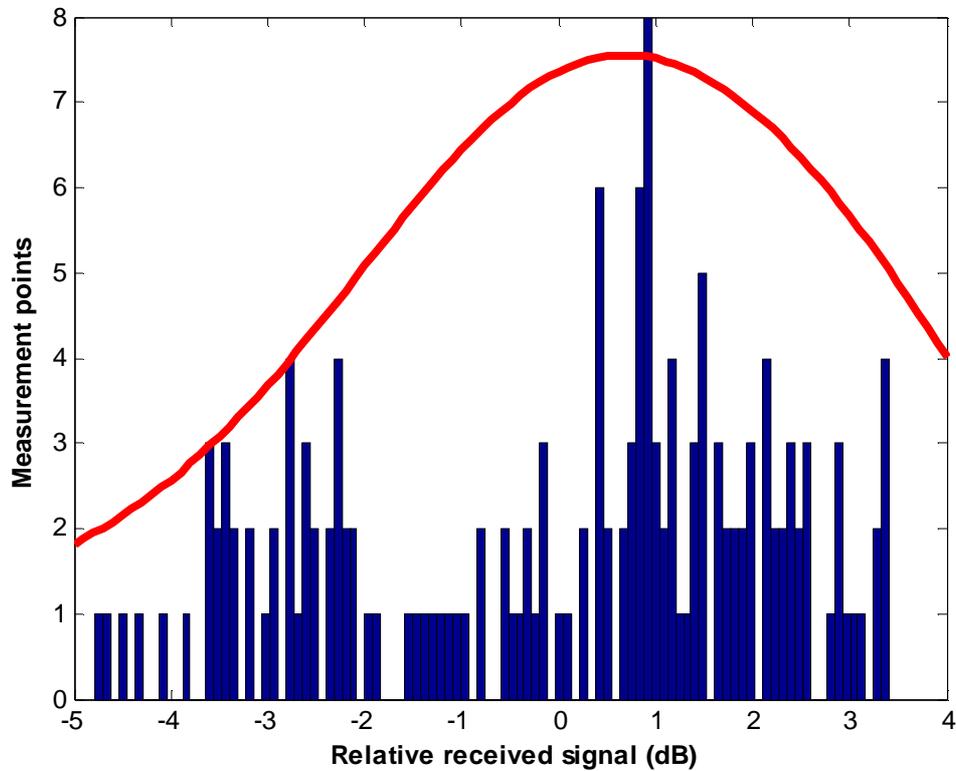


Figura 4-39: Histograma 1 y ajuste correspondiente para un canal de 5 MHz.

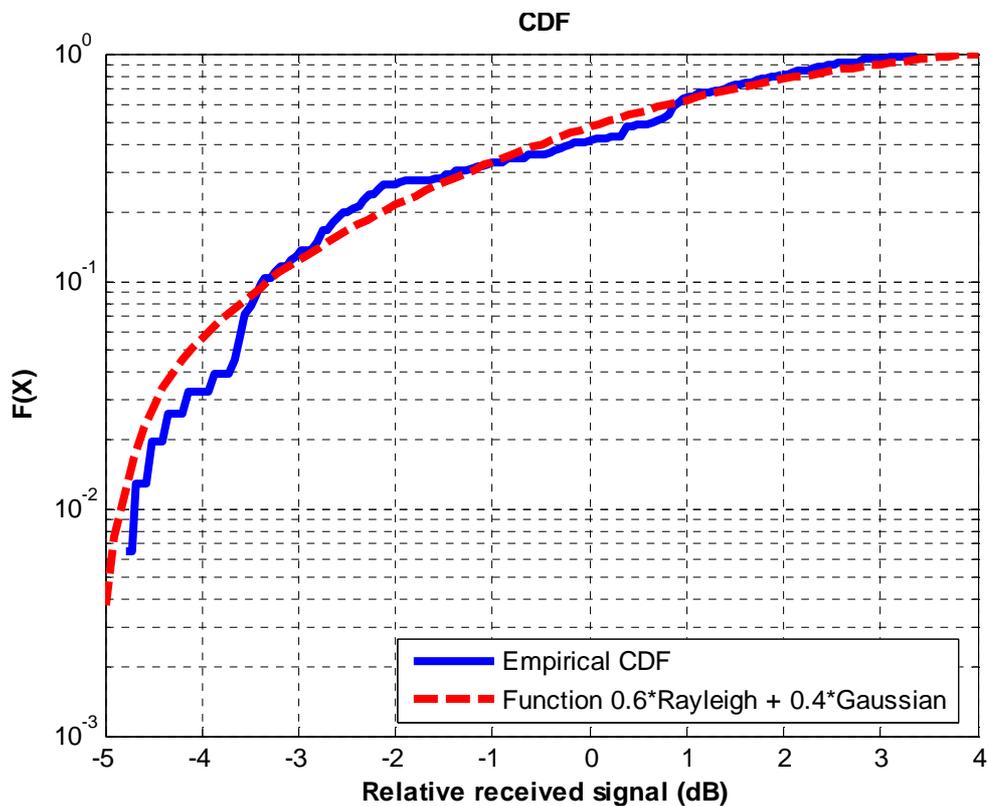


Figura 4-40: CDF 1 en escala logarítmica para un canal de 5 MHz.

Ahora se representa el histograma de la segunda parte del recorrido, que se ha aproximado por una combinación de una Función Gaussiana (50%) y una Función Rayleigh (50%) , y en la figura de abajo se representan sus correspondientes CDFs

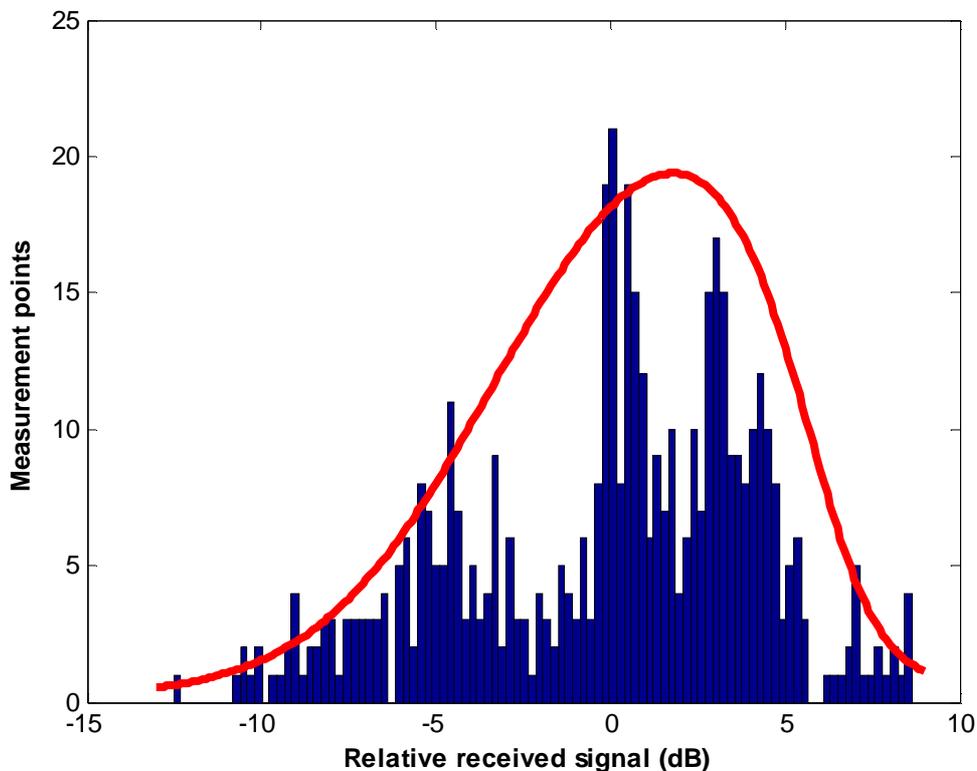


Figura 4-41: Histograma 2 y ajuste correspondiente para un canal de 5 MHz.

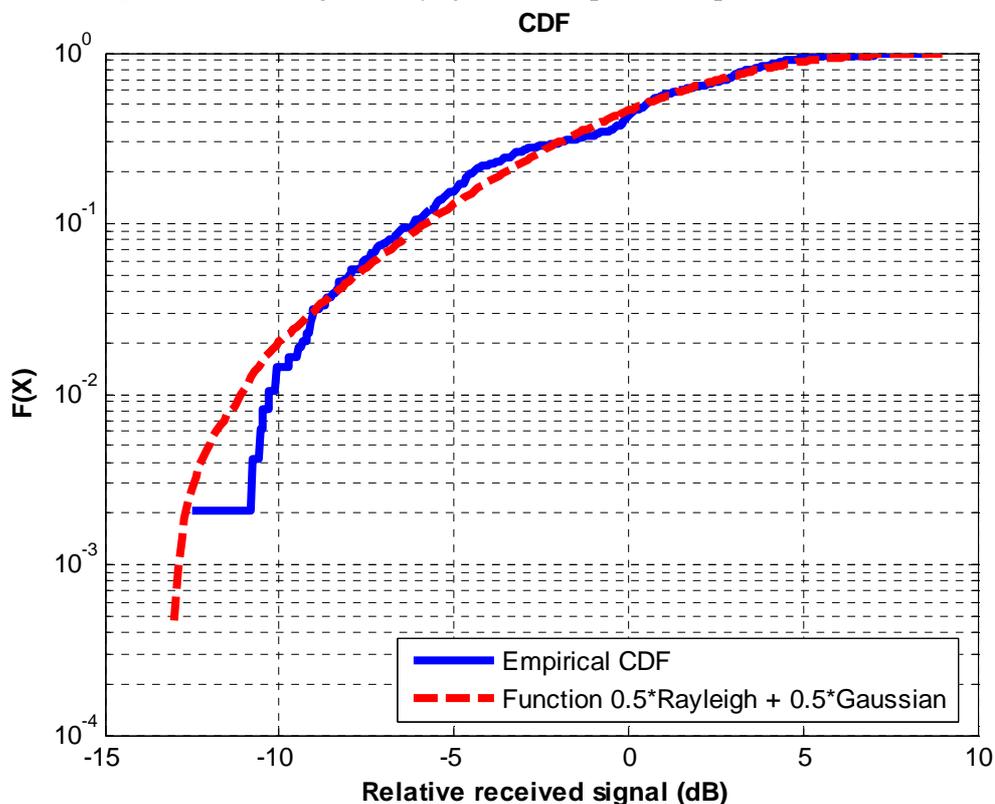


Figura 4-42: CDF 2 en escala logarítmica para un canal de 5 MHz.

CANAL DE 10 MHz DE ANCHO DE BANDA

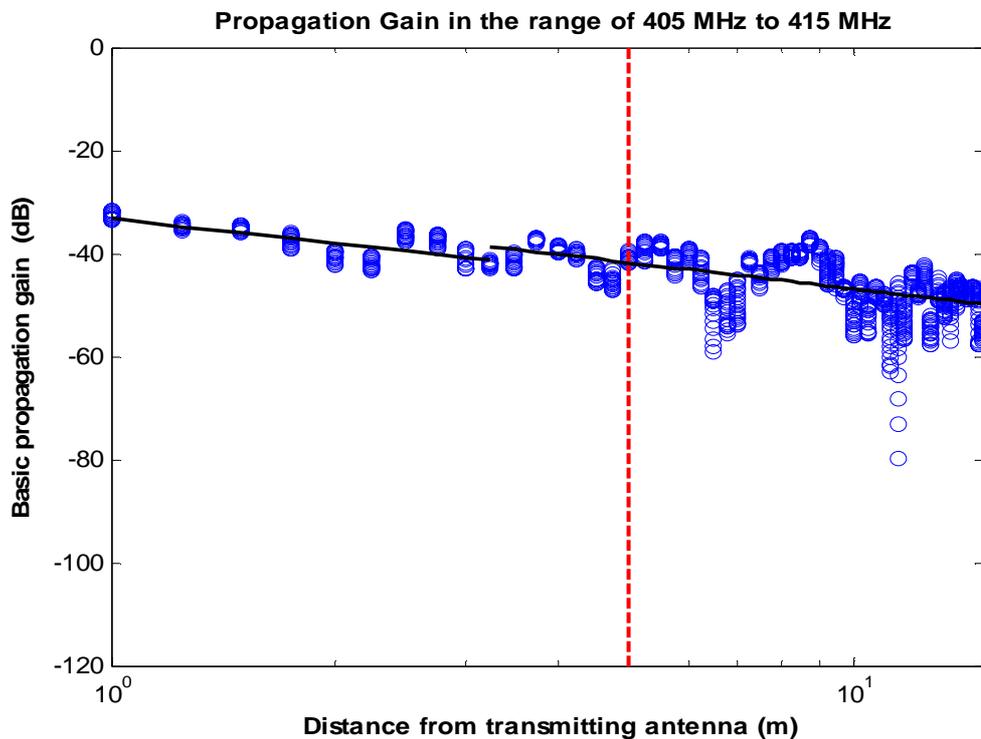


Figura 4-43: Ganancia de propagación básica en función de la distancia entre Tx y Rx para un canal de 10 MHz.

La Figura 4-43 representa la ganancia básica de propagación en función de la distancia entre el transmisor y el receptor para el rango entre 405 MHz y 415 MHz. La línea vertical roja representa la posición de las columnas de hormigón.

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera

$$G_{bp} \text{ (dB)} = \begin{cases} -\{33.22 + 15.80 \log_{10}(d)\} & d \leq 3.25\text{m} \\ -\{38.63 + 16.96 \log_{10}(d/3.25)\} & d > 3.25\text{ m} \end{cases}$$

En este caso se puede apreciar, que hay dos exponentes de propagación ($n_1=1.58$ y $n_2=1.69$), siendo ambos menores que el exponente de propagación del caso de las pérdidas por espacio libre ($n=2$)

Ahora se representa el histograma de la primera parte del recorrido, que se ha aproximado por una combinación de una Función Gaussiana (90%) y una Función Rayleigh (10%), y en la figura de abajo se representan sus correspondientes CDFs

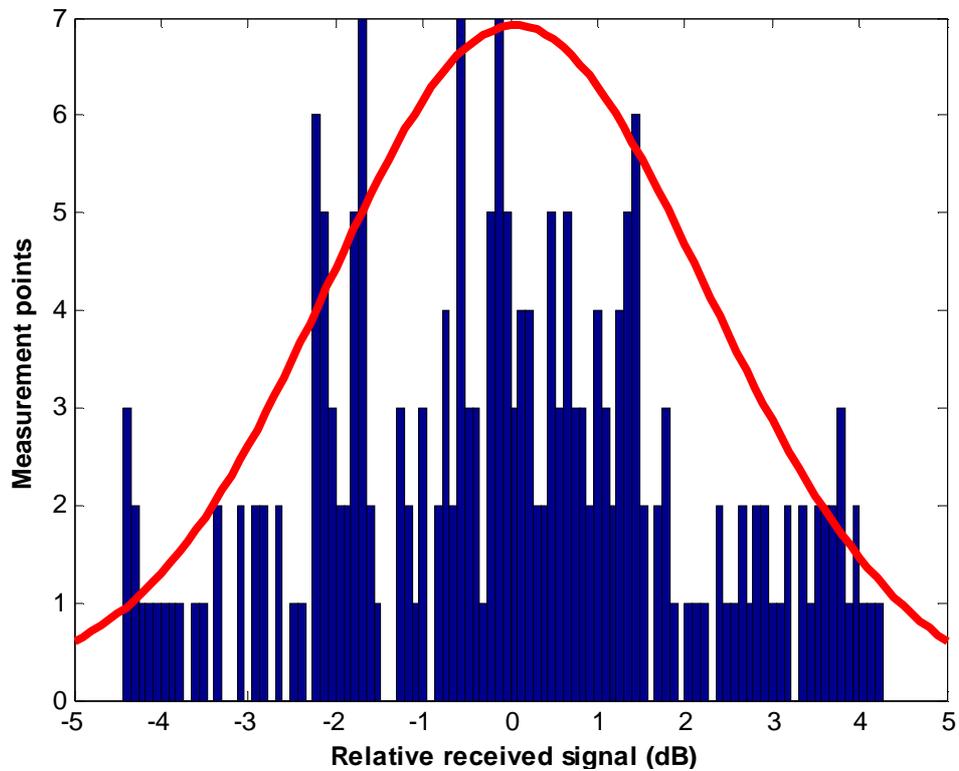


Figura 4-44: Histograma 1 y ajuste correspondiente para un canal de 10 MHz.

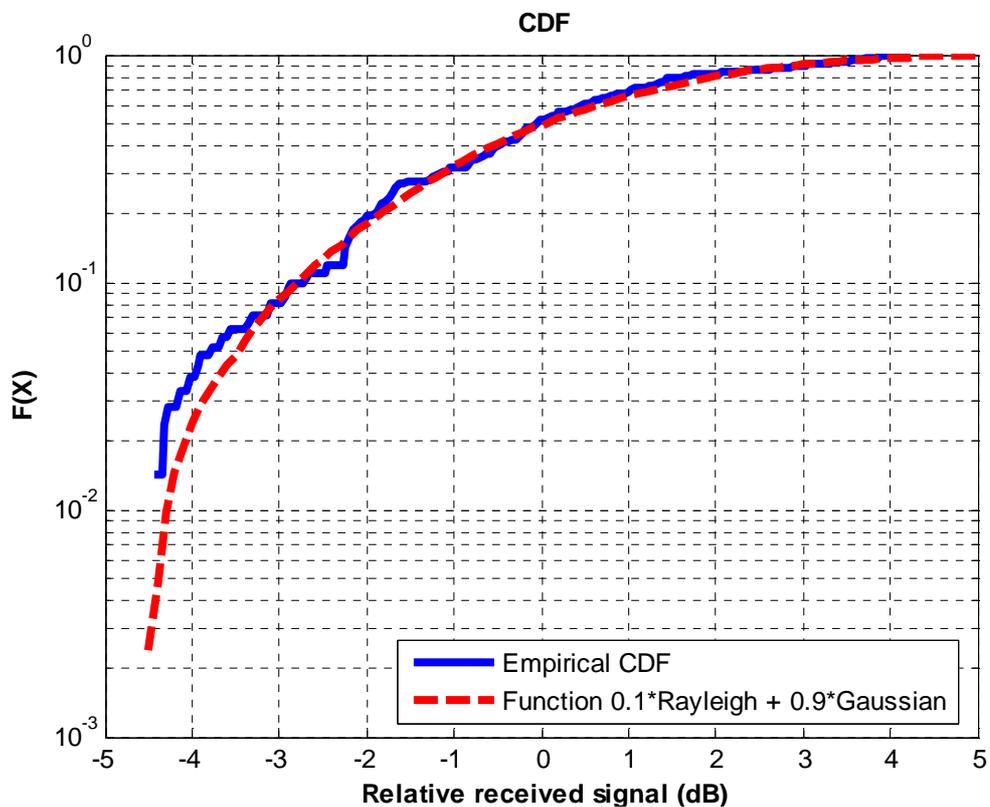


Figura 4-45: CDF 1 en escala logarítmica para un canal de 10 MHz.

Ahora se representa el histograma de la segunda parte del recorrido, que se ha aproximado por una combinación de una Función Gaussiana (10%) y una Función Rayleigh (90%) , y en la figura de abajo se representan sus correspondientes CDFs

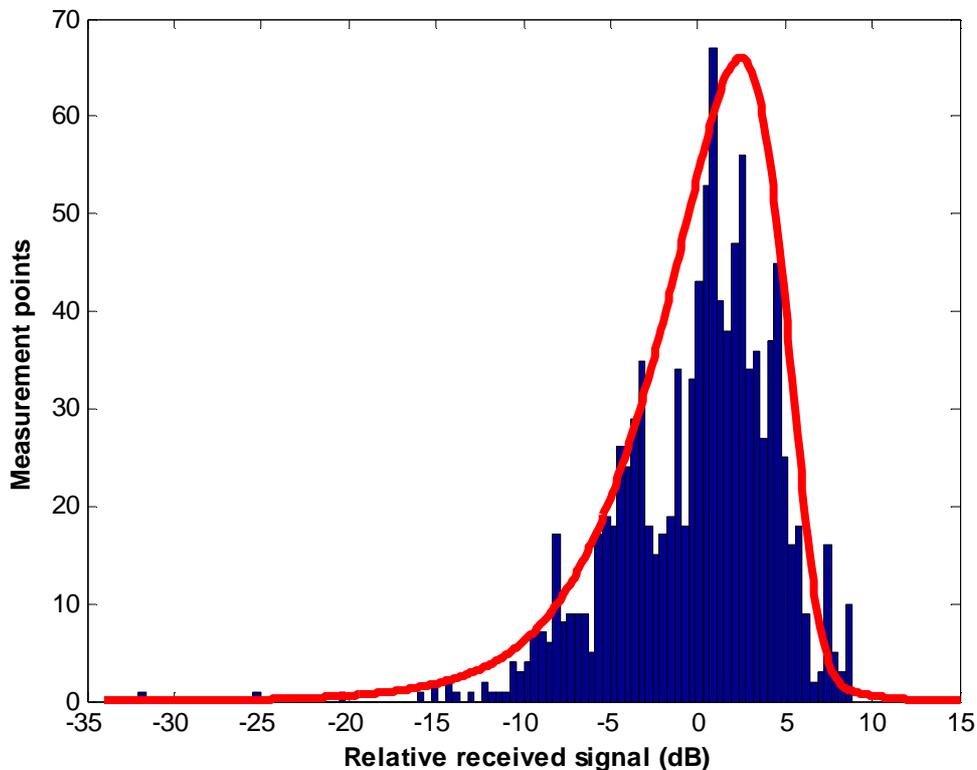


Figura 4-46: Histograma 2 y ajuste correspondiente para un canal de 10 MHz.

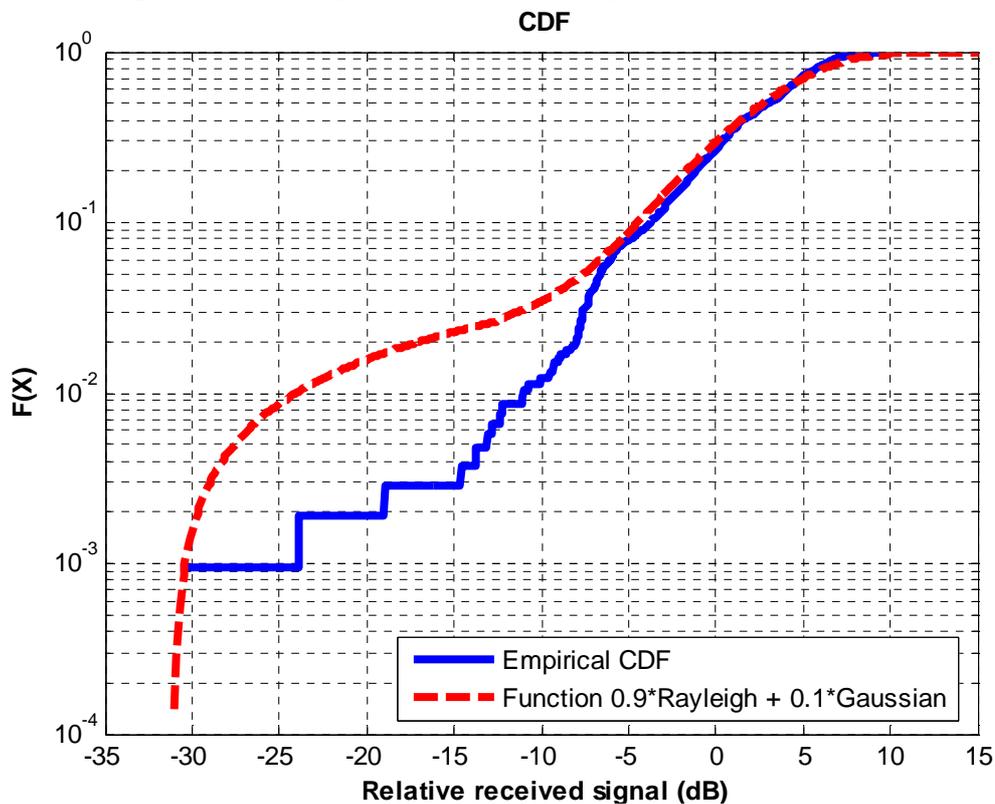


Figura 4-47: CDF 2 en escala logarítmica para un canal de 10 MHz.

CANAL DE 20 MHz DE ANCHO DE BANDA

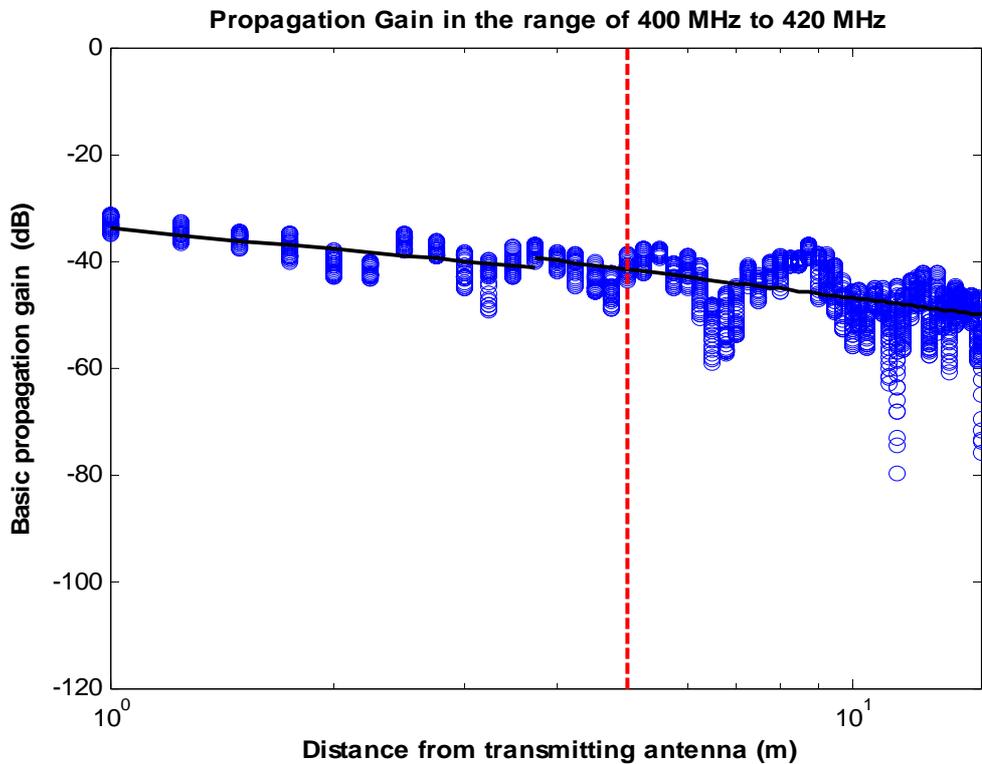


Figura 4-48: Ganancia de propagación básica en función de la distancia entre Tx y Rx para un canal de 20 MHz.

La Figura 4-48 representa la ganancia básica de propagación en función de la distancia entre el transmisor y el receptor para el rango entre 400 MHz y 420 MHz. La línea vertical roja representa la posición de las columnas de hormigón.

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera

$$G_{bp} \text{ (dB)} = \begin{cases} -\{33.97 + 12.80 \log_{10}(d)\} & d \leq 3.75 \text{ m} \\ -\{39.41 + 17.74 \log_{10}(d/3.75)\} & d > 3.75 \text{ m} \end{cases}$$

En este caso se puede apreciar, que hay dos exponentes de propagación ($n_1=1.28$ y $n_2=1.77$, siendo ambos menores que el exponente de propagación del caso de las pérdidas por espacio libre ($n=2$))

Ahora se representa el histograma de la primera parte del recorrido, que se ha aproximado por una combinación de una Función Gaussiana (50%) y una Función Rayleigh (50%) , y en la figura de abajo se representan sus correspondientes CDFs

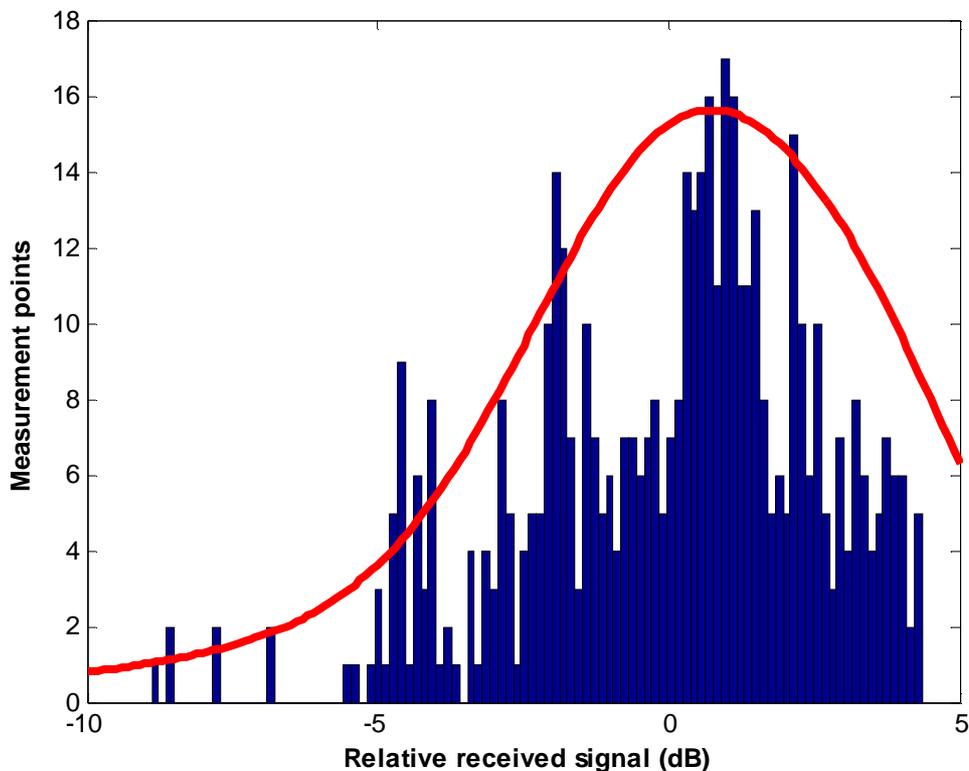


Figura 4-49: Histograma 1 y ajuste correspondiente para un canal de 20 MHz.

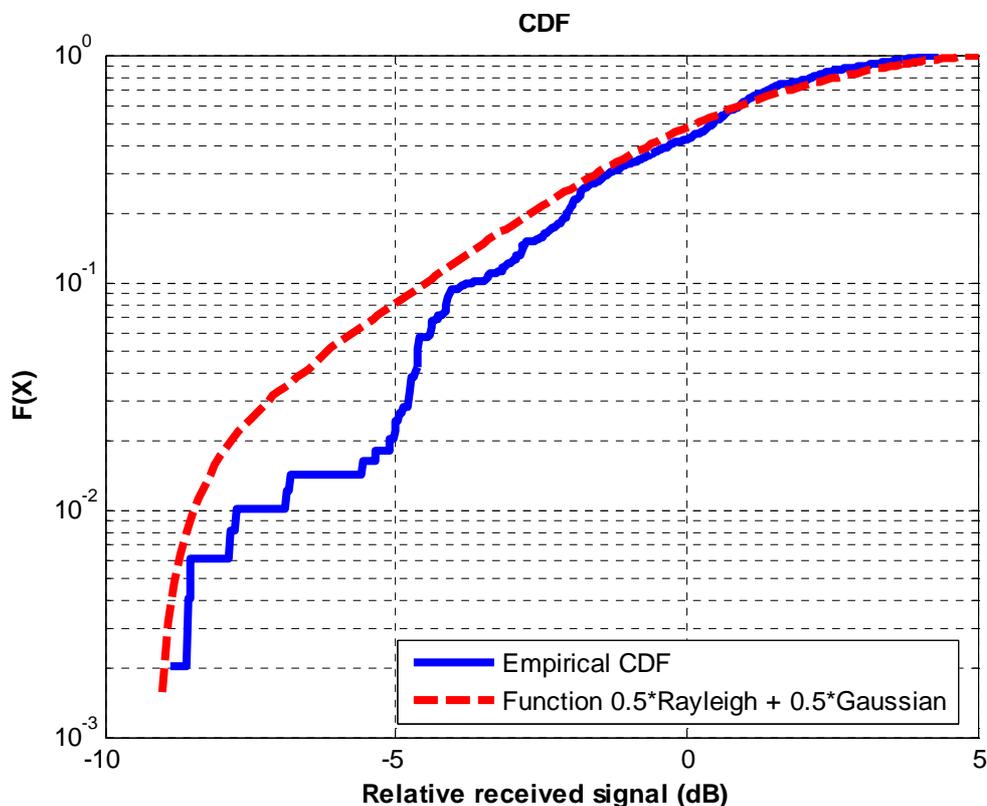


Figura 4-50: CDF 1 en escala logarítmica para un canal de 20 MHz.

Ahora se representa el histograma de la segunda parte del recorrido, que se ha aproximado por una combinación de una Función Gaussiana (5%) y una Función Rayleigh (95%), y en la figura de abajo se representan sus correspondientes CDFs

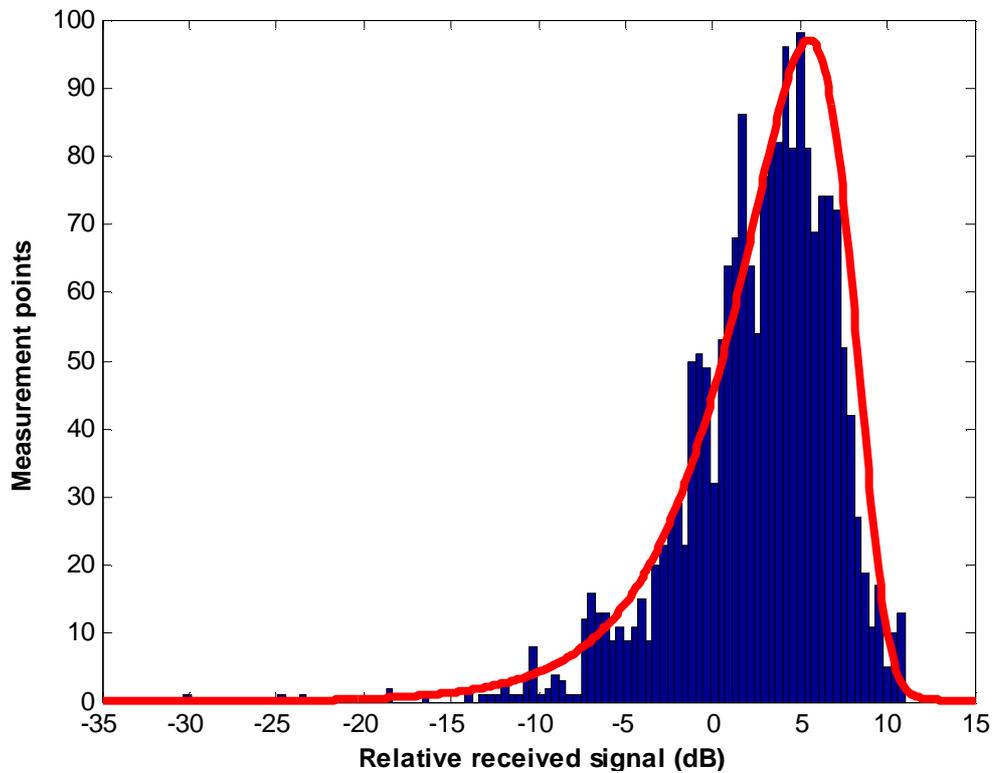


Figura 4-51: Histograma 2 y ajuste correspondiente para un canal de 20 MHz.

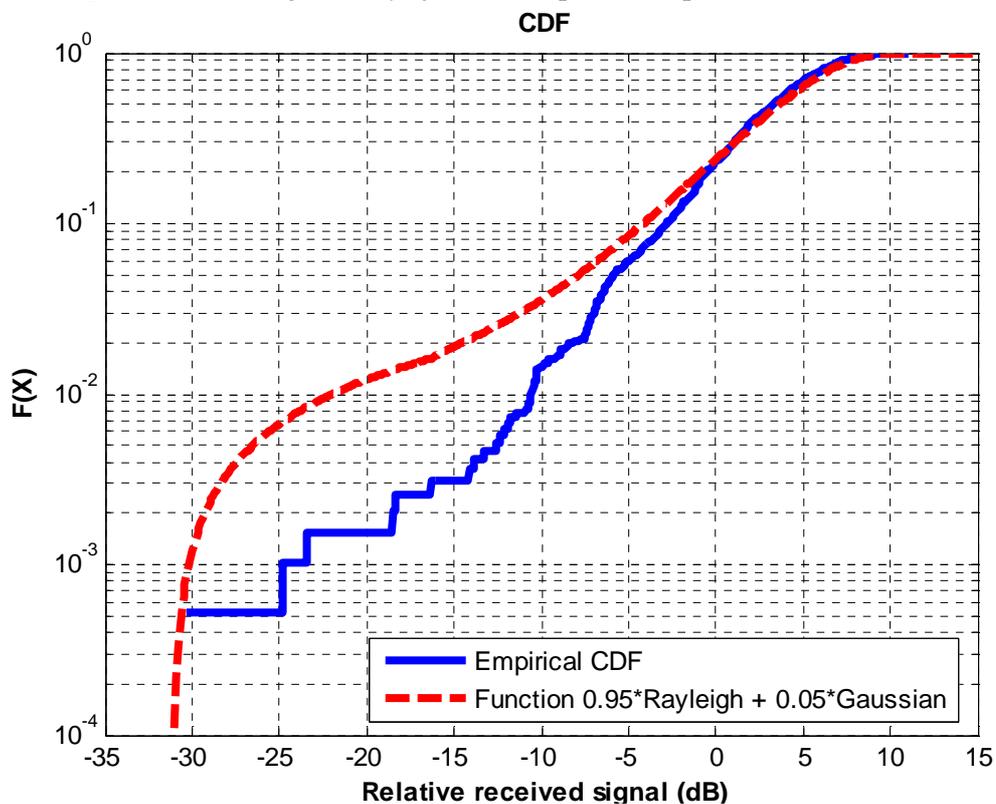


Figura 4-52: CDF 2 en escala logarítmica para un canal de 20 MHz.

Antenas que operan entre 880 MHz y 900 MHz

CANAL DE 0.2 MHz DE ANCHO DE BANDA

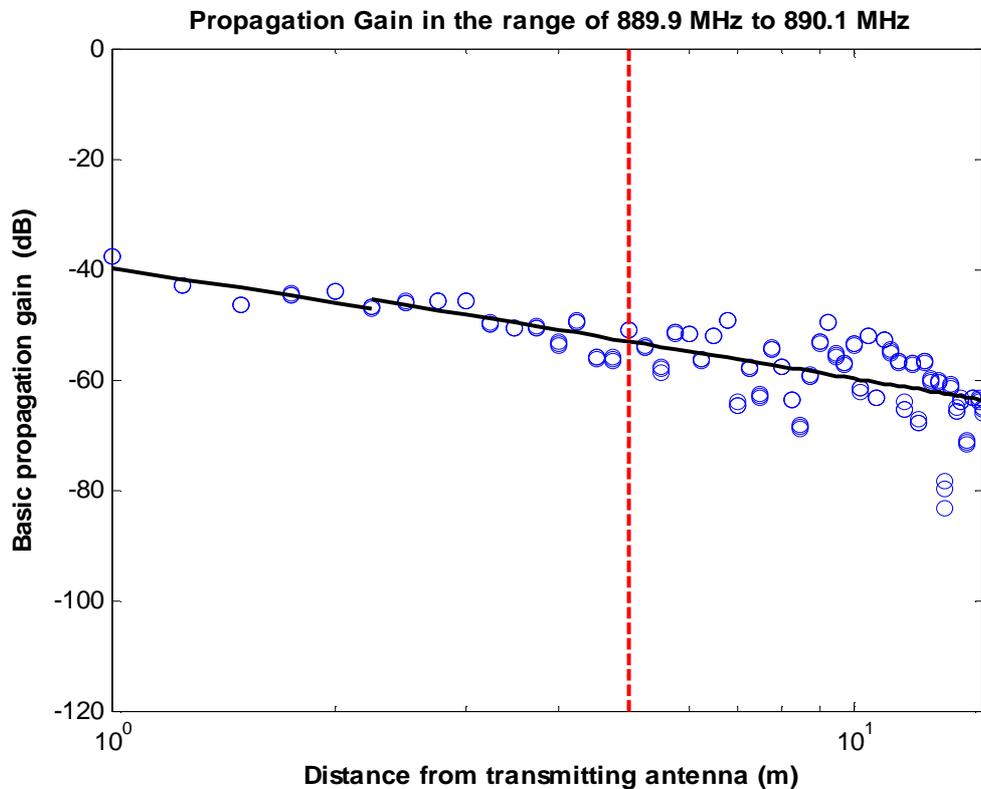


Figura 4-53: Ganancia de propagación básica en función de la distancia entre Tx y Rx para un canal de 0.2 MHz.

La Figura 4-53 representa la ganancia básica de propagación en función de la distancia entre el transmisor y el receptor para el rango entre 889.9 MHz y 890.1 MHz. La línea vertical roja representa la posición de las columnas de hormigón.

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera

$$G_{bp} \text{ (dB)} = \begin{cases} - \{39.81 + 20.49 \log_{10} (d)\} & d \leq 2.25 \text{ m} \\ - \{45.47 + 22.11 \log_{10} (d/2.25)\} & d > 2.25 \text{ m} \end{cases}$$

En este caso se puede apreciar, que hay dos exponentes de propagación ($n_1=2.04$ y $n_2=2.21$, siendo ambos parecidos (ligeramente superiores) que el exponente de propagación del caso de las pérdidas por espacio libre ($n=2$).

Ahora se representa el histograma de la primera parte del recorrido, que se ha aproximado por una combinación de una Función Gaussiana (75%) y una Función Rayleigh (25%) , y en la figura de abajo se representan sus correspondientes CDFs

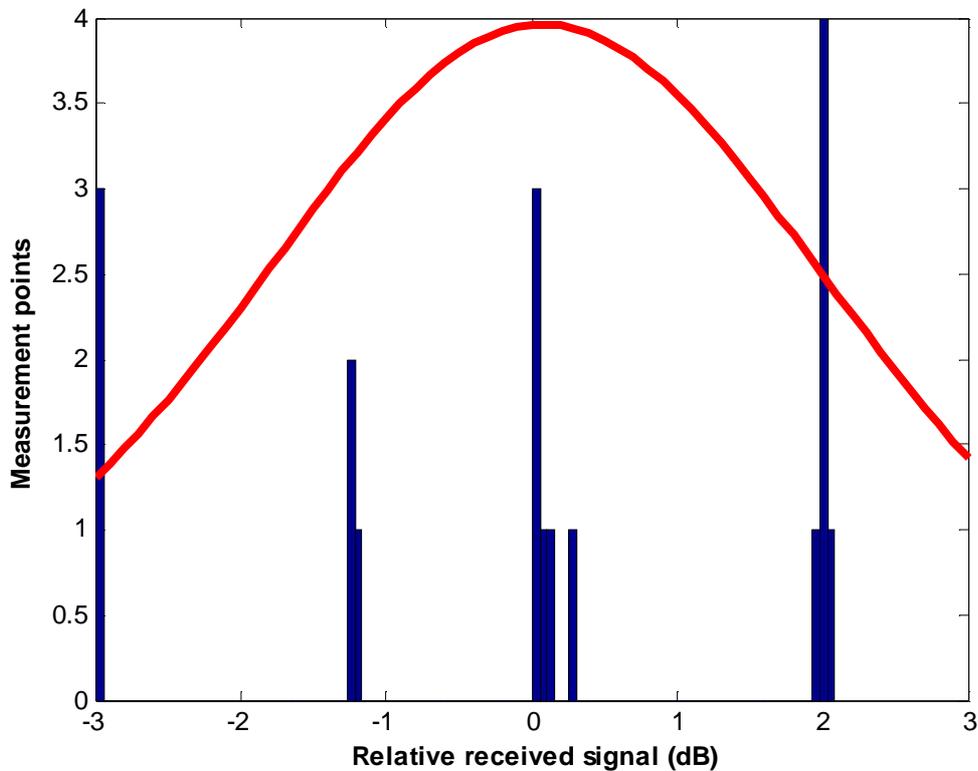


Figura 4-54: Histograma 1 y ajuste correspondiente para un canal de 0.2 MHz.

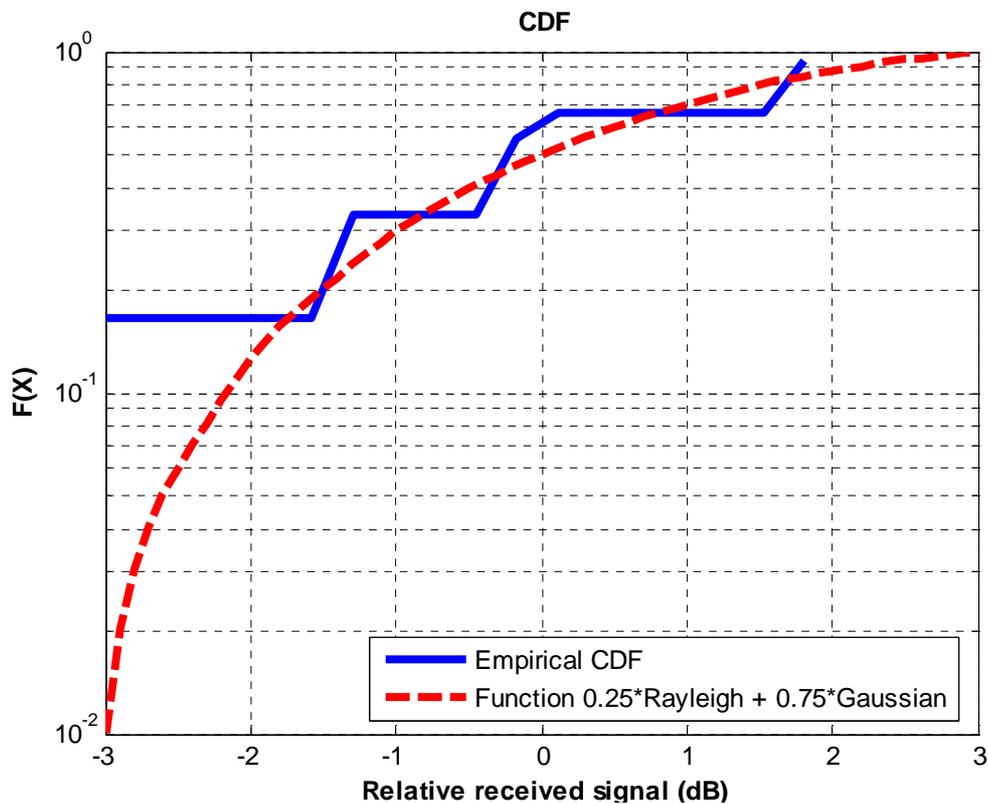


Figura 4-55: CDF 1 en escala logarítmica para un canal de 0.2 MHz.

Ahora se representa el histograma de la segunda parte del recorrido, que se ha aproximado por una combinación de una Función Gaussiana (25%) y una Función Rayleigh (75%) , y en la figura de abajo se representan sus correspondientes CDFs

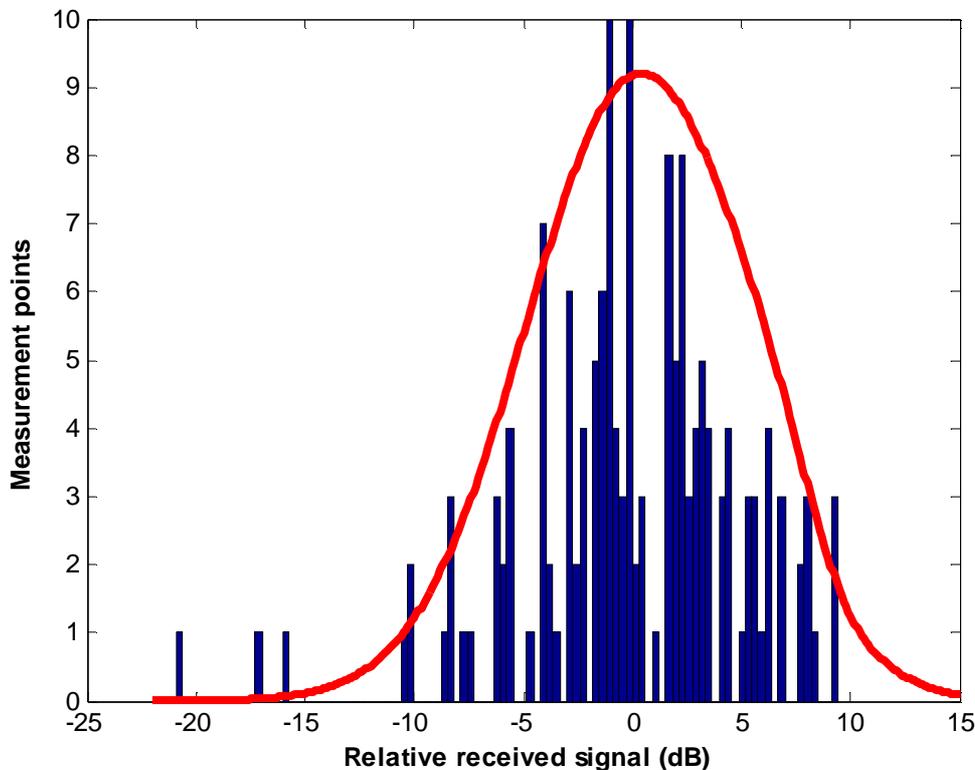


Figura 4-56: Histograma 2 y ajuste correspondiente para un canal de 0.2 MHz.

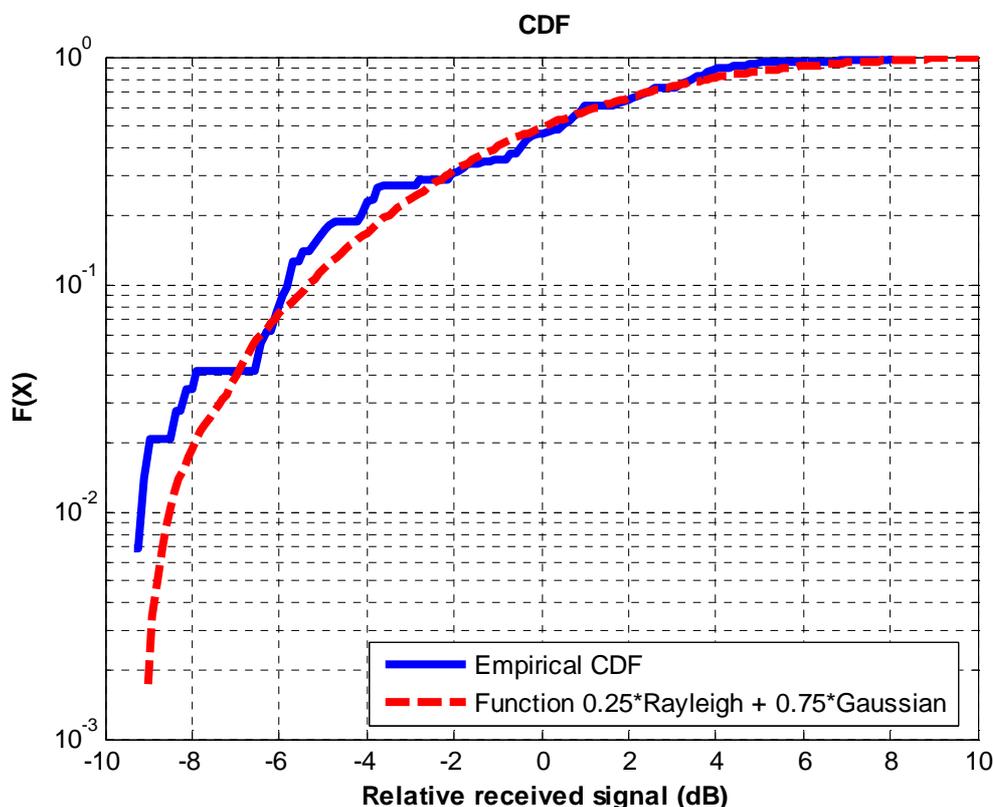


Figura 4-57: CDF 2 en escala logarítmica para un canal de 0.2 MHz.

CANAL DE 1 MHz DE ANCHO DE BANDA

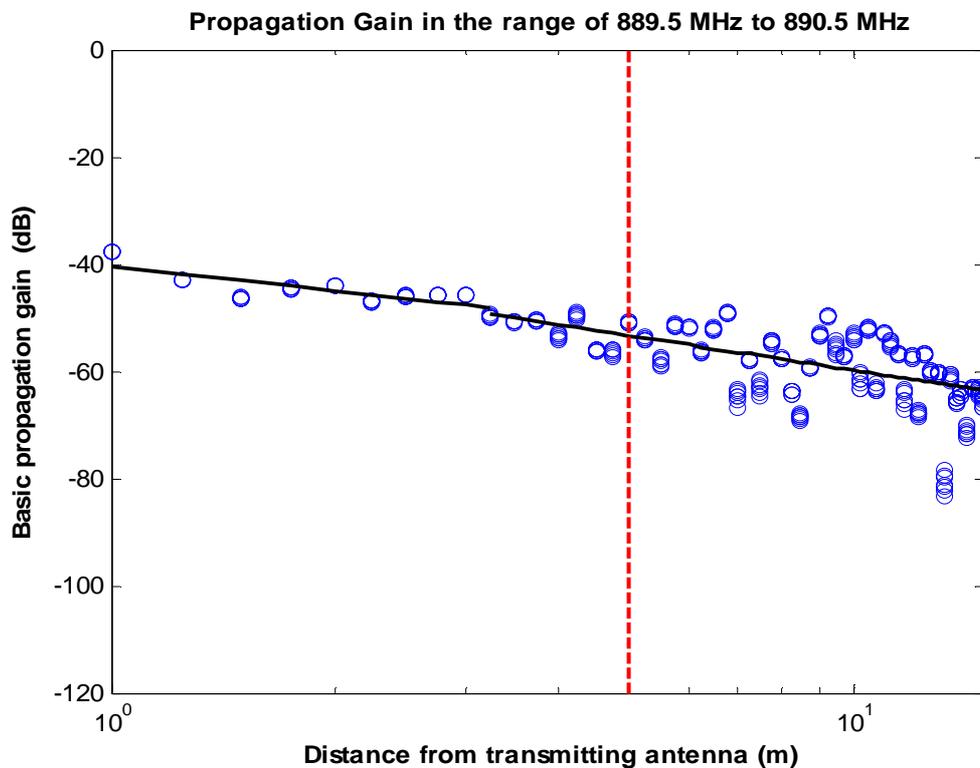


Figura 4-58: Ganancia de propagación básica en función de la distancia entre Tx y Rx para un canal de 1 MHz.

La Figura 4-58 representa la ganancia básica de propagación en función de la distancia entre el transmisor y el receptor para el rango entre 889.5 MHz y 890.5 MHz. La línea vertical roja representa la posición de las columnas de hormigón.

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera

$$G_{bp} \text{ (dB)} = \begin{cases} -\{40.49 + 15.08 \log_{10}(d)\} & d \leq 3.25 \text{ m} \\ -\{49.37 + 21.41 \log_{10}(d/3.25)\} & d > 3.25 \text{ m} \end{cases}$$

En este caso se puede apreciar, que hay dos exponentes de propagación ($n_1=1.5$ y $n_2=2.14$, siendo el primero inferior y el segundo ligeramente superior que el exponente de propagación del caso de las pérdidas por espacio libre ($n=2$))

Ahora se representa el histograma de la primera parte del recorrido, que se ha aproximado por una combinación de una Función Gaussiana (95%) y una Función Rayleigh (5%), y en la figura de abajo se representan sus correspondientes CDFs

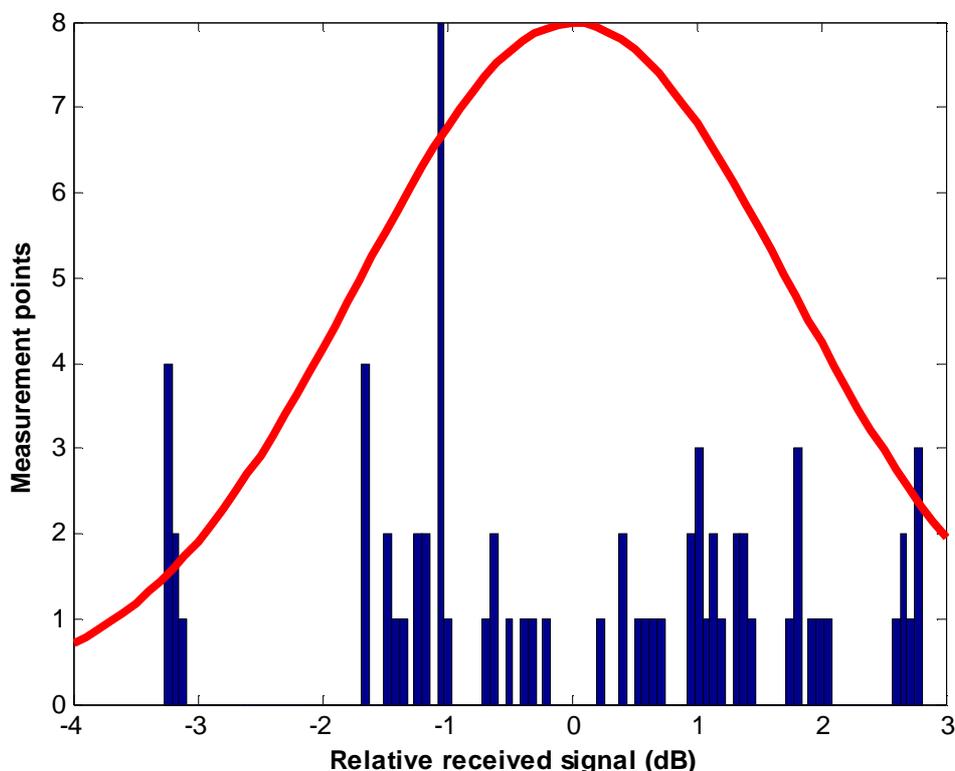


Figura 4-59: Histograma 1 y ajuste correspondiente para un canal de 1 MHz.

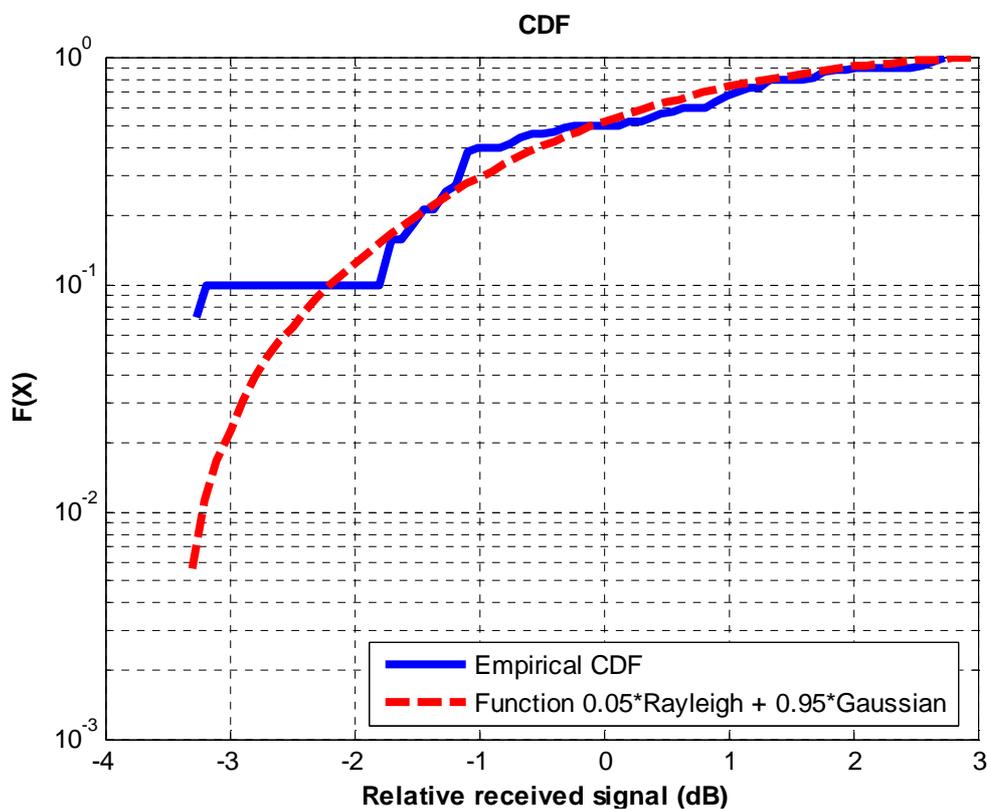


Figura 4-60: CDF 1 en escala logarítmica para un canal de 1 MHz.

Ahora se representa el histograma de la segunda parte del recorrido, que se ha aproximado por una combinación de una Función Gaussiana (90%) y una Función Rayleigh (10%), y en la figura de abajo se representan sus correspondientes CDFs

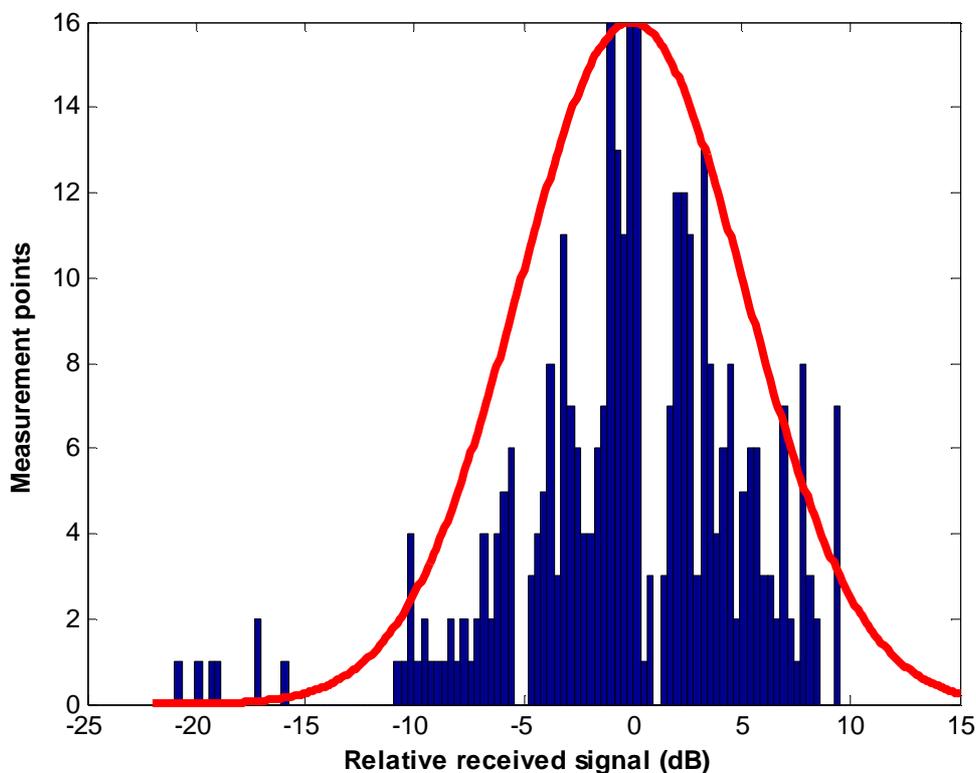


Figura 4-61: Histograma 2 y ajuste correspondiente para un canal de 1 MHz.

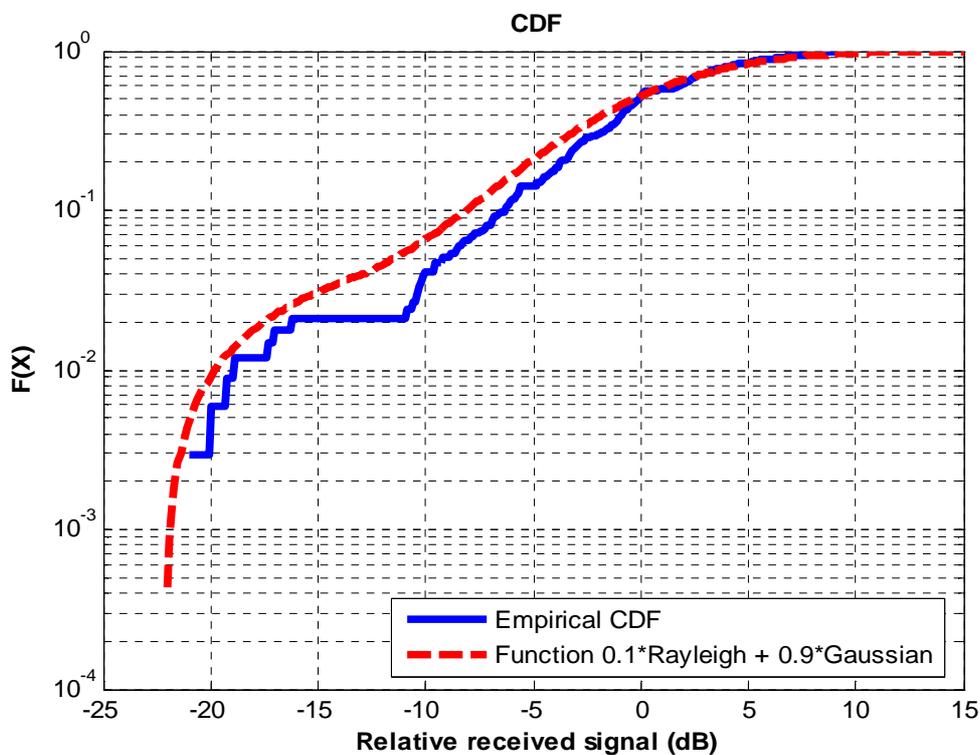


Figura 4-62: CDF 2 en escala logarítmica para un canal de 1 MHz.

CANAL DE 5 MHz DE ANCHO DE BANDA

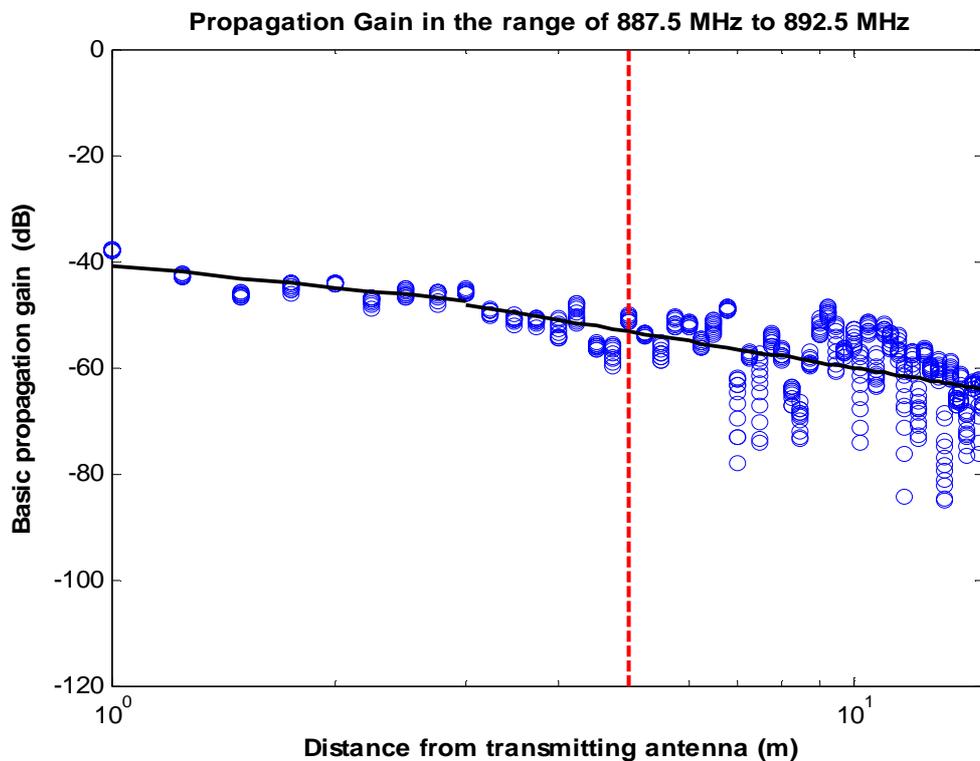


Figura 4-63: Ganancia de propagación básica en función de la distancia entre Tx y Rx para un canal de 5 MHz.

La Figura 4-63 representa la ganancia básica de propagación en función de la distancia entre el transmisor y el receptor para el rango entre 887.5 MHz y 892.5 MHz. La línea vertical roja representa la posición de las columnas de hormigón.

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera

$$G_{bp} \text{ (dB)} = \begin{cases} -\{40.74 + 13.95 \log_{10}(d)\} & d \leq 3\text{m} \\ -\{48.19 + 22.75 \log_{10}(d/3)\} & d > 3\text{m} \end{cases}$$

En este caso se puede apreciar, que hay dos exponentes de propagación ($n_1=1.39$ y $n_2=2.27$), siendo el primero inferior y el segundo ligeramente superior que el exponente de propagación del caso de las pérdidas por espacio libre ($n=2$)

Ahora se representa el histograma de la primera parte del recorrido, que se ha aproximado por una combinación de una Función Gaussiana (25%) y una Función Rayleigh (75%), y en la figura de abajo se representan sus correspondientes CDFs

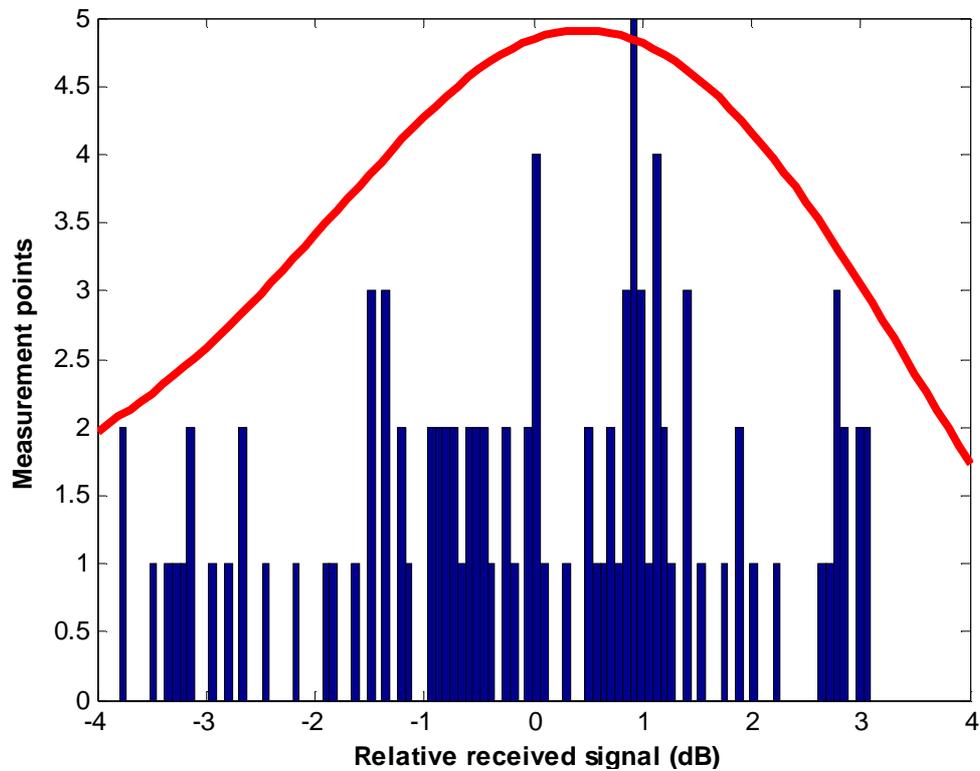


Figura 4-64 Histograma 1 y ajuste correspondiente para un canal de 5 MHz.

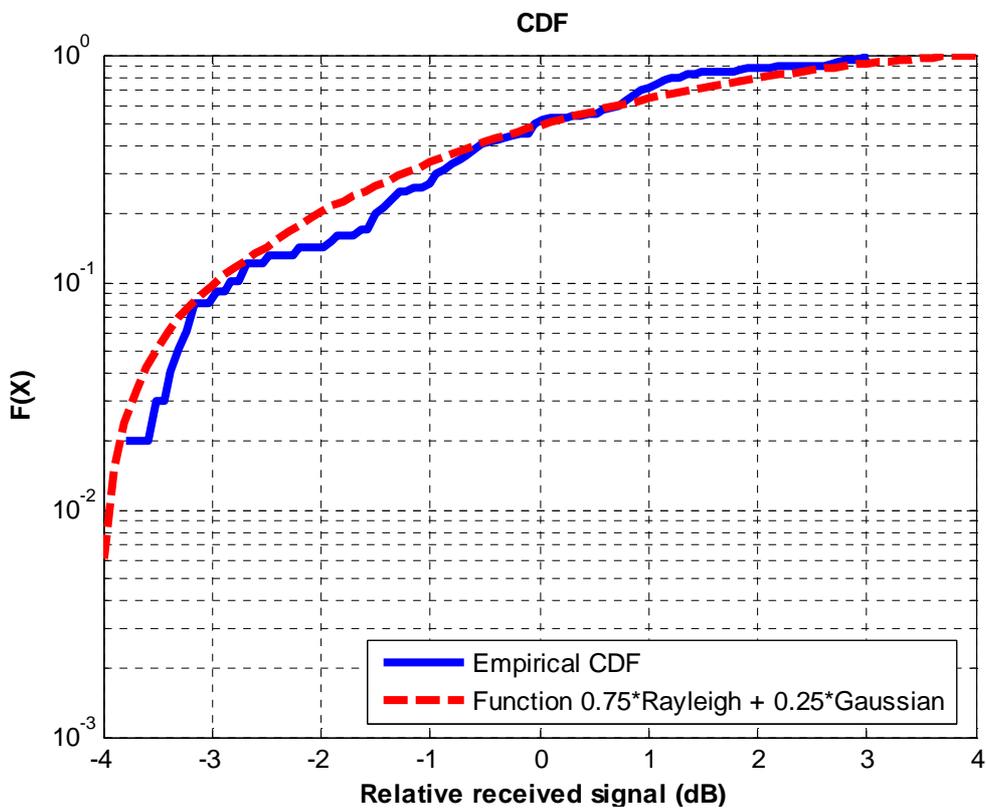


Figura 4-65: CDF 1 en escala logarítmica para un canal de 5 MHz.

Ahora se representa el histograma de la segunda parte del recorrido, que se ha aproximado por una combinación de una Función Gaussiana (10%) y una Función Rayleigh (90%) , y en la figura de abajo se representan sus correspondientes CDFs

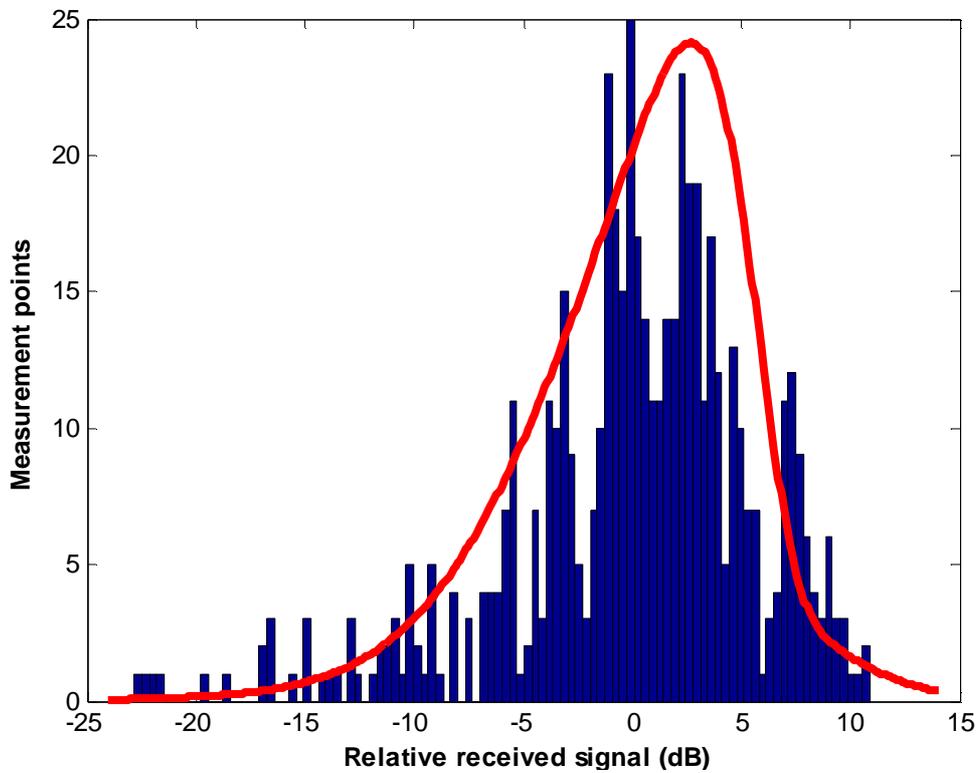


Figura 4-66: Histograma 2 y ajuste correspondiente para un canal de 5 MHz.

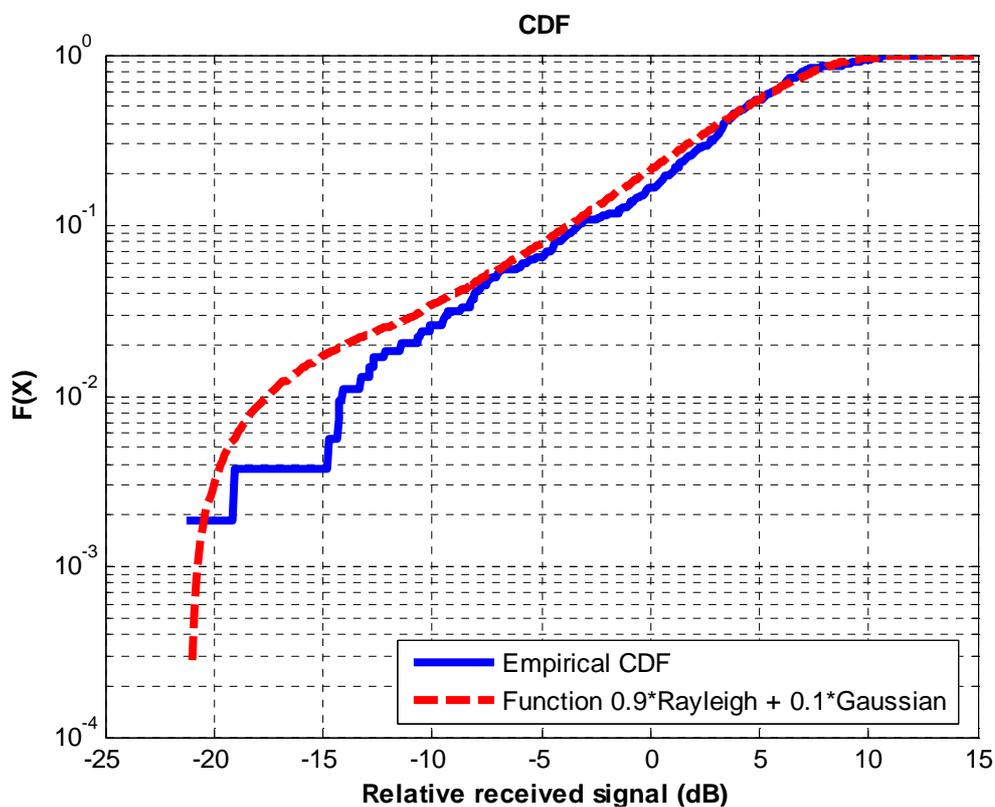


Figura 4-67: CDF 2 en escala logarítmica para un canal de 5 MHz.

CANAL DE 10 MHz DE ANCHO DE BANDA

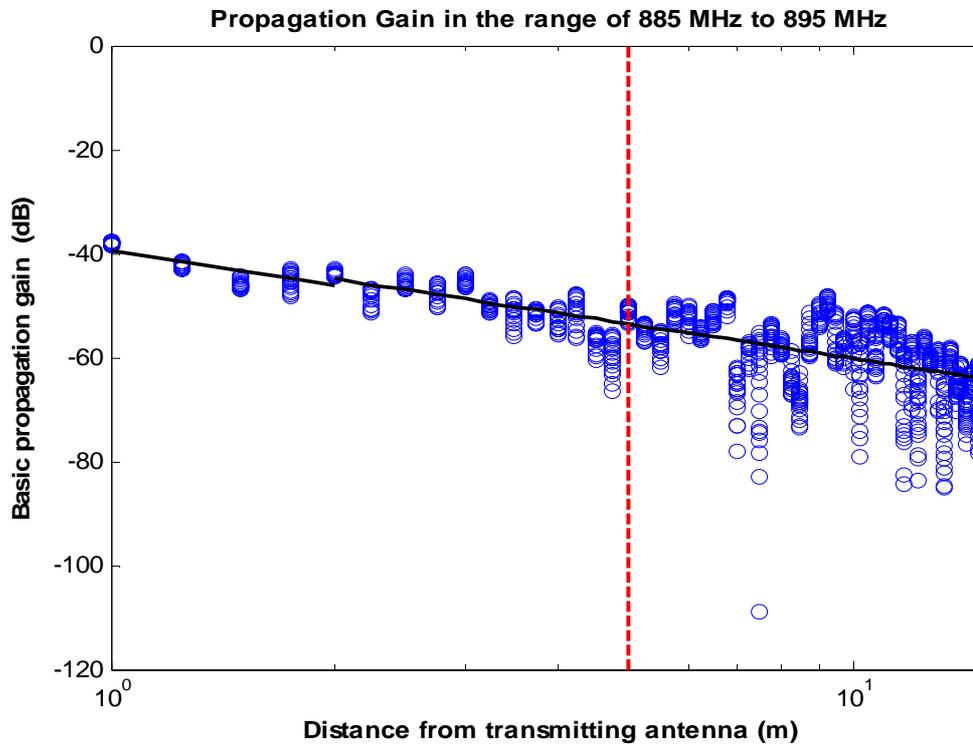


Figura 4-68: Ganancia de propagación básica en función de la distancia entre Tx y Rx para un canal de 10 MHz.

La Figura 4-68 representa la ganancia básica de propagación en función de la distancia entre el transmisor y el receptor para el rango entre 885 MHz y 895 MHz. La línea vertical roja representa la posición de las columnas de hormigón.

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera

$$G_{bp} \text{ (dB)} = \begin{cases} -\{39.58 + 21.37 \log_{10}(d)\} & d \leq 2 \text{ m} \\ -\{44.85 + 21.98 \log_{10}(d/2)\} & d > 2 \text{ m} \end{cases}$$

En este caso se puede apreciar, que hay dos exponentes de propagación ($n_1=2.13$ y $n_2=2.2$), siendo ambos ligeramente superiores que el exponente de propagación del caso de las pérdidas por espacio libre ($n=2$)

Ahora se representa el histograma de la primera parte del recorrido, que se ha aproximado por una combinación de una Función Gaussiana (5%) y una Función Rayleigh (95%) , y en la figura de abajo se representan sus correspondientes CDFs

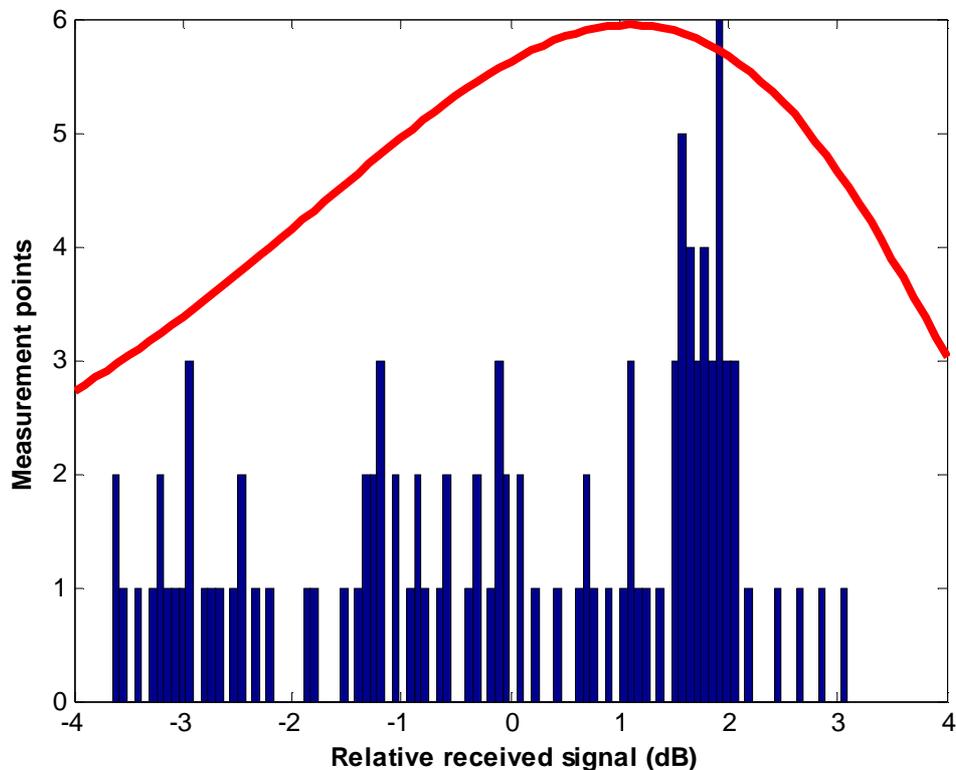


Figura 4-69: Histograma 1 y ajuste correspondiente para un canal de 10 MHz.

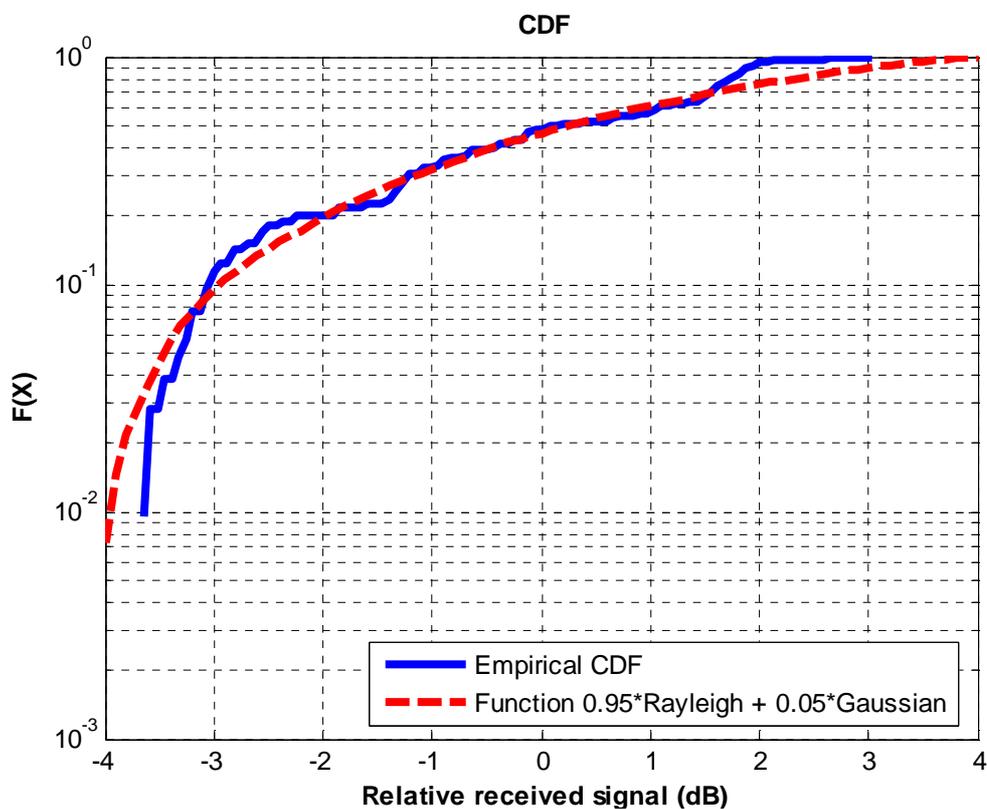


Figura 4-70: CDF 1 en escala logarítmica para un canal de 10 MHz.

Ahora se representa el histograma de la segunda parte del recorrido, que se ha aproximado por una combinación de una Función Gaussiana (50%) y una Función Rayleigh (50%), y en la figura de abajo se representan sus correspondientes CDFs

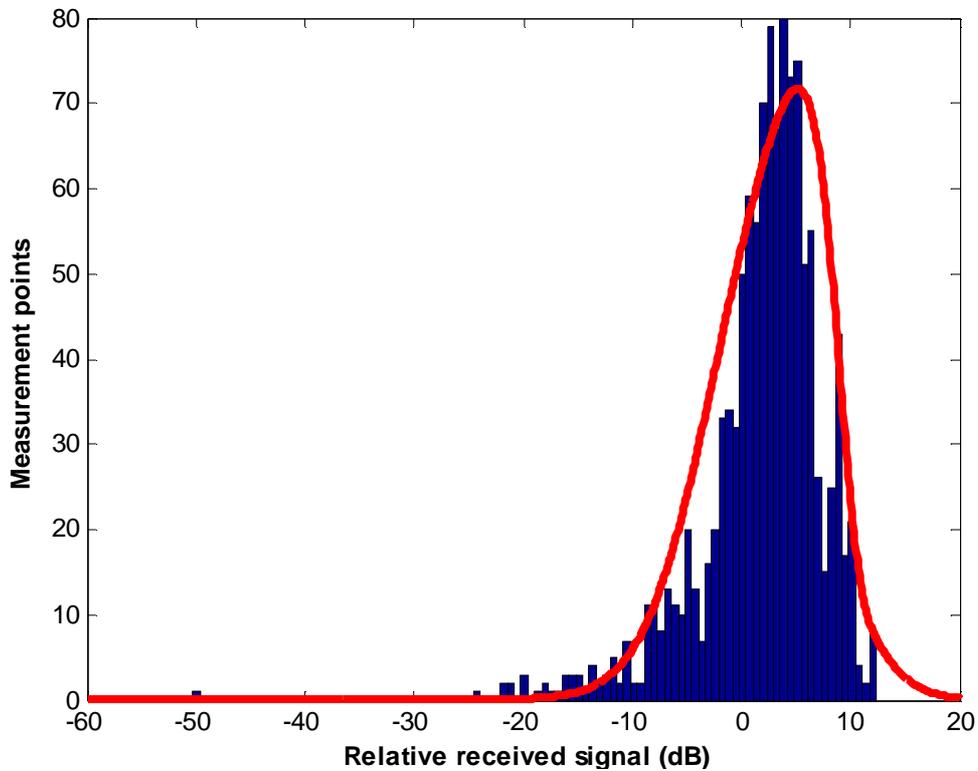


Figura 4-71: Histograma 2 y ajuste correspondiente para un canal de 10 MHz.

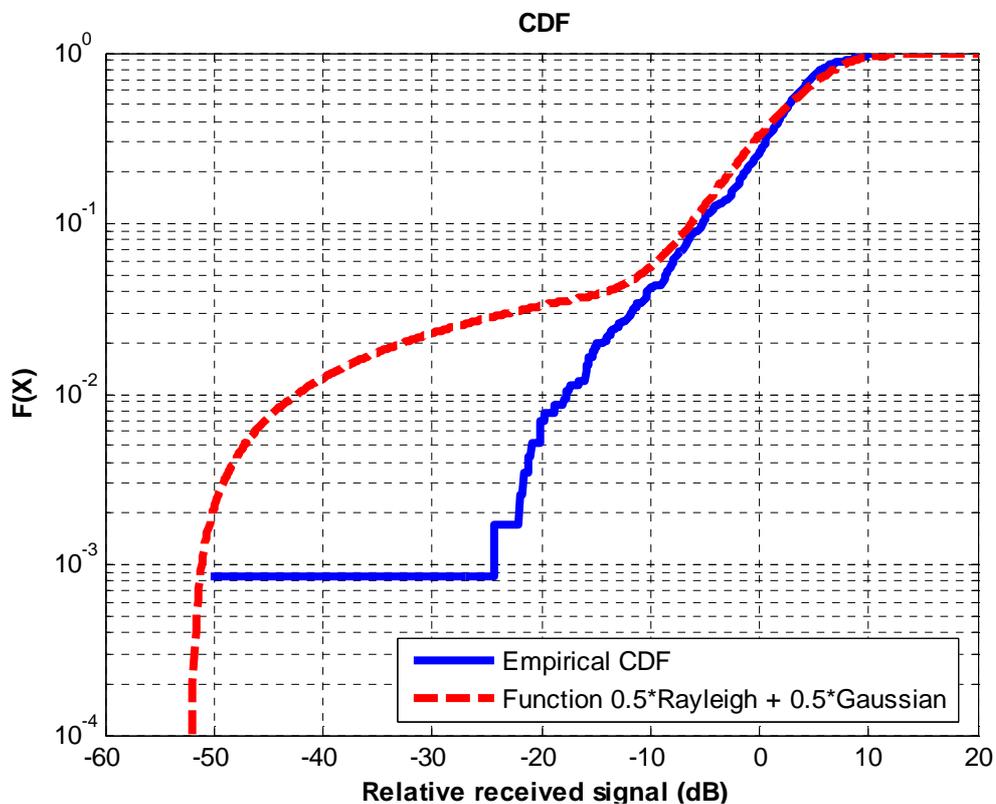


Figura 4-72: CDF 2 en escala logarítmica para un canal de 10 MHz.

CANAL DE 20 MHz DE ANCHO DE BANDA

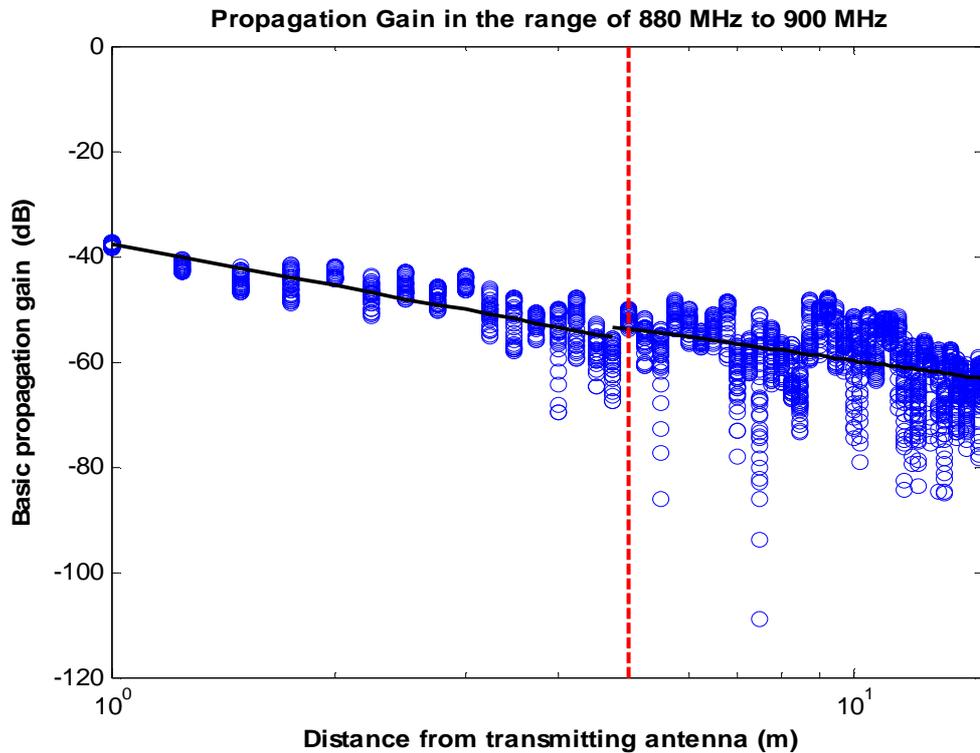


Figura 4-73: Ganancia de propagación básica en función de la distancia entre Tx y Rx para un canal de 20 MHz.

La Figura 4-73 representa la ganancia básica de propagación en función de la distancia entre el transmisor y el receptor para el rango entre 880 MHz y 900 MHz. La línea vertical roja representa la posición de las columnas de hormigón.

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera

$$G_{bp} \text{ (dB)} = \begin{cases} -\{37.72 + 26.07 \log_{10}(d)\} & d \leq 4.75 \text{ m} \\ -\{53.36 + 19.88 \log_{10}(d/4.75)\} & d > 4.75 \text{ m} \end{cases}$$

En este caso se puede apreciar, que hay dos exponentes de propagación ($n_1=2.6$ y $n_2=1.99$, siendo el primero superior y el segundo prácticamente igual (ligeramente inferior) que el exponente de propagación del caso de las pérdidas por espacio libre ($n=2$))

Ahora se representa el histograma de la primera parte del recorrido, que se ha aproximado por una combinación de una Función Gaussiana (75%) y una Función Rayleigh (25%), y en la figura de abajo se representan sus correspondientes CDFs

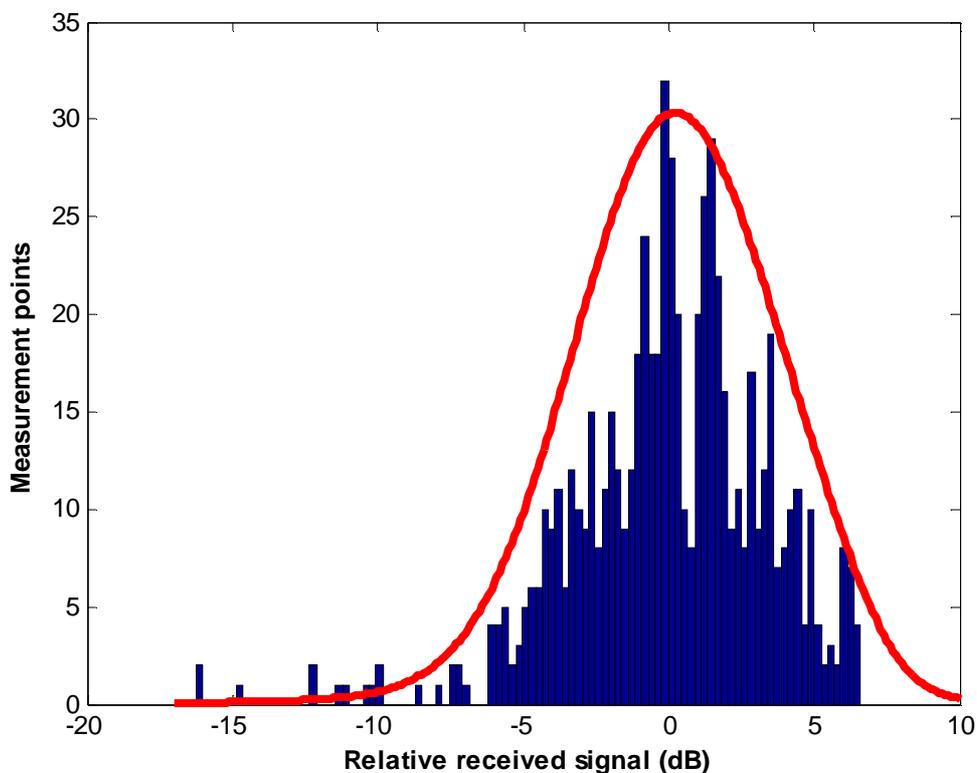


Figura 4-74: Histograma 1 y ajuste correspondiente para un canal de 20 MHz.

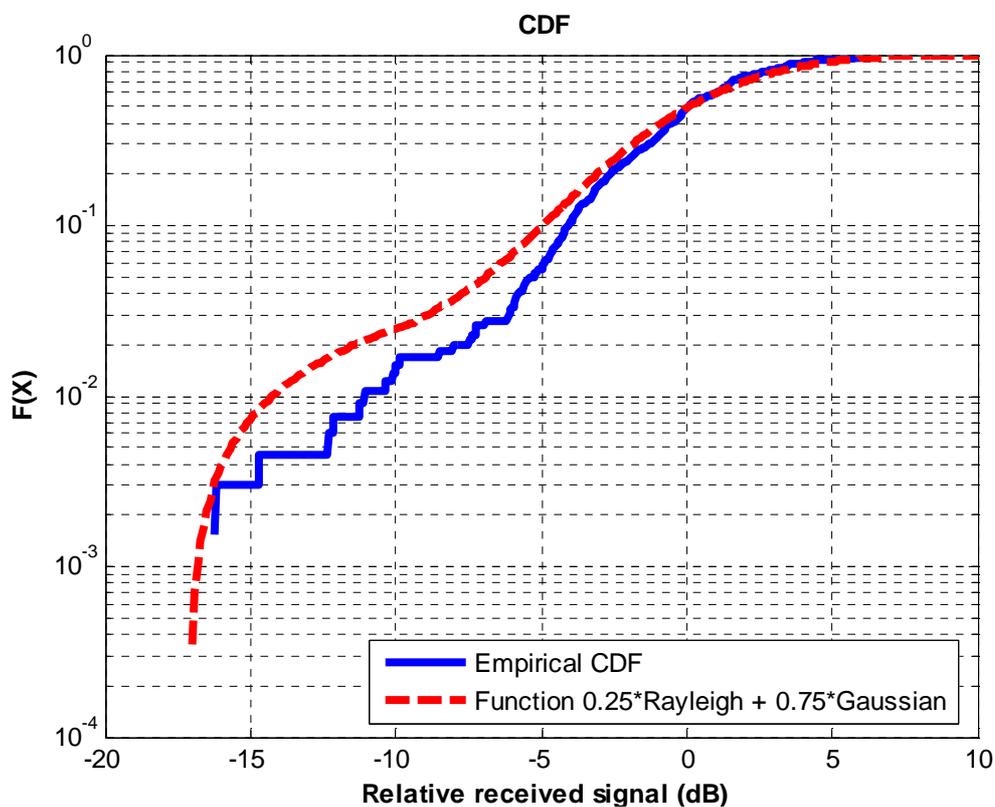


Figura 4-75: CDF 1 en escala logarítmica para un canal de 20 MHz.

Ahora se representa el histograma de la segunda parte del recorrido, que se ha aproximado por una combinación de una Función Gaussiana (5%) y una Función Rayleigh (95%), y en la figura de abajo se representan sus correspondientes CDFs

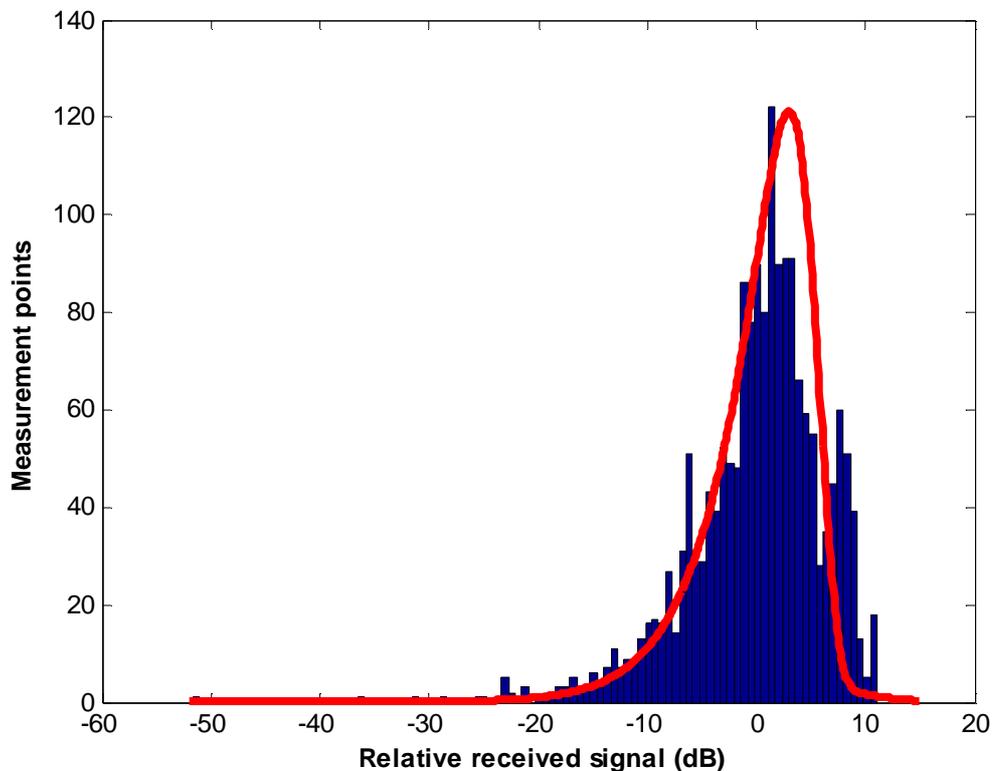


Figura 4-76: Histograma 2 y ajuste correspondiente para un canal de 20 MHz.

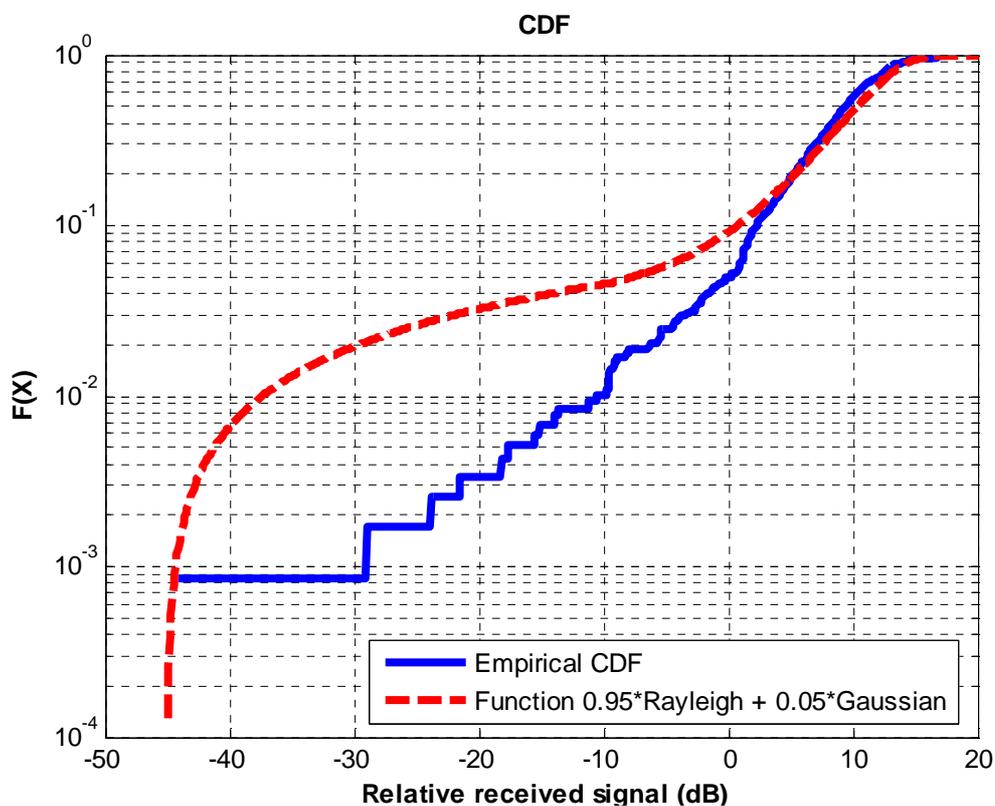


Figura 4-77: CDF 2 en escala logarítmica para un canal de 20 MHz.

Ahora se muestra el resultado empleando las antenas que resuenan cerca de 125 MHz.

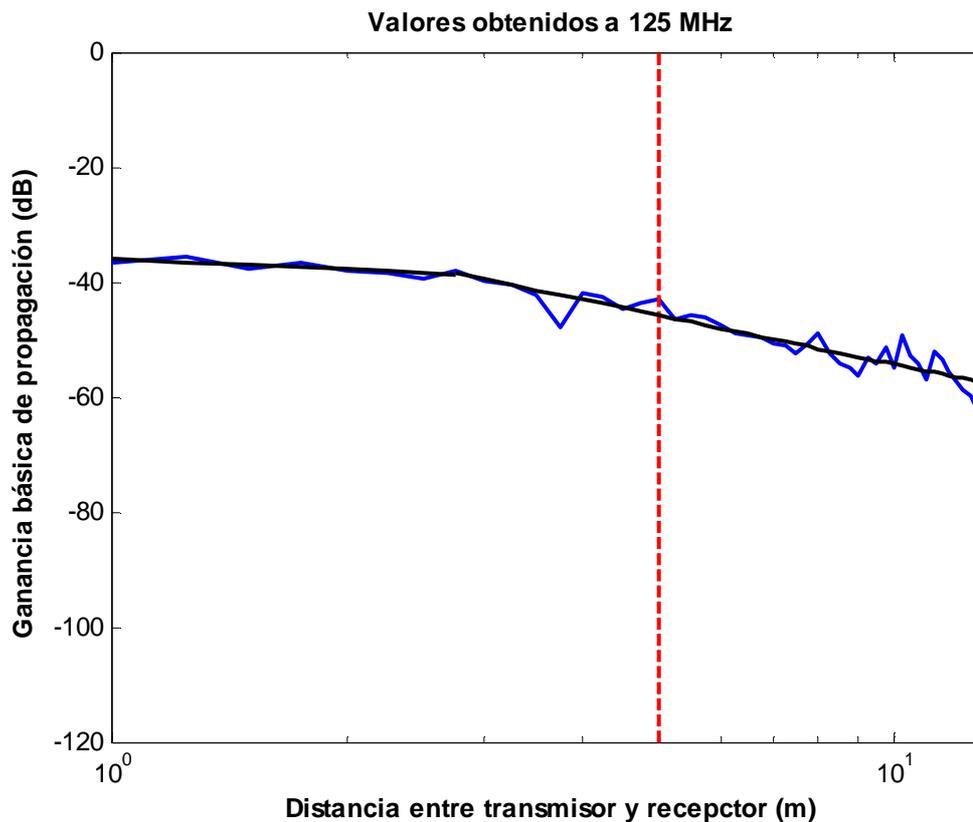


Figura 4-78: Ganancia básica de propagación en función de la distancia entre transmisor y receptor

La Figura 4-78 representa la ganancia básica de propagación en función de la distancia entre el transmisor y el receptor con antenas que resuenan a 125 MHz. La línea vertical roja representa la posición de las columnas de hormigón.

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera

$$G_{bp} \text{ (dB)} = \begin{cases} -\{35.97 + 6.29 \log_{10}(d)\} & d \leq 2.75 \text{ m} \\ -\{38.51 + 28.21 \log_{10}(d/2.75)\} & d > 2.75 \text{ m} \end{cases}$$

En este caso se puede apreciar, que hay dos exponentes de propagación ($n_1=0.63$ y $n_2=2.82$, siendo el primero inferior y el segundo superior que el exponente de propagación del caso de las pérdidas por espacio libre ($n=2$))

Ahora se muestra el resultado empleando las antenas que resuenan cerca de 150 MHz

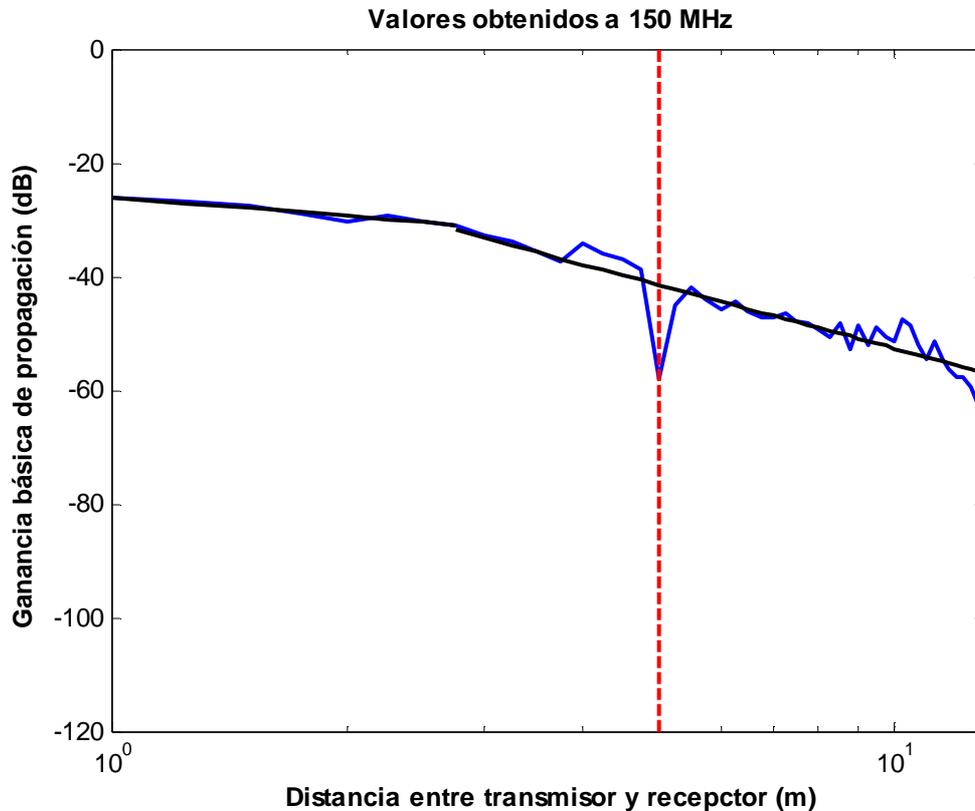


Figura 4-79: Ganancia básica de propagación en función de la distancia entre transmisor y receptor

La Figura 4-79 representa la ganancia básica de propagación en función de la distancia entre el transmisor y el receptor con antenas que resuenan a 150 MHz. La línea vertical roja representa la posición de las columnas de hormigón.

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera

$$G_{bp} \text{ (dB)} = \begin{cases} -\{26.01 + 11.31 \log_{10}(d)\} & d \leq 2.75 \text{ m} \\ -\{31.87 + 37.06 \log_{10}(d/2.75)\} & d > 2.75 \text{ m} \end{cases}$$

En este caso se puede apreciar, que hay dos exponentes de propagación ($n_1=1.1$ y $n_2=3.7$, siendo el primero inferior y el segundo superior que el exponente de propagación del caso de las pérdidas por espacio libre ($n=2$))

Estos resultados difieren de los otros del escenario 1 ya que en las medidas en las que se han empleado las antenas de 125 MHz y 150 MHz, en vez de utilizar el analizador de redes, se utilizó el generador de señales y el analizador de espectros, por lo que los resultados obtenidos son de un valor de ganancia básica de propagación para cada punto dentro de cada frecuencia.

Se muestran los resultados como tabla y en forma de gráfica (en las dos páginas anteriores), ya que así es más interesante, porque mientras que la gráfica da una visión global de la situación, en la tabla se pueden observar los valores exactos de las medidas.

Tabla 4-1: Ganancia básica de propagación en dB para cada frecuencia en cada punto de medida

Frecuencia	1m	1,25m	1,5m	1,75m	2m	2,25m	2,5m	2,75m
125 MHz	-36,62	-35,74	-37,55	-36,54	-37,98	-38,39	-39,36	-38,23
150 MHz	-26,17	-26,8	-27,56	-29,1	-30,47	-29,44	-30,21	-31,03
	3m	3,25m	3,5m	3,75m	4m	4,25m	4,5m	4,75m
125 MHz	-39,88	-40,56	-42,21	-47,93	-42,08	-42,8	-44,75	-43,65
150 MHz	-32,93	-33,76	-35,56	-37,5	-34,19	-36,03	-37,13	-38,65
	5m	5,25m	5,5m	5,75m	6m	6,25m	6,5m	6,75m
125 MHz	-42,91	-46,42	-45,96	-46,21	-47,49	-48,96	-49,2	-49,72
150 MHz	-58,15	-45,18	-42,04	-43,93	-45,71	-44,43	-46,09	-47,28
Frecuencia	7m	7,25m	7,5m	7,75m	8m	8,25m	8,5m	8,75m
125 MHz	-50,67	-51,16	-52,31	-50,74	-48,83	-52,51	-54,13	-55,04
150 MHz	-47,36	-46,47	-47,88	-48,28	-49,35	-50,81	-48,23	-52,85
	9m	9,25m	9,5m	9,75m	10m	10,25m	10,5m	10,75m
125 MHz	-56,37	-53	-54,19	-51,43	-54,96	-49,47	-52,69	-54,33
150 MHz	-48,61	-51,98	-48,92	-50,75	-51,55	-47,47	-48,43	-52,11
	11m	11,25m	11,5m	11,75m	12m	12,25m	12,5m	12,75m
125 MHz	-56,9	-52,14	-53,51	-55,78	-57,35	-58,94	-59,69	-61,81
150 MHz	-54,52	-51,49	-54,67	-56,21	-57,68	-57,73	-59,32	-62,01

4.2 ESCENARIO 2

Las medidas de este escenario se llevan a cabo en la tercera planta del edificio C de la EPS.



Figura 4-80-a: Planta 3 del edificio C de la EPS, donde se emplaza el escenario 2

Este escenario se divide en tres partes:

En el siguiente esquema representativo de la vista de planta del escenario, se muestra el suelo en color morado, las partes de ladrillo en color naranja, las puertas en marrón, el vacío (entreplantas) en negro, y las columnas de hormigón en gris

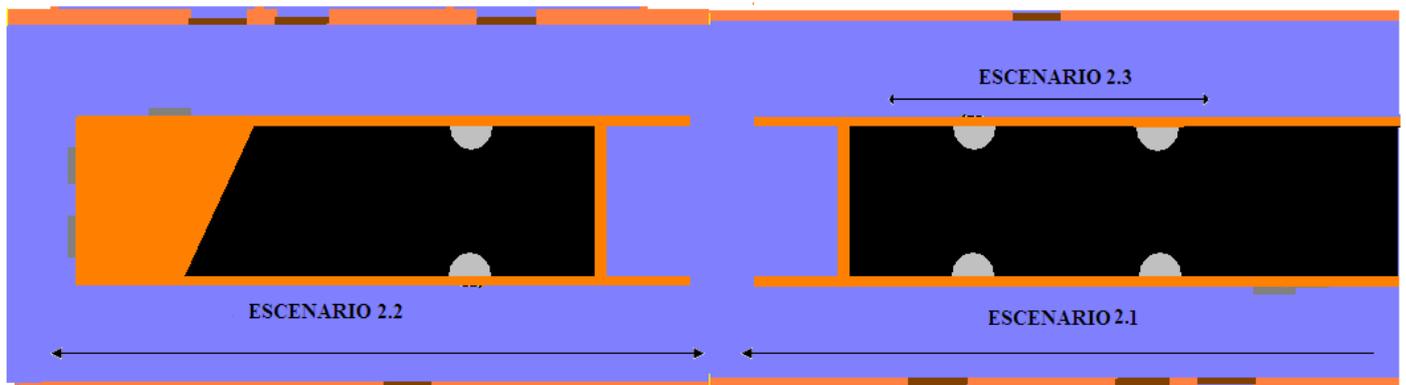


Figura 4-80-b: Esquema representativo de la vista de planta del escenario 7 completo. (Emplazado en la tercera planta del edificio C de la EPS)

ESCENARIO 2.1.

Este escenario consiste en la transmisión desde el punto marcado con “Tx” y recepción en distintas posiciones de un pasillo con una pared completa en un lado, y pared parcialmente completa hasta 1,5 m en el otro lado.

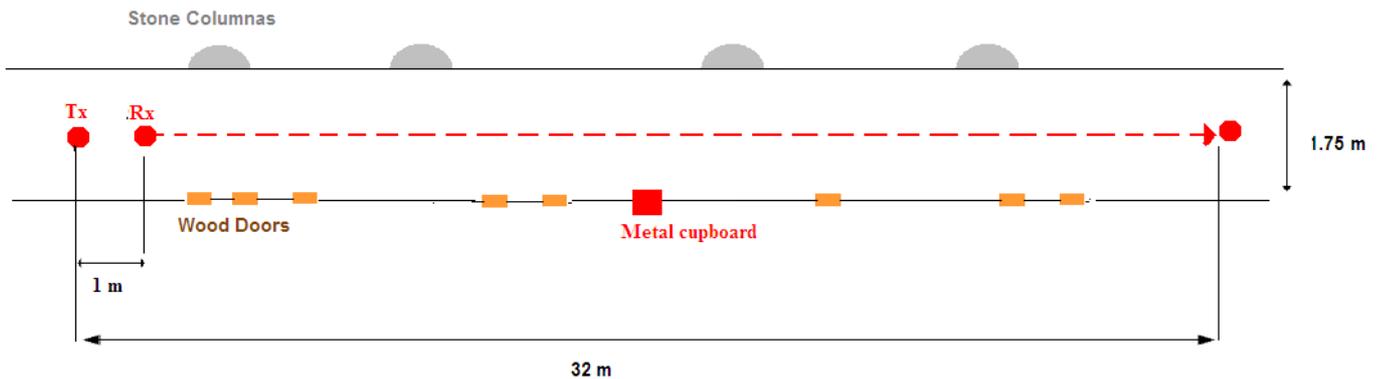


Figura 4-81: Esquema representativo de la vista de planta del escenario 7.1

Para la realización de las medidas en este escenario, se ha conectado el Generador de Señales SMB100A a una de las antenas, y el Analizador de Espectros FSL a la antena homóloga, obteniendo los resultados que se detallan mas adelante en la Tabla 4-1, que representa el valor de la ganancia básica de propagación en la frecuencia central de trabajo de las antenas y en todos los puntos en los que se han realizado medidas (desde 1m hasta 32m de distancia entre la antena transmisora y la receptora, con un paso de 1m)

En las representaciones de la página siguiente:

- Las líneas verticales rojas representan la posición de las columnas de hormigón
- La línea verde discontinua representa la posición del armario antiincendios metálico.

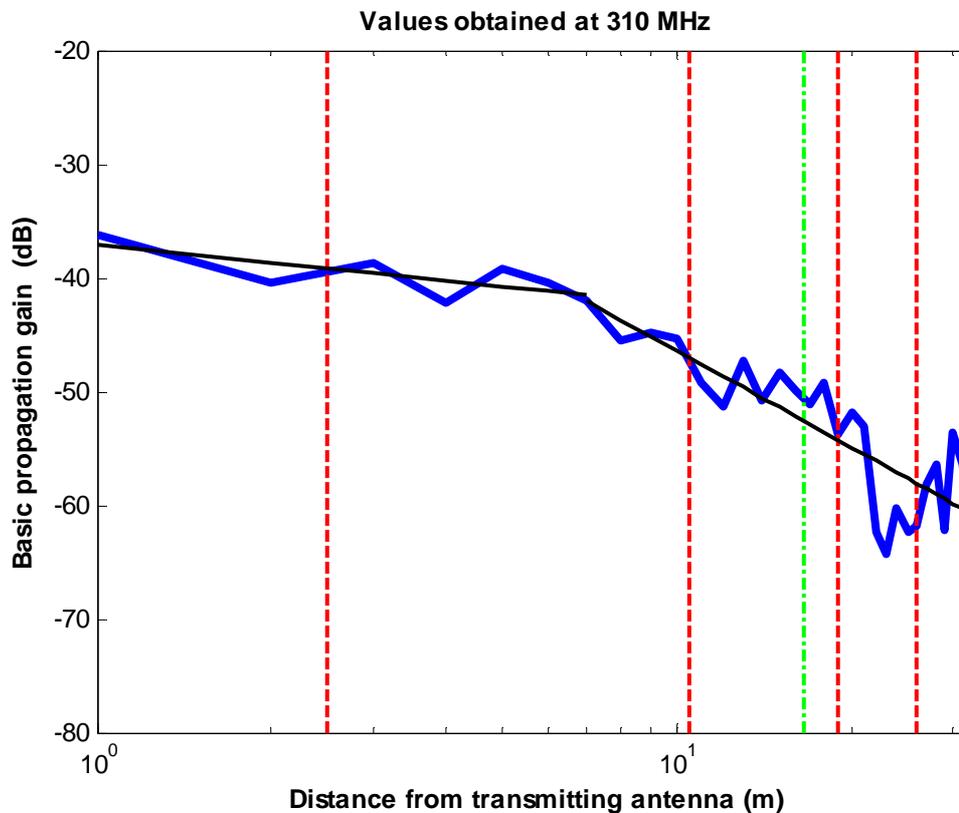
310 MHz

Figura 4-82: Ganancia de propagación básica en función de la distancia entre Tx y Rx a 310 MHz

La Figura 4-82 representa la ganancia básica de propagación en función de la distancia entre el transmisor y el receptor utilizando antenas que resuenan a 310 MHz

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera

$$G_{bp} \text{ (dB)} = \begin{cases} - \{37.13 + 5.2 \log_{10} (d)\} & d \leq 7\text{m} \\ - \{42.06 + 28.18 \log_{10} (d/7)\} & d > 7\text{m} \end{cases}$$

En este caso se puede apreciar, que hay dos exponentes de propagación ($n_1=0.52$ y $n_2=2.82$), siendo el primero inferior y el segundo superior que el exponente de propagación del caso de las pérdidas por espacio libre ($n=2$)

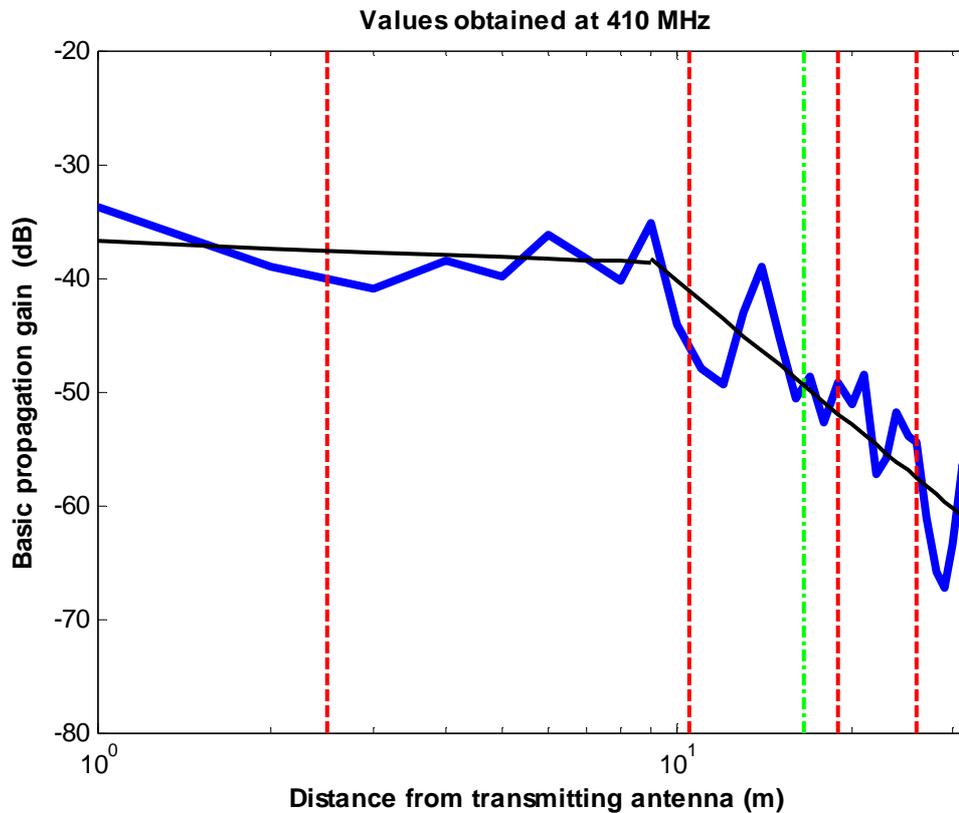
410 MHz

Figura 4-83: Ganancia de propagación básica en función de la distancia entre Tx y Rx a 410 MHz

La Figura 4-83 representa la ganancia básica de propagación en función de la distancia entre el transmisor y el receptor utilizando antenas que resuenan a 410 MHz

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera

$$G_{bp} \text{ (dB)} = \begin{cases} -\{36.81 + 1.92 \log_{10}(d)\} & d \leq 9\text{m} \\ -\{38.41 + 41.85 \log_{10}(d/9)\} & d > 9\text{m} \end{cases}$$

En este caso se puede apreciar, que hay dos exponentes de propagación ($n_1=0.19$ y $n_2=4.18$), siendo el primero inferior y el segundo superior que el exponente de propagación del caso de las pérdidas por espacio libre ($n=2$)

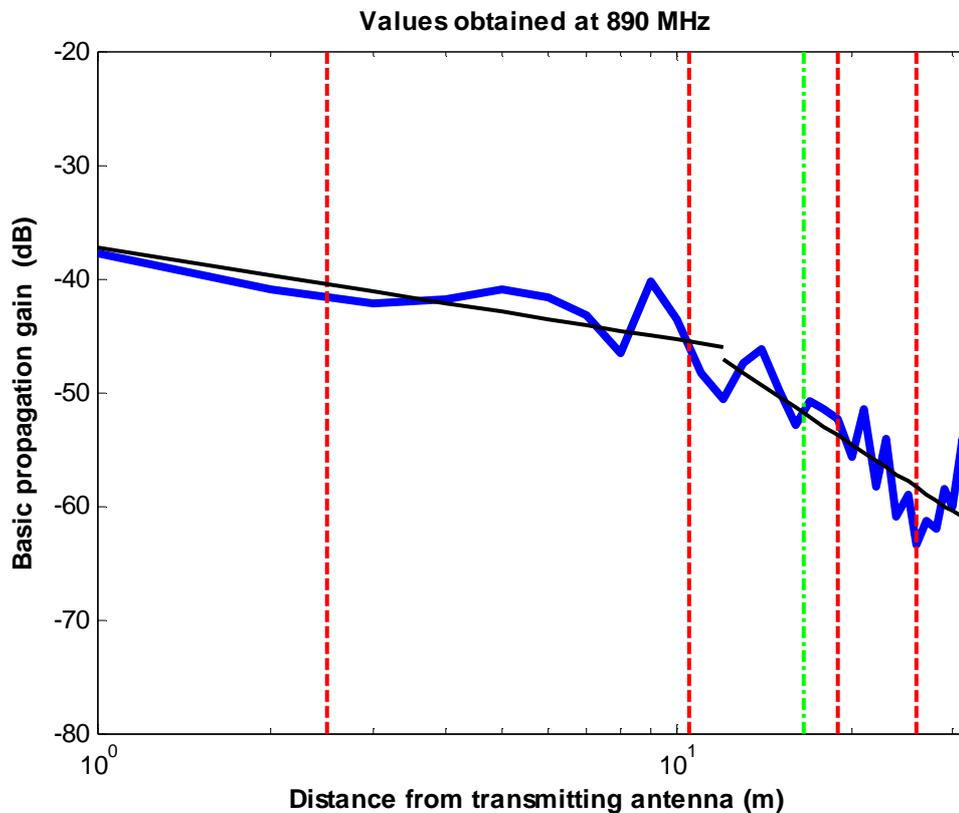
890 MHz

Figura 4-84: Ganancia de propagación básica en función de la distancia entre Tx y Rx a 890 MHz

La Figura 4-84 representa la ganancia básica de propagación en función de la distancia entre el transmisor y el receptor utilizando antenas que resuenan a 890 MHz

La aproximación se ha realizado con un modelo de doble pendiente, modelado de la siguiente manera

$$G_{bp} \text{ (dB)} = \begin{cases} -\{37.31 + 8.08 \log_{10}(d)\} & d \leq 12\text{m} \\ -\{47.12 + 33.63 \log_{10}(d/12)\} & d > 12\text{m} \end{cases}$$

En este caso se puede apreciar, que hay dos exponentes de propagación ($n_1=0.8$ y $n_2=3.36$, siendo el primero inferior y el segundo superior que el exponente de propagación del caso de las pérdidas por espacio libre ($n=2$).

En este escenario se han realizado las medidas utilizando el generador de señales en la transmisión y el analizador de espectros en la recepción, por lo que los resultados obtenidos corresponden a un valor de ganancia básica de propagación para cada punto de medida. El proceso se ha repetido en las tres frecuencias centrales (310 MHz, 410 MHz y 890 MHz).

En la siguiente tabla se muestran los resultados de la ganancia básica de propagación (en dB) en cada punto de medida para cada una de las frecuencias analizadas.

Tabla 4-2: Resultados de la ganancia básica de propagación en dB en cada punto de medida

Frecuencia	1	2	3	4	5	6	7	8
310 MHz	-36,18	-40,4	-38,75	-42,22	-39,15	-40,44	-42,02	-45,59
410 MHz	-33,69	-39,12	-36,9	-38,53	-39,91	-36,23	-38,32	-40,23
890 MHz	-37,82	-40,91	-39,12	-41,77	-40,9	-38,75	-43,33	-46,61
Frecuencia	9	10	11	12	13	14	15	16
310 MHz	-41,89	-44,39	-49,15	-51,33	-40,21	-38,75	-48,34	-49,9
410 MHz	-35,12	-44,19	-47,93	-49,37	-38,11	-39,05	-45,31	-50,58
890 MHz	-40,19	-43,58	-48,41	-53,54	-44,53	-40,16	-49,86	-52,93
Frecuencia	17	18	19	20	21	22	23	24
310 MHz	-51,21	-49,23	-53,75	-51,89	-53,06	-62,35	-64,32	-60,19
410 MHz	-48,68	-52,69	-49,27	-51,1	-48,44	-57,32	-55,9	-51,9
890 MHz	-50,73	-51,54	-52,41	-55,78	-51,5	-58,35	-54,15	-60,95
Frecuencia	25	26	27	28	29	30	31	32
310 MHz	-62,36	-61,84	-58,1	-56,33	-62,12	-53,58	-56,4	-60,87
410 MHz	-54,02	-54,48	-61,13	-65,95	-67,35	-63,39	-56,38	-60,35
890 MHz	-58,96	-63,49	-61,39	-61,97	-58,57	-60,04	-54,12	-61,92

ESCENARIO 2.2

Este escenario se realiza en un escenario con pared completa a un lado, pared incompleta al otro lado, que a partir de una cierta distancia (12m), se convierte en pared completa.

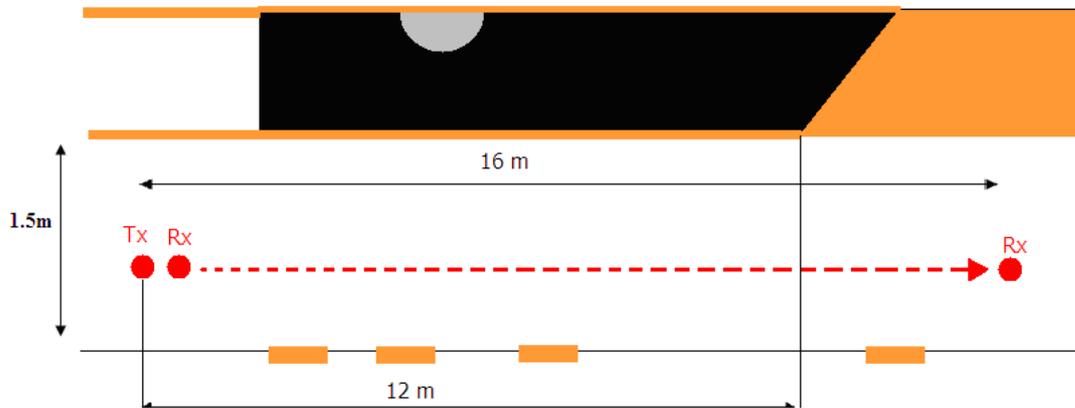


Figura 4-85: Esquema representativo de la vista de planta del escenario 2.2

En este caso, se parte de una situación en la que la antena transmisora y la receptora están separadas 1m, y se aumenta la distancia entre las antenas hasta los 16 m, en pasos de 1 m.

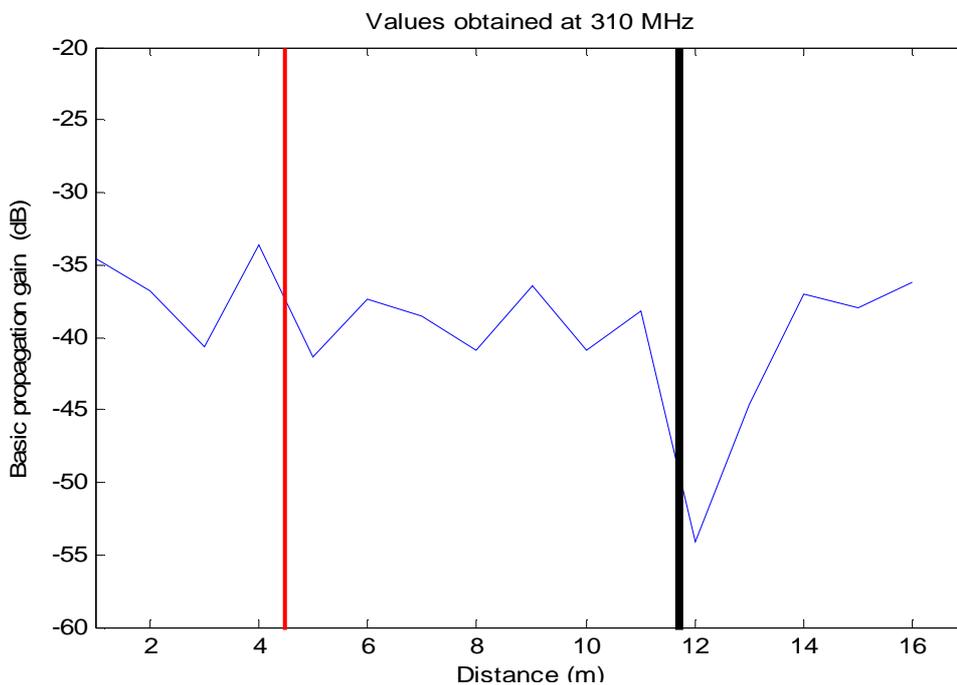


Figura 4-86: Ganancia de propagación básica en función de la distancia entre Tx y Rx

La línea vertical roja representa la posición de la columna de hormigón semiesférica.

La línea vertical negra representa el punto a partir del cual la pared es completa y la señal se comporta como si atravesara una guía de onda.

En las siguientes dos figuras se muestra el valor que toma la ganancia básica de propagación empleando las antenas que resuenan a 410 MHz y 890 MHz respectivamente.

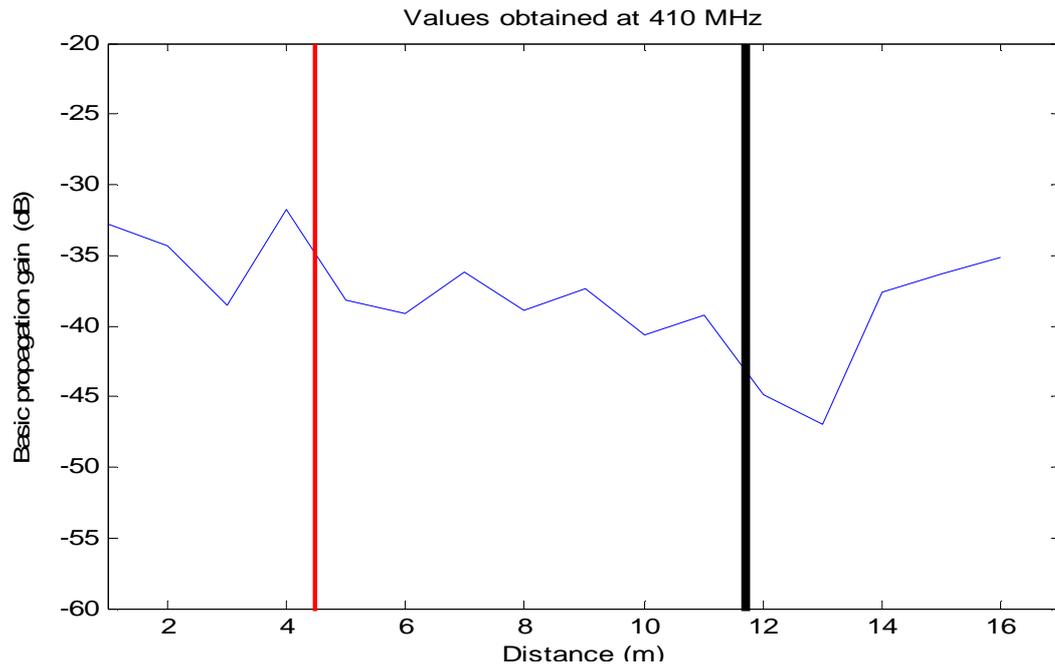


Figura 4-87: Ganancia de propagación básica en función de la distancia entre Tx y Rx

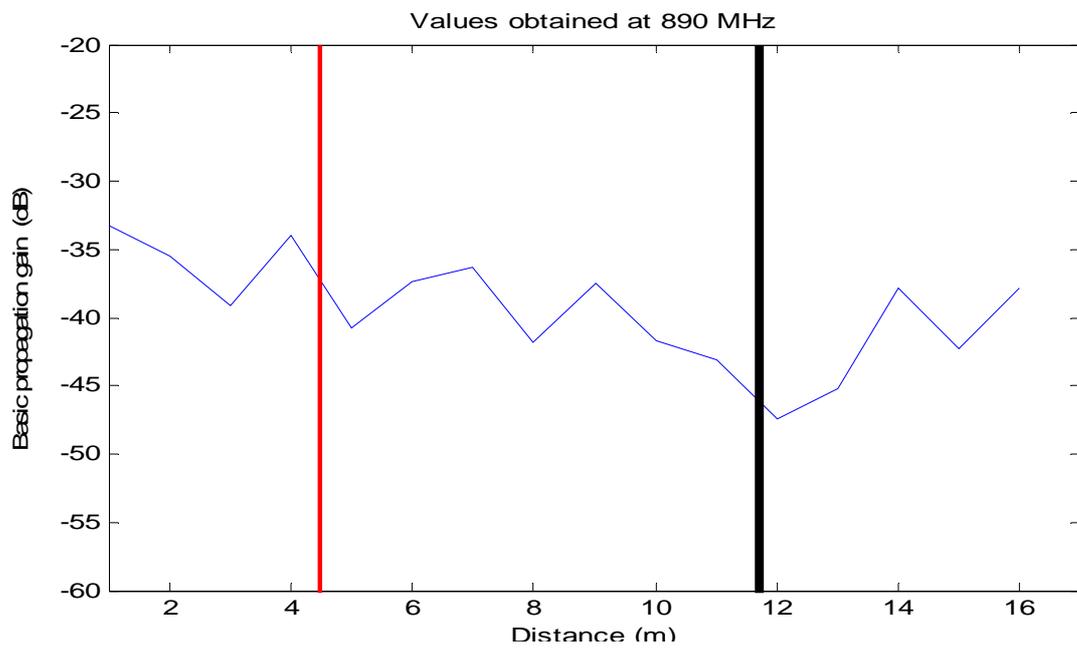


Figura 4-88: Ganancia de propagación básica en función de la distancia entre Tx y Rx

Observamos que en este escenario (Figuras 4-86, 4-87 y 4-88), a partir de una distancia de aproximadamente 12 m, que es cuando pasamos de una situación de pared completa- pared incompleta, a pared completa- pared completa, se produce una pequeña mejora en la ganancia de propagación básica, ya que la señal es mucho mas directiva y aumenta el número de reflexiones favorables para la señal.

En la siguiente tabla, se muestran los resultados obtenidos con el analizador de espectros para el Escenario 2.2.

Tabla 4-3: Resultados de la ganancia básica de propagación en dB en cada punto de medida

Frequency	1	2	3	4	5	6	7	8
310 MHz	-34,59	-36,76	-40,62	-33,62	-41,4	-37,41	-38,51	-40,92
410 MHz	-32,84	-34,37	-38,59	-31,72	-38,17	-39,13	-36,21	-38,94
890 MHz	-33,25	-35,47	-39,15	-34,01	-40,73	-37,33	-36,37	-41,8
Frequency	9	10	11	12	13	14	15	16
310 MHz	-36,38	-40,92	-38,22	-54,09	-44,65	-36,97	-38,01	-36,25
410 MHz	-37,33	-40,66	-39,2	-44,82	-46,94	-37,66	-36,36	-35,16
890 MHz	-37,47	-41,74	-43,08	-47,47	-45,26	-37,79	-42,27	-37,8

ESCENARIO 2.3

Otra situación consiste en colocar la antena transmisora a un lado del pasillo y la antena receptora al otro lado del mismo, en las posiciones numeradas según se muestra en el siguiente esquema.

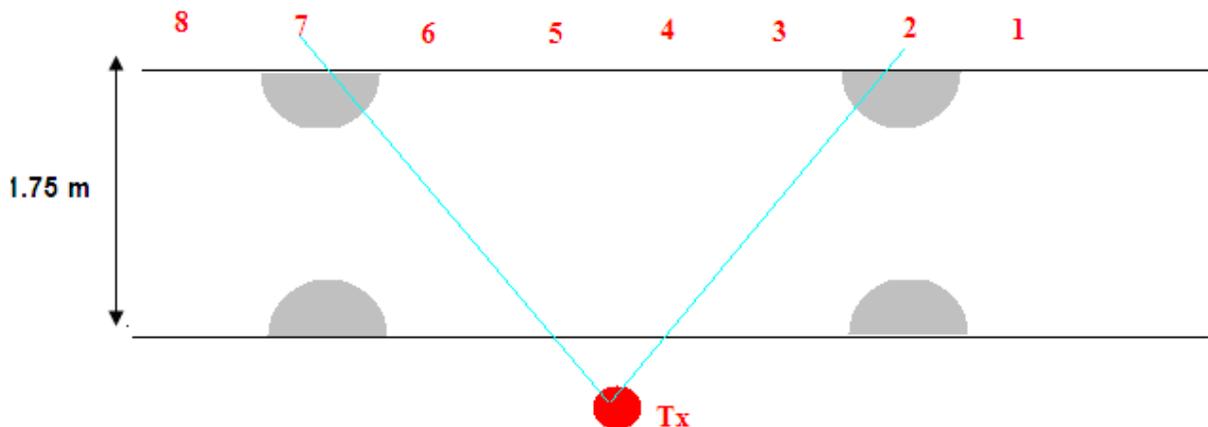


Figura 4-89: Esquema representativo de la vista de planta del escenario 2.3

En el esquema de la Figura 4-89, los semicírculos grises reflejan la posición de las columnas de hormigón, y se observa que en la recepción en los puntos 2 y 7, la trayectoria directa está obstruida por dichas columnas

En las representaciones siguientes, las líneas verticales rojas representan los puntos en los que a la señal directa es bloqueada por las columnas semiesféricas

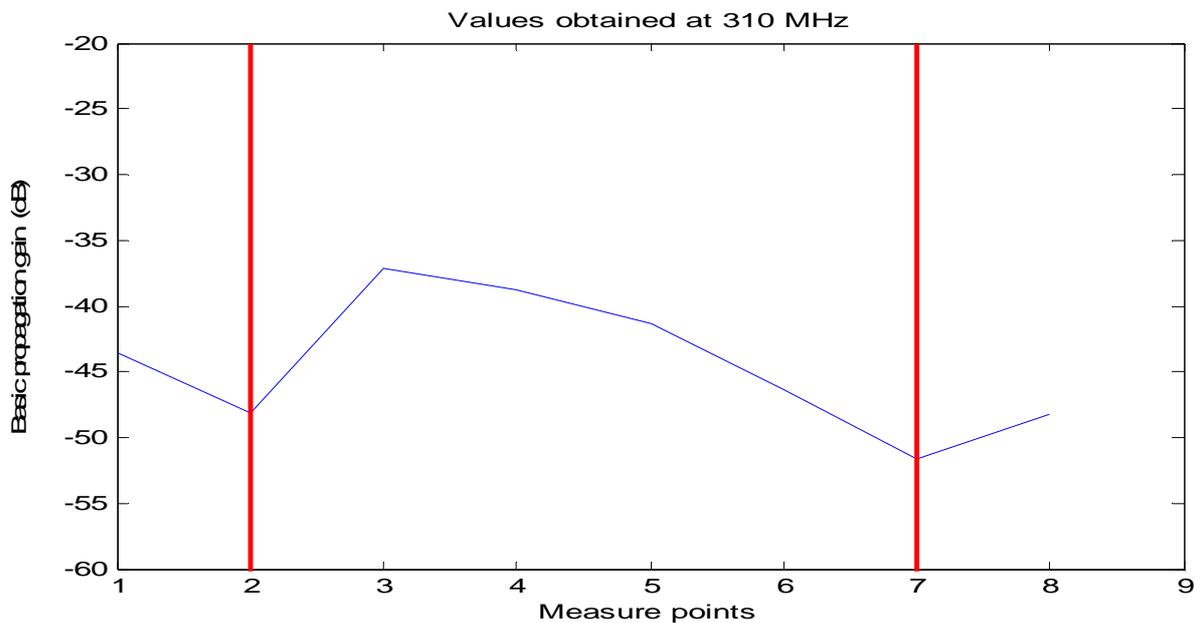


Figura 4-90: Ganancia de propagación básica en los distintos puntos de medida

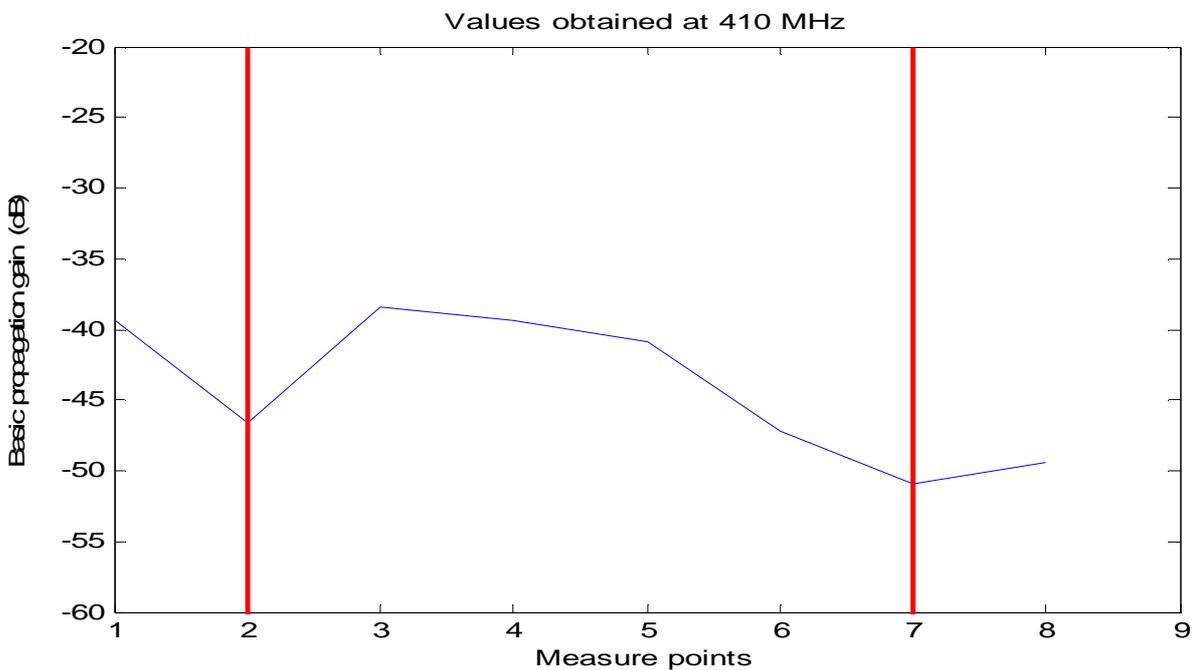


Figura 4-91: Ganancia de propagación básica en los distintos puntos de medida

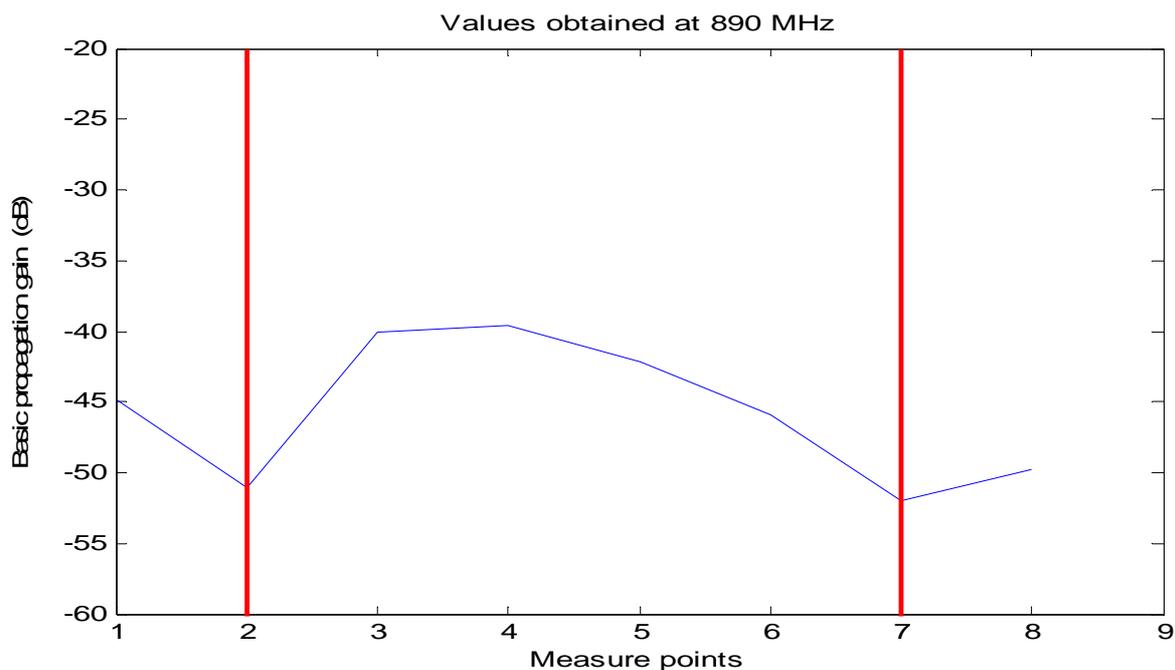


Figura 4-92: Ganancia de propagación básica en los distintos puntos de medida

Observamos que en todo este escenario (Figuras 4-90, 4-91 y 4-92) la ganancia básica de propagación es menor en los puntos en los que la trayectoria directa entre transmisor y receptor está totalmente obstaculizada por las columnas de hormigón semiesféricas, y los puntos donde la ganancia básica de propagación es mas alta es en los puntos centrales (3, 4, y 5), ya que son los puntos en los que la distancia entre antenas es menor.

En la siguiente tabla se muestran los valores de la ganancia básica de propagación en cada punto de medida, para cada frecuencia analizada en el Escenario 2.3.

Tabla 4-4: Resultados de la ganancia básica de propagación en dB en cada punto de medida

Frecuencia	1	2	3	4	5	6	7	8
310 MHz	-43,52	-48,12	-37,14	-38,81	-41,31	-46,36	-51,66	-48,27
410 MHz	-39,36	-46,59	-38,4	-39,38	-40,85	-47,17	-50,91	-49,47
890 MHz	-44,91	-51,09	-40,11	-39,59	-42,12	-45,91	-52,03	-49,79

4.3 ESCENARIO 3

Para la realización de estas medidas, se ha colocado la antena transmisora en el pasillo de la planta baja del nuevo edificio de la EPS (justo frente a la puerta del Laboratorio 7). La antena receptora está colocada dentro de dicho laboratorio, en distintas posiciones según se muestra en el dibujo

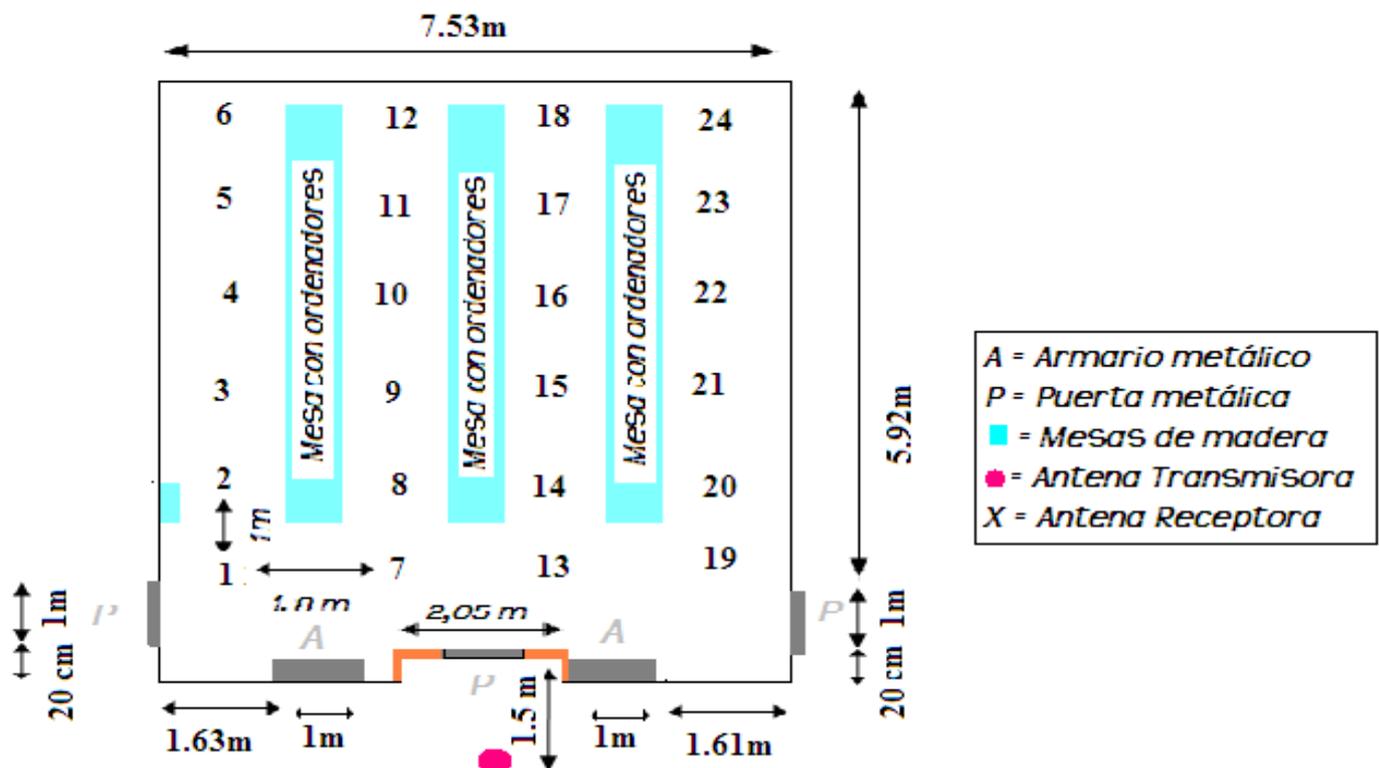


Figura 4-93: Vista de planta del Laboratorio C-007 del edificio C de la EPS

La distancia de la antena transmisora a la puerta de entrada del Laboratorio 7 es de 1,5 m.

La separación entre las posiciones de la antena receptora es de 1m.

La separación entre las posiciones lateralmente (por ejemplo entre 1 y 7) es de 1,8 m.

Tenemos que tener en cuenta a la hora de analizar los resultados, que la señal tiene que atravesar distintos obstáculos para llegar a cada uno de los puntos.

Para poder observar mejor este hecho, se trazarán líneas sobre el dibujo anterior para comprobar algunas de las trayectorias que sigue la señal antes de llegar a uno de los puntos.

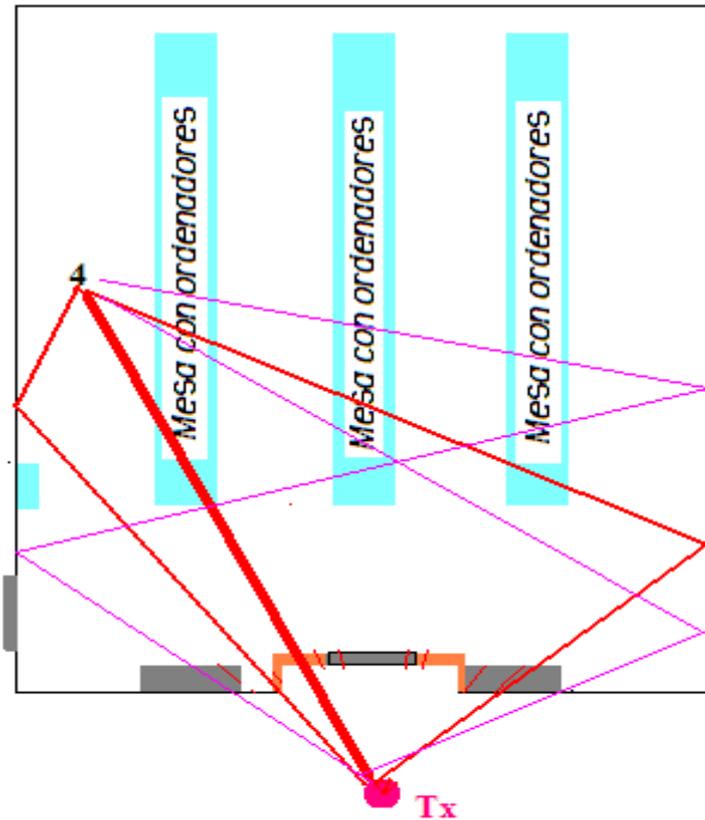


Figura 4-94: Estimación de cómo llegan los rayos de las trayectorias principales (trayectoria directa y primeras reflexiones)

En este ejemplo podemos observar claramente que para llegar al punto 4, la trayectoria directa se encuentra obstaculizada por uno de los puestos con ordenadores, algo que no pasará por ejemplo para los puntos 7,8,9...que se muestran en la Figura 4-93, por existir visión directa entre transmisor y receptor.

Adicionalmente, y aunque no se puede plasmar con claridad en un dibujo en 2D, también es importante contar con la reflexión con el techo y el suelo del laboratorio, y la difracción por las puertas de metal.

En las siguientes páginas se muestra el comportamiento de ganancia básica de propagación respecto a la frecuencia, por lo que la representación se realiza dividiendo los puntos de medida en gráficas según la fila que ocupan en el escenario (4 puntos por cada fila, en los tres rangos de frecuencias disponibles). En este caso, la representación se realizará con una de las filas en cada gráfica, por tanto, tendremos 6 gráficas para rango frecuencial.

Después de dicha representación, aparecerá a modo de resumen unas gráficas en las que se observa el rango de valores que toma la ganancia básica de propagación en cada punto para cada uno de los distintos tipos de canales dentro de cada sub-banda frecuencial, es decir, para cada canal dentro de cada conjunto frecuencial.

Banda (300-320) MHz

En las siguientes gráficas se muestran las trazas de la ganancia básica de propagación en función de la frecuencia, para los distintos puntos de medida en la primera y segunda fila del escenario 3.

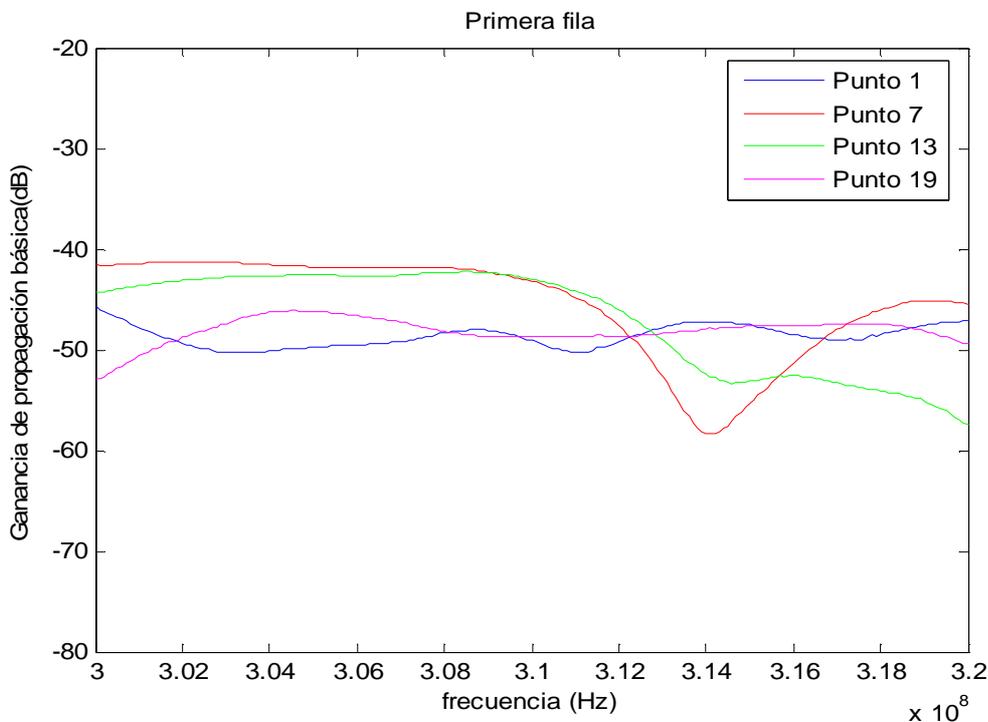


Figura 4-95: Ganancia de propagación básica frente a la frecuencia para los puntos de la primera fila con las antenas que funcionan entre 300MHz y 320 MHz.

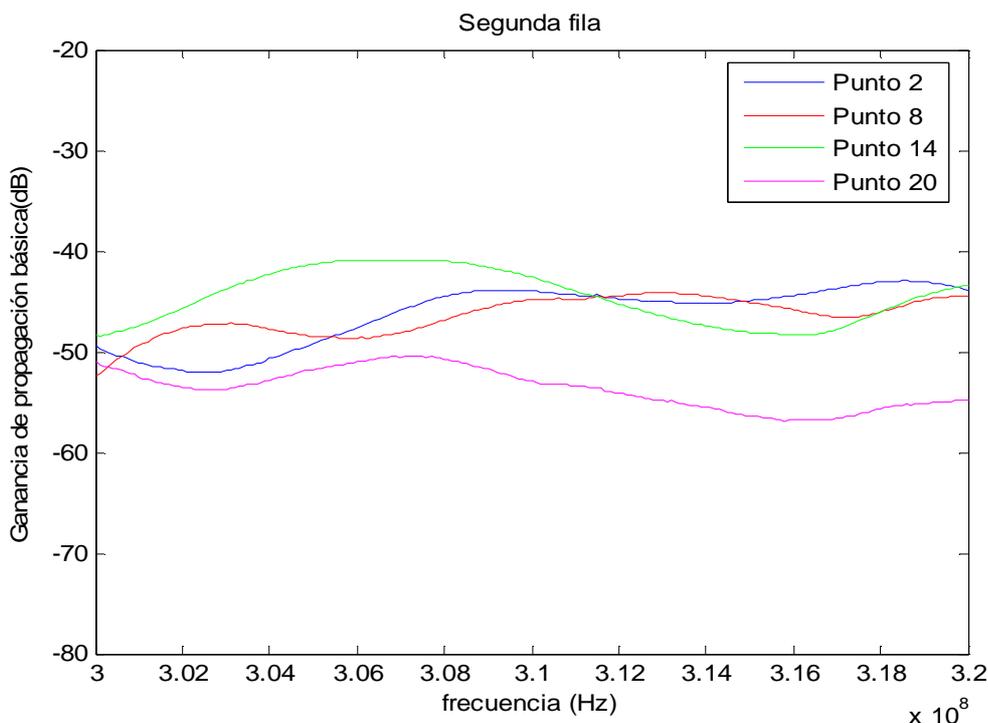


Figura 4-96: Ganancia de propagación básica frente a la frecuencia para los puntos de la segunda fila con las antenas que funcionan entre 300MHz y 320 MHz.

En las siguientes gráficas se muestran las trazas de la ganancia básica de propagación en función de la frecuencia, para los distintos puntos de medida en la tercera y cuarta fila del escenario 3.

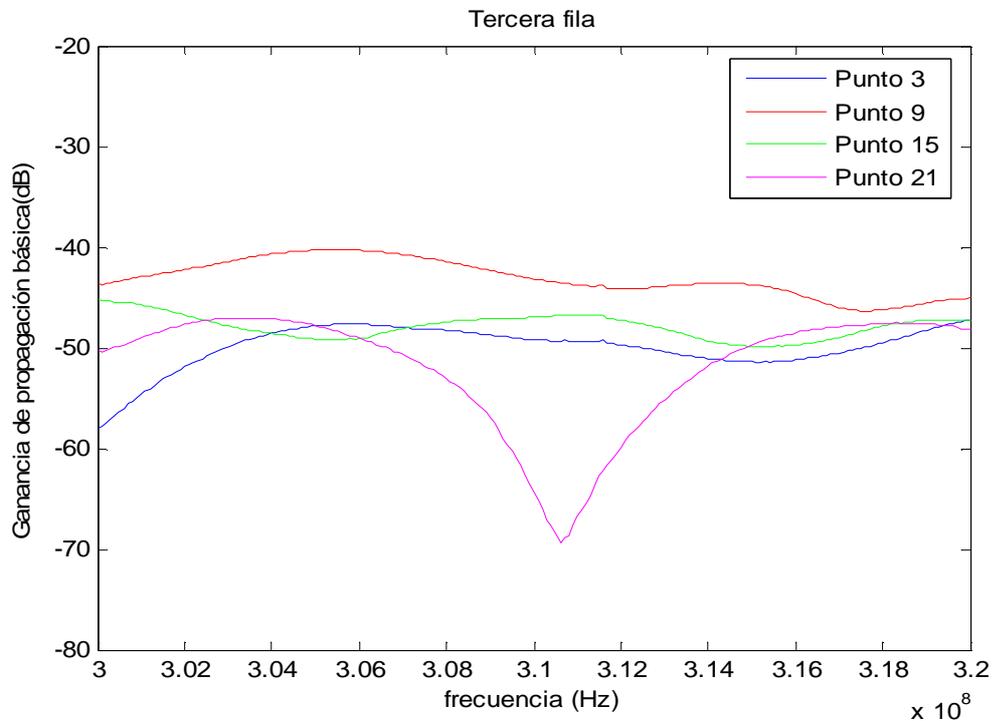


Figura 4-97: Ganancia de propagación básica frente a la frecuencia para los puntos de la tercera fila con las antenas que funcionan entre 300MHz y 320 MHz.

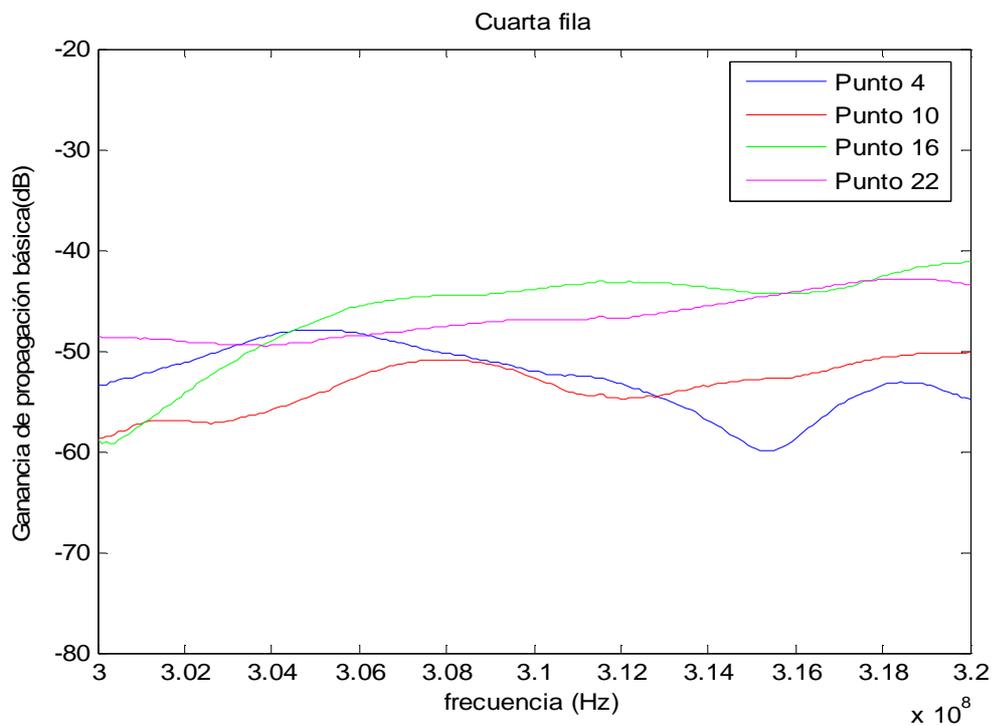


Figura 4-98: Ganancia de propagación básica frente a la frecuencia para los puntos de la cuarta fila con las antenas que funcionan entre 300MHz y 320 MHz.

En las siguientes gráficas se muestran las trazas de la ganancia básica de propagación en función de la frecuencia, para los distintos puntos de medida en la quinta y sexta fila del escenario 3.

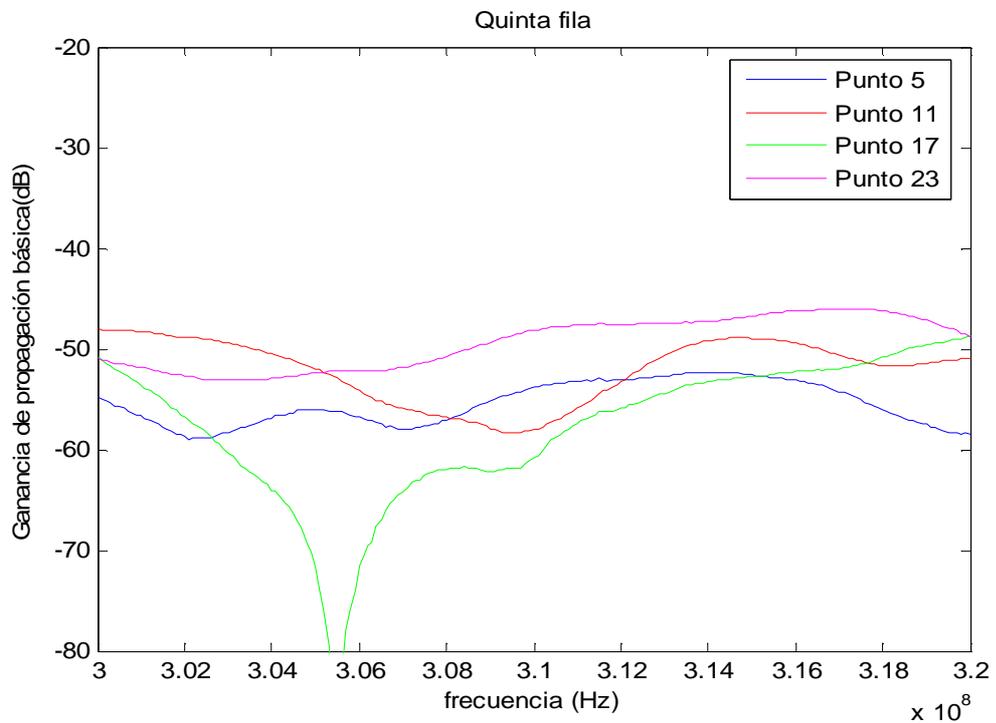


Figura 4-99: Ganancia de propagación básica frente a la frecuencia para los puntos de la quinta fila con las antenas que funcionan entre 300MHz y 320 MHz.

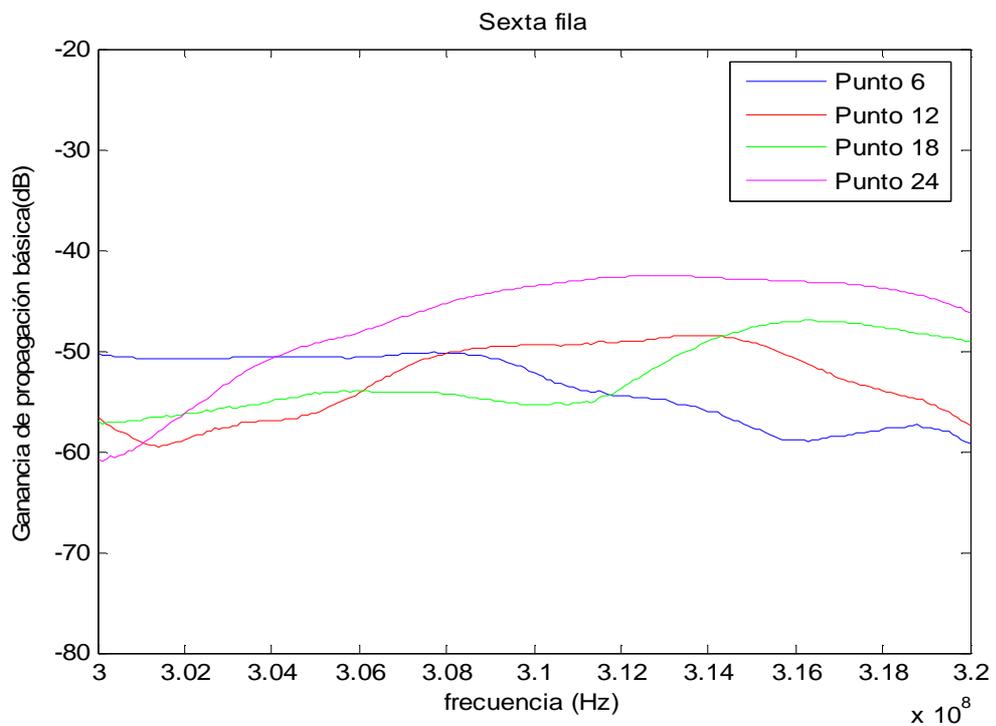


Figura 4-100: Ganancia de propagación básica frente a la frecuencia para los puntos de la sexta fila con las antenas que funcionan entre 300MHz y 320 MHz.

Banda (400-420) MHz

En las siguientes gráficas se muestran las trazas de la ganancia básica de propagación en función de la frecuencia, para los distintos puntos de medida en la primera y segunda fila del escenario 3.

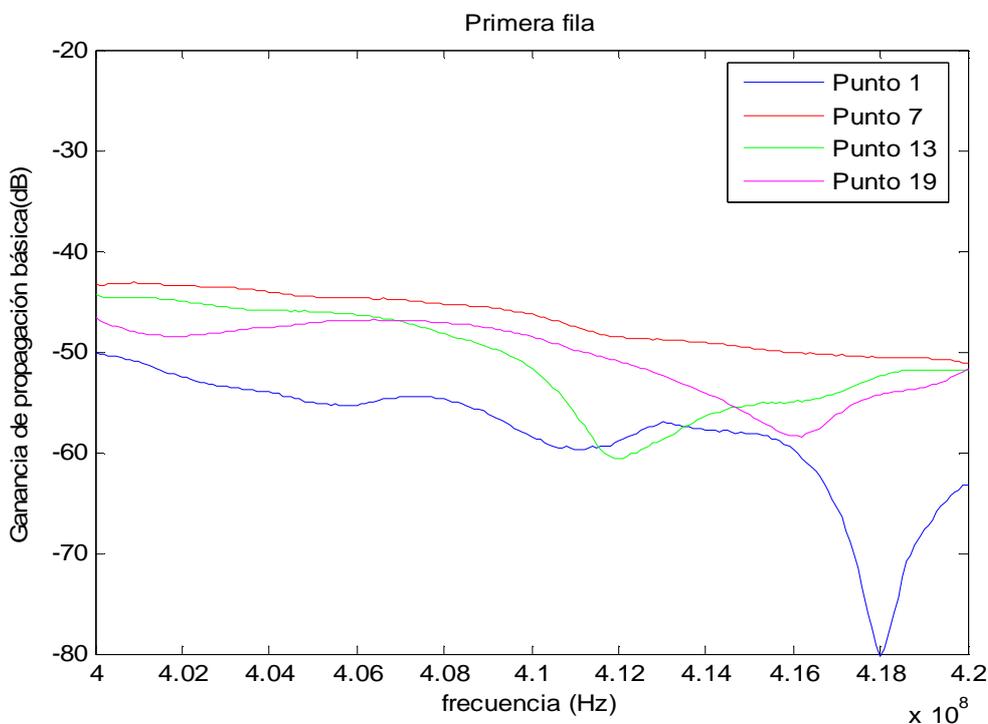


Figura 4-101: Ganancia de propagación básica frente a la frecuencia para los puntos de la primera fila con las antenas que funcionan entre 400MHz y 420 MHz.

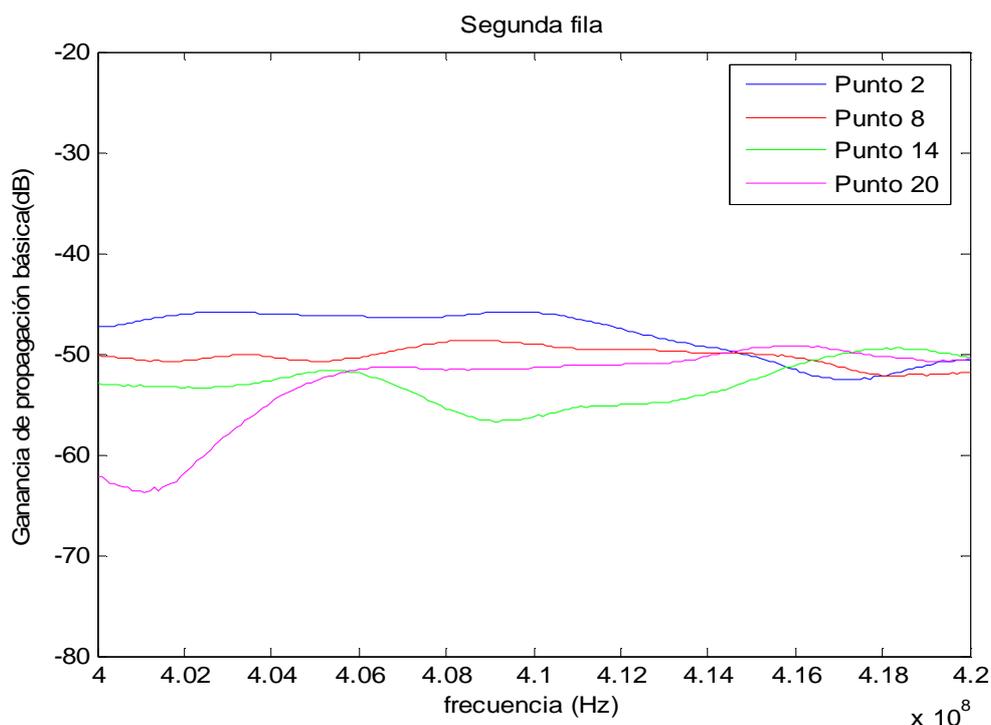


Figura 4-102: Ganancia de propagación básica frente a la frecuencia para los puntos de la segunda fila con las antenas que funcionan entre 400MHz y 420 MHz.

En las siguientes gráficas se muestran las trazas de la ganancia básica de propagación en función de la frecuencia, para los distintos puntos de medida en la tercera y cuarta fila del escenario 3.

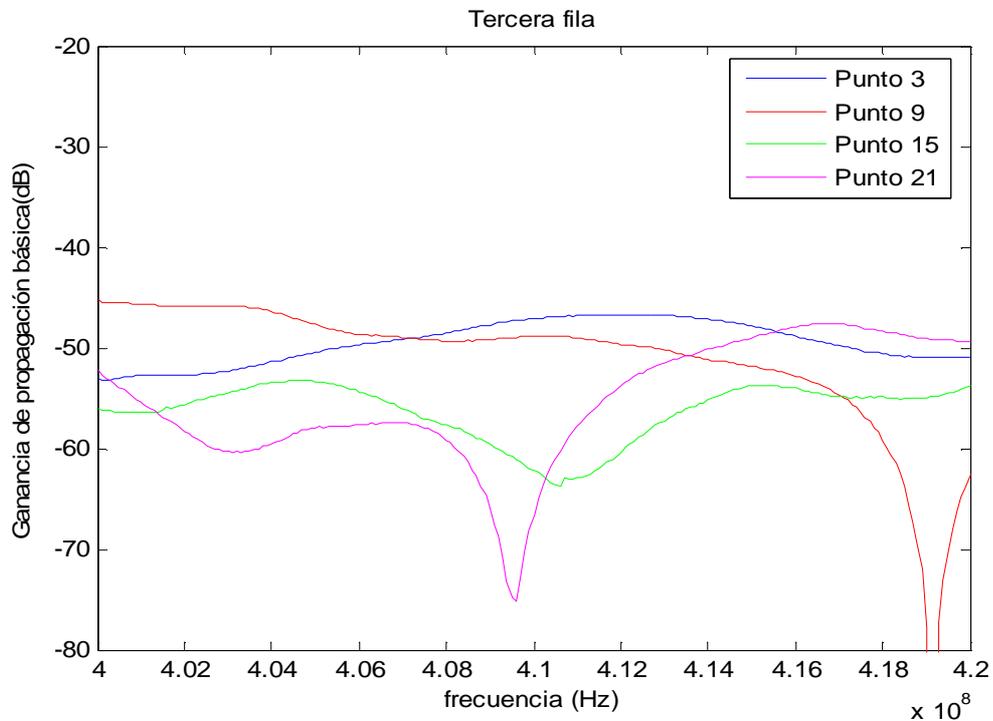


Figura 4-103: Ganancia de propagación básica frente a la frecuencia para los puntos de la tercera fila con las antenas que funcionan entre 400MHz y 420 MHz.

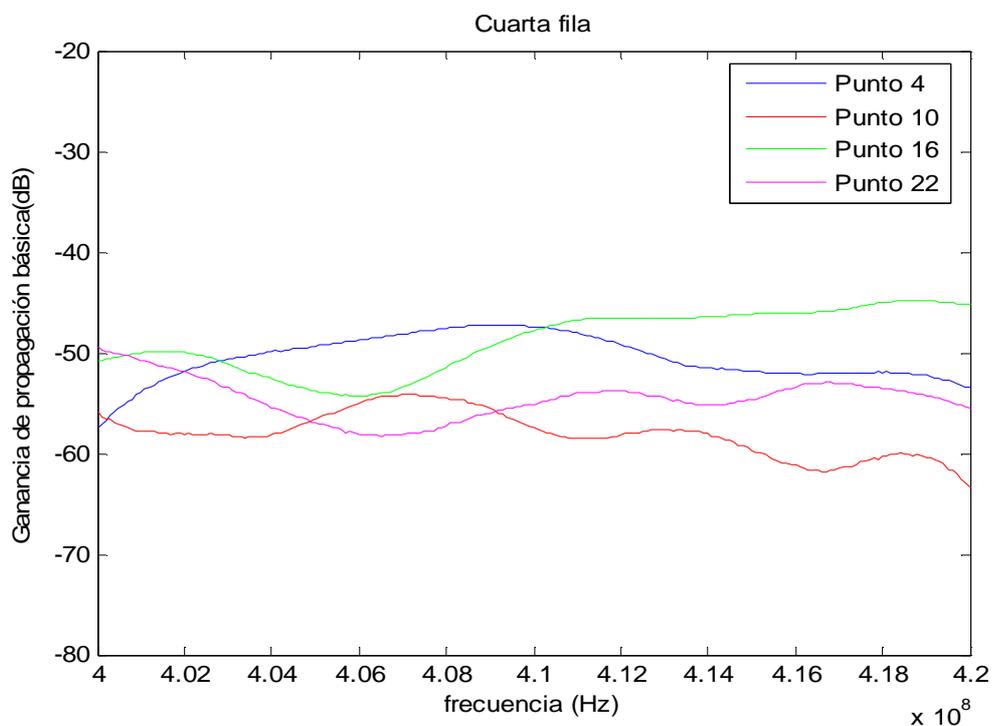


Figura 4-104: Ganancia de propagación básica frente a la frecuencia para los puntos de la cuarta fila con las antenas que funcionan entre 400MHz y 420 MHz.

En las siguientes gráficas se muestran las trazas de la ganancia básica de propagación en función de la frecuencia, para los distintos puntos de medida en la quinta y sexta fila del escenario 3.

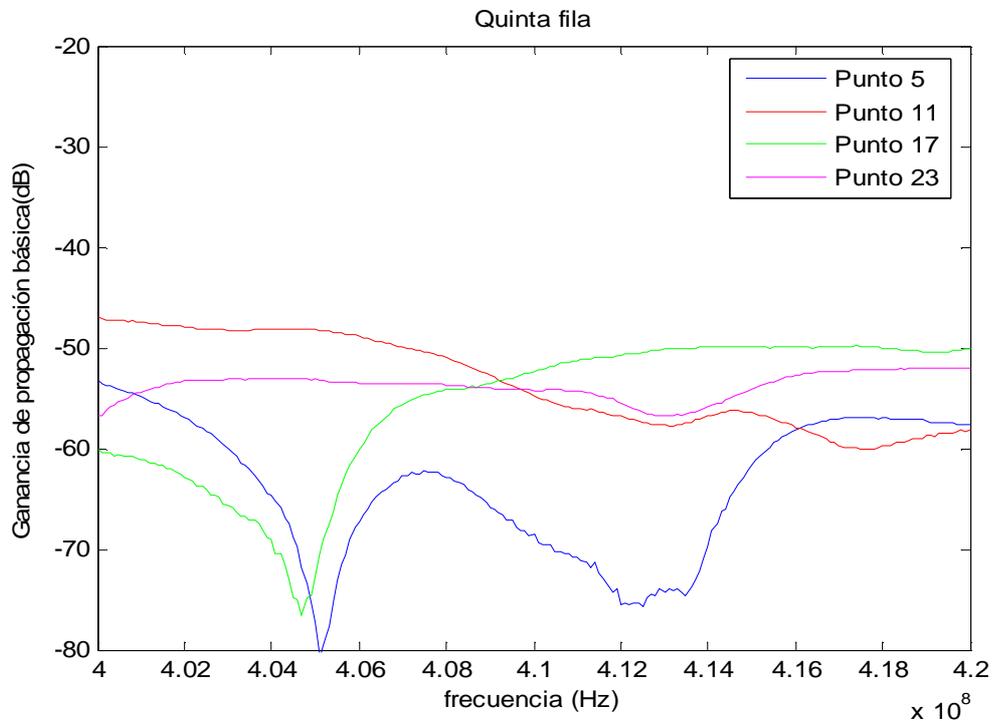


Figura 4-105: Ganancia de propagación básica frente a la frecuencia para los puntos de la quinta fila con las antenas que funcionan entre 400MHz y 420 MHz.

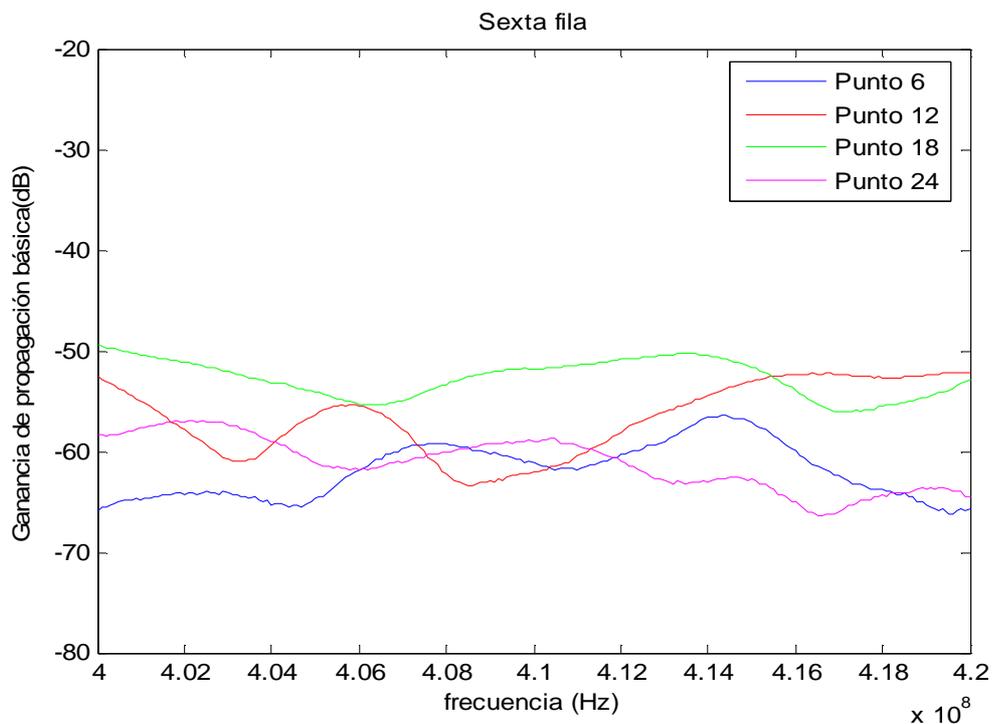


Figura 4-106: Ganancia de propagación básica frente a la frecuencia para los puntos de la sexta fila con las antenas que funcionan entre 400MHz y 420 MHz.

Banda (880- 900) MHz

En las siguientes gráficas se muestran las trazas de la ganancia básica de propagación en función de la frecuencia, para los distintos puntos de medida en la primera y segunda fila del escenario 3.

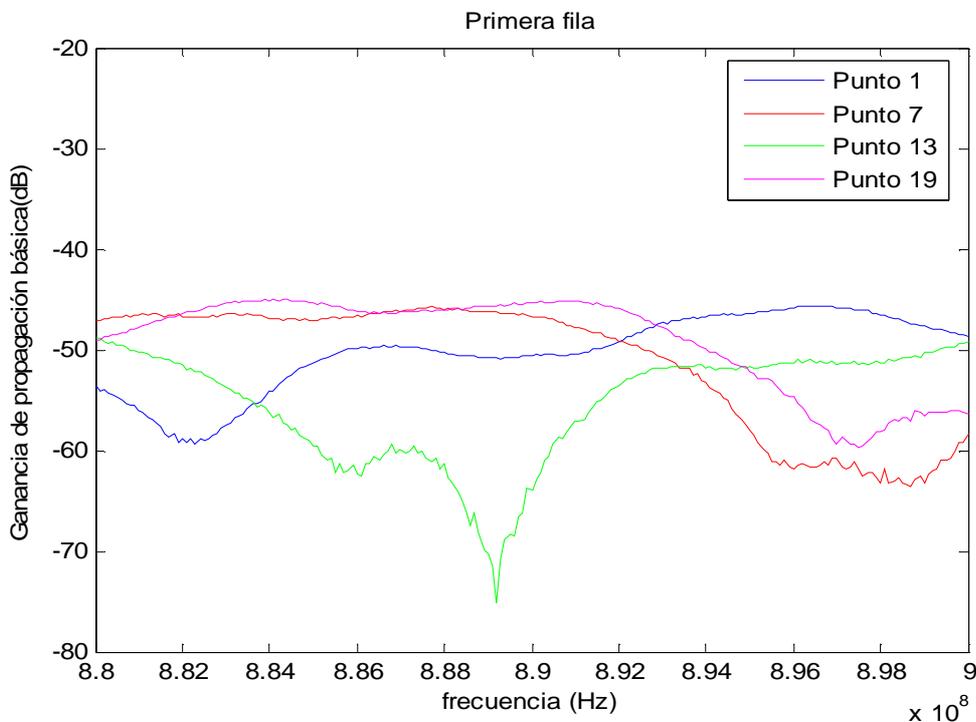


Figura 4-107: Ganancia de propagación básica frente a la frecuencia para los puntos de la primera fila con las antenas que funcionan entre 880MHz y 900 MHz.

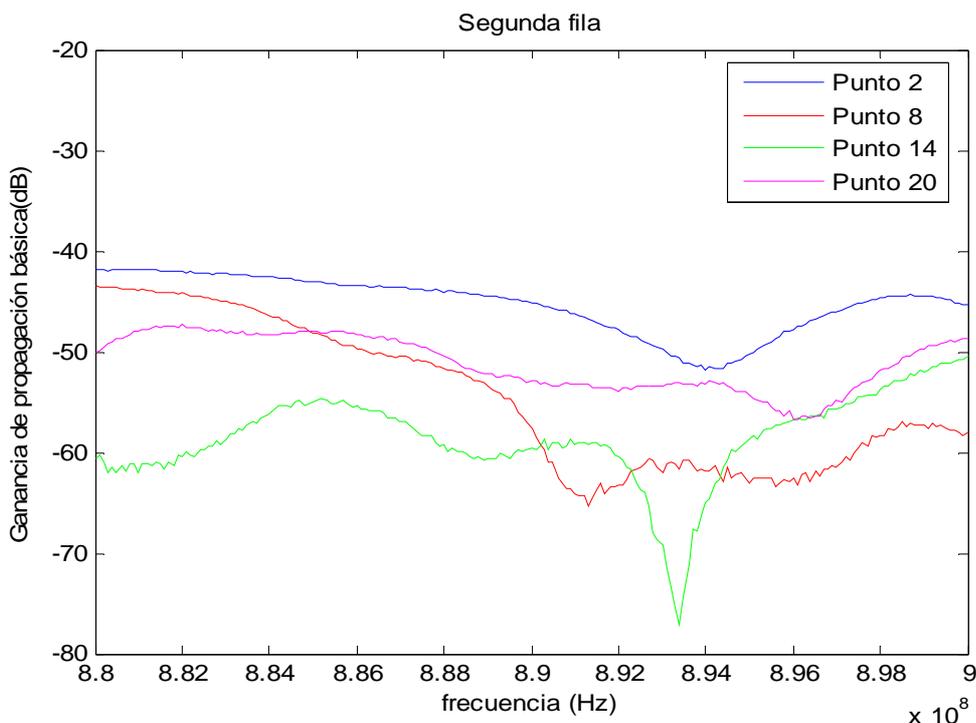


Figura 4-108: Ganancia de propagación básica frente a la frecuencia para los puntos de la segunda fila con las antenas que funcionan entre 880MHz y 900 MHz.

En las siguientes gráficas se muestran las trazas de la ganancia básica de propagación en función de la frecuencia, para los distintos puntos de medida en la tercera y cuarta fila del escenario 3.

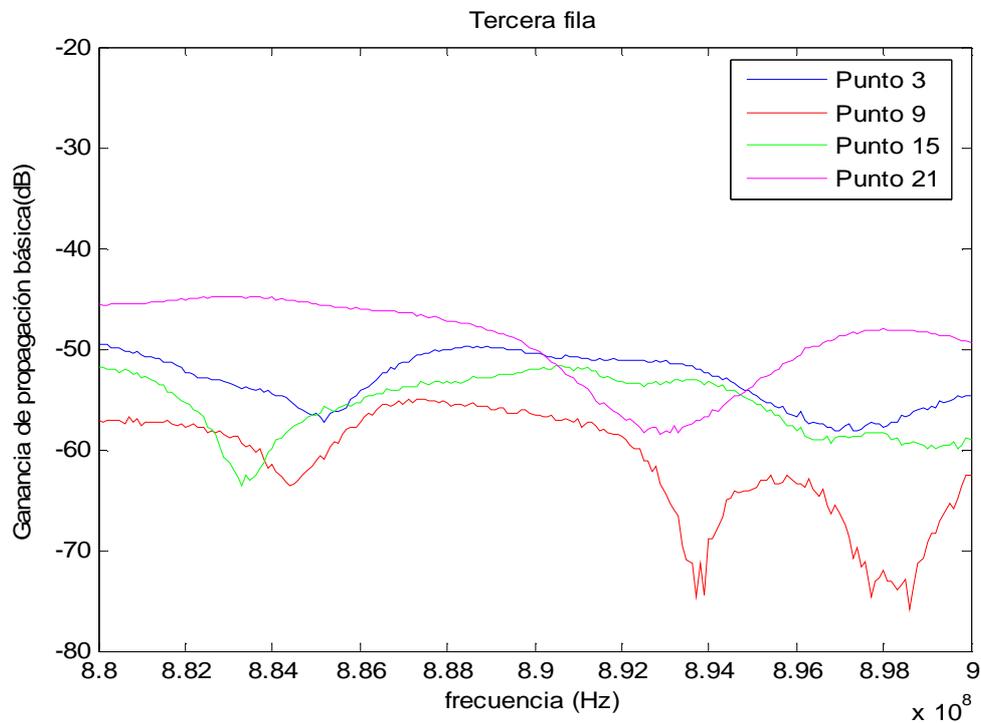


Figura 4-109: Ganancia de propagación básica frente a la frecuencia para los puntos de la tercera fila con las antenas que funcionan entre 880MHz y 900 MHz.

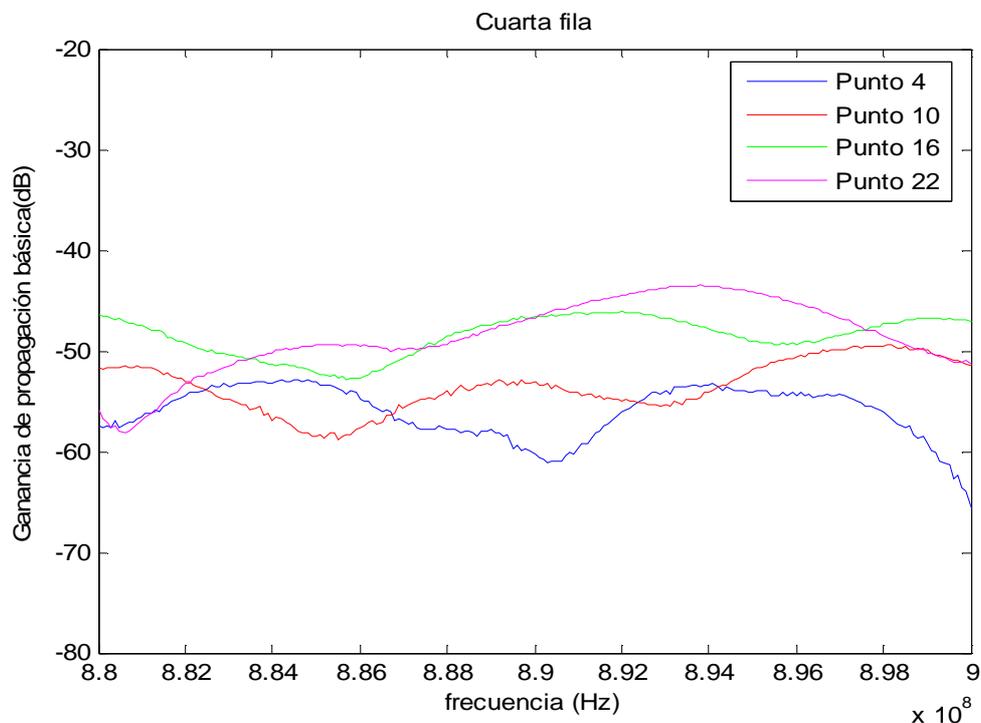


Figura 4-110: Ganancia de propagación básica frente a la frecuencia para los puntos de la cuarta fila con las antenas que funcionan entre 880MHz y 900 MHz.

En las siguientes gráficas se muestran las trazas de la ganancia básica de propagación en función de la frecuencia, para los distintos puntos de medida en la quinta y sexta fila del escenario 3.

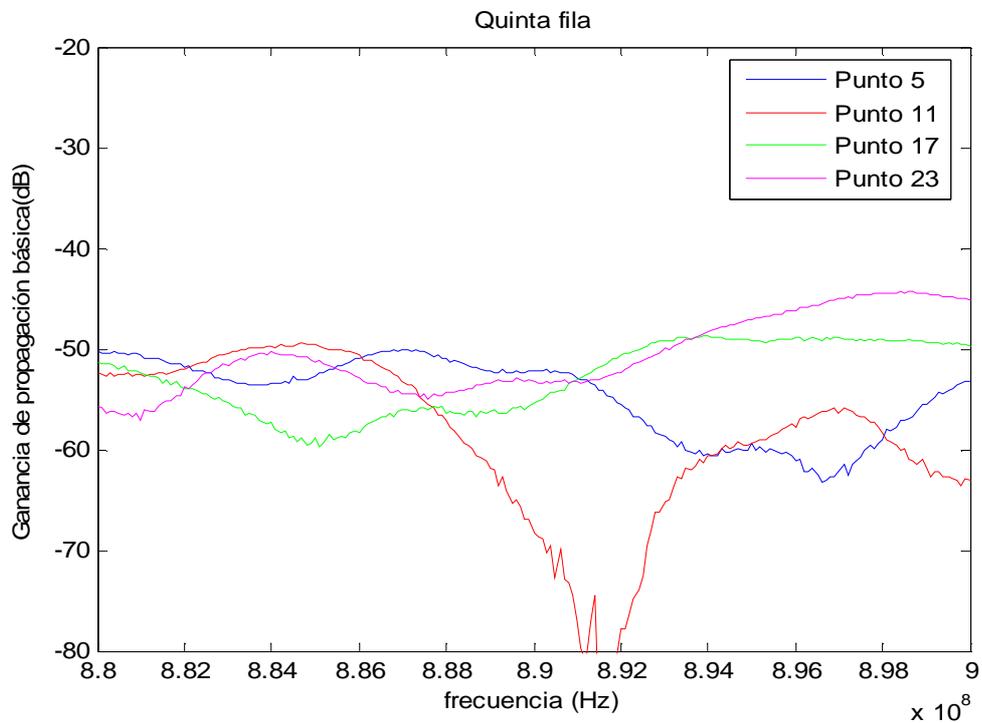


Figura 4-111: Ganancia de propagación básica frente a la frecuencia para los puntos de la quinta fila con las antenas que funcionan entre 880MHz y 900 MHz.

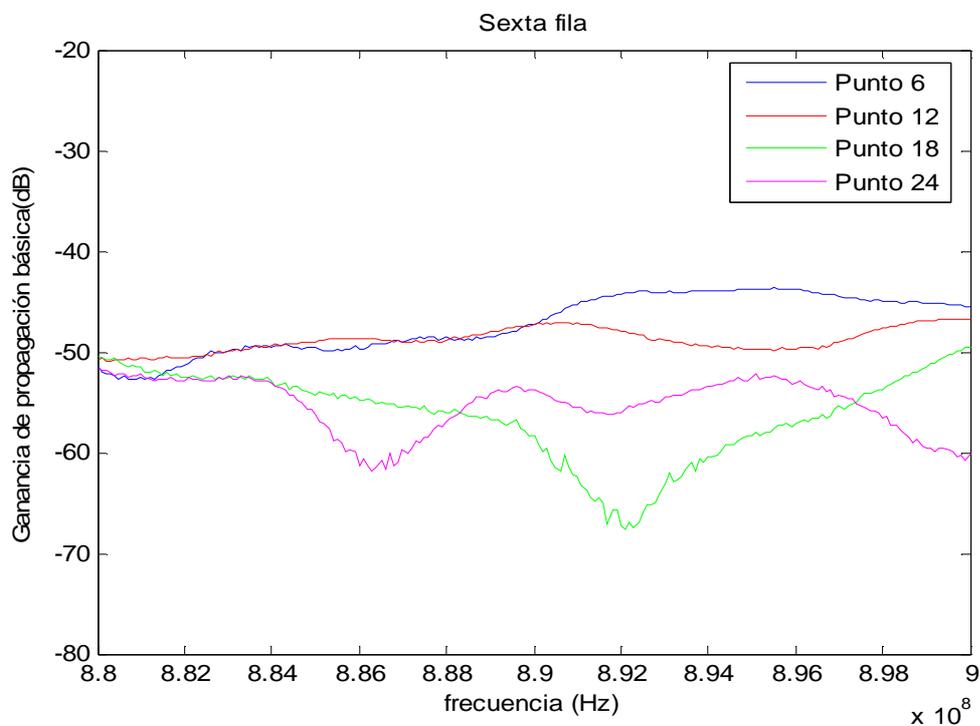


Figura 4-112: Ganancia de propagación básica frente a la frecuencia para los puntos de la sexta fila con las antenas que funcionan entre 880MHz y 900 MHz.

Banda (300-320)MHz

En las siguientes gráficas se muestra el rango de valores que toma la ganancia básica de propagación en cada punto de medida, empleando un canal de 0.2 MHz y 5 MHz de anchura de banda respectivamente.

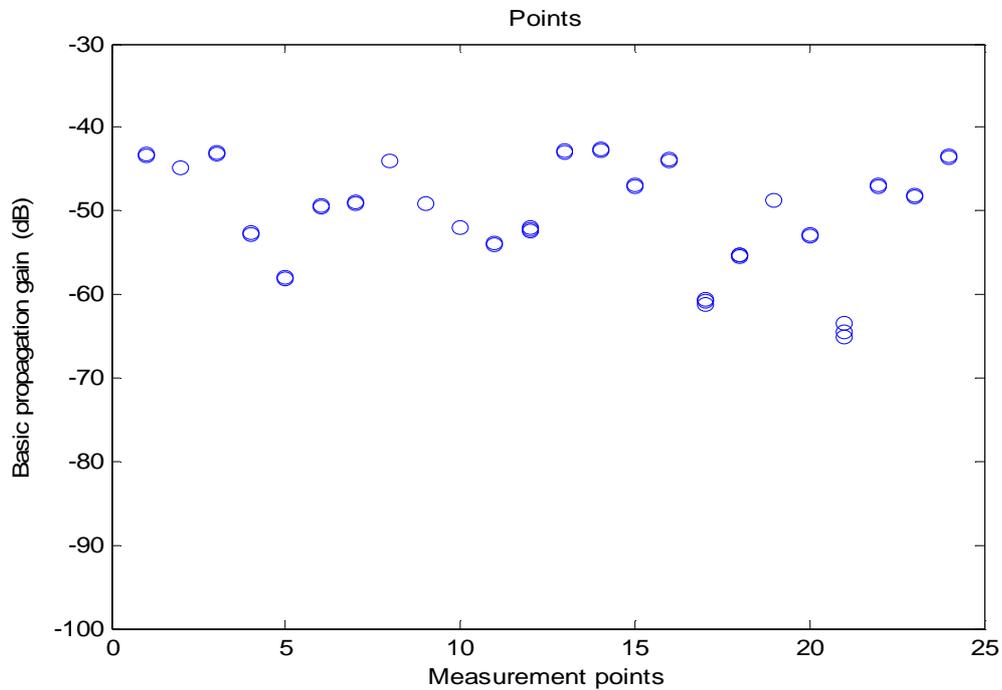


Figura 4-113: Valores que toma la ganancia básica de propagación en cada punto de medida **BW = 0.2 MHz**

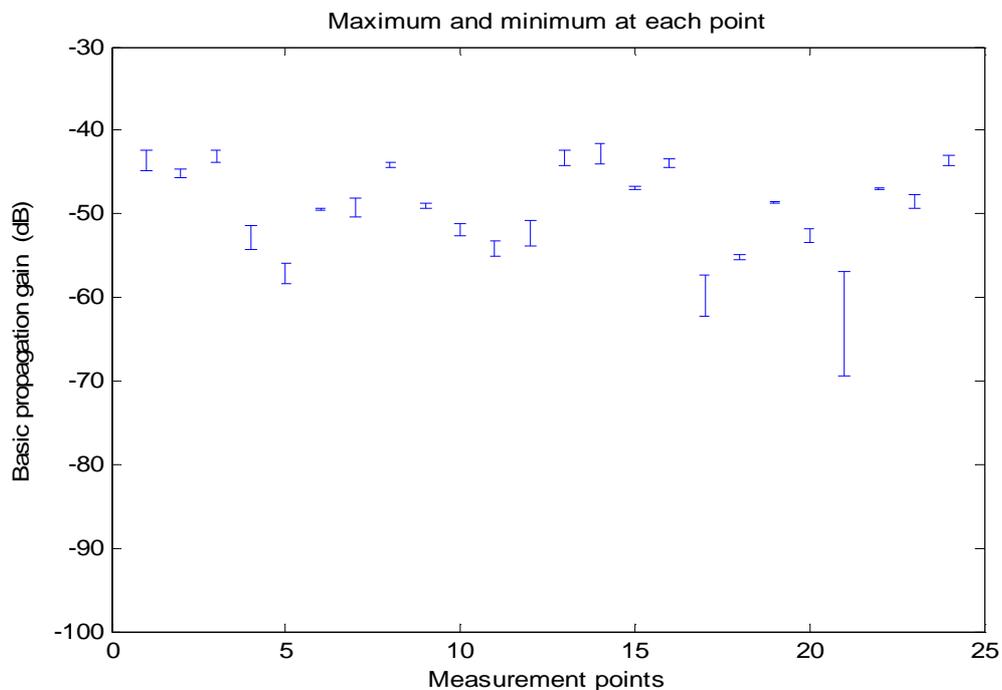


Figura 4-114: Rango de valores que toma la ganancia básica de propagación en cada punto de medida **BW = 5 MHz**

En las siguientes gráficas se muestra el rango de valores que toma la ganancia básica de propagación en cada punto de medida, empleando un canal de 10 MHz y 20 MHz de anchura de banda respectivamente.

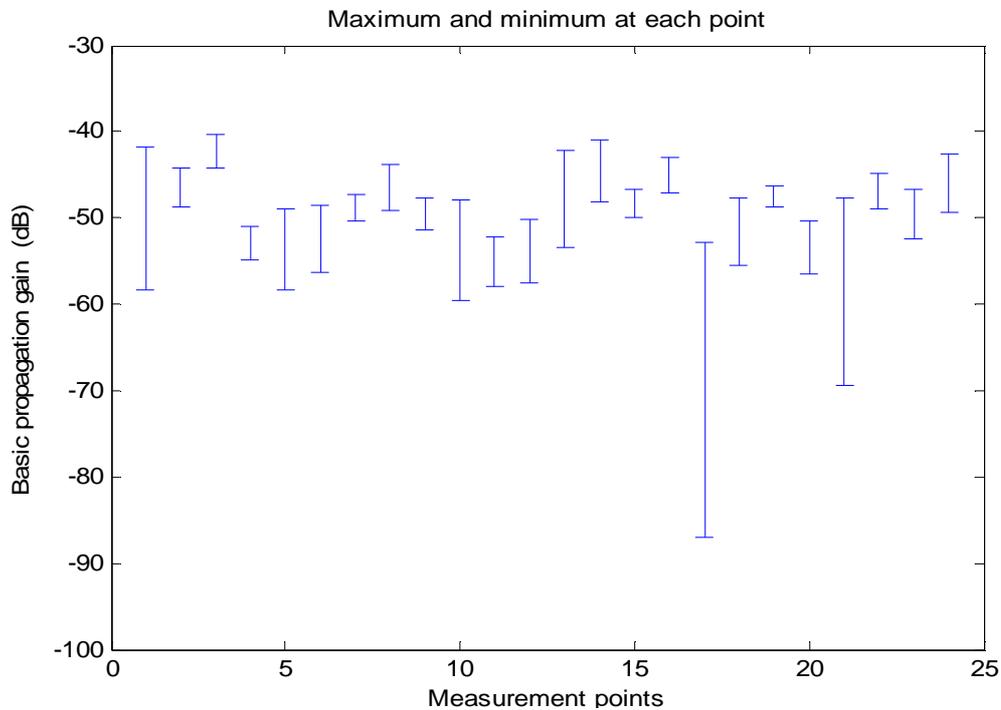


Figura 4-115: Rango de valores que toma la ganancia básica de propagación en cada punto de medida **BW = 10 MHz**

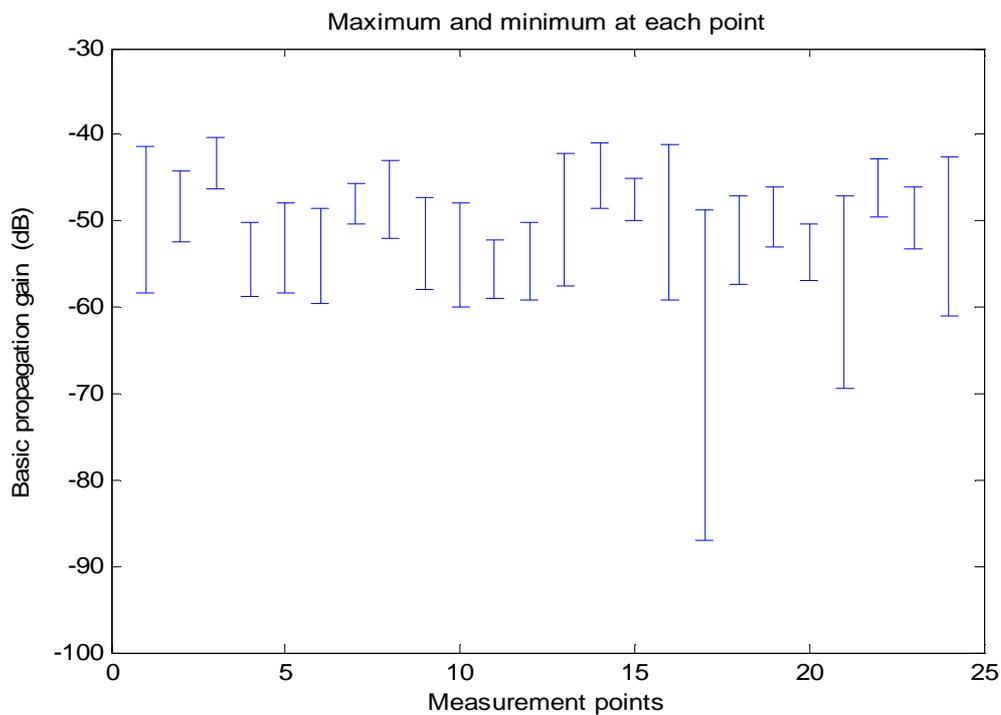


Figura 4-116: Rango de valores que toma la ganancia básica de propagación en cada punto de medida. **BW = 20 MHz**

Banda (400-420) MHz

En las siguientes gráficas se muestra el rango de valores que toma la ganancia básica de propagación en cada punto de medida, empleando un canal de 0.2 MHz y 5 MHz de anchura de banda respectivamente.

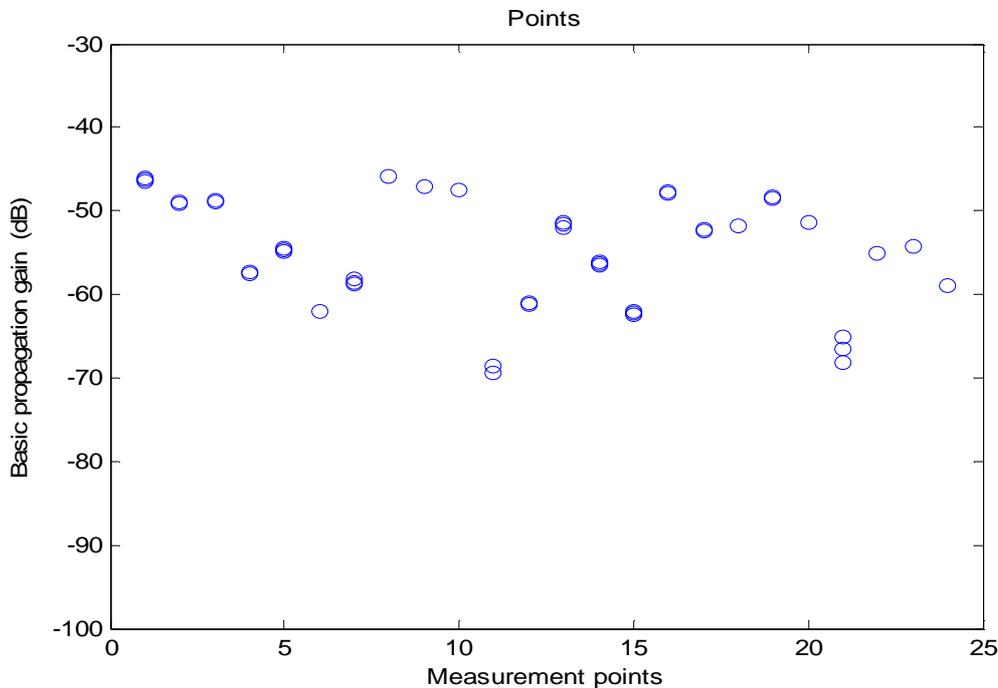


Figura 4-117: Rango de valores que toma la ganancia básica de propagación en cada punto de medida. **BW = 0.2 MHz**

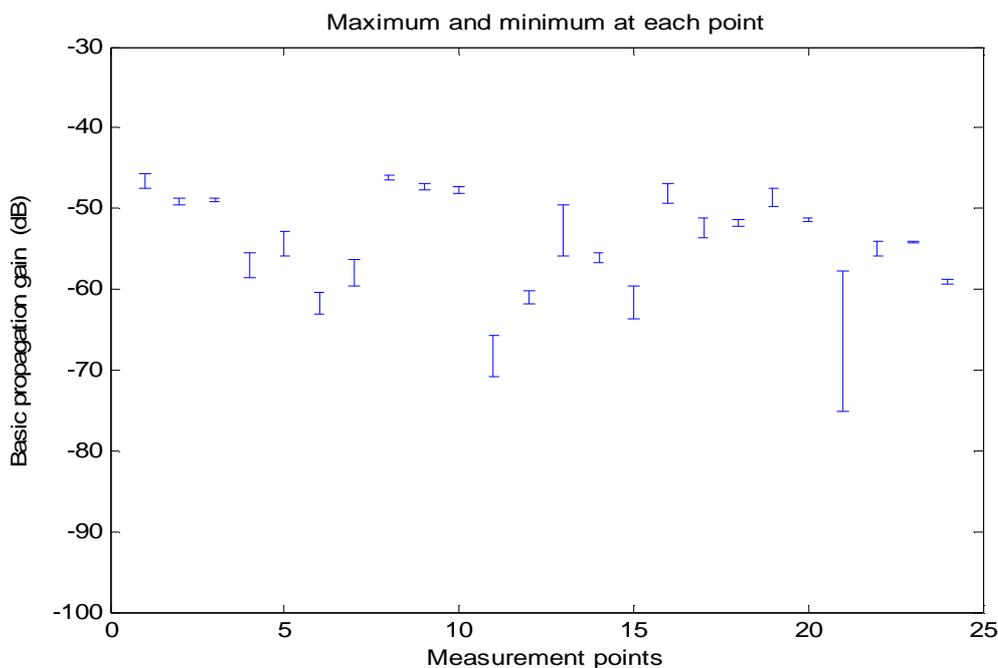


Figura 4-118: Rango de valores que toma la ganancia básica de propagación en cada punto de medida **BW = 5 MHz**

En las siguientes gráficas se muestra el rango de valores que toma la ganancia básica de propagación en cada punto de medida, empleando un canal de 10 MHz y 20 MHz de anchura de banda respectivamente.

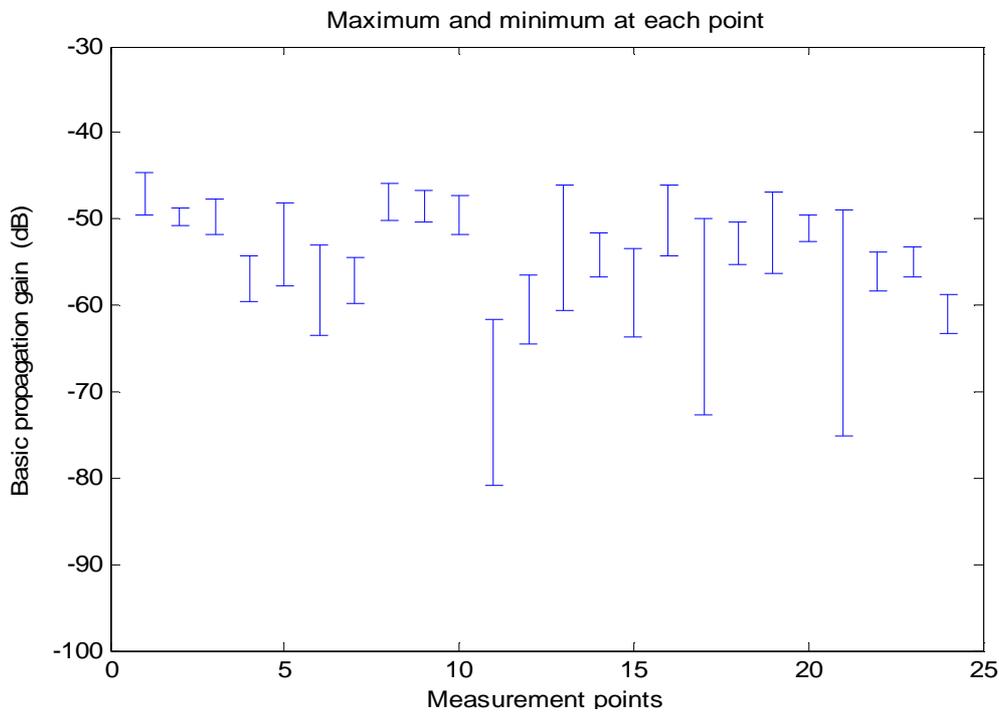


Figura 4-119: Rango de valores que toma la ganancia básica de propagación en cada punto de medida **BW = 10 MHz**

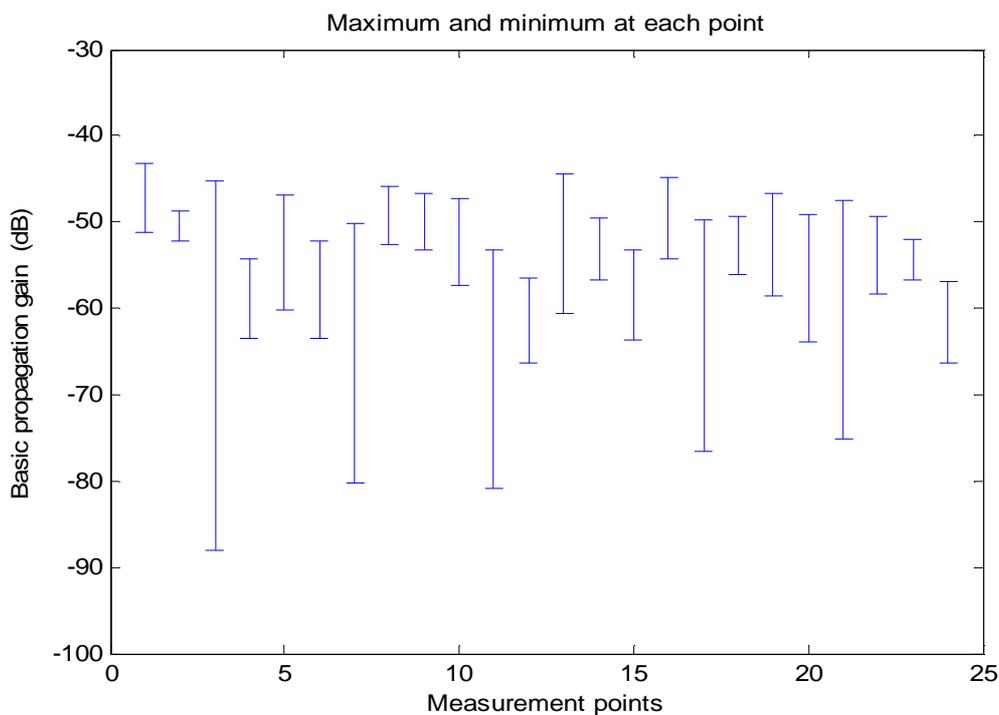


Figura 4-120: Rango de valores que toma la ganancia básica de propagación en cada punto de medida. **BW = 20 MHz**

Banda (880- 900) MHz

En las siguientes gráficas se muestra el rango de valores que toma la ganancia básica de propagación en cada punto de medida, empleando un canal de 0.2 MHz y 5 MHz de anchura de banda respectivamente.

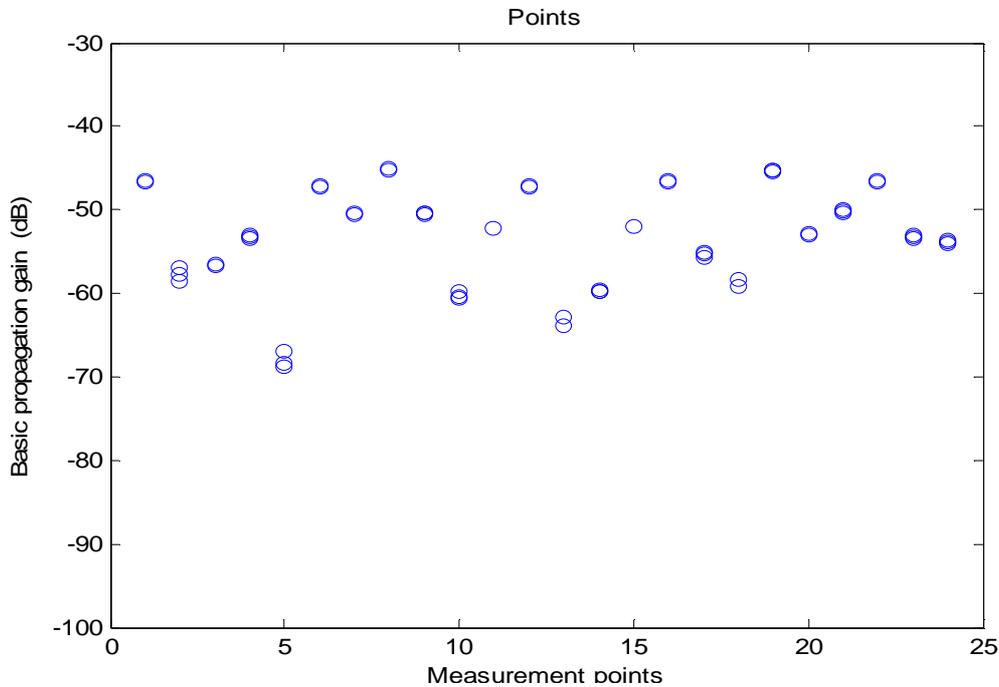


Figura 4-121: Rango de valores que toma la ganancia básica de propagación en cada punto de medida **BW = 0.2 MHz**

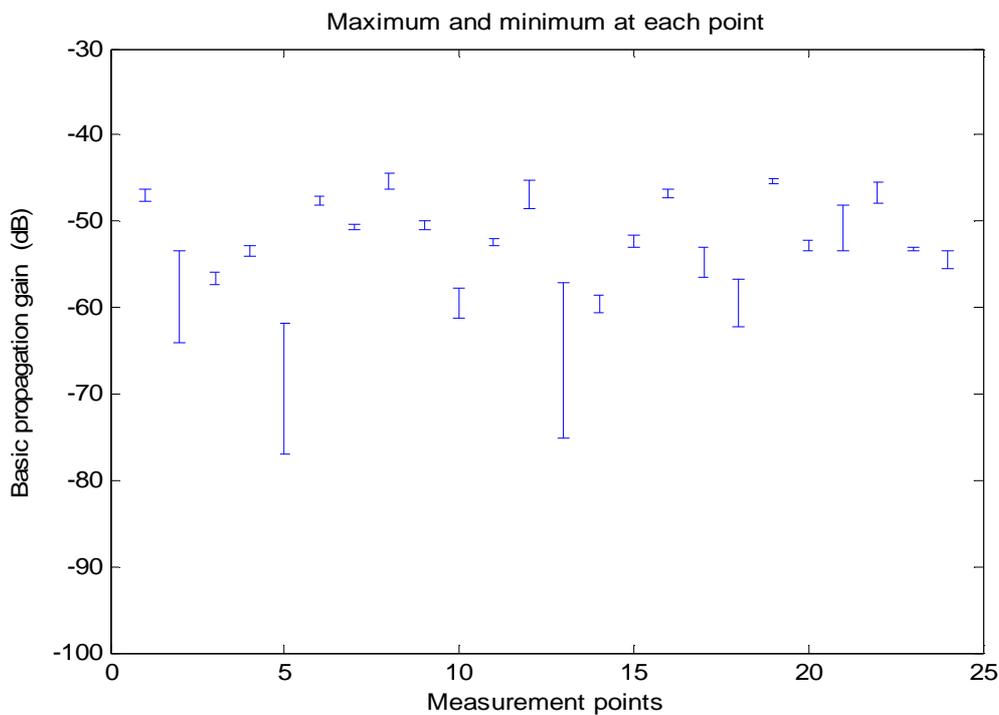


Figura 4-122: Rango de valores que toma la ganancia básica de propagación en cada punto de medida **BW = 5 MHz**

En las siguientes gráficas se muestra el rango de valores que toma la ganancia básica de propagación en cada punto de medida, empleando un canal de 10 MHz y 20 MHz de anchura de banda respectivamente.

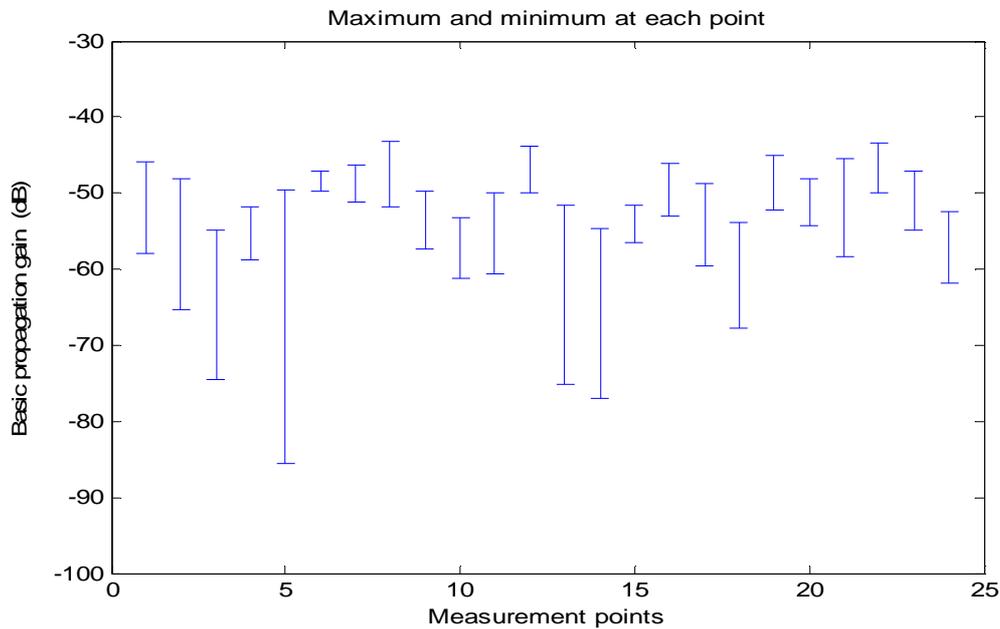


Figura 4-123: Rango de valores que toma la ganancia básica de propagación en cada punto de medida. **BW = 10 MHz**

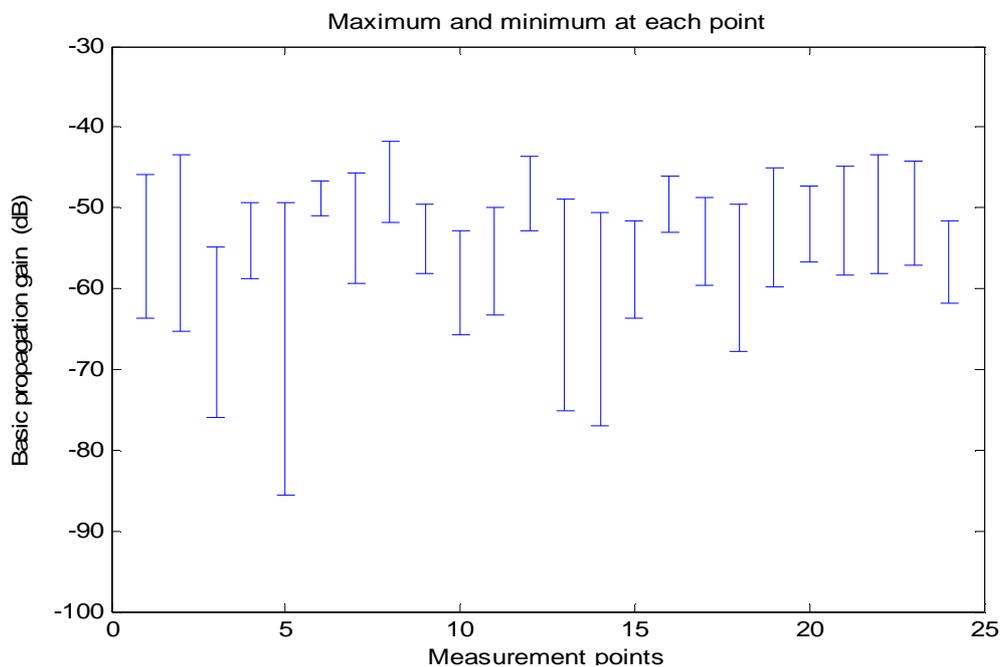


Figura 4-124: Rango de valores que toma la ganancia básica de propagación en cada punto de medida. **BW = 20 MHz**

El comportamiento de la señal en función de los diferentes puntos en los que se coloque la antena receptora es diferente según la frecuencia analizada y el ancho de banda del canal, por lo que no es posible establecer conclusiones de carácter general.

4.4 ESCENARIO 4

En este caso, el escenario se sitúa en la tercera planta del edificio C de la EPS.

Colocando la antena transmisora fija en un despacho, se irá variando la posición de la antena receptora en 9 puntos dentro de 3 despachos que estén en frente del que contiene a la antena transmisora.

Este dibujo ilustra mejor el escenario.

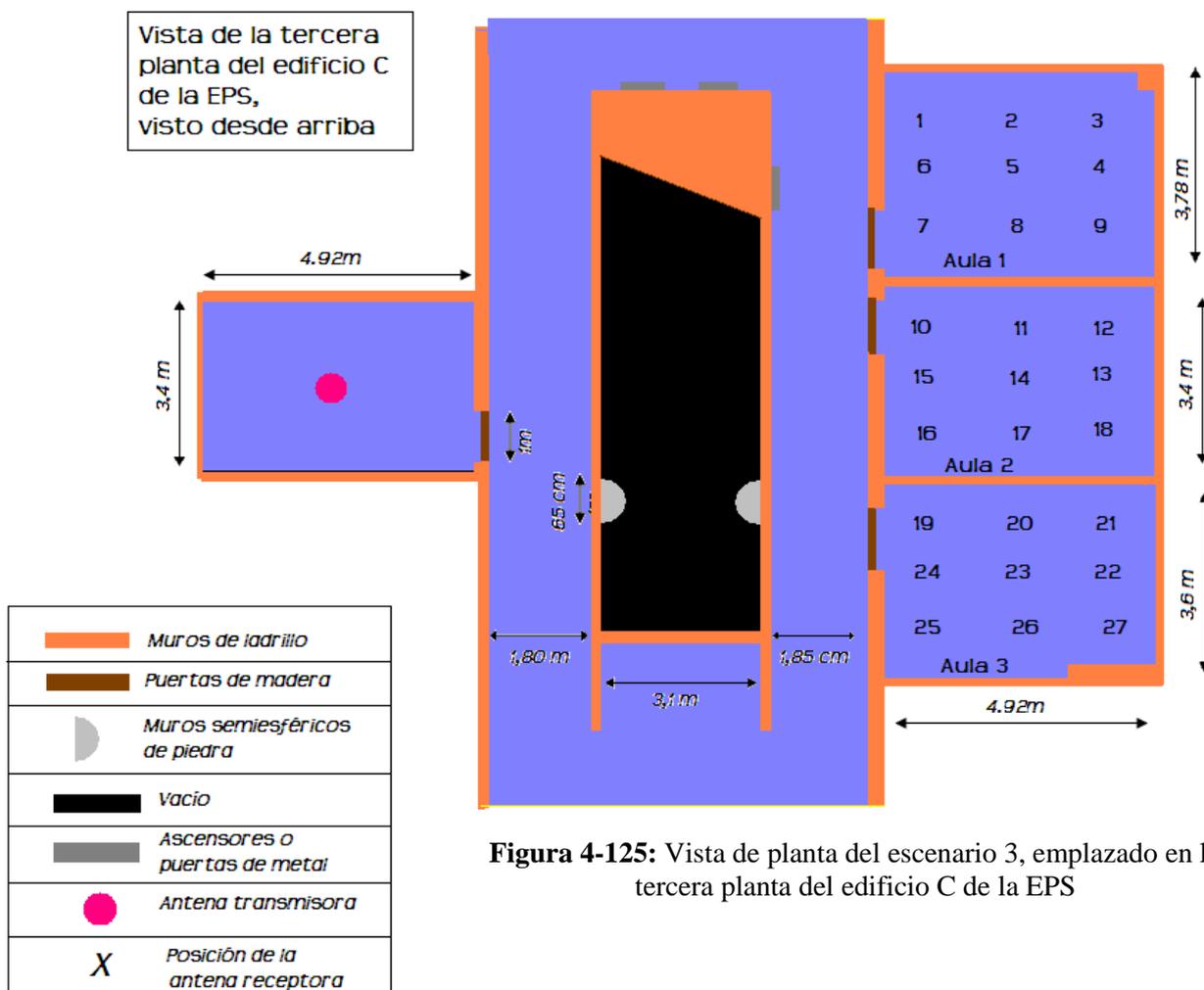


Figura 4-125: Vista de planta del escenario 3, emplazado en la tercera planta del edificio C de la EPS

La antena transmisora está colocada en el centro del aula.

Para poder observar mejor este hecho, se trazan líneas sobre el dibujo anterior para observar algunas de las trayectorias que sigue la señal antes de llegar a uno de los puntos.

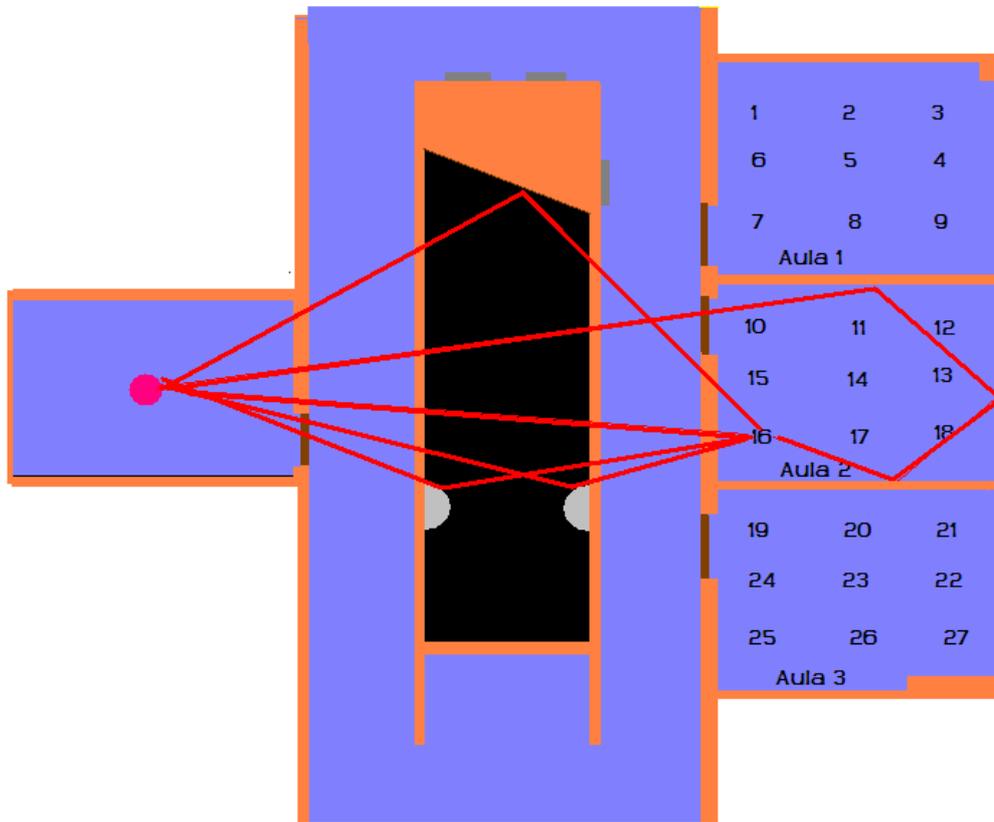


Figura 4-126: Representación esquemática de las principales trayectorias que realiza la señal para llegar al punto 16

Adicionalmente, y aunque no se puede plasmar con claridad en un dibujo en 2D, también es importante contar con la reflexión con el techo y el suelo del escenario, y la difracción por las puertas de metal.

Análogamente a lo realizado en el escenario anterior, primero muestro una representación de ganancia básica de propagación en función de la frecuencia, y posteriormente una representación del rango de valores que toma la ganancia básica de propagación en cada uno de los puntos

Banda (300-320) MHz

En las siguientes gráficas se muestran las trazas de la ganancia básica de propagación en función de la frecuencia, para los distintos puntos de medida en la primera y segunda fila del primer aula.

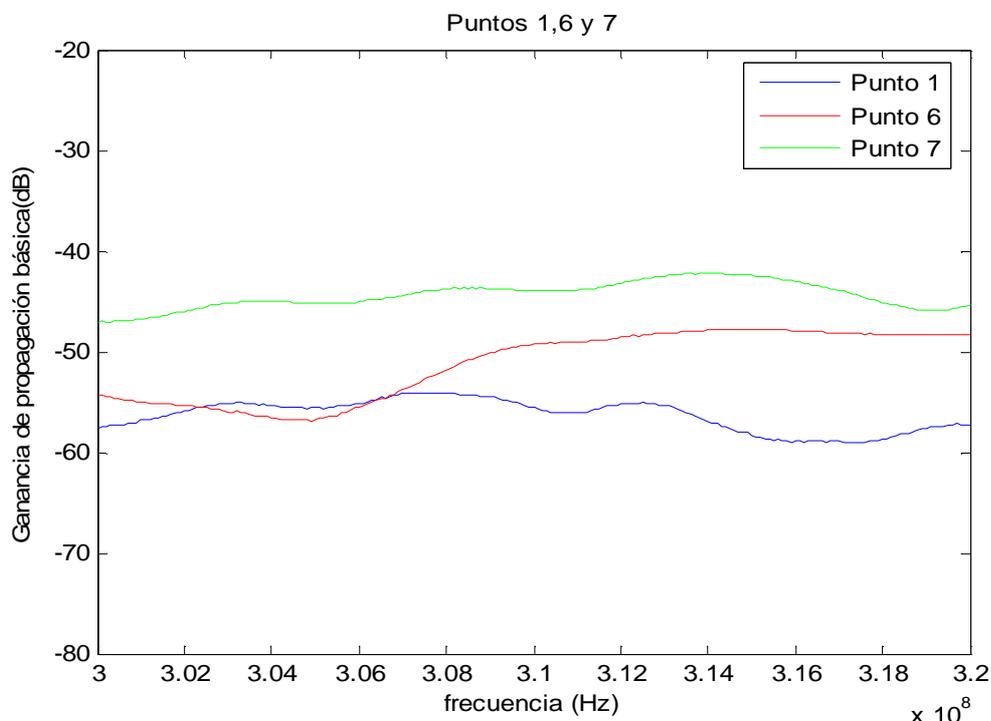


Figura 4-127: Ganancia de propagación básica frente a frecuencia para los puntos de la **primera fila** del **primer aula** con antenas que funcionan entre **300MHz y 320 MHz**.

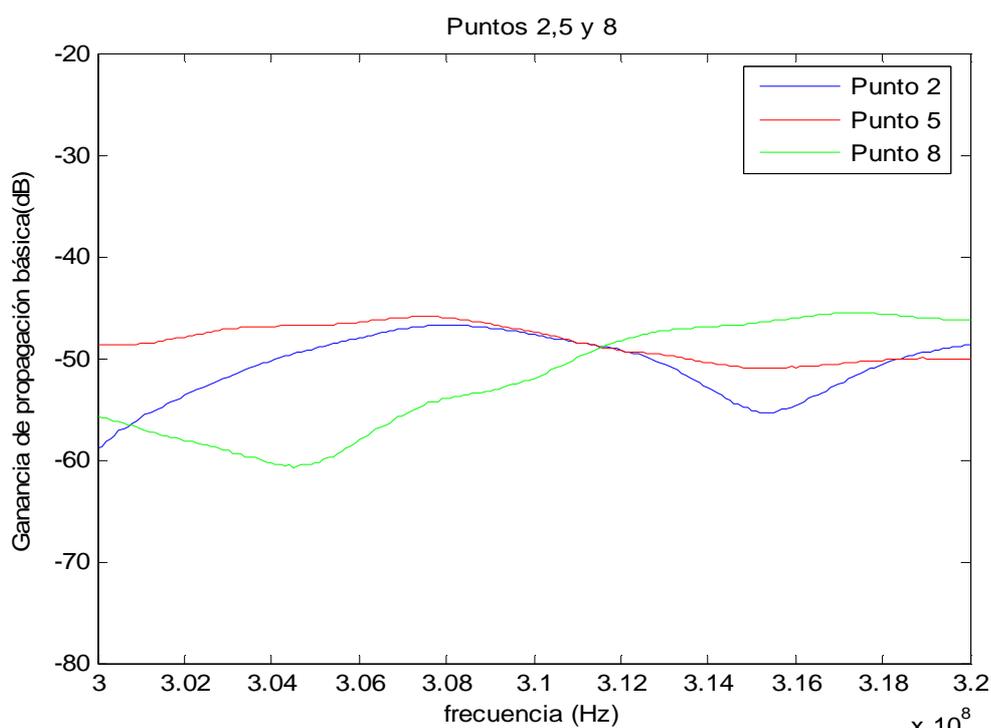


Figura 4-128: Ganancia de propagación básica frente a frecuencia para los puntos de la **segunda fila** del **primer aula** con antenas que funcionan entre **300MHz y 320 MHz**.

En las siguientes gráficas se muestran las trazas de la ganancia básica de propagación en función de la frecuencia, para los distintos puntos de medida en la tercera fila del primer aula y la primera fila del segundo aula.

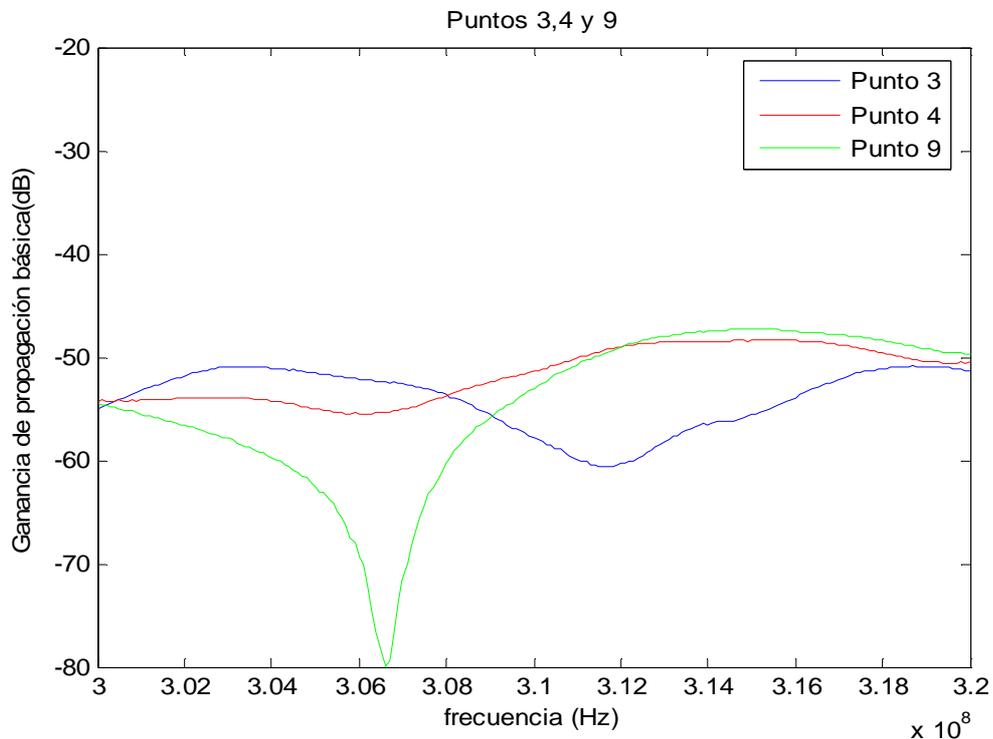


Figura 4-129: Ganancia de propagación básica frente a frecuencia para los puntos de la tercera fila del primer aula con antenas que funcionan entre 300MHz y 320 MHz.

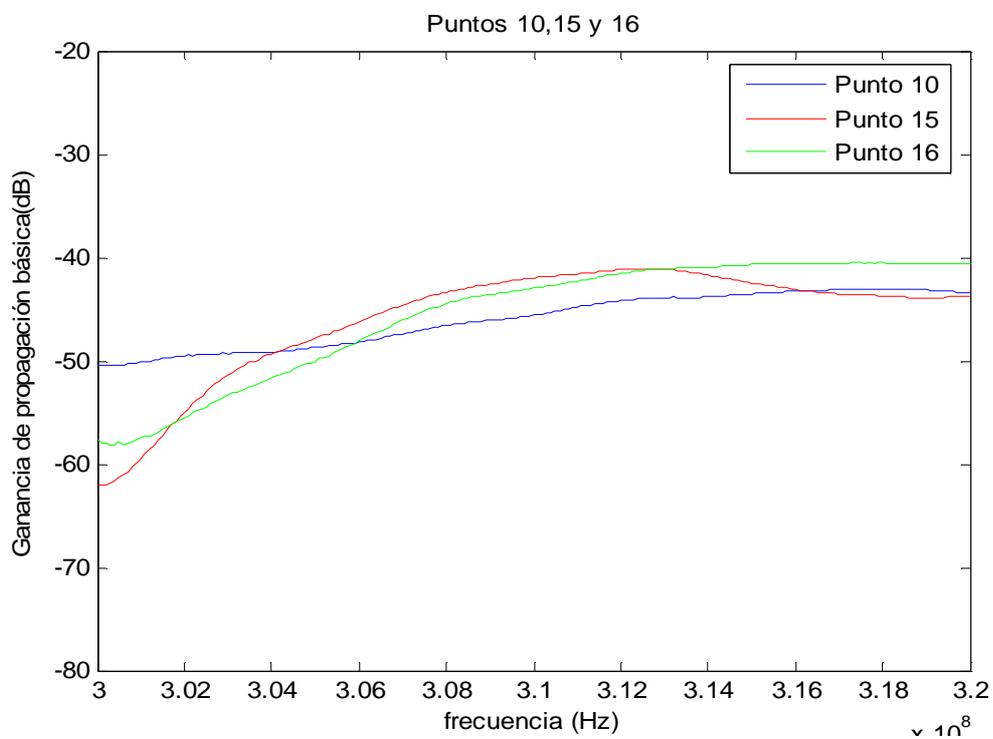


Figura 4-130: Ganancia de propagación básica frente a frecuencia para los puntos de la primera fila del segundo aula con antenas que funcionan entre 300MHz y 320 MHz.

En las siguientes gráficas se muestran las trazas de la ganancia básica de propagación en función de la frecuencia, para los distintos puntos de medida en la segunda y tercera fila del segundo aula.

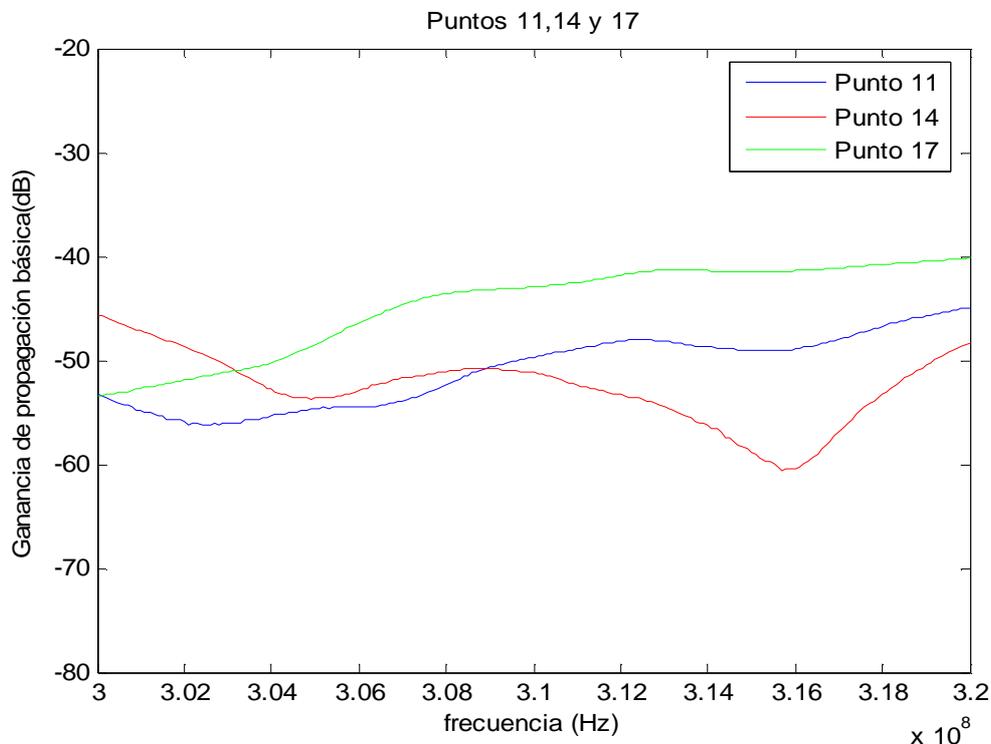


Figura 4-131: Ganancia de propagación básica frente a frecuencia para los puntos de la segunda fila del segundo aula con antenas que funcionan entre 300MHz y 320 MHz.

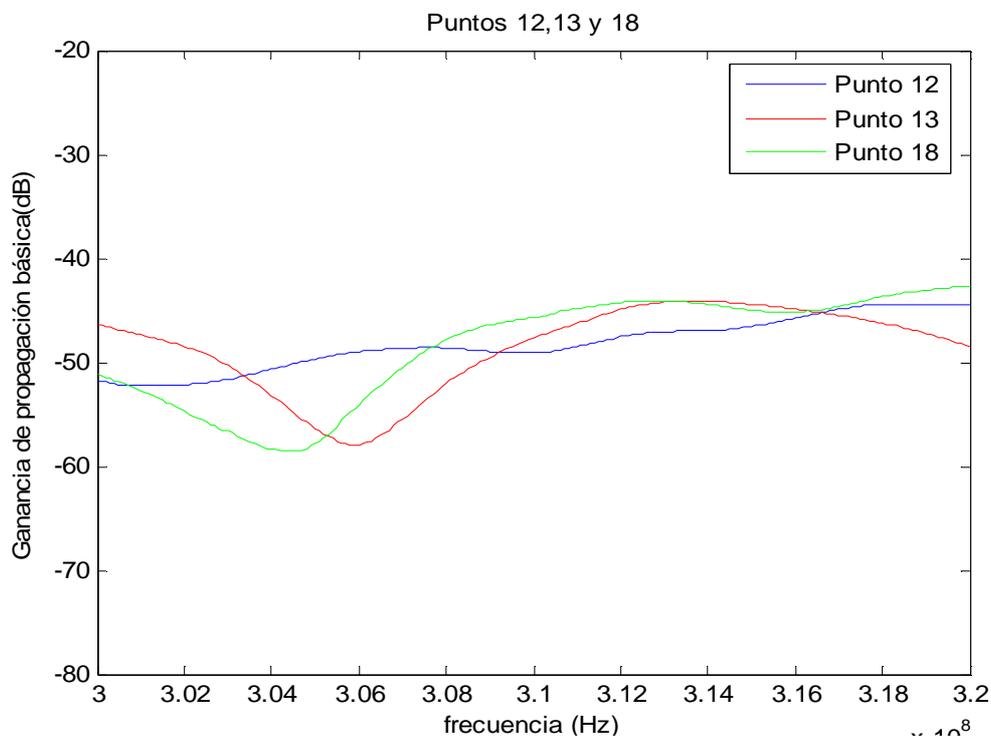


Figura 4-132: Ganancia de propagación básica frente a frecuencia para los puntos de la tercera fila del segundo aula con antenas que funcionan entre 300MHz y 320 MHz.

En las siguientes gráficas se muestran las trazas de la ganancia básica de propagación en función de la frecuencia, para los distintos puntos de medida en la primera y segunda fila del tercer aula.

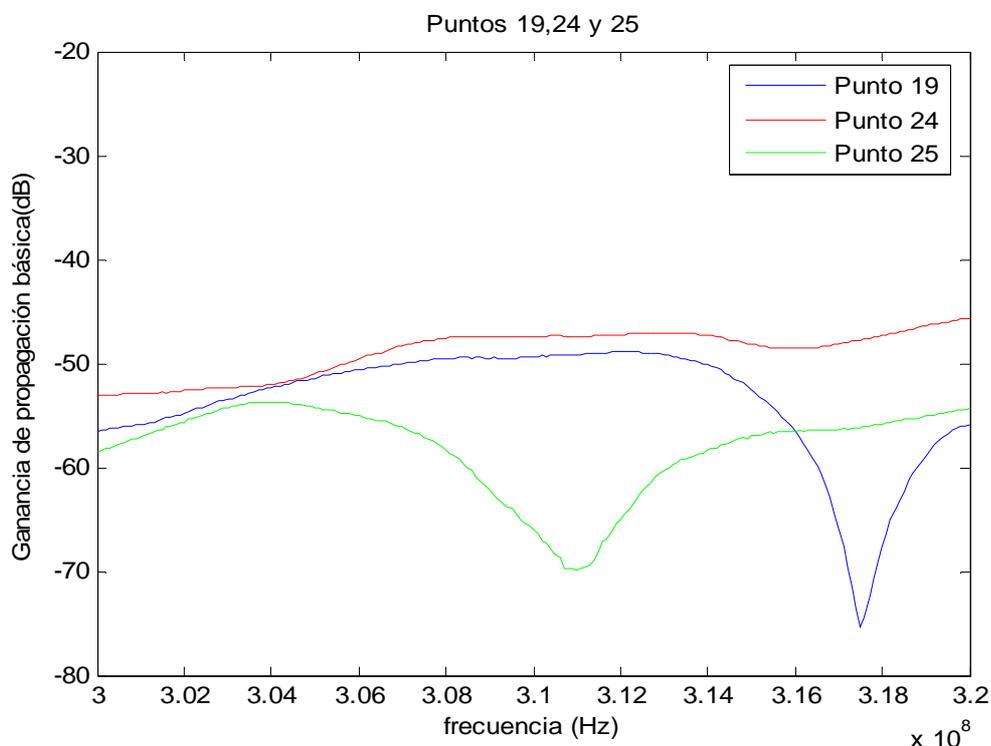


Figura 4-133: Ganancia de propagación básica frente a frecuencia para los puntos de la primera fila del tercer aula con antenas que funcionan entre 300MHz y 320 MHz.

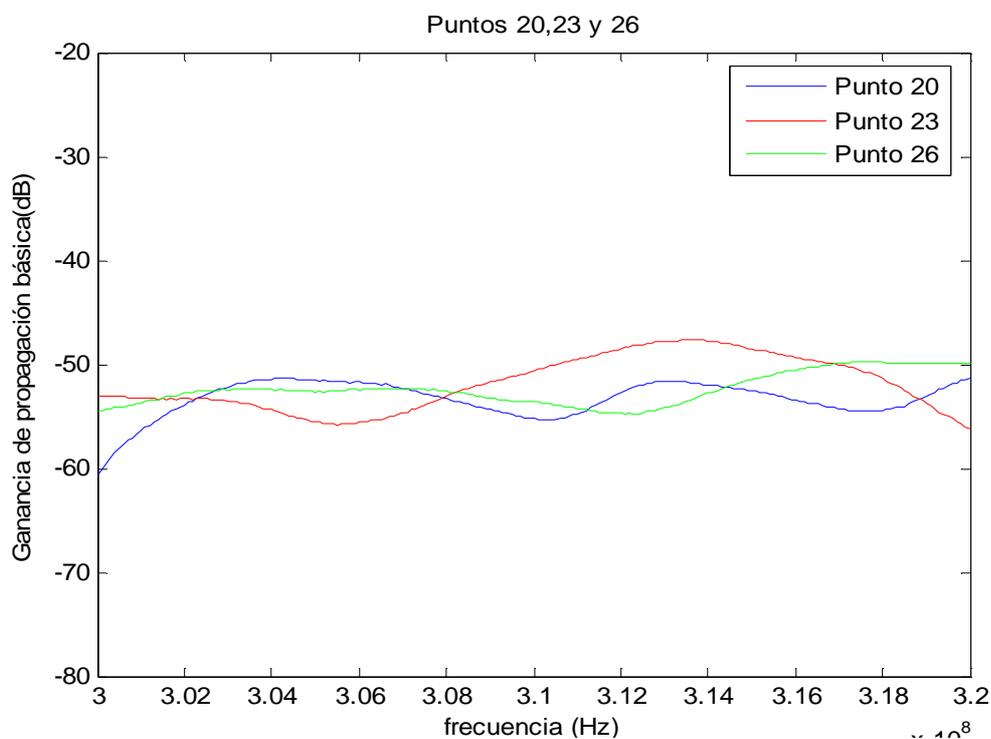


Figura 4-134: Ganancia de propagación básica frente a frecuencia para los puntos de la segunda fila del tercer aula con antenas que funcionan entre 300MHz y 320 MHz.

En la siguiente gráfica se muestran las trazas de la ganancia básica de propagación en función de la frecuencia, para los distintos puntos de medida en la tercera fila del tercer aula.

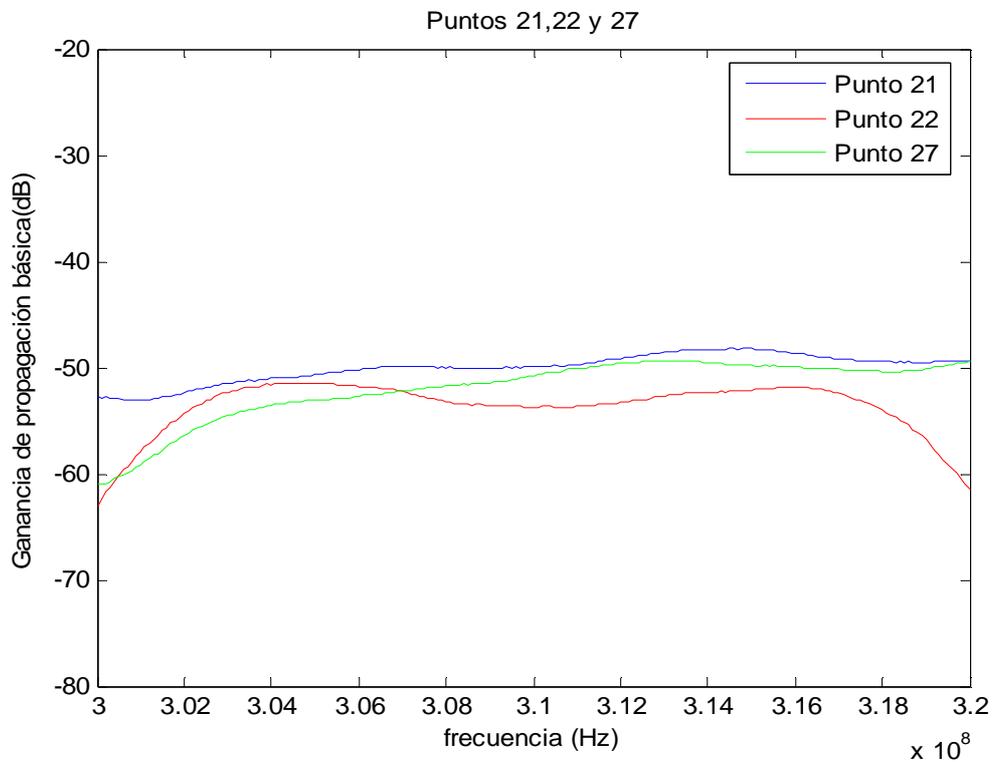


Figura 4-135: Ganancia de propagación básica frente a frecuencia para los puntos de la tercera fila del tercer aula con antenas que funcionan entre **300MHz y 320 MHz**.

Banda (400-420) MHz

En las siguientes gráficas se muestran las trazas de la ganancia básica de propagación en función de la frecuencia, para los distintos puntos de medida en la primera y segunda fila del primer aula.

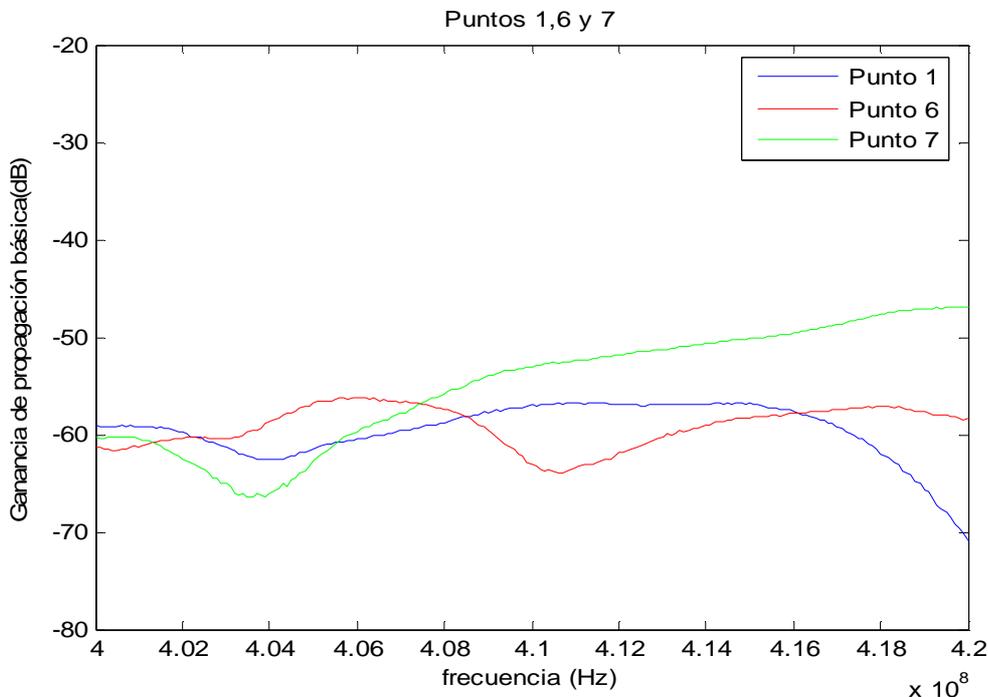


Figura 4-136: Ganancia de propagación básica frente a frecuencia para los puntos de la **primera fila** del **primer aula** con antenas que funcionan entre **400MHz y 420 MHz**.

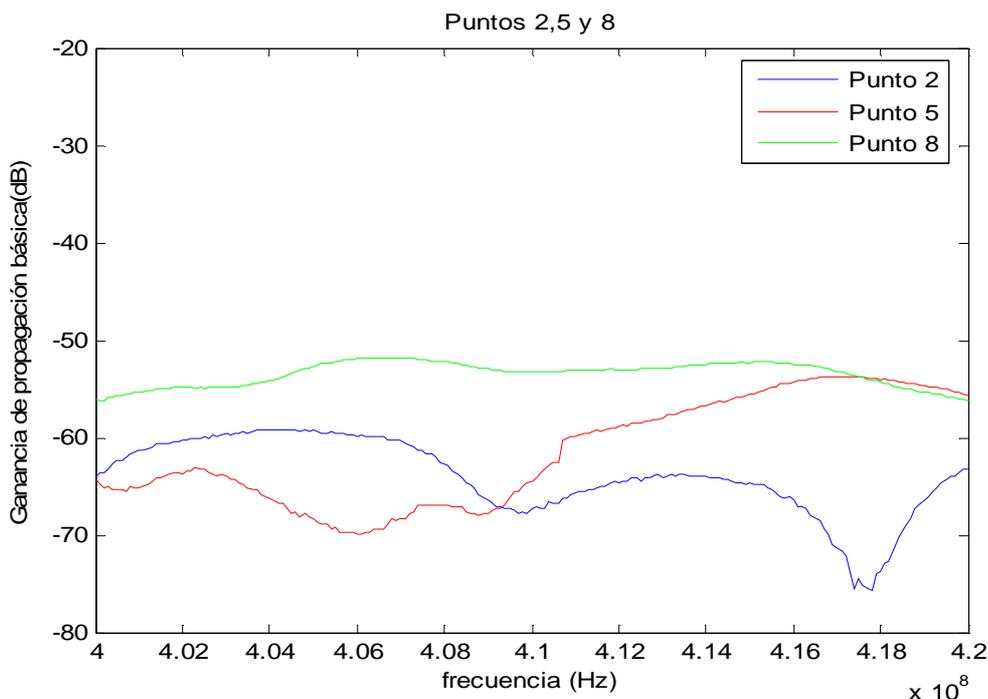


Figura 4-137: Ganancia de propagación básica frente a frecuencia para los puntos de la **segunda fila** del **primer aula** con antenas que funcionan entre **400MHz y 420 MHz**.

En las siguientes gráficas se muestran las trazas de la ganancia básica de propagación en función de la frecuencia, para los distintos puntos de medida en la tercera fila del primer aula y la primera fila del segundo aula.

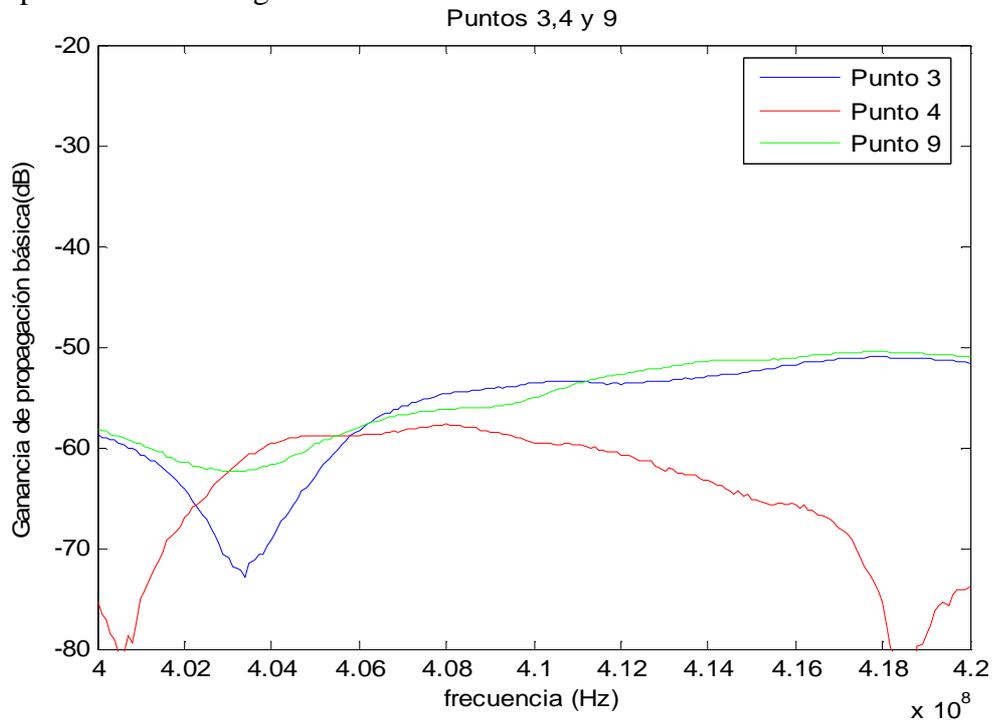


Figura 4-138: Ganancia de propagación básica frente a frecuencia para los puntos de la **tercera fila** del **primer aula** con antenas que funcionan entre **400MHz** y **420 MHz**.

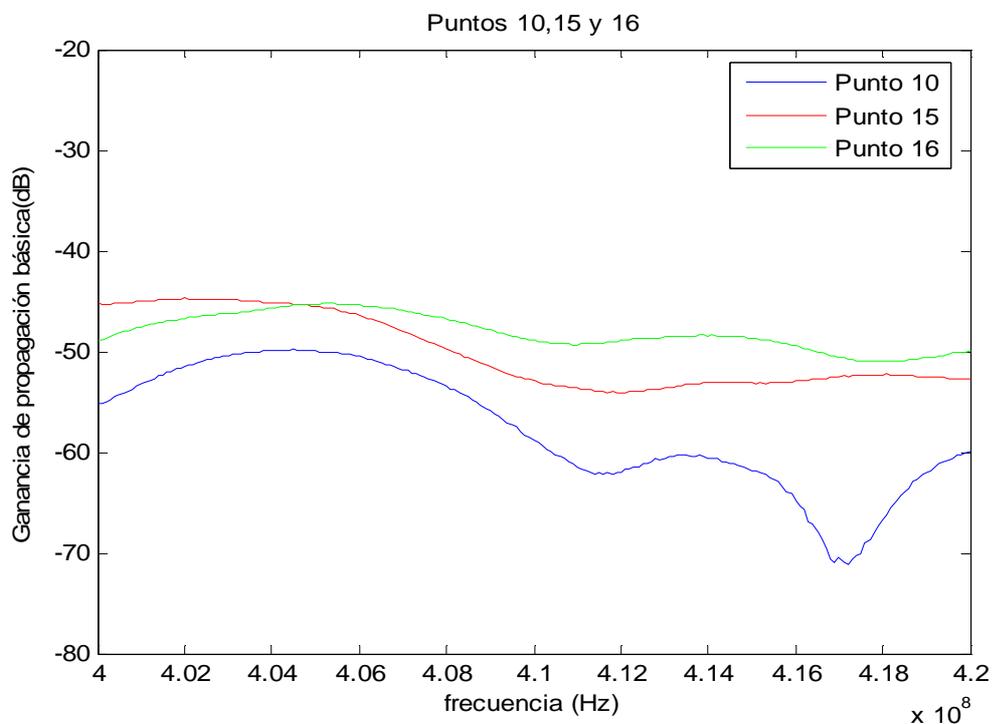


Figura 4-139: Ganancia de propagación básica frente a frecuencia para los puntos de la **primera fila** del **segundo aula** con antenas que funcionan entre **400MHz** y **420 MHz**.

En las siguientes gráficas se muestran las trazas de la ganancia básica de propagación en función de la frecuencia, para los distintos puntos de medida en la segunda y tercera fila del segundo aula.

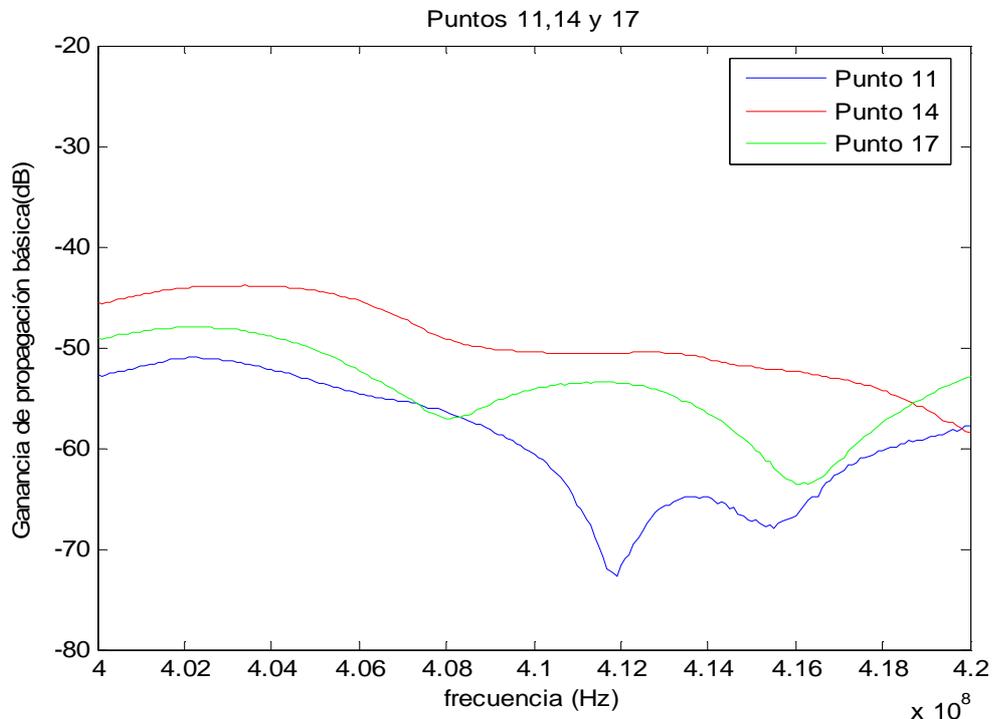


Figura 4-140: Ganancia de propagación básica frente a frecuencia para los puntos de la segunda fila del segundo aula con antenas que funcionan entre 400MHz y 420 MHz.

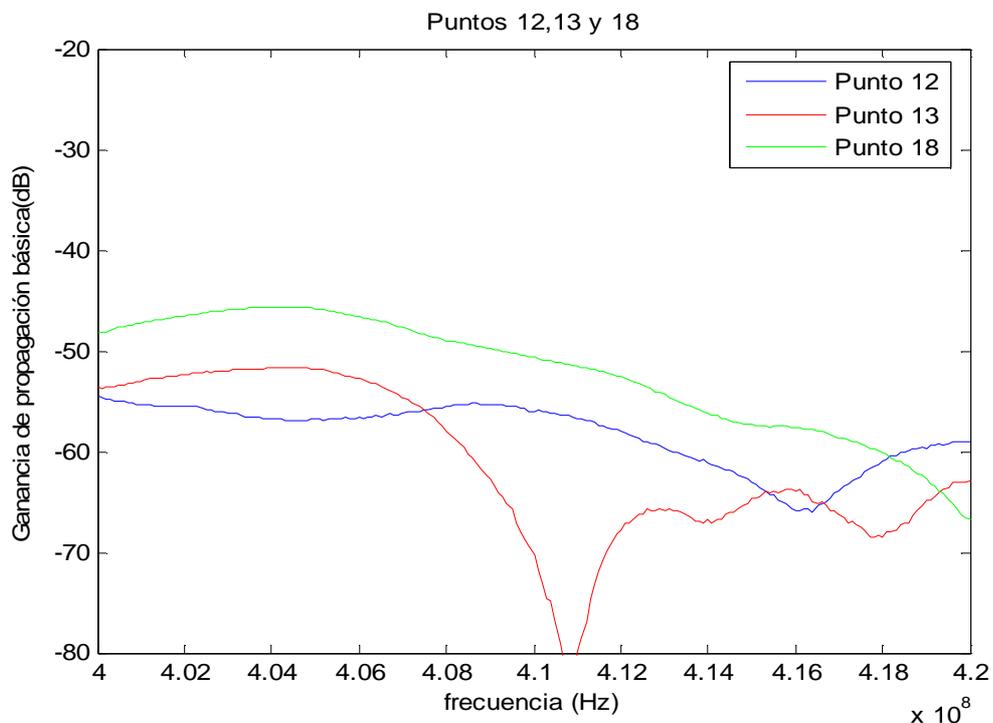


Figura 4-141: Ganancia de propagación básica frente a frecuencia para los puntos de la tercera fila del segundo aula con antenas que funcionan entre 400MHz y 420 MHz.

En las siguientes gráficas se muestran las trazas de la ganancia básica de propagación en función de la frecuencia, para los distintos puntos de medida en la primera y segunda fila del tercer aula.

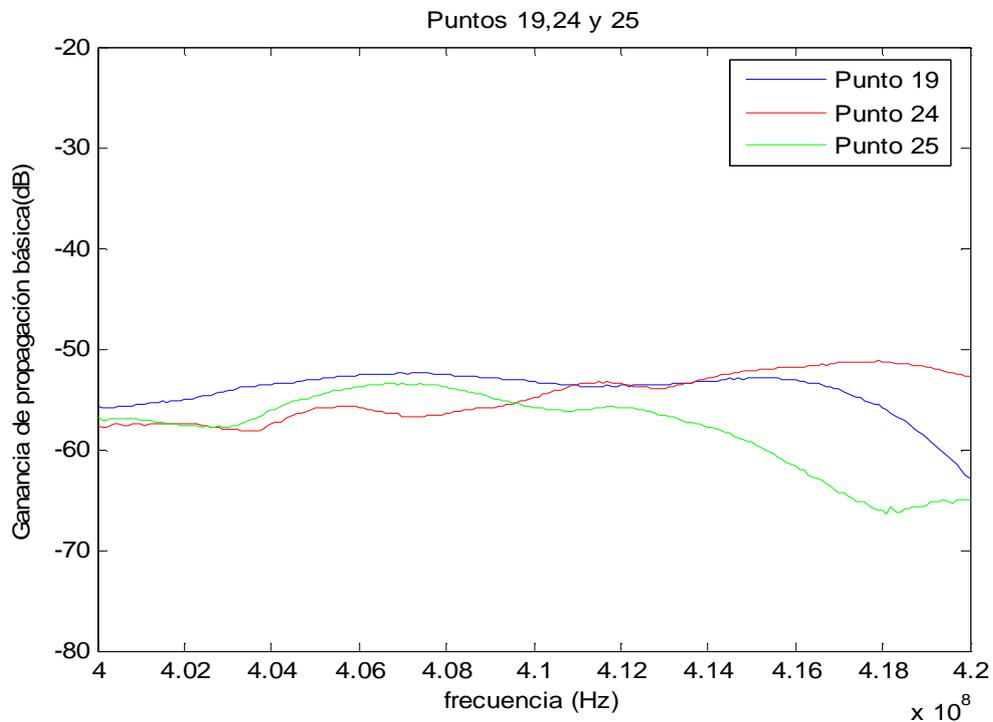


Figura 4-142: Ganancia de propagación básica frente a frecuencia para los puntos de la **primera fila** del **tercer aula** con antenas que funcionan entre **400MHz y 420 MHz**.

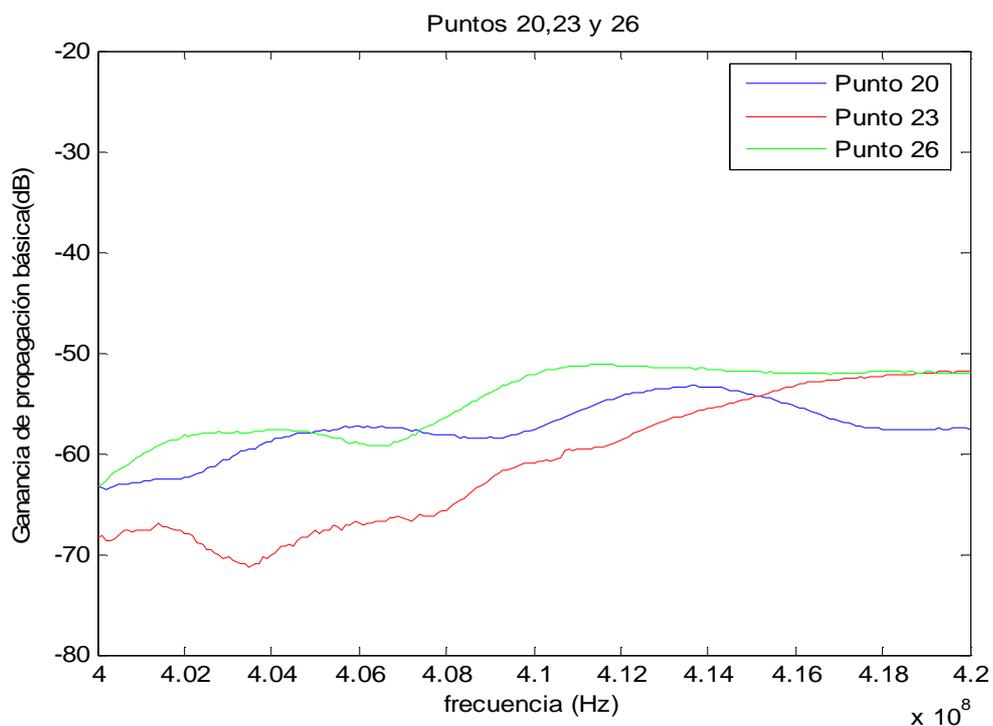


Figura 4-143: Ganancia de propagación básica frente a frecuencia para los puntos de la **segunda fila** del **tercer aula** con antenas que funcionan entre **400MHz y 420 MHz**.

En la siguiente gráfica se muestran las trazas de la ganancia básica de propagación en función de la frecuencia, para los distintos puntos de medida en la tercera fila del tercer aula.

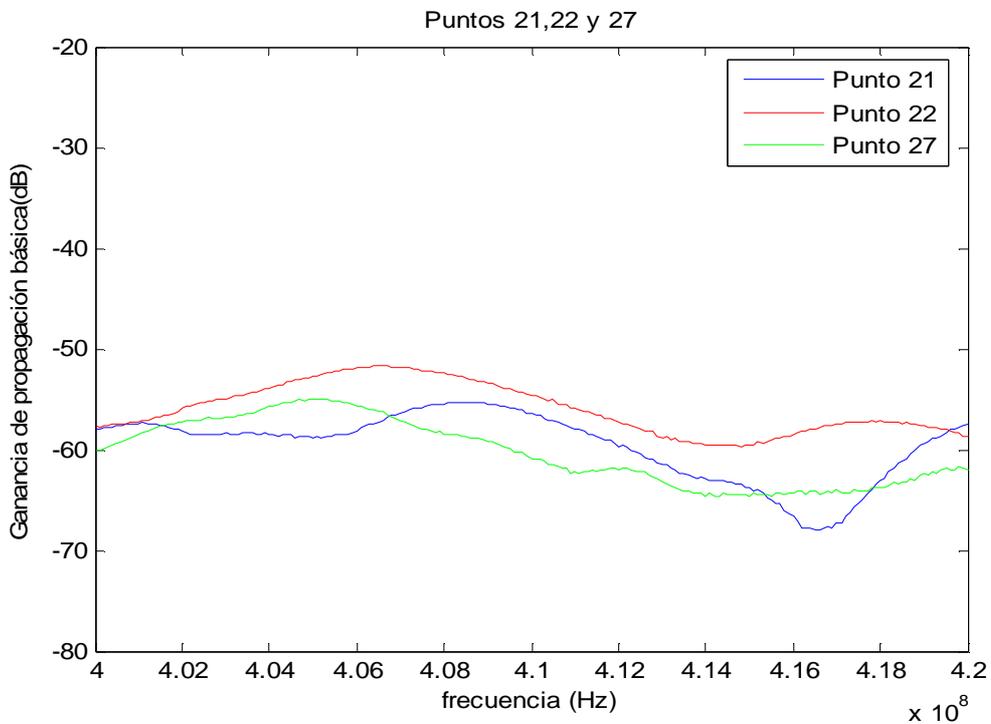


Figura 4-144: Ganancia de propagación básica frente a frecuencia para los puntos de la **tercera fila** del **tercer aula** con antenas que funcionan entre **400MHz y 420 MHz**.

Banda (880-900) MHz

En las siguientes gráficas se muestran las trazas de la ganancia básica de propagación en función de la frecuencia, para los distintos puntos de medida en la primera y segunda fila del primer aula.

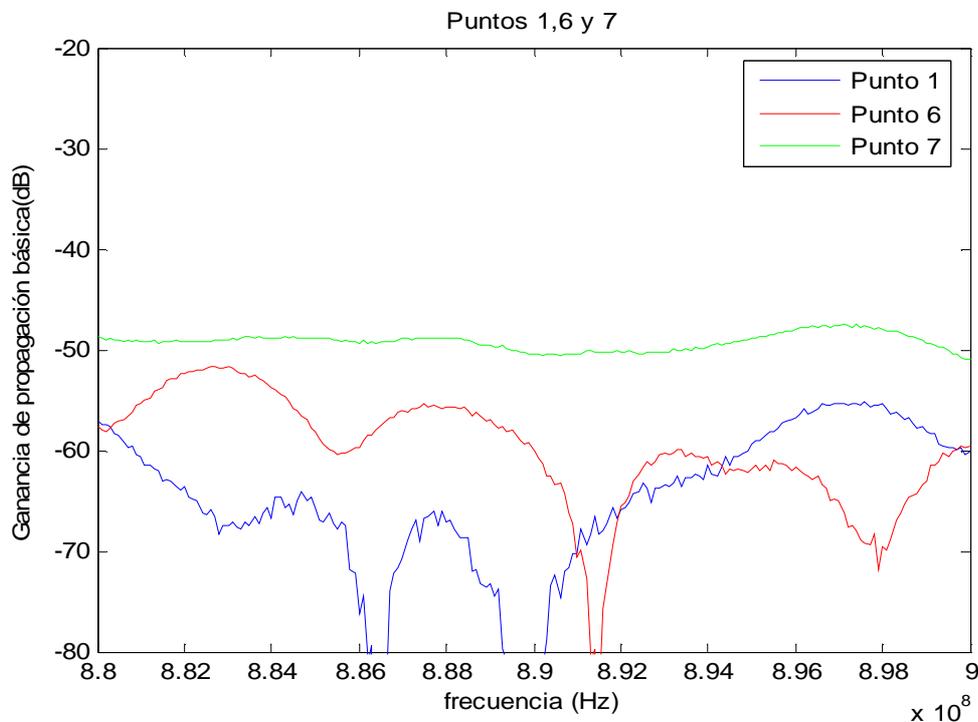


Figura 4-145: Ganancia de propagación básica frente a frecuencia para los puntos de la **primera fila** del **primer aula** con antenas que funcionan entre **880MHz y 900 MHz**.

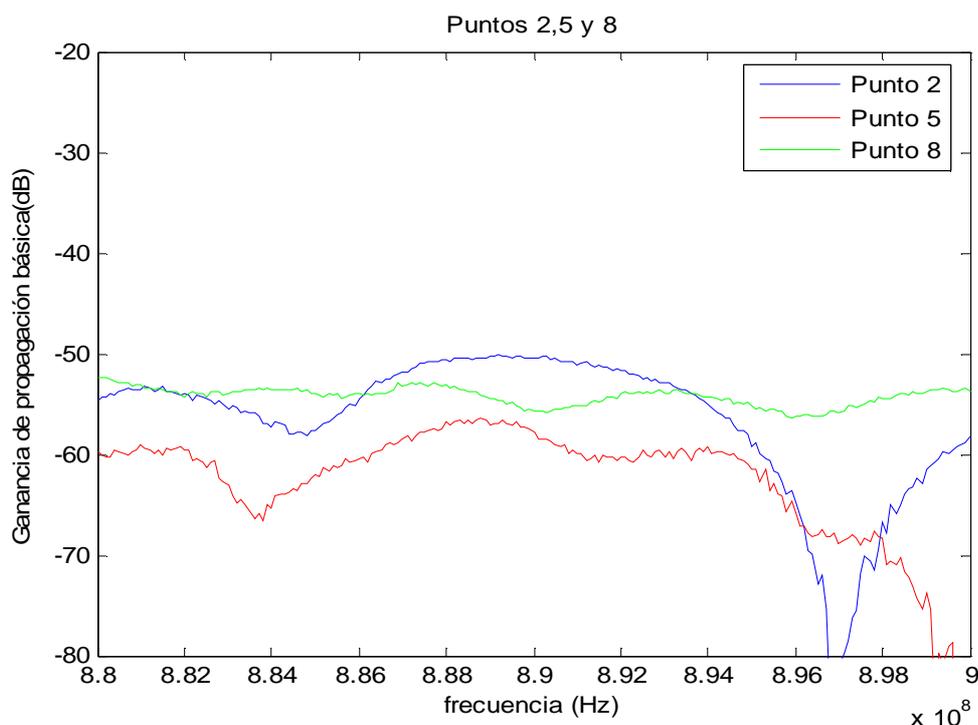


Figura 4-146: Ganancia de propagación básica frente a frecuencia para los puntos de la **segunda fila** del **primer aula** con antenas que funcionan entre **880MHz y 900 MHz**.

En las siguientes gráficas se muestran las trazas de la ganancia básica de propagación en función de la frecuencia, para los distintos puntos de medida en la tercera fila del primer aula y la primera fila del segundo aula.

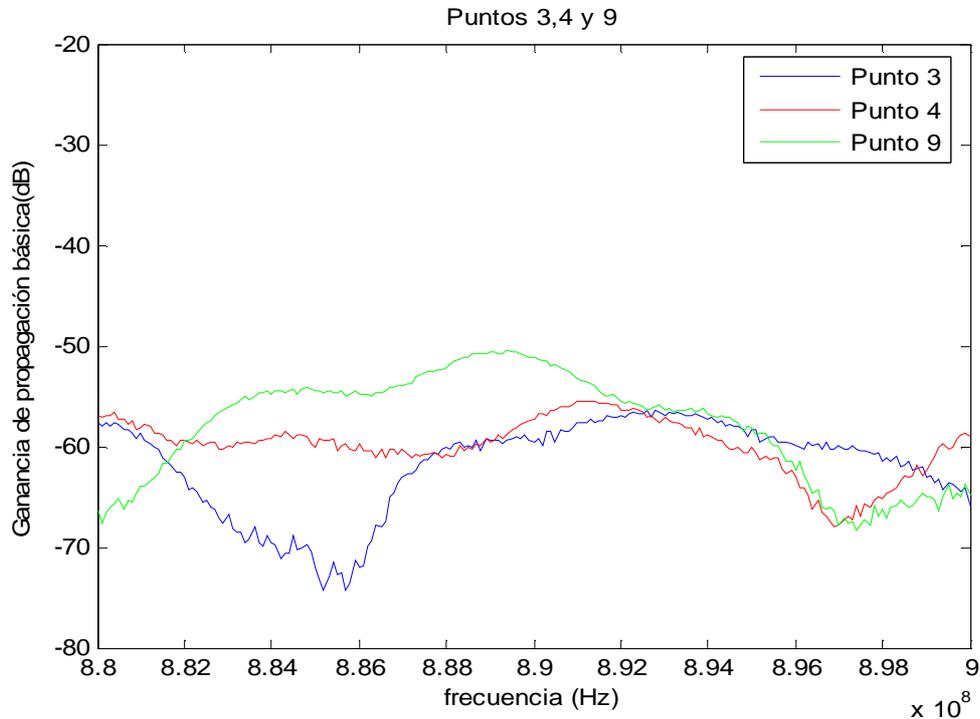


Figura 4-147: Ganancia de propagación básica frente a frecuencia para los puntos de la tercera fila del primer aula con antenas que funcionan entre 880MHz y 900 MHz.

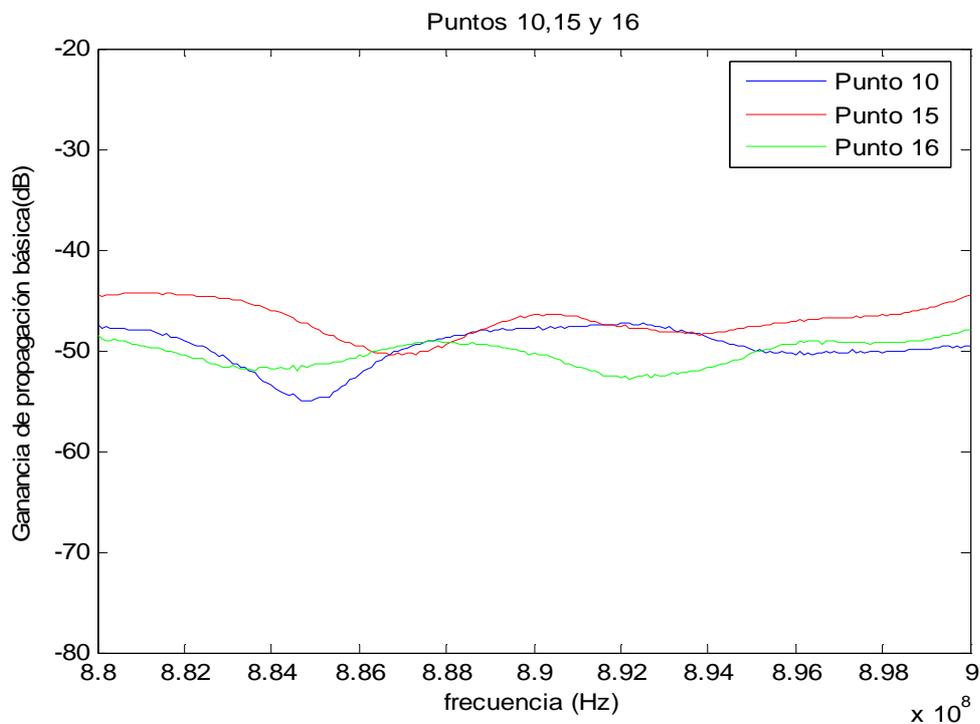


Figura 4-148: Ganancia de propagación básica frente a frecuencia para los puntos de la primera fila del segundo aula con antenas que funcionan entre 880MHz y 900 MHz.

En las siguientes gráficas se muestran las trazas de la ganancia básica de propagación en función de la frecuencia, para los distintos puntos de medida en la segunda y tercera fila del segundo aula.

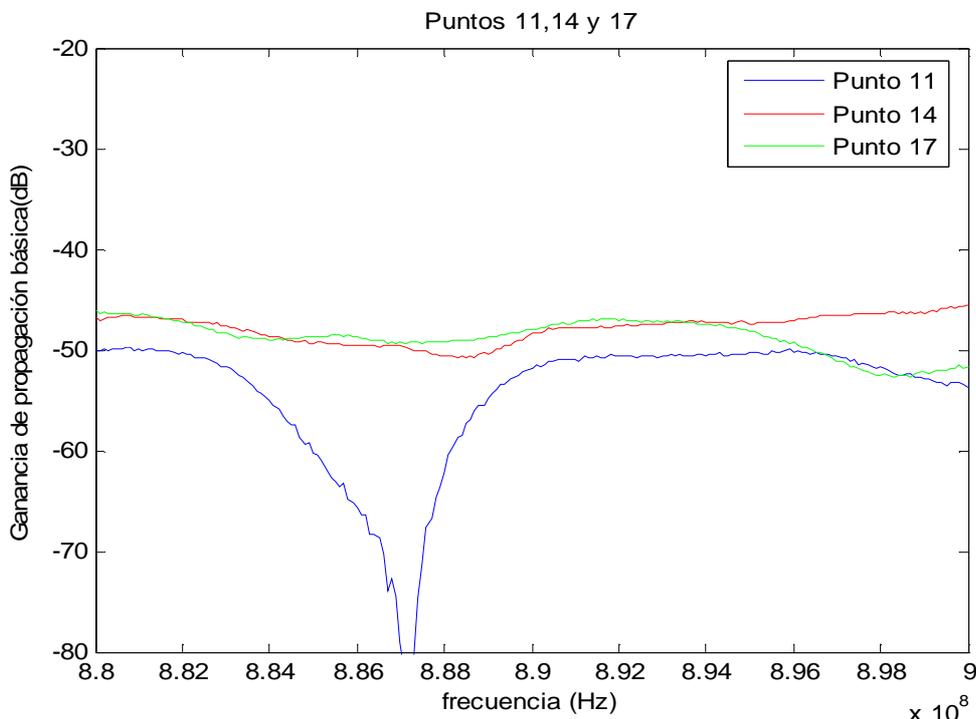


Figura 4-149: Ganancia de propagación básica frente a frecuencia para los puntos de la segunda fila del segundo aula con antenas que funcionan entre **880MHz** y **900 MHz**.

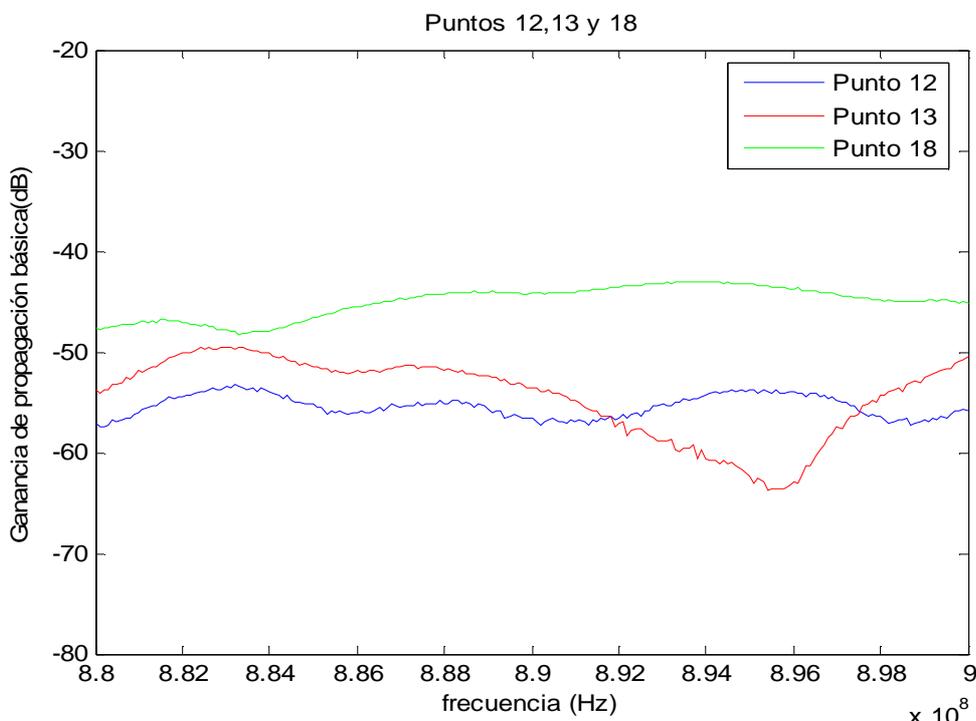


Figura 4-150: Ganancia de propagación básica frente a frecuencia para los puntos de la tercera fila del segundo aula con antenas que funcionan entre **880MHz** y **900 MHz**.

En las siguientes gráficas se muestran las trazas de la ganancia básica de propagación en función de la frecuencia, para los distintos puntos de medida en la primera y segunda fila del tercer aula.

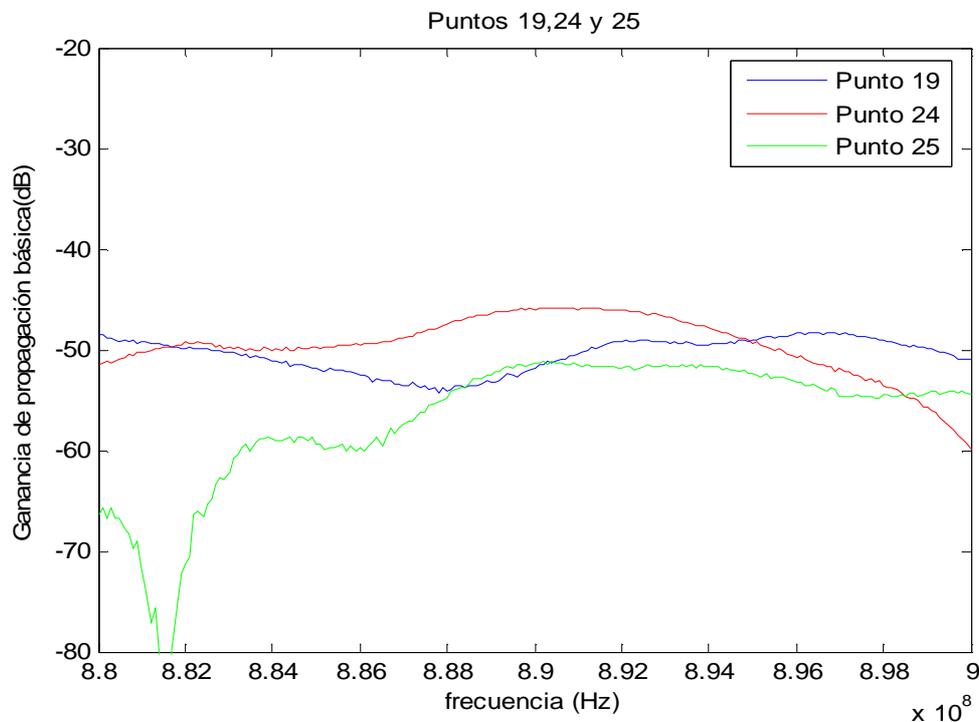


Figura 4-151: Ganancia de propagación básica frente a frecuencia para los puntos de la primera fila del tercer aula con antenas que funcionan entre 880MHz y 900 MHz.

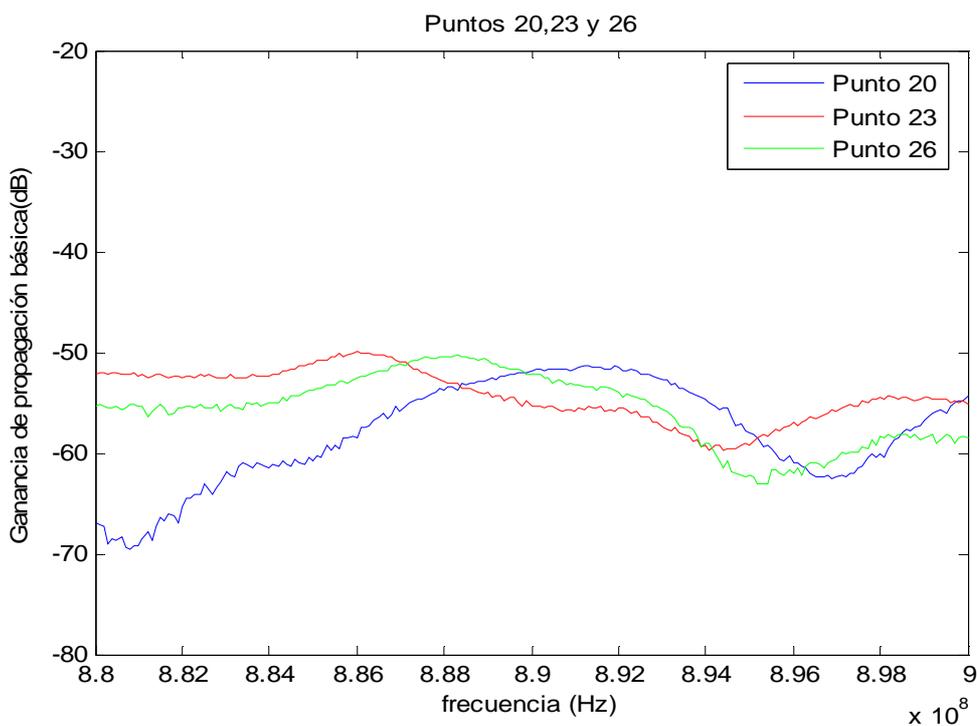


Figura 4-152: Ganancia de propagación básica frente a frecuencia para los puntos de la segunda fila del tercer aula con antenas que funcionan entre 880MHz y 900 MHz.

En la siguiente gráfica se muestran las trazas de la ganancia básica de propagación en función de la frecuencia, para los distintos puntos de medida en la tercera fila del tercer aula.

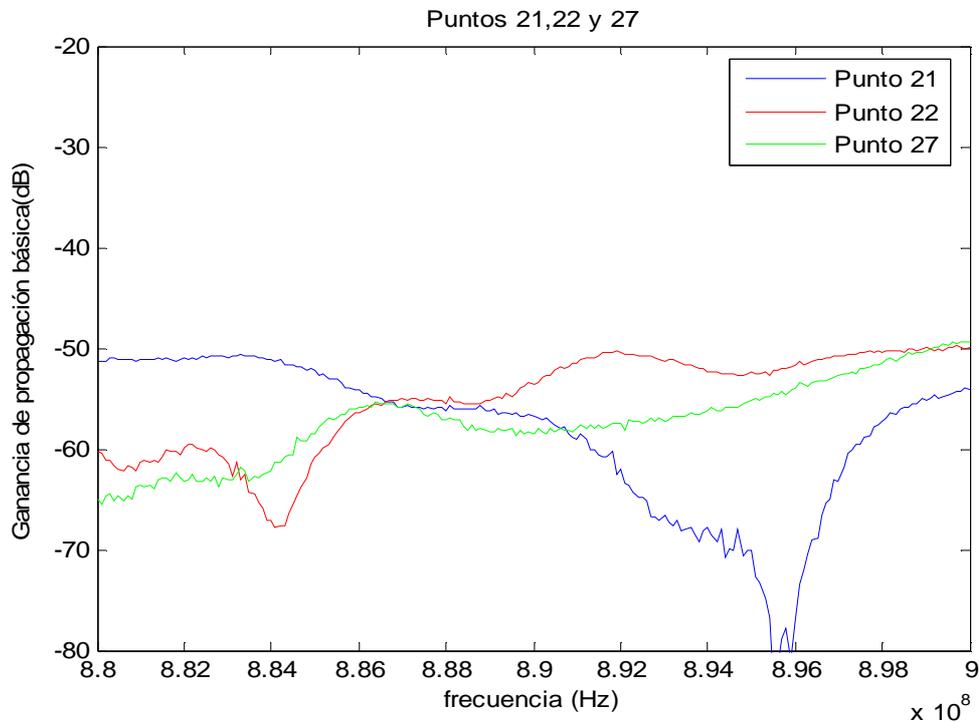


Figura 4-153: Ganancia de propagación básica frente a frecuencia para los puntos de la tercera fila del tercer aula con antenas que funcionan entre 880MHz y 900 MHz.

Banda (300-320) MHz

En las siguientes gráficas se muestra el rango de valores que toma la ganancia básica de propagación en cada punto de medida, empleando un canal de 0.2 MHz y 5 MHz de anchura de banda respectivamente

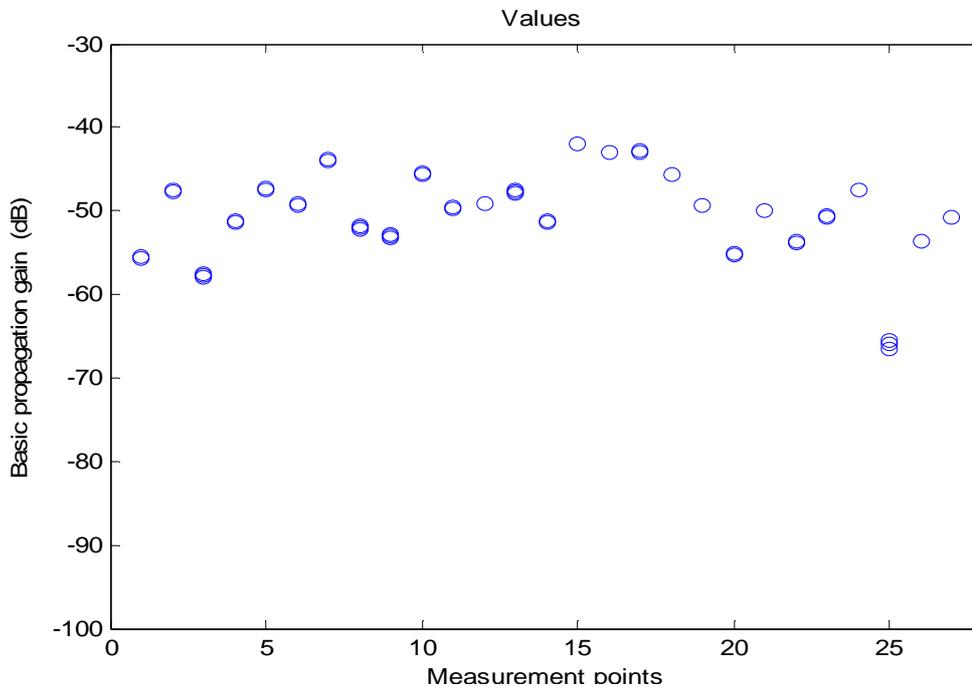


Figura 4-154: Valores que toma la ganancia básica de propagación en cada punto de medida (canal de **BW = 0.2 MHz**)

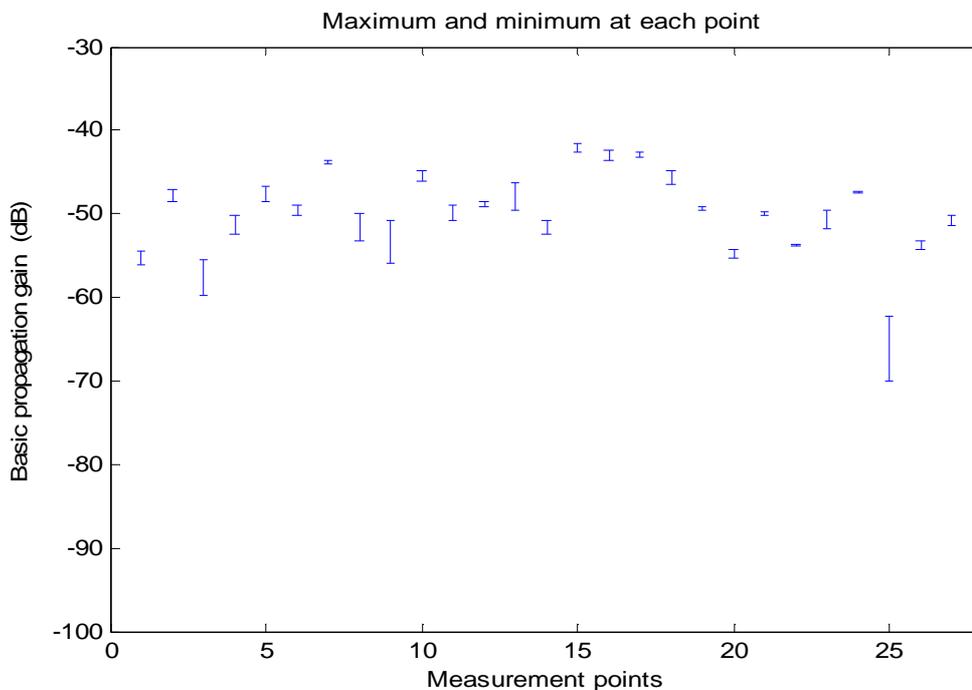


Figura 4-155: Rango de valores que toma la ganancia básica de propagación en cada punto de medida para un canal de **BW = 1 MHz**

En las siguientes gráficas se muestra el rango de valores que toma la ganancia básica de propagación en cada punto de medida, empleando un canal de 10 MHz y 20 MHz de anchura de banda respectivamente.

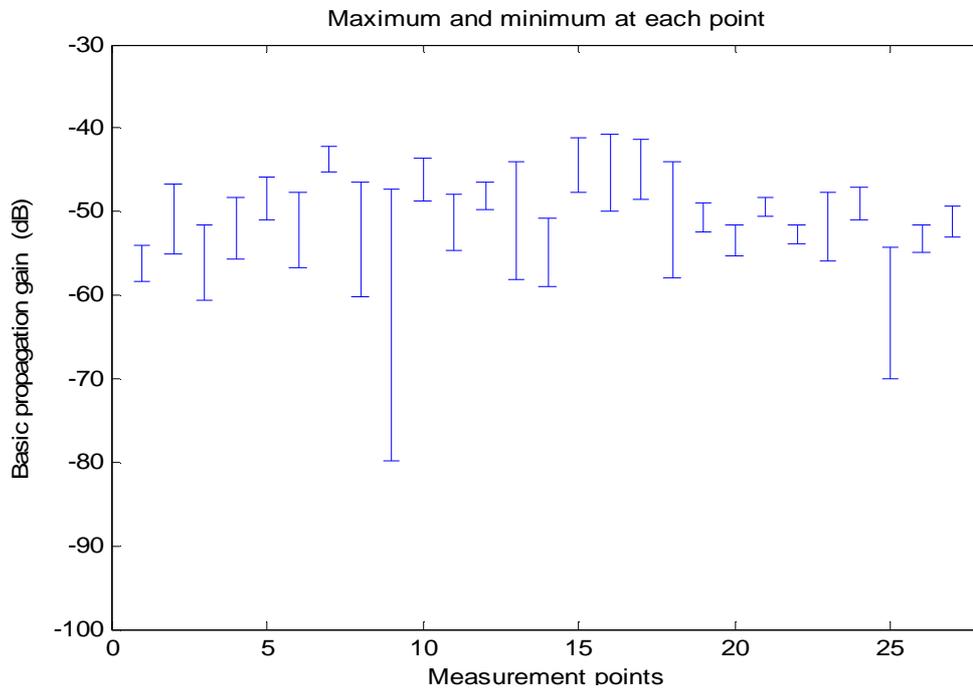


Figura 4-156: Rango de valores que toma la ganancia básica de propagación en cada punto de medida para un canal de **BW =10 MHz**

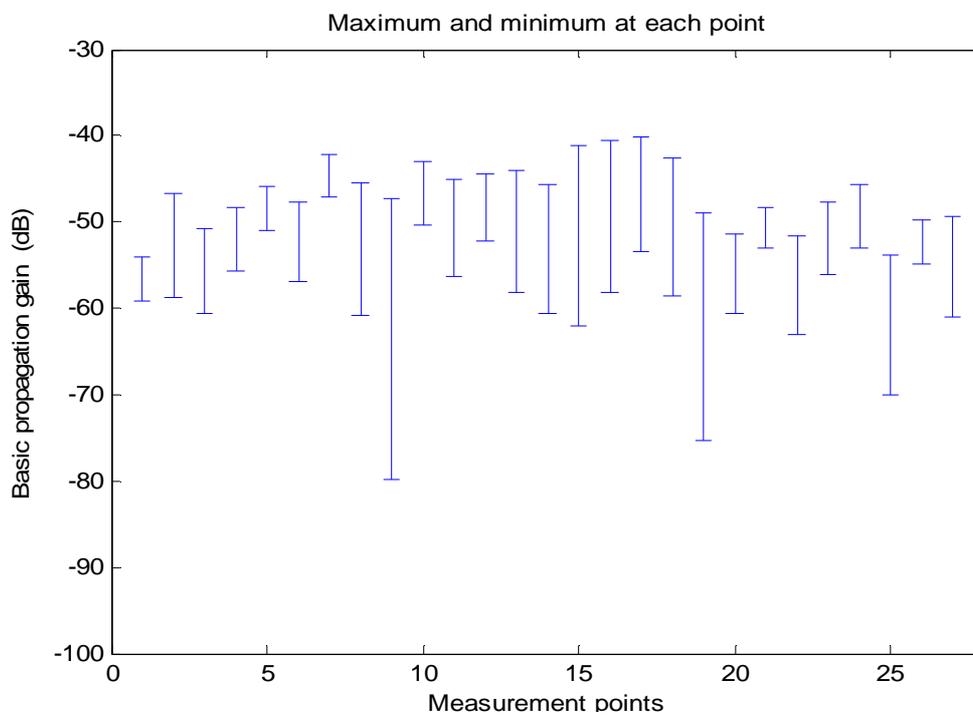


Figura 4-157: Rango de valores que toma la ganancia básica de propagación en cada punto de medida para un canal de **BW =20 MHz**

Banda (400-420) MHz

En las siguientes gráficas se muestra el rango de valores que toma la ganancia básica de propagación en cada punto de medida, empleando un canal de 0.2 MHz y 5 MHz de anchura de banda respectivamente.

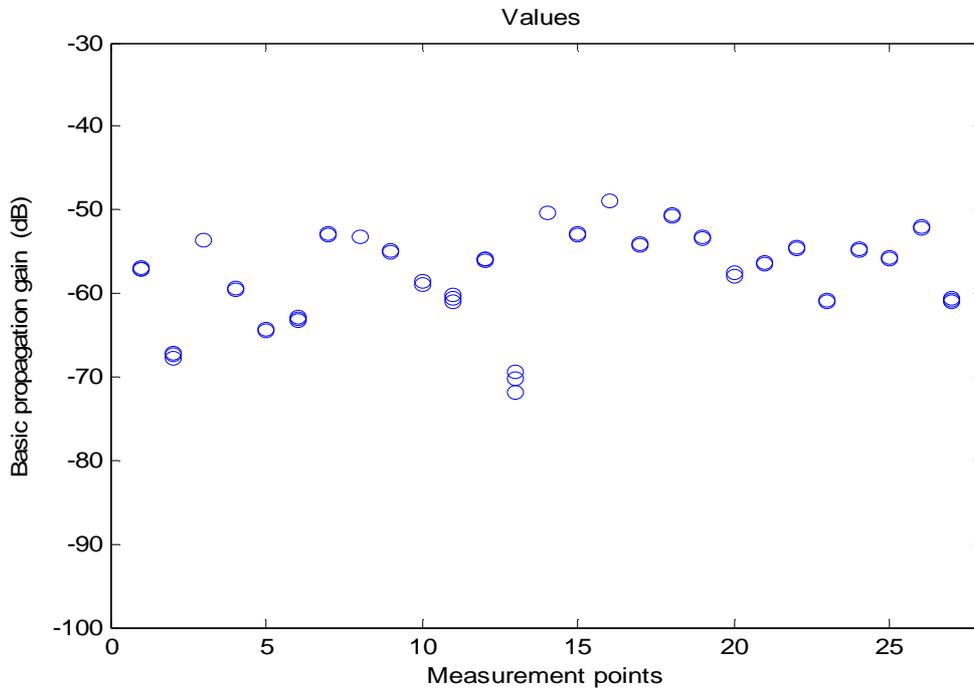


Figura 4-158: Valores que toma la ganancia básica de propagación en cada punto de medida (canal de **BW = 0.2 MHz**)

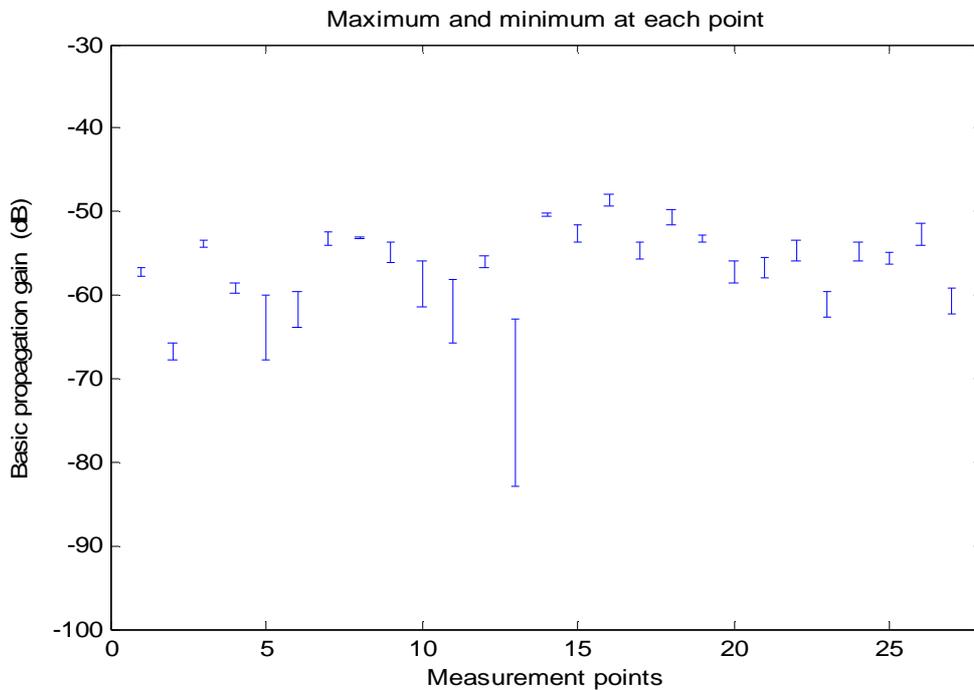


Figura 4-159: Rango de valores que toma la ganancia básica de propagación en cada punto de medida para un canal de **BW = 1 MHz**

En las siguientes gráficas se muestra el rango de valores que toma la ganancia básica de propagación en cada punto de medida, empleando un canal de 10 MHz y 20 MHz de anchura de banda respectivamente.

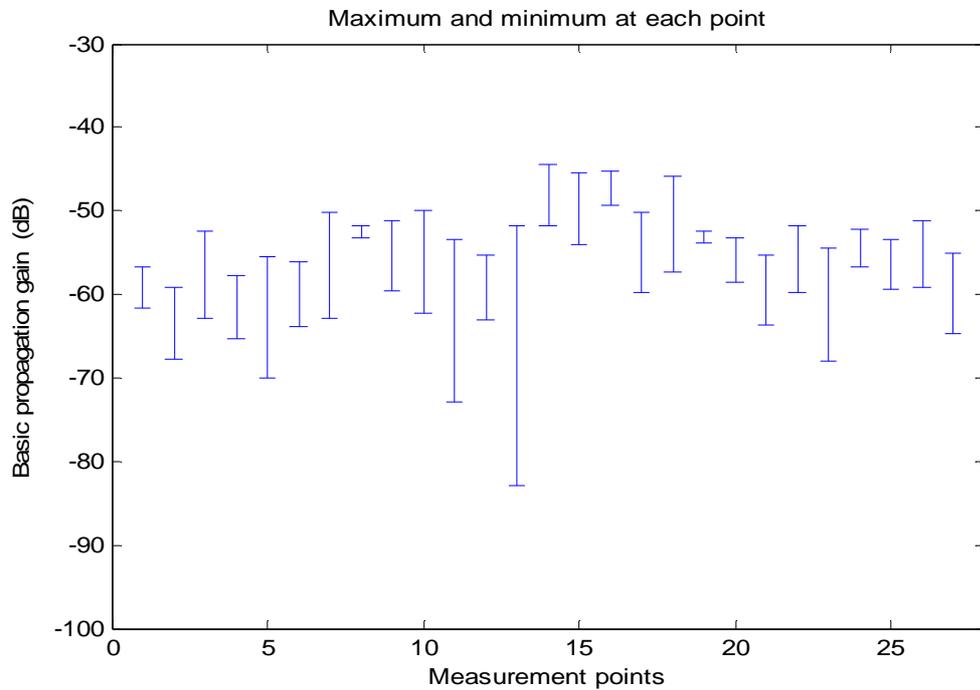


Figura 4-160: Rango de valores que toma la ganancia básica de propagación en cada punto de medida para un canal de **BW = 10 MHz**

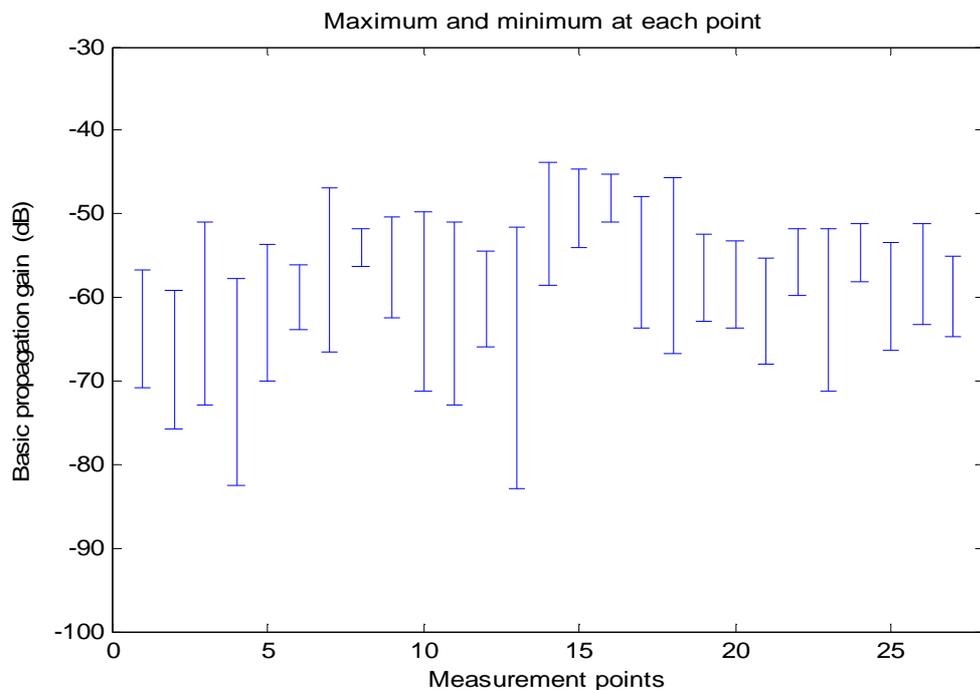


Figura 4-161: Rango de valores que toma la ganancia básica de propagación en cada punto de medida para un canal de **BW = 20 MHz**

Banda (880-900) MHz

En las siguientes gráficas se muestra el rango de valores que toma la ganancia básica de propagación en cada punto de medida, empleando un canal de 0.2 MHz y 5 MHz de anchura de banda respectivamente.

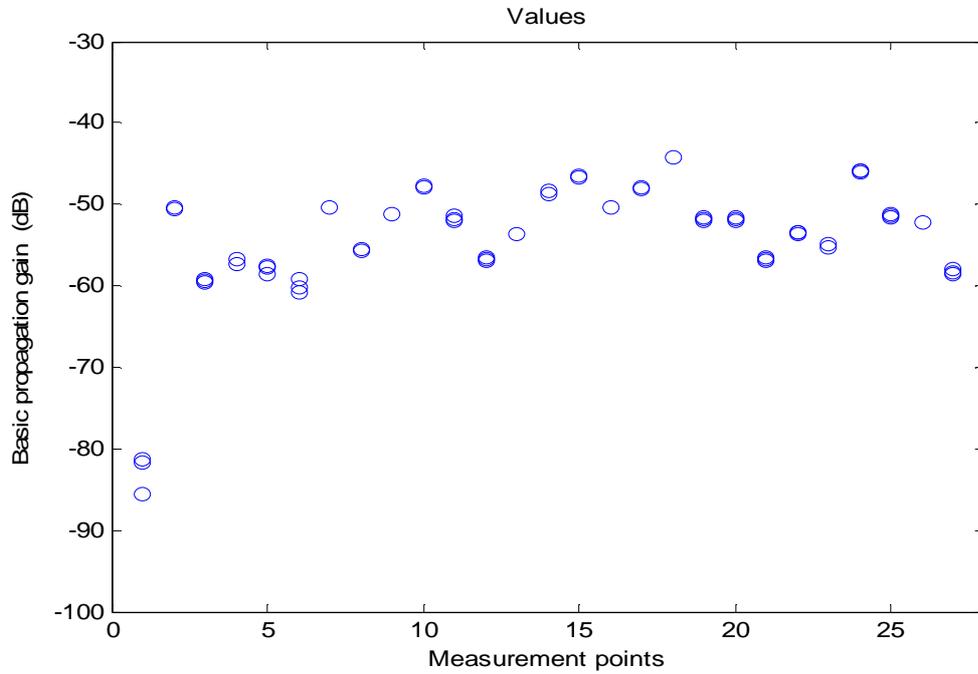


Figura 4-162: Valores que toma la ganancia básica de propagación en cada punto de medida (canal de **BW = 0.2 MHz**)

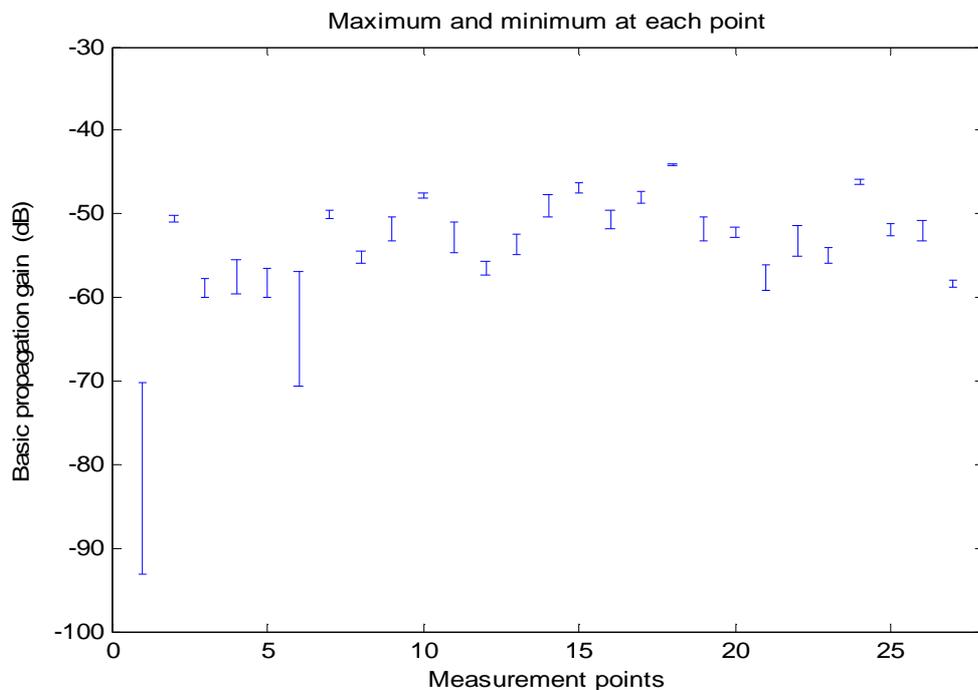


Figura 4-163: Rango de valores que toma la ganancia básica de propagación en cada punto de medida para un canal de **BW = 1 MHz**

En las siguientes gráficas se muestra el rango de valores que toma la ganancia básica de propagación en cada punto de medida, empleando un canal de 10 MHz y 20 MHz de anchura de banda respectivamente.

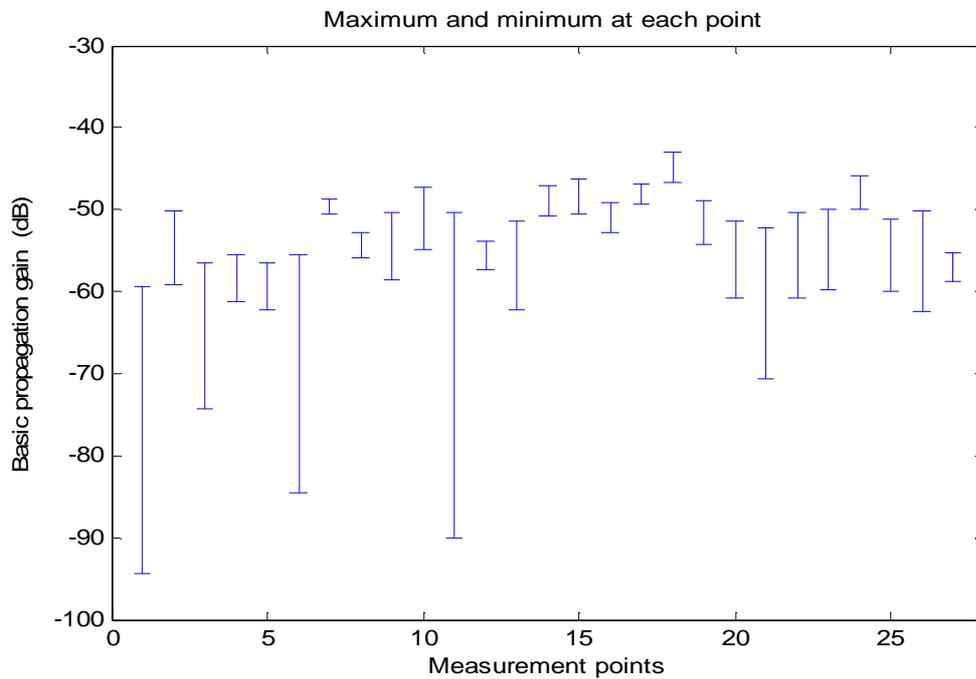


Figura 4-164: Rango de valores que toma la ganancia básica de propagación en cada punto de medida para un canal de **BW = 10 MHz**

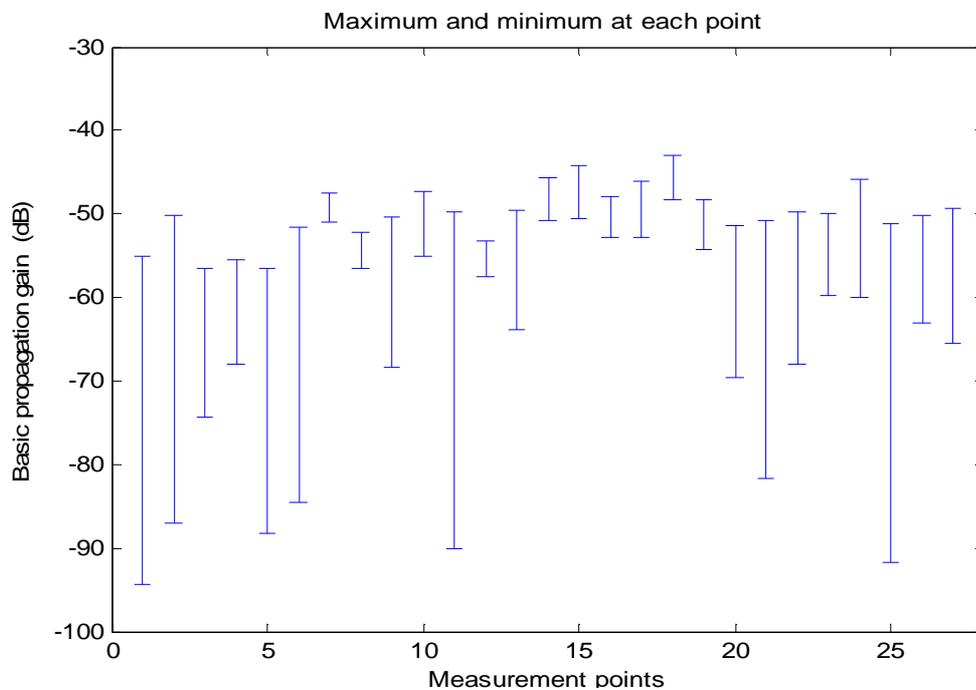


Figura 4-165: Rango de valores que toma la ganancia básica de propagación en cada punto de medida para un canal de **BW = 20 MHz**

4.5 ESCENARIO 5

El escenario en el que se llevan a cabo las siguientes medidas es en las escaleras interiores del oeste del edificio C de EPS.

Si lo viéramos desde una de las plantas mirando hacia las escaleras, la vista que Obtendríamos sería la siguiente. Por tanto, los puntos en los que se ha medido son los siguientes:

- 1: Planta 3, justo delante de las escaleras
- 2: Entreplantas 3 y 2 (Se bajan 3 escalones)
- 3: Entreplantas 3 y 2 (Se bajan 6 escalones)
- 4: Planta 2, justo delante de las escaleras bajadas.
- 5: Planta 2, en frente del ascensor.
- 6: Planta 2, justo delante de las escaleras.
- 7: Entreplantas 2 y 1 (Se bajan 3 escalones)
- 8: Entreplantas 2 y 1 (Se bajan 6 escalones)
- 9: Planta 1, justo delante de las escaleras.

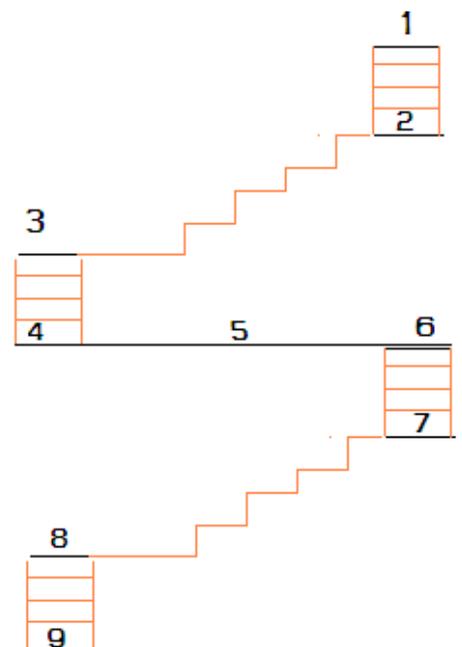


Figura 4-166: Puntos de medida

Si “estiráramos” las escaleras obtendríamos una vista como la siguiente. Hay que tener en cuenta que en realidad entre los puntos 1 y 4, y entre los puntos 6 y el que sería el punto 10 (donde comienza la planta 1) se forma escalera de caracol.

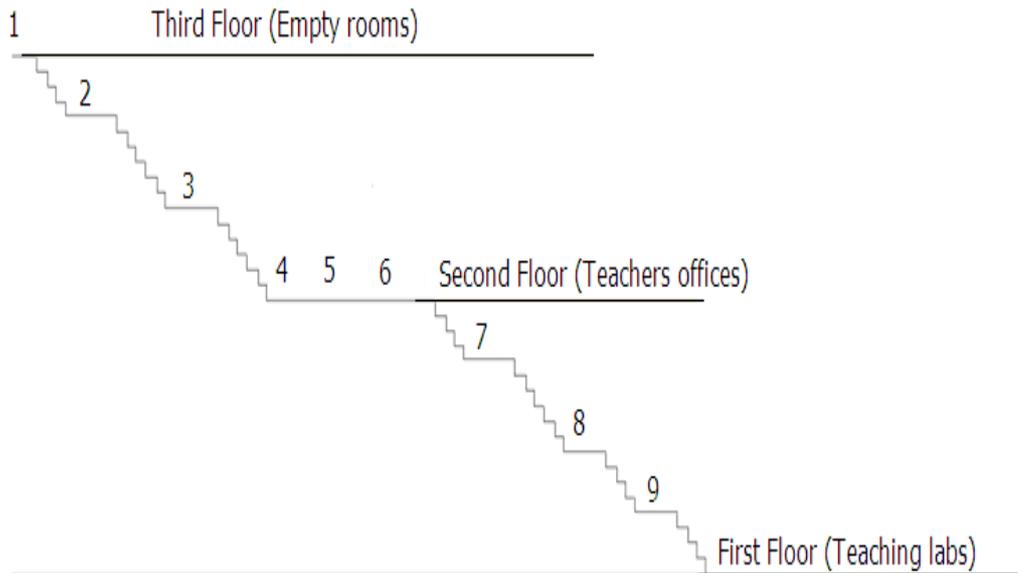


Figura 4-167: Vista de perfil de las escaleras que constituyen el escenario 4

En las siguientes gráficas se muestran los valores de la ganancia básica de propagación en función de los distintos puntos de medida del escenario.

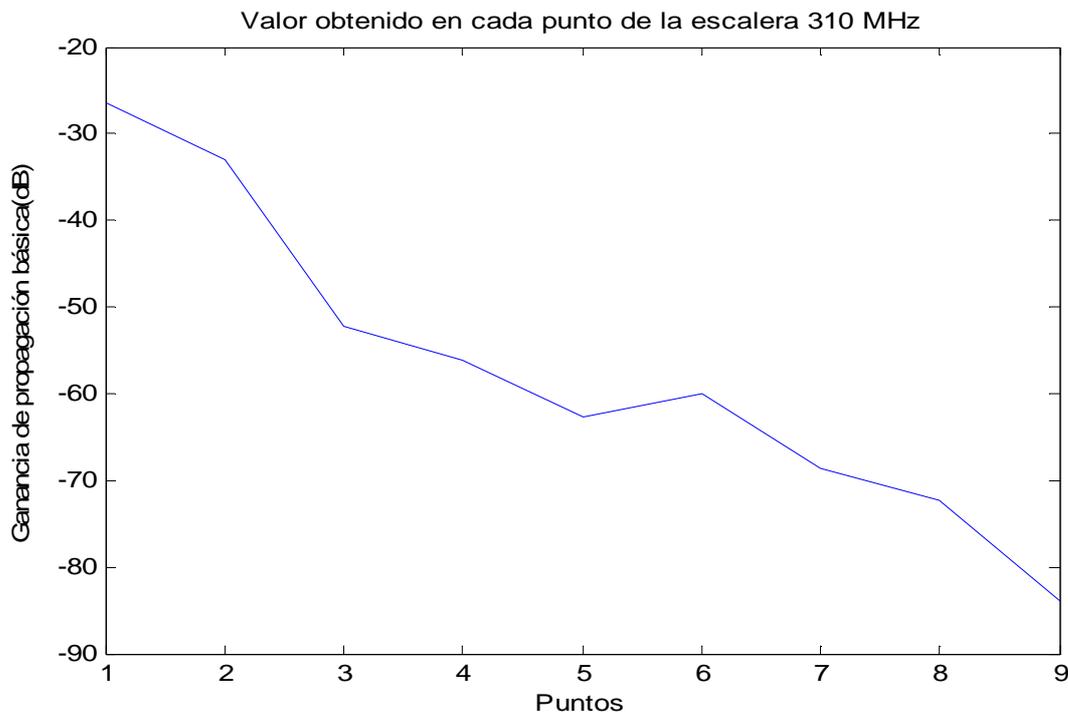


Figura 4-168: Ganancia básica de propagación en función de los distintos puntos de medida utilizando antenas que trabajan entre 300MHz y 320 MHz

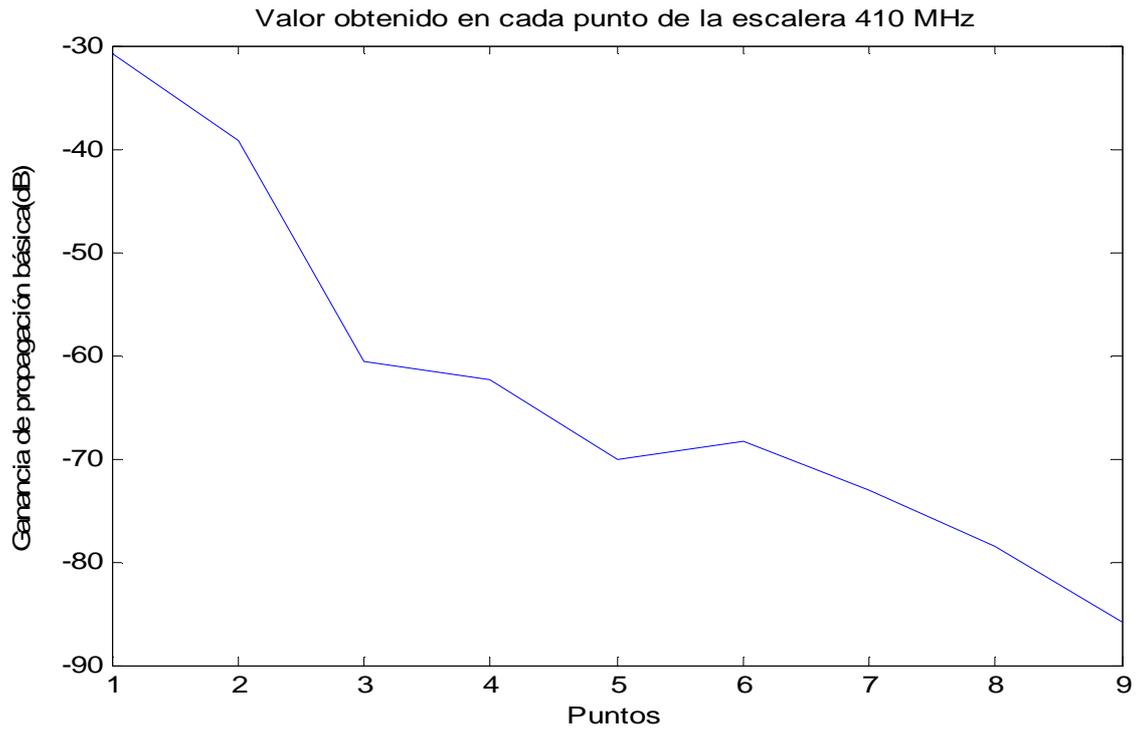


Figura 4-169: Ganancia básica de propagación en función de los distintos puntos de medida utilizando antenas que trabajan entre 400MHz y 420 MHz

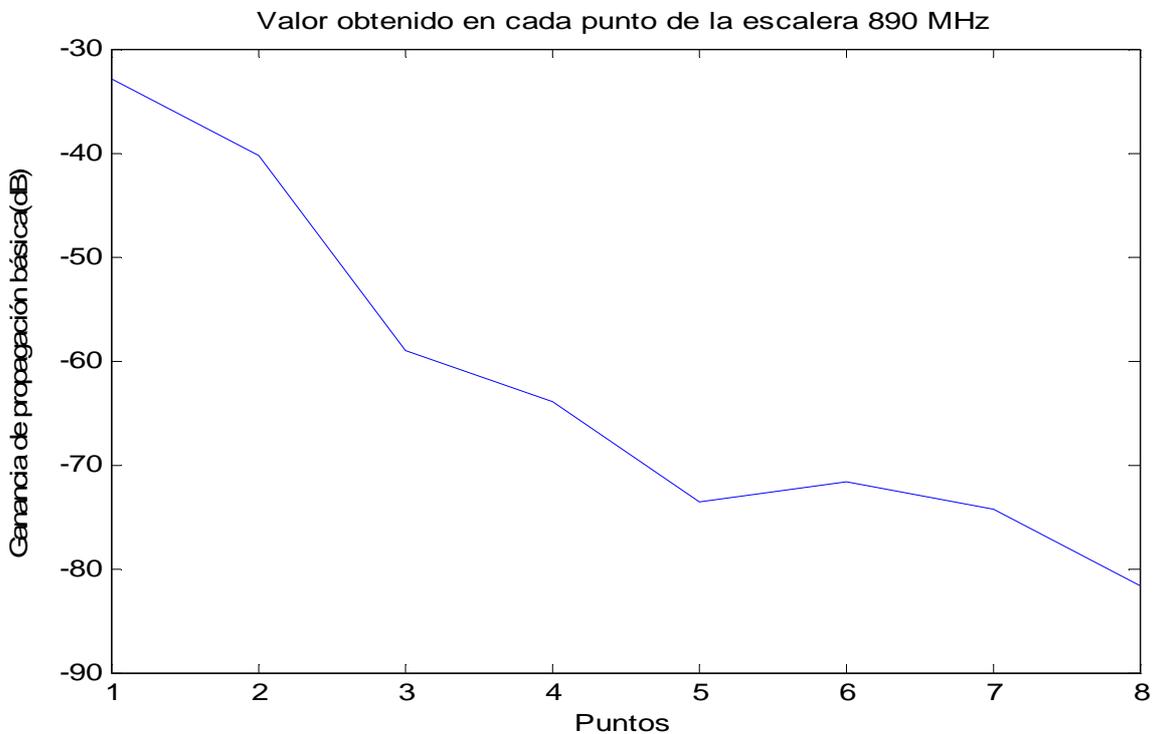


Figura 4-170: Ganancia básica de propagación en función de los distintos puntos de medida utilizando antenas que trabajan entre 880MHz y 900 MHz

- El efecto de la pérdida de potencia entre los puntos 1-2, 3-4, 6-7, 8-9 es debido a que entre el transmisor y el receptor hay 3 escalones, y las antenas quedan a distinta altura.
- El efecto de la pérdida de potencia entre los puntos 2-3 y 7-8 es debido a que se bajan bastantes escalones entre ambos puntos.
- Pero sin duda, el efecto más interesante observado en este escenario es el de la pérdida de potencia entre los puntos 4 y 5. Dichos puntos están en la misma planta, y la distancia que lo separa es de menos de un metro. A pesar de esto, se observa que hay una pérdida de potencia entre ambos de entre 8 dB y 9 dB en todas las frecuencias. Esto es debido a que la señal se comporta como una guía de onda durante el tramo de escalera de caracol, y al punto 4 llega toda la ráfaga de señal, que luego se dispersa por toda la planta
- La conclusión principal que se puede extraer de este escenario, es que la representación de la ganancia básica de propagación frente a los diferentes puntos de medidas tiene un aspecto bastante similar al perfil de la Figura 4-166 que representa los diferentes puntos de medida en las escaleras. Este aspecto es de especial interés, ya que en ocasiones se puede estimar aproximadamente tanto como es el escenario a partir del aspecto de la ganancia básica de propagación, como estimar como será la gráfica de la ganancia básica de propagación cuando conocemos el perfil del escenario.

En la siguiente tabla se muestran los valores obtenidos conectando el generador de señales fijado a una determinada frecuencia central a la antena transmisora, y el analizador de espectros a la antena receptora.

Tabla 4-5: Resultados de la ganancia básica de propagación en cada punto de medida

Frecuencia	Pto 1	Pto 2	Pto 3	Pto 4	Pto 5
310 MHz	-26,44	-33,01	-52,16	-56,09	-62,65
410 MHz	-30,86	-39,18	-60,67	-62,3	-70,01
890 MHz	-32,92	-40,31	-59,12	-63,86	-73,56
Frecuencia	Pto 6	Pto 7	Pto 8	Pto 9	
310 MHz	-60,03	-68,6	-72,28	-83,93	
410 MHz	-68,88	-73,14	-78,5	-85,86	
890 MHz	-71,74	-74,22	-81,61	S-S	

4.6 ESCENARIO 6

Esta prueba consiste en colocar el transmisor fijo en el centro de un despacho vacío de la cuarta planta del nuevo edificio de la EPS, e ir variando la colocación de la antena receptora en los despachos colindantes.

Dentro de cada despacho, colocaremos la antena receptora en 9 puntos

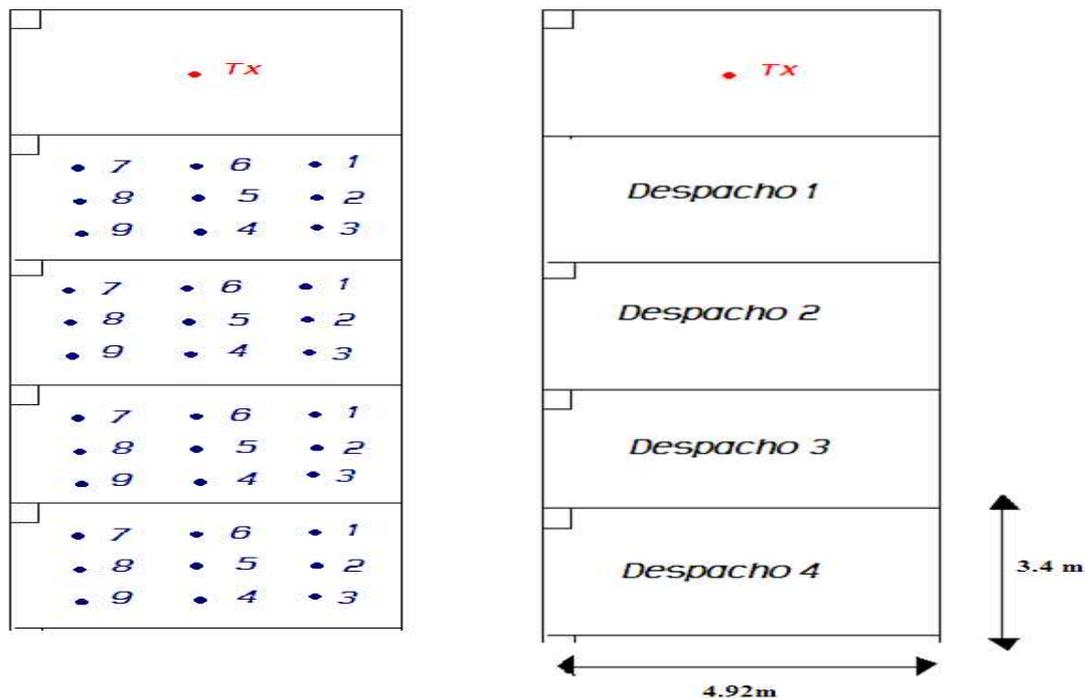


Figura 4-171: Esquema representativo de la vista de planta del escenario 8.
Transmisión desde un aula y recepción en las aulas contiguas.

Por tanto, la representación de los puntos se hará desde 3m (distancia de la primera antena receptora), hasta 14 m (distancia de la última antena receptora) cada metro, es decir, se observarán 12 puntos de medidas (3 por cada aula).

La representación se hará primero para la fila central (puntos 6,5 y 4 de cada aula), y luego para las filas laterales (puntos 7,8, 9 y puntos 1,2 y 3). Todo ello para un canal de 20 MHz (No se realiza para canales más pequeños por no aportar información importante)

La posición de los muros de los despachos se representa con una línea roja vertical. La aproximación lineal se hace mediante dos aproximaciones, representadas en color negro

Fila central (Puntos 6,5 y 4)

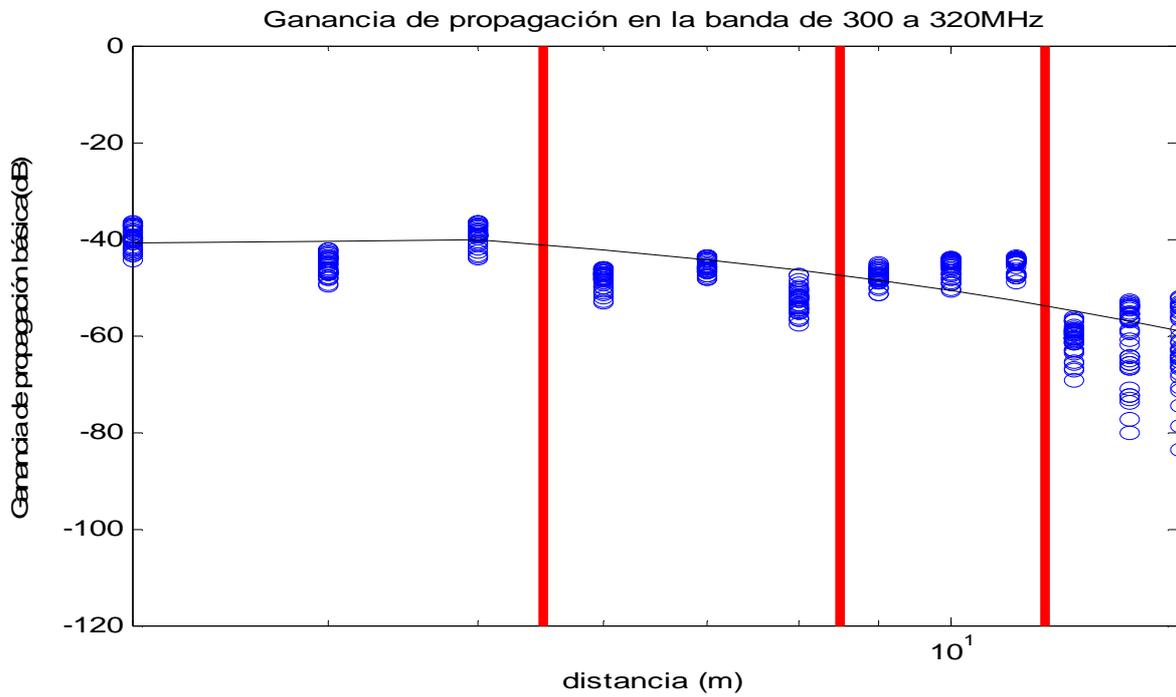


Figura 4-172: Ganancia de propagación básica en función de la distancia entre transmisor y receptor en la fila central

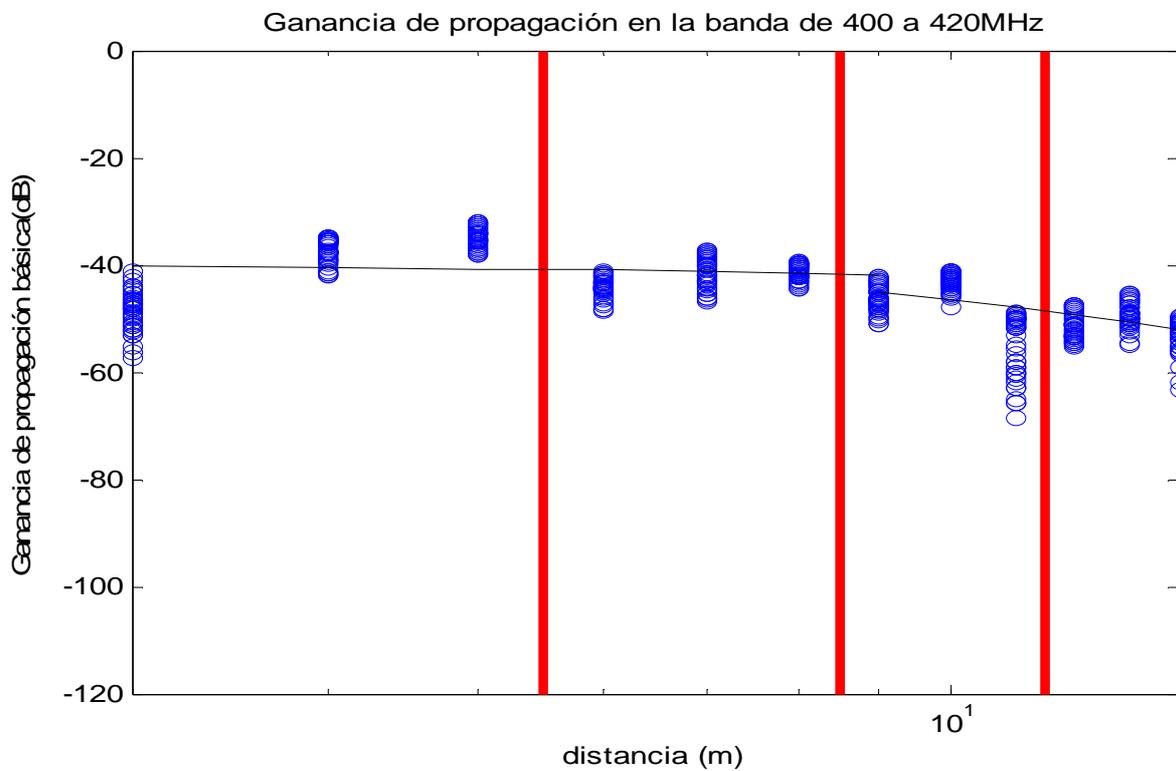


Figura 4-173: Ganancia de propagación básica en función de la distancia entre transmisor y receptor en la fila central

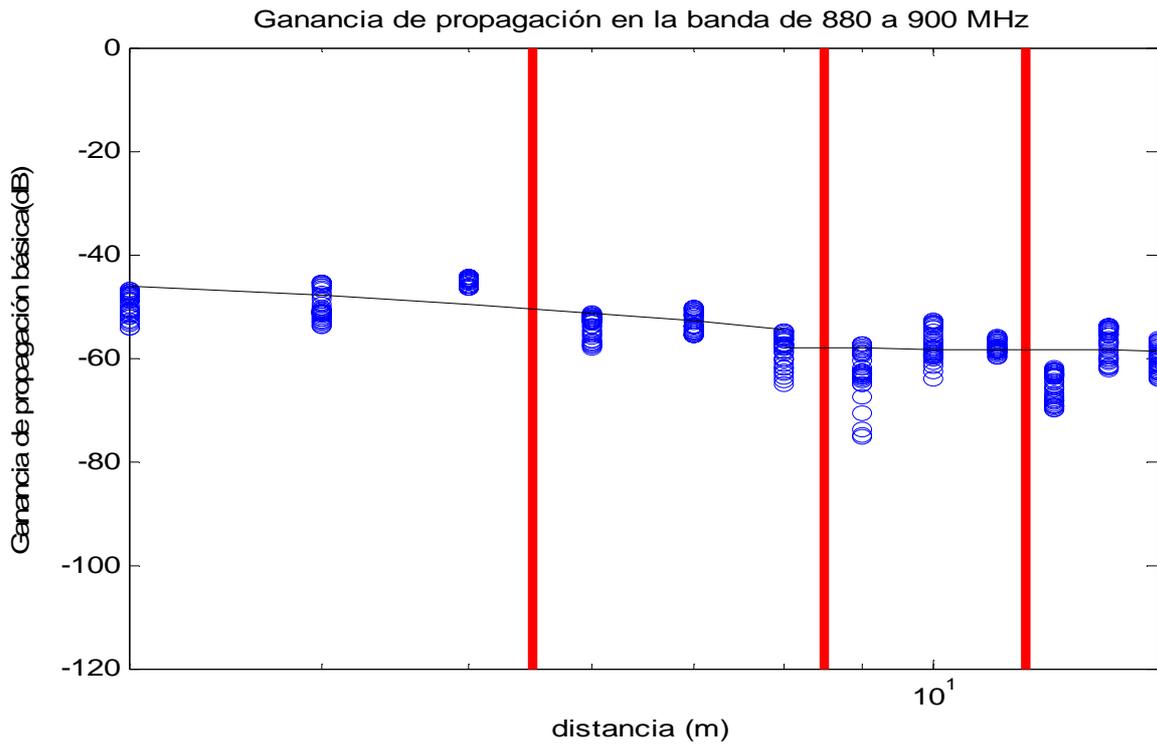


Figura 4-174: Ganancia de propagación básica en función de la distancia entre transmisor y receptor en la fila central

Fila lateral izquierda (Puntos 1,2 y 3)

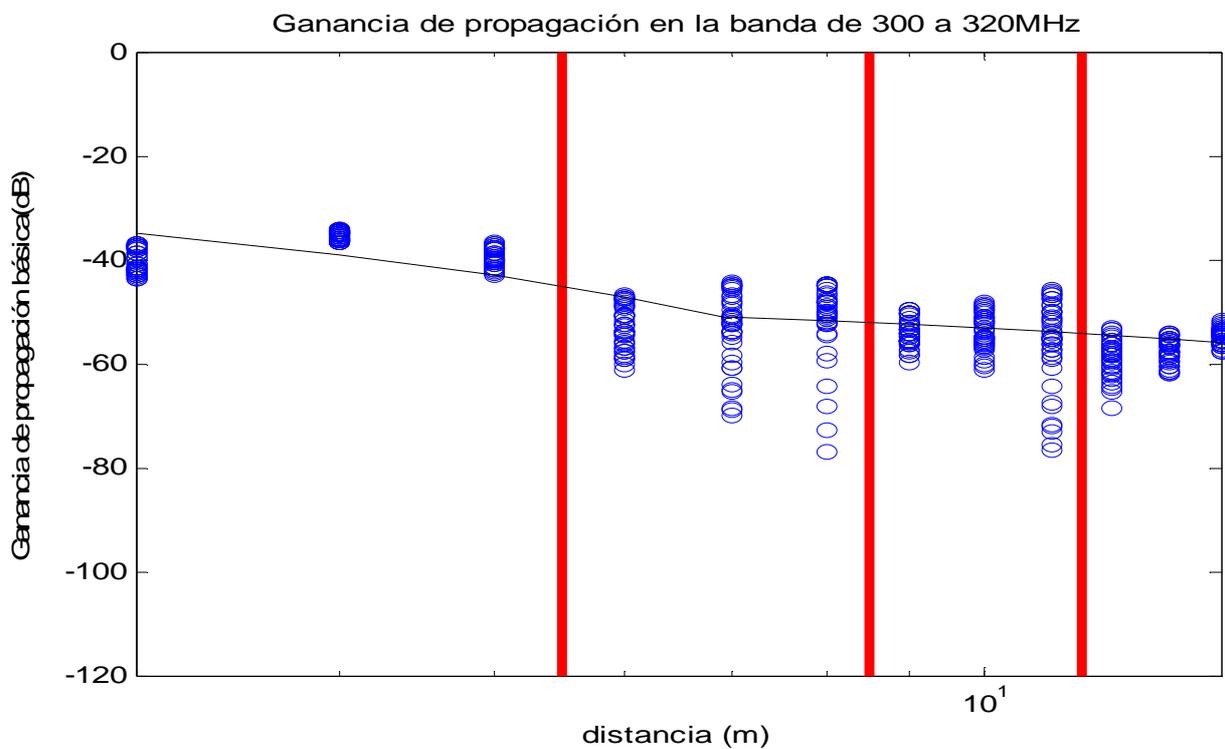


Figura 4-175: Ganancia de propagación básica en función de la distancia entre transmisor y receptor en la fila izquierda

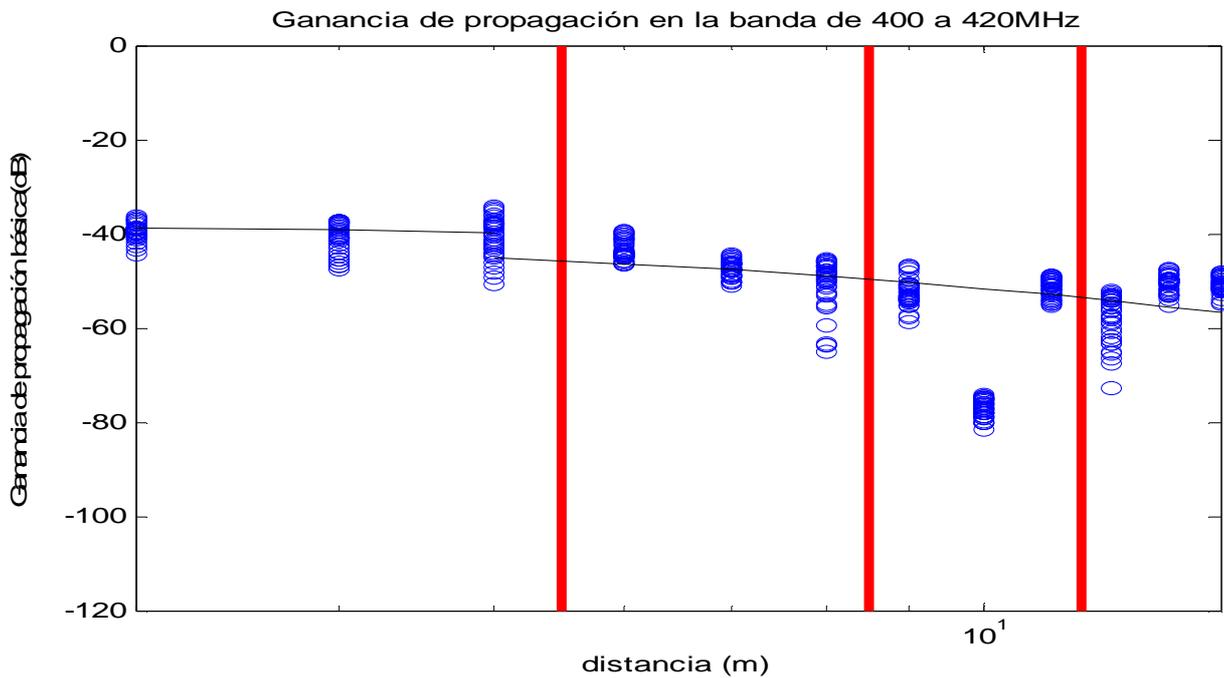


Figura 4-176: Ganancia de propagación básica en función de la distancia entre transmisor y receptor en la fila izquierda

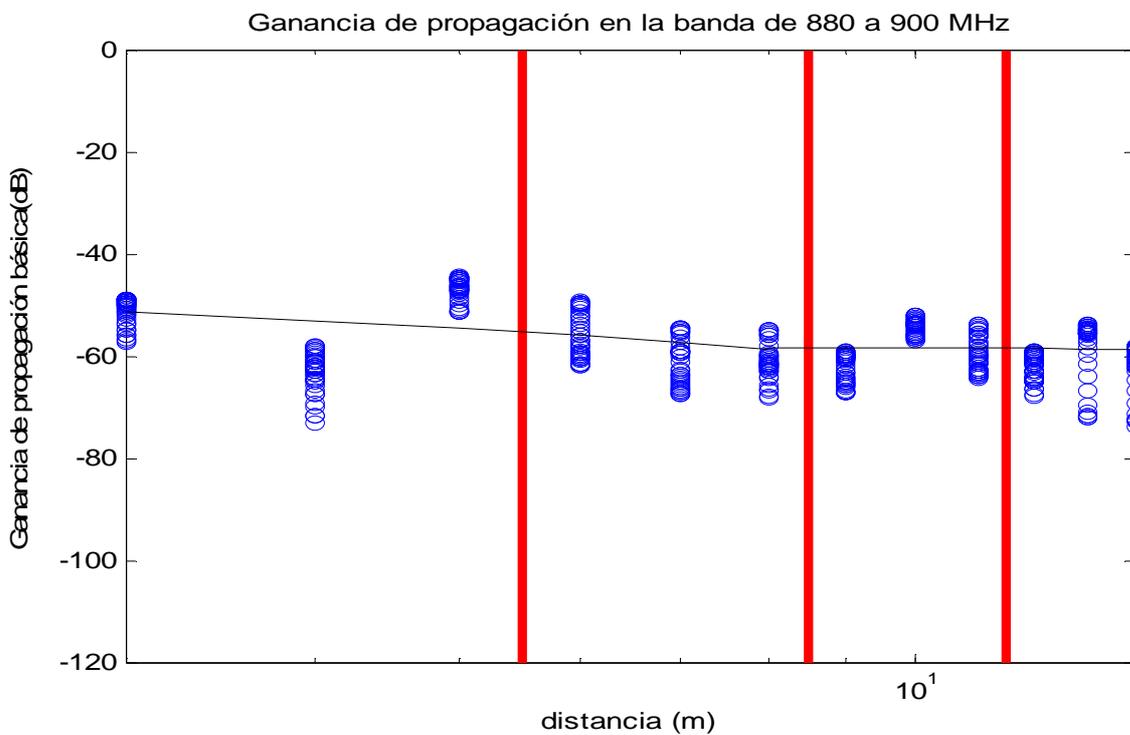


Figura 4-177: Ganancia de propagación básica en función de la distancia entre transmisor y receptor en la fila izquierda

Fila lateral derecha (Puntos 7,8 y 9)

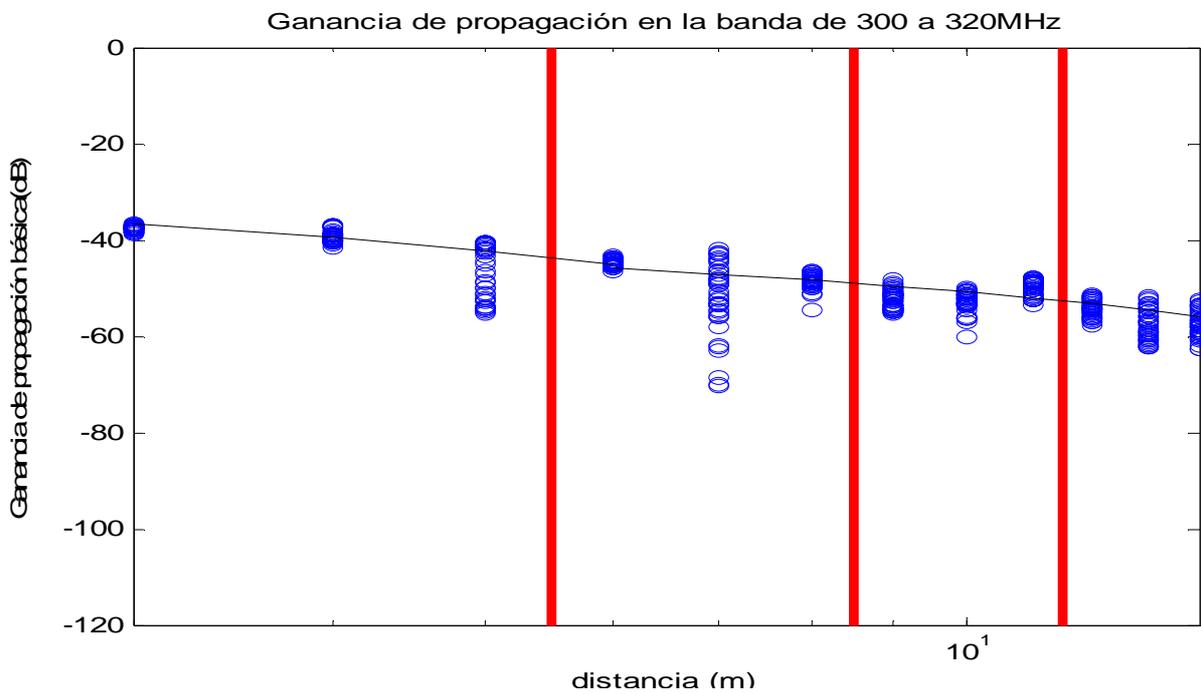


Figura 4-178: Ganancia de propagación básica en función de la distancia entre transmisor y receptor en la fila derecha

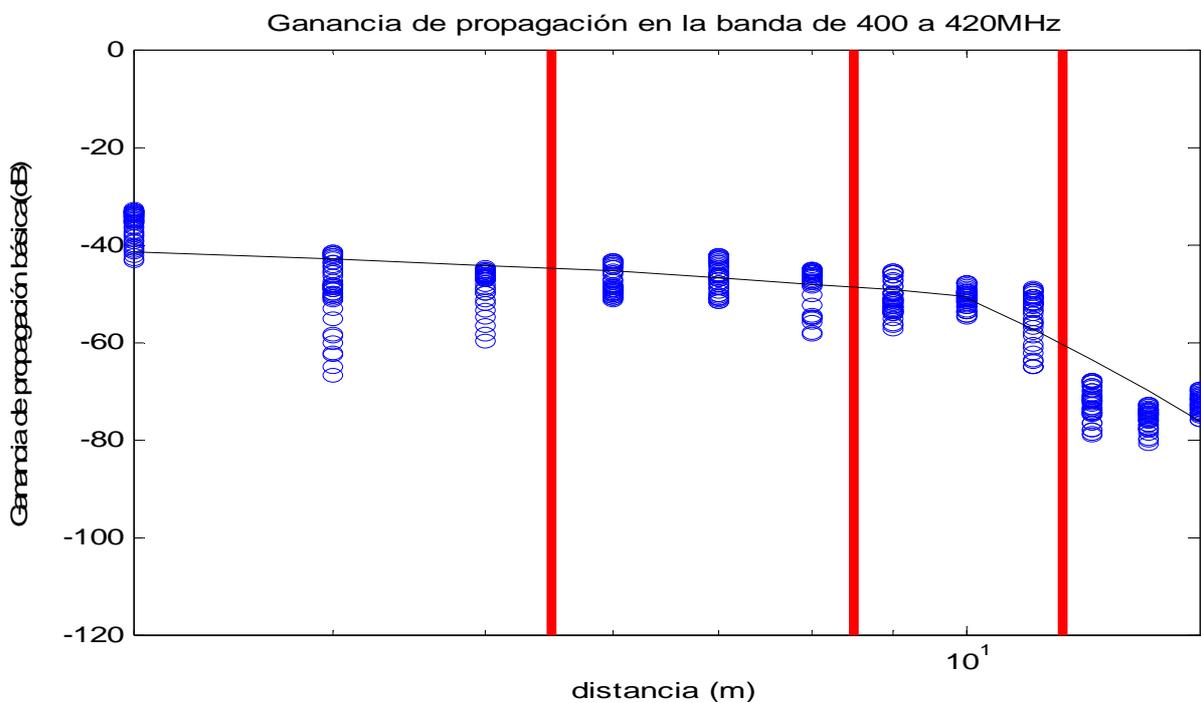


Figura 4-179: Ganancia de propagación básica en función de la distancia entre transmisor y receptor en la fila derecha

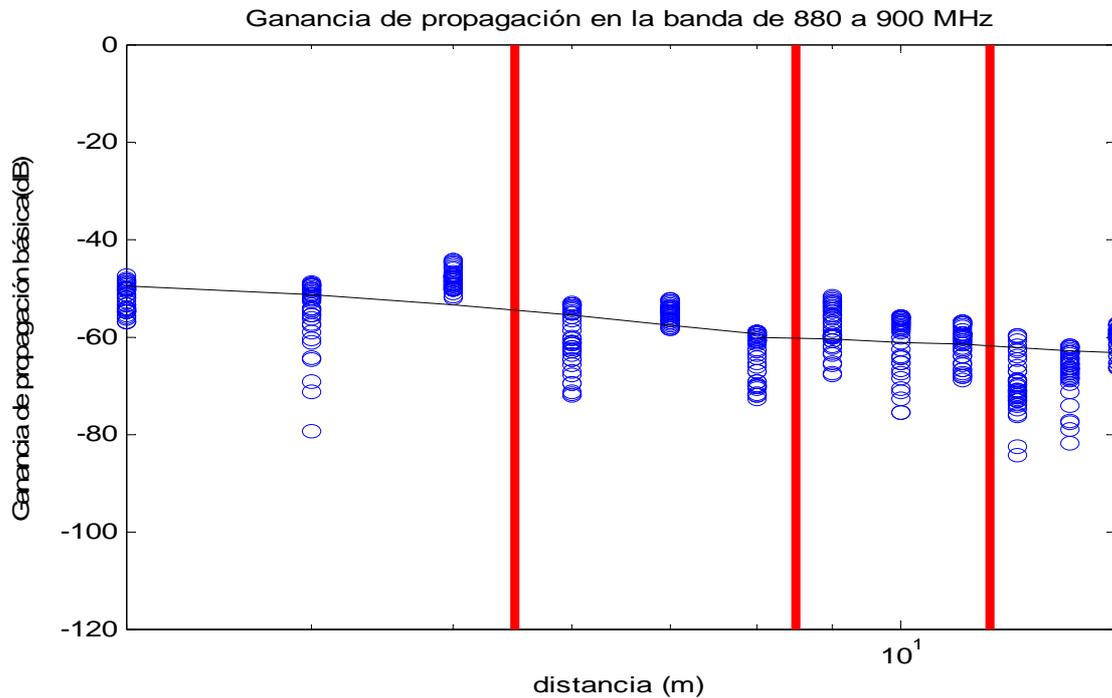


Figura 4-180: Ganancia de propagación básica en función de la distancia entre transmisor y receptor en la fila derecha

Después de analizar los resultados de este escenario, ha resultado sorprendente el hecho de que no se perciba significativamente un decremento en la ganancia básica de propagación entre las posiciones separadas por un muro de ladrillo, ya que además de aumentar la distancia, que hace aumentar las pérdidas, aparece un obstáculo (pared de hormigón) que debería añadir una atenuación adicional.

4.7 ESCENARIO 7

Para la realización de este escenario, se ha utilizado los pares de antenas que resuenan respectivamente a 125 MHz y 150 MHz. Este escenario está dividido en dos partes, según la posición de la antena transmisora, pero en ambos casos, las medidas han sido realizadas en el laboratorio C-009.

ESCENARIO 7.1

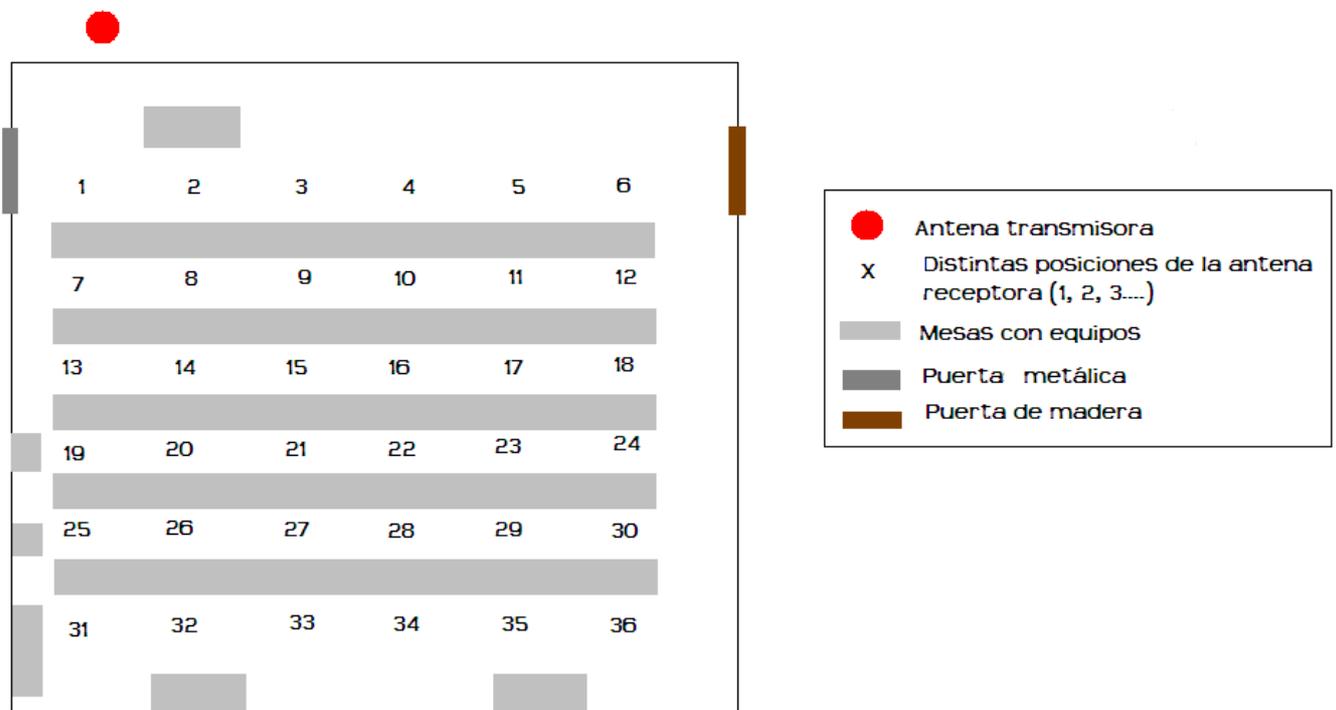


Figura 4-181: Esquema representativo de la vista de planta del escenario 7.1

El primer escenario de la campaña de medidas para las nuevas antenas, consiste en realizar medidas en el laboratorio C-009-1 del edificio C de la EPS.

Al transmitir desde fuera del laboratorio y recibir dentro del mismo, es preferible utilizar dos equipos. Un generador de señales en el exterior, y un analizador de espectros dentro del laboratorio

Ahora se muestran los resultados de la ganancia básica de propagación en cada punto de medida, para cada frecuencia analizada.

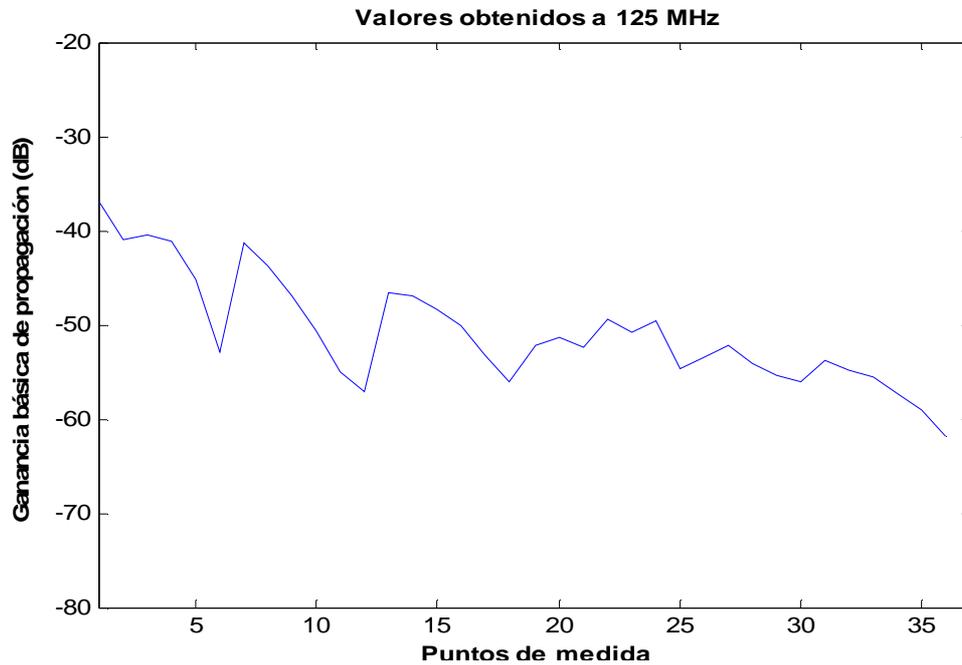


Figura 4-182: Ganancia básica de propagación en cada punto de medida

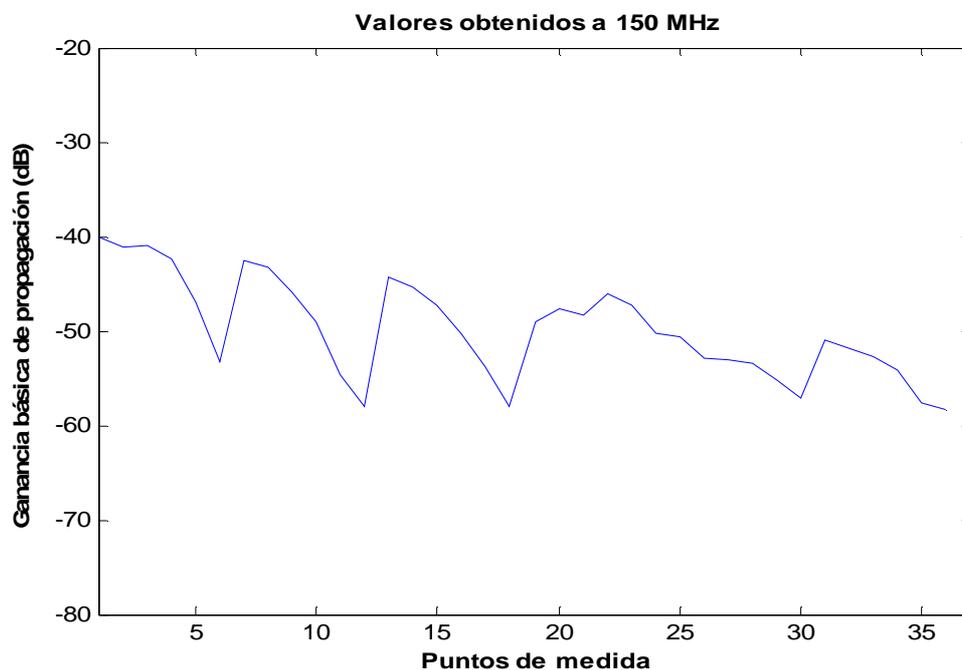


Figura 4-183: Ganancia básica de propagación en cada punto de medida

En las Figuras 4-182 y 4-183, se puede observar que el perfil de la ganancia básica de propagación en función de los distintos puntos de medida, es muy similar utilizando las antenas que resuenan a 150 MHz y las que resuenan a 125 MHz.

ESCENARIO 7.2

Este escenario es similar al anterior, pero con la salvedad de que en el anterior transmitíamos desde el pasillo, y en esta ocasión la transmisión se realiza desde el laboratorio colindante (Laboratorio C-007).

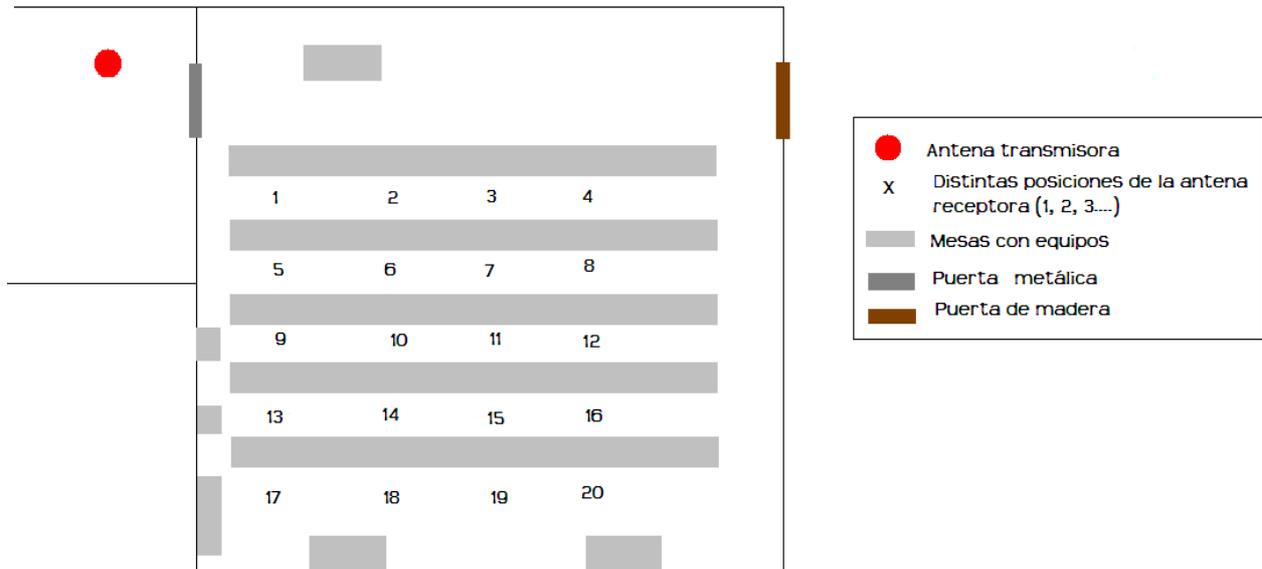


Figura 4-184: Esquema representativo de la vista de planta del escenario 7.2

Es conveniente señalar que, al igual que pasaba en el escenario anterior, las 3 últimas filas de mesas (que afectan desde el punto 9 al punto 20) tienen una balda superior donde hay diversos equipos, algo que no ocurre en las dos primeras filas de mesas, en las que solo hay ordenadores.

En las siguientes páginas se muestra tanto las gráficas análogas a las del escenario anterior, como las tablas que recogen los resultados del analizador de espectros de este escenario y del anterior.

Ahora se muestran los resultados de la ganancia básica de propagación en cada punto de medida, para cada frecuencia analizada.

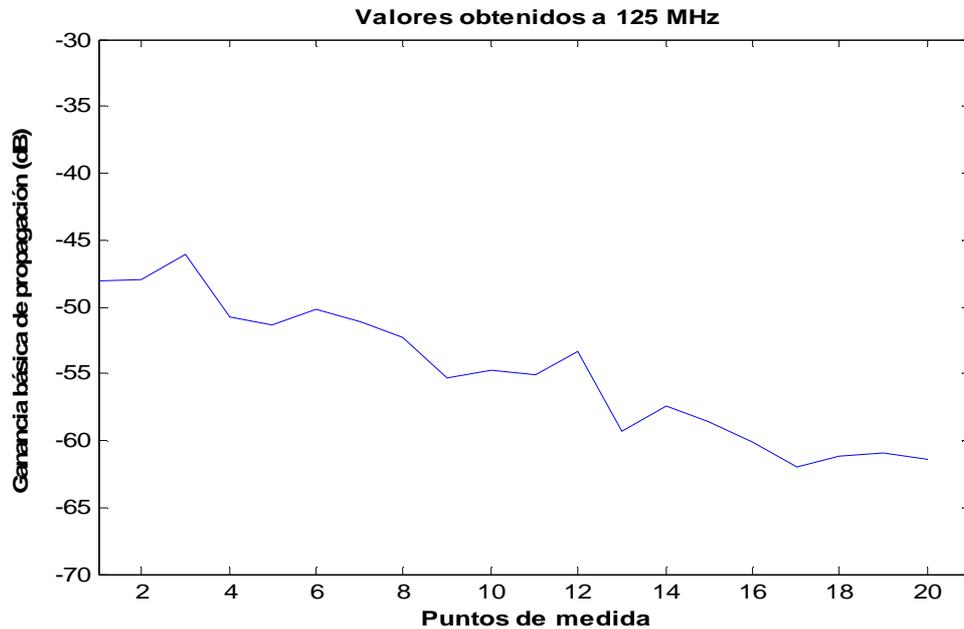


Figura 4-185: Ganancia básica de propagación en cada punto de medida

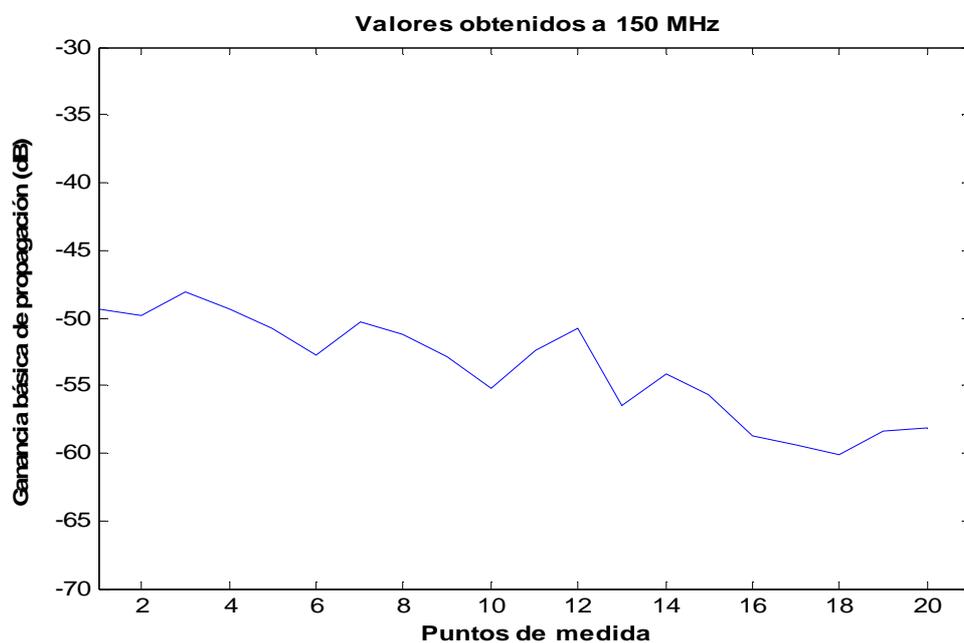


Figura 4-186: Ganancia básica de propagación en cada punto de medida

En las Figuras 4-185 y 4-186, se puede observar que tal y como ocurría en el Escenario 7.1, el perfil de la ganancia básica de propagación en función de los distintos puntos de medida, es muy similar utilizando las antenas que resuenan a 150 MHz y las que resuenan a 125 MHz.

Ahora se muestran las tablas de resultados de la ganancia básica de propagación.

Tabla 4-6: Ganancia básica de propagación en dB para el escenario 7.1

Frecuencia	Pto 1	Pto 2	Pto 3	Pto 4	Pto 5	Pto 6
125 MHz	-37,01	-40,98	-40,43	-41,11	-45,16	-52,94
150 MHz	-40,12	-41,22	-41,01	-42,34	-46,98	-53,24
	Pto 7	Pto 8	Pto 9	Pto 10	Pto 11	Pto 12
125 MHz	-41,24	-43,73	-46,98	-50,66	-55,05	-57,14
150 MHz	-42,61	-43,25	-45,82	-49,06	-54,6	-57,95
	Pto 13	Pto 14	Pto 15	Pto 16	Pto 17	Pto 18
125 MHz	-46,51	-46,93	-48,42	-50,07	-53,18	-56,01
150 MHz	-44,27	-45,31	-47,22	-50,18	-53,84	-58,05
	Pto 19	Pto 20	Pto 21	Pto 22	Pto 23	Pto 24
125 MHz	-52,27	-51,36	-52,45	-49,42	-50,84	-49,56
150 MHz	-48,98	-47,58	-48,42	-46,08	-47,27	-50,24
	Pto 25	Pto 26	Pto 27	Pto 28	Pto 29	Pto 30
125 MHz	-54,61	-53,35	-52,17	-54,05	-55,34	-56,03
150 MHz	-50,69	-52,98	-53,07	-53,47	-55,21	-57,15
	Pto 31	Pto 32	Pto 33	Pto 34	Pto 35	Pto 36
125 MHz	-53,72	-54,84	-55,52	-57,31	-59,09	-61,8
150 MHz	-50,97	-51,91	-52,68	-54,18	-57,7	-58,3

Tabla 4-7: Ganancia básica de propagación en dB para el escenario 7.2

Frecuencia	Pto 1	Pto 2	Pto 3	Pto 4
125 MHz	-48,12	-47,91	-46,07	-50,73
150 MHz	-49,35	-49,82	-48,06	-49,38
	Pto 5	Pto 6	Pto 7	Pto 8
125 MHz	-51,4	-50,13	-51,12	-52,31
150 MHz	-50,81	-52,74	-50,26	-51,17
	Pto 9	Pto 10	Pto 11	Pto 12
125 MHz	-55,27	-54,77	-55,12	-53,39
150 MHz	-52,91	-55,15	-52,44	-50,81
	Pto 13	Pto 14	Pto 15	Pto 16
125 MHz	-59,34	-57,42	-58,63	-60,12
150 MHz	-56,48	-54,21	-55,67	-58,71
	Pto 17	Pto 18	Pto 19	Pto 20
125 MHz	-62,02	-61,21	-60,96	-61,37
150 MHz	-59,37	-60,12	-58,37	-58,18

4.8 ESCENARIO 8

Este escenario es el primero en el que se mide la atenuación sufrida por la señal en función de la colocación de distintas personas ejerciendo de obstáculos.

Esta prueba consiste en la colocación de la antena transmisora fija en el centro de un aula, una persona interfiriendo en el aula contigua colocada en 9 posiciones distintas y la antena receptora fija en el centro del aula siguiente.

Realizaremos el experimento en la banda de 300-320MHz, 400-420MHz, 880-900MHz

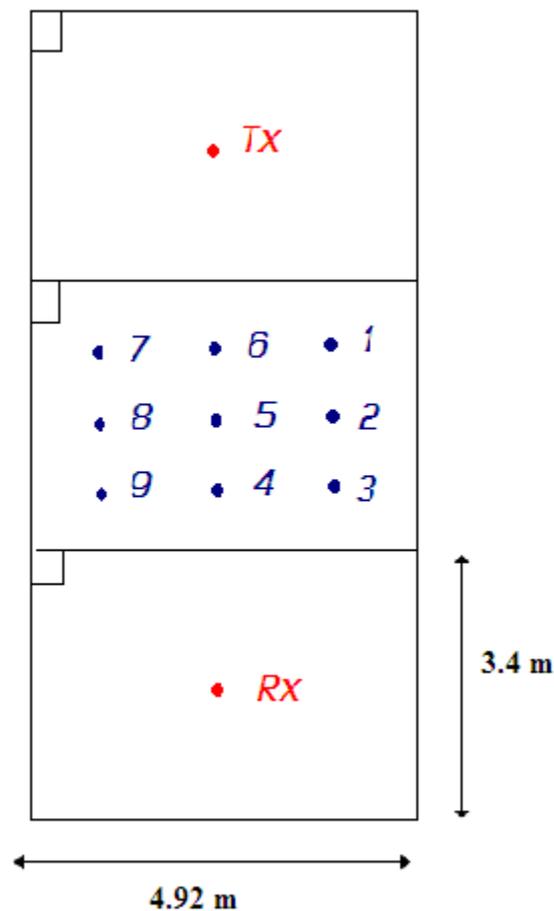


Figura 4-187: Esquema representativo de la vista de planta del escenario 8

El procedimiento a seguir en los escenarios en los que se quiera medir las pérdidas de inserción será siempre el mismo.

Primero calibramos el instrumento a 0 en la situación inicial (Sin que haya ninguna persona obstruyendo la trayectoria de la señal).

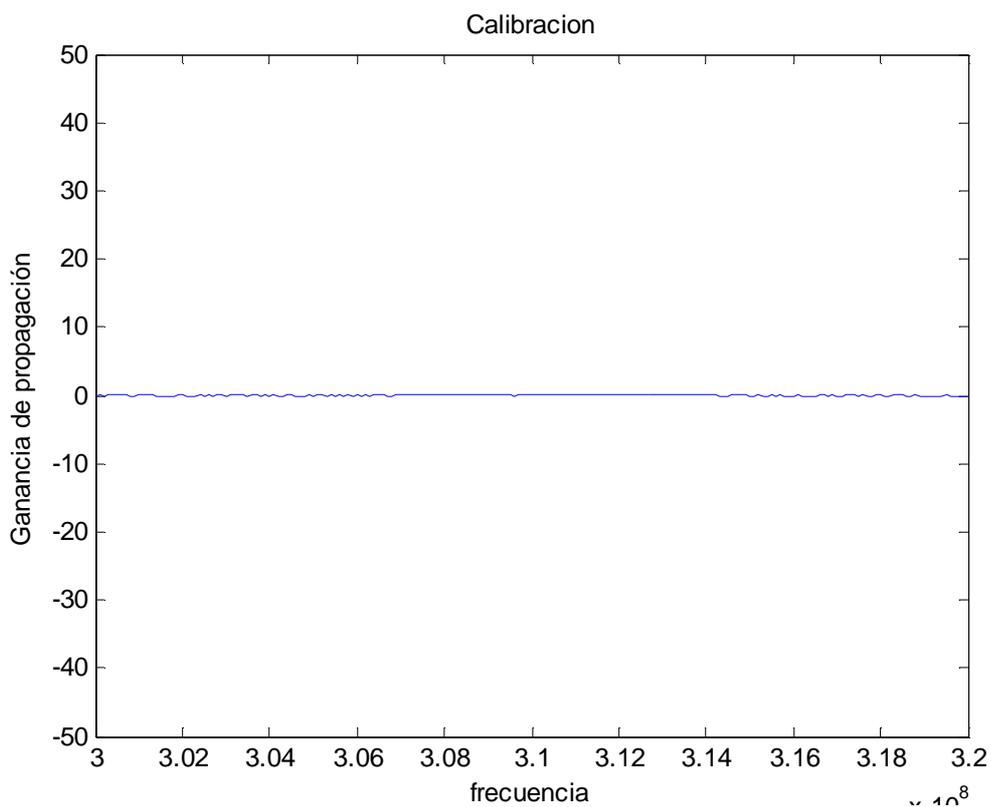


Figura 4-188: Calibración entre 300 MHz y 320 MHz

El siguiente paso consiste en realizar de nuevo la medida en la situación final (en la que existe una persona en este caso, o un objeto en otro caso que modifica la situación inicial).

En este escenario, los sujetos analizados tienen las siguientes características.

Tabla 4-8: Características de los sujetos analizados.

	Genero	Altura	Peso
Sujeto 1	Mujer	1.71 m	67 Kg
Sujeto 2	Varón	1.76 m	82 Kg
Sujeto 3	Varón	1.84 m	83 Kg

En principio, obtenemos en cada punto los reportes del analizador de redes partir de los que lo normal sería elaborar gráficas que representan la ganancia de obstrucción (la atenuación que sufre la señal a causa de la aparición de un obstáculo) en función de la frecuencia en cada uno de los puntos de medida, para cada uno de los sujetos analizados, como se muestra en la siguiente gráfica.

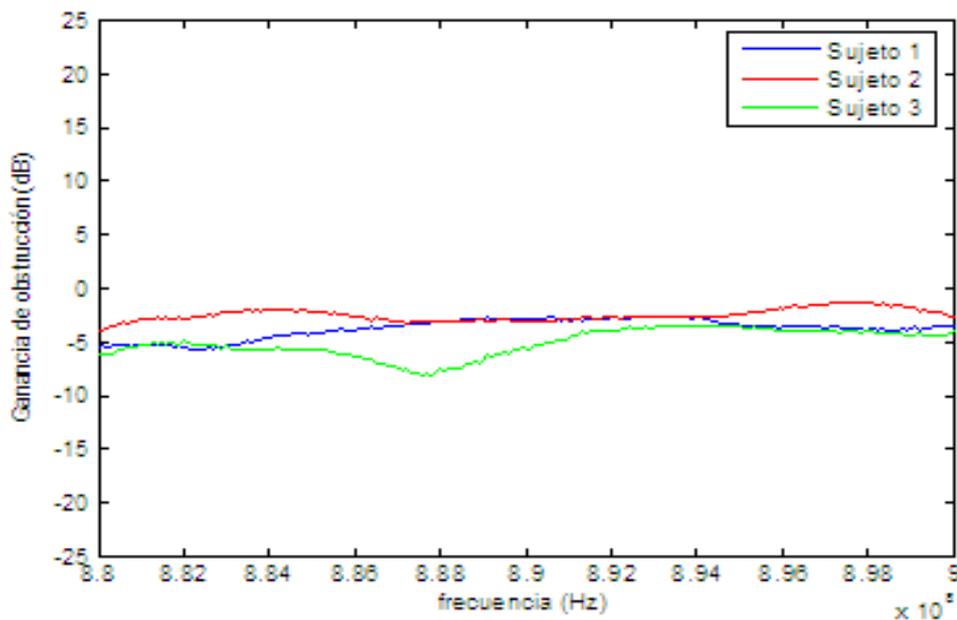


Figura 4-189: Ganancia de obstrucción frente a la frecuencia

Pero este tipo de representación no nos proporciona una visión global de lo que pasa en cada punto para cada sujeto, por lo que he pensado que es mejor una representación en la que se visualice el rango de valores que toma la ganancia básica de inserción en cada punto.

Al final de la representación de cada frecuencia se muestra el rango de valores que toma la ganancia de obstrucción en cada punto teniendo en cuenta los valores de los 3 sujetos, por tanto, mostraré el valor máximo y mínimo absoluto de la ganancia de obstrucción en cada punto para cada frecuencia.

Banda (300-320)MHz

En las dos siguientes figuras se muestra el rango de valores que toma la ganancia de obstrucción según la posición en la que se coloquen los sujetos 1 y 2 respectivamente.

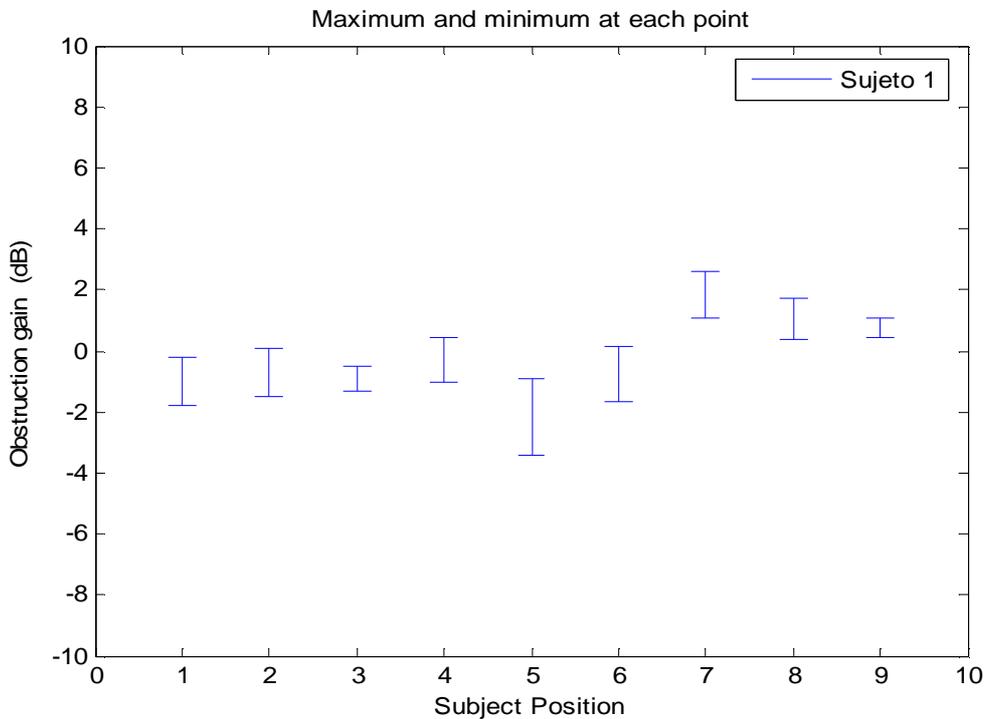


Figura 4-190: Rango de valores que toma la ganancia de obstrucción en cada punto de medida para el sujeto 1

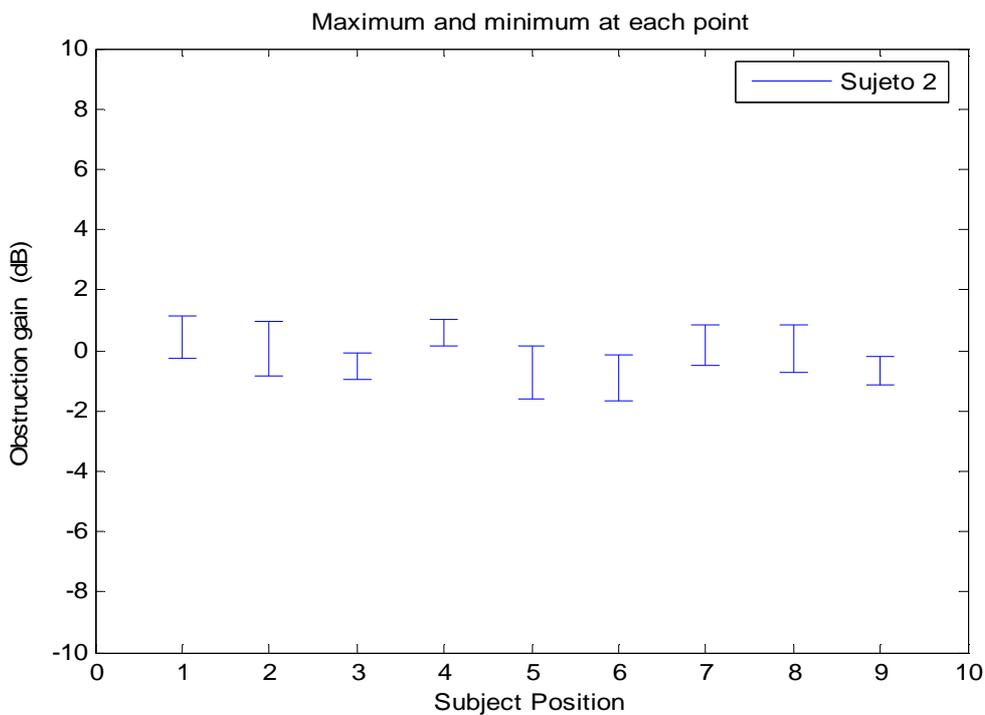


Figura 4-191: Rango de valores que toma la ganancia de obstrucción en cada punto de medida para el sujeto 2

En las dos siguientes figuras se muestra el rango de valores que toma la ganancia de obstrucción según la posición en la que se coloca el sujeto 3, y el rango de valores que toma dicha ganancia de obstrucción teniendo en cuenta a todos los sujetos.

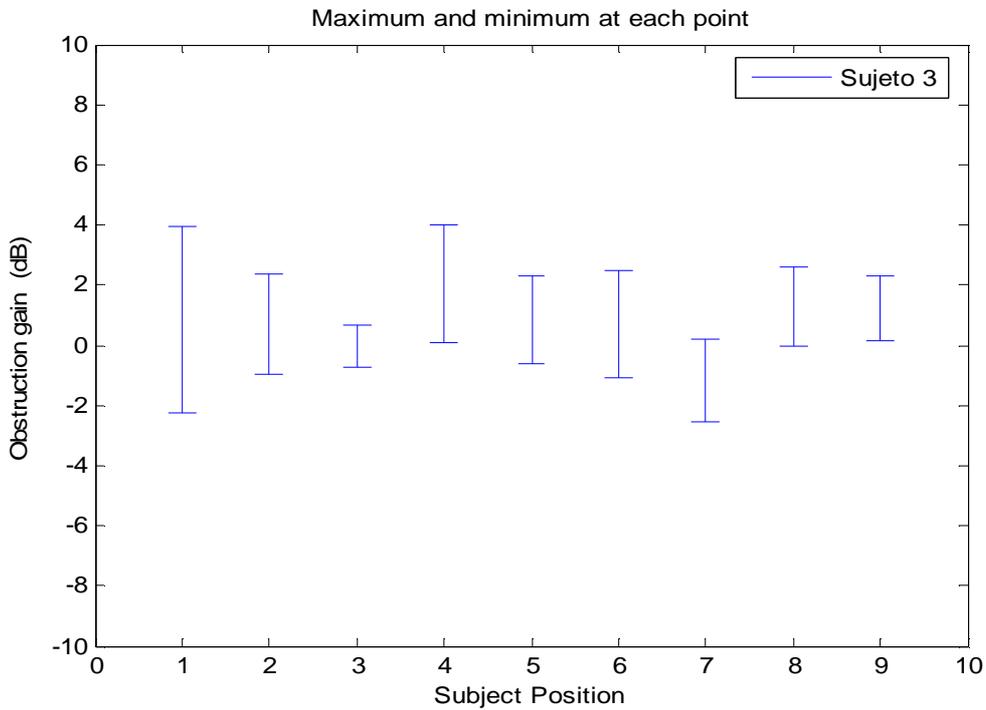


Figura 4-192: Rango de valores que toma la ganancia de obstrucción en cada punto de medida para el sujeto 3

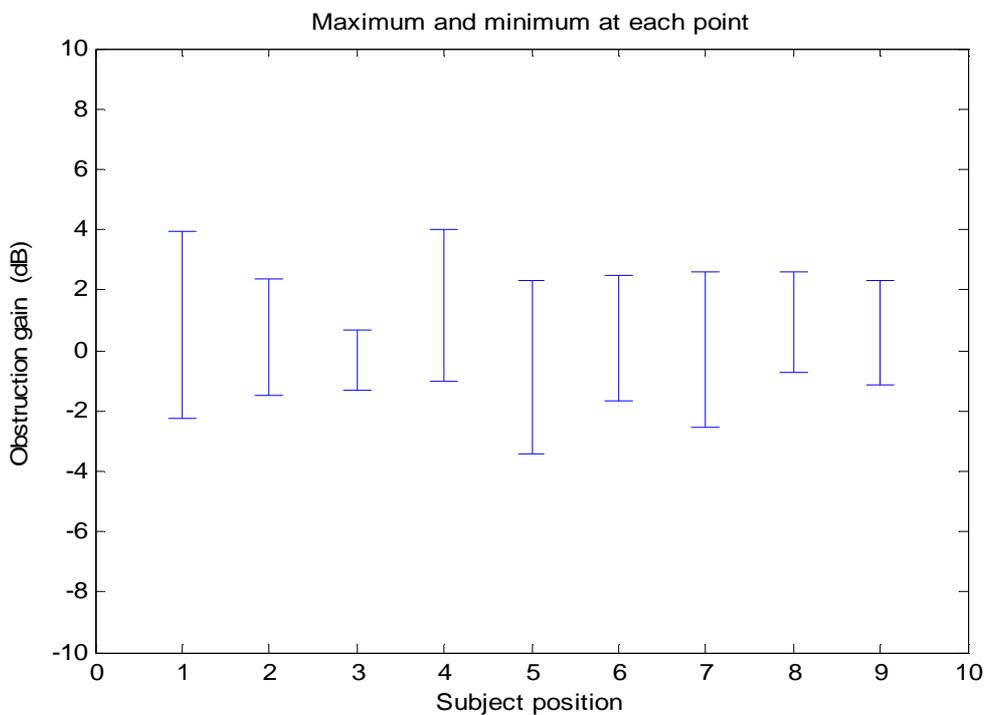


Figura 4-193: Rango de valores que toma la ganancia obstrucción en cada punto entre todos los sujetos

Banda (400-420)MHz

En las dos siguientes figuras se muestra el rango de valores que toma la ganancia de obstrucción según la posición en la que se coloquen los sujetos 1 y 2 respectivamente.

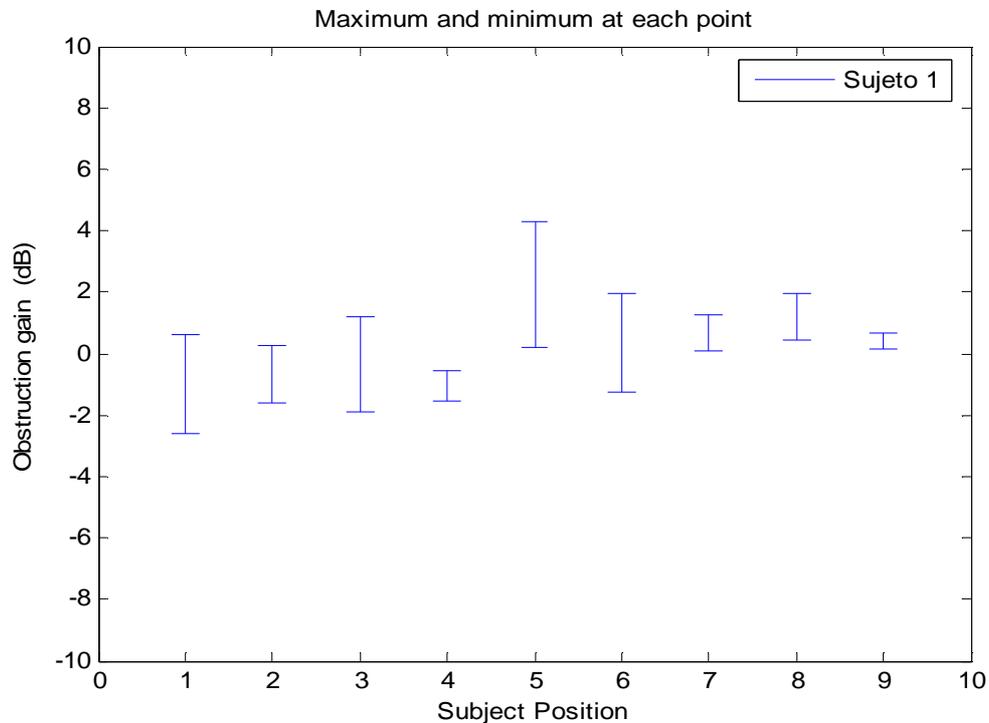


Figura 4-194: Rango de valores que toma la ganancia de obstrucción en cada punto de medida para el sujeto 1

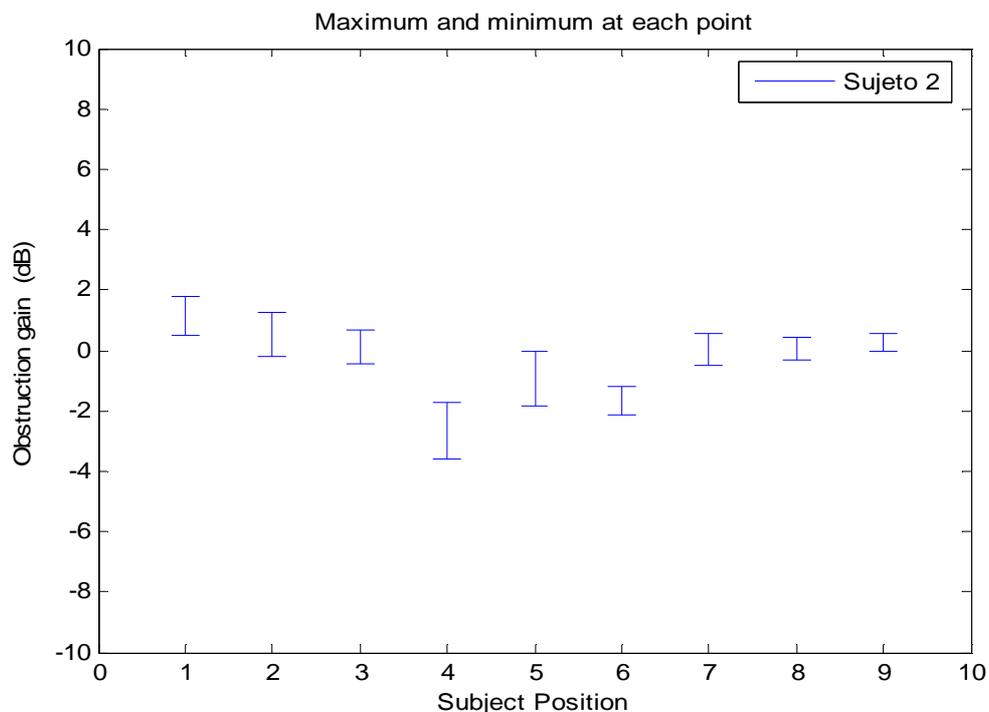


Figura 4-195: Rango de valores que toma la ganancia de obstrucción en cada punto de medida para el sujeto 2

En las dos siguientes figuras se muestra el rango de valores que toma la ganancia de obstrucción según la posición en la que se coloca el sujeto 3, y el rango de valores que toma dicha ganancia de obstrucción teniendo en cuenta a todos los sujetos.

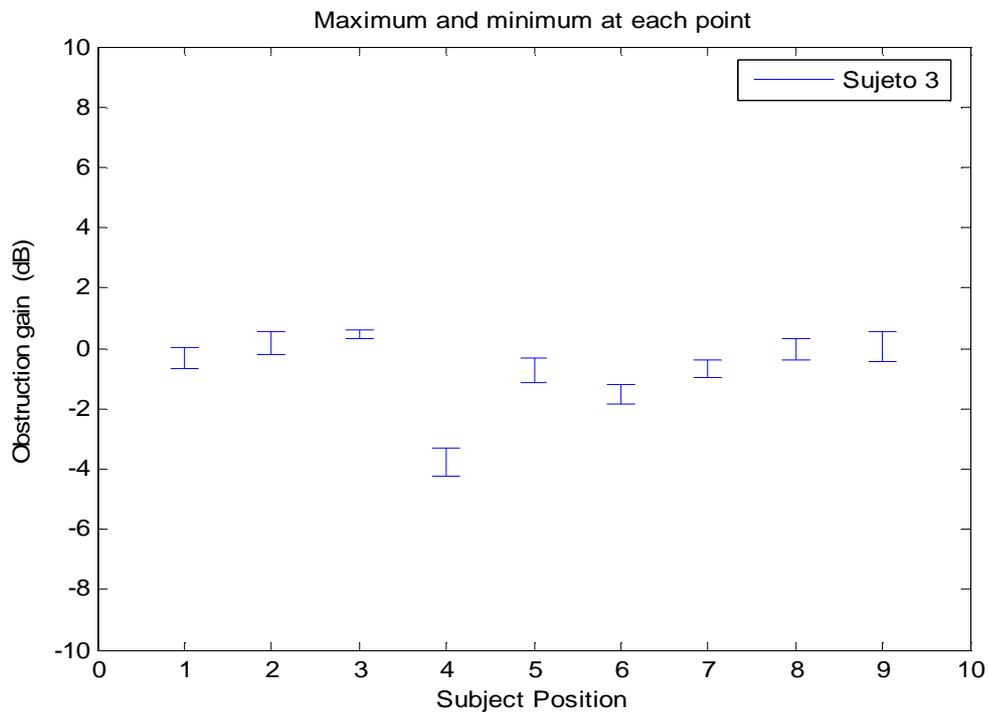


Figura 4-196: Rango de valores que toma la ganancia de obstrucción en cada punto de medida para el sujeto 3

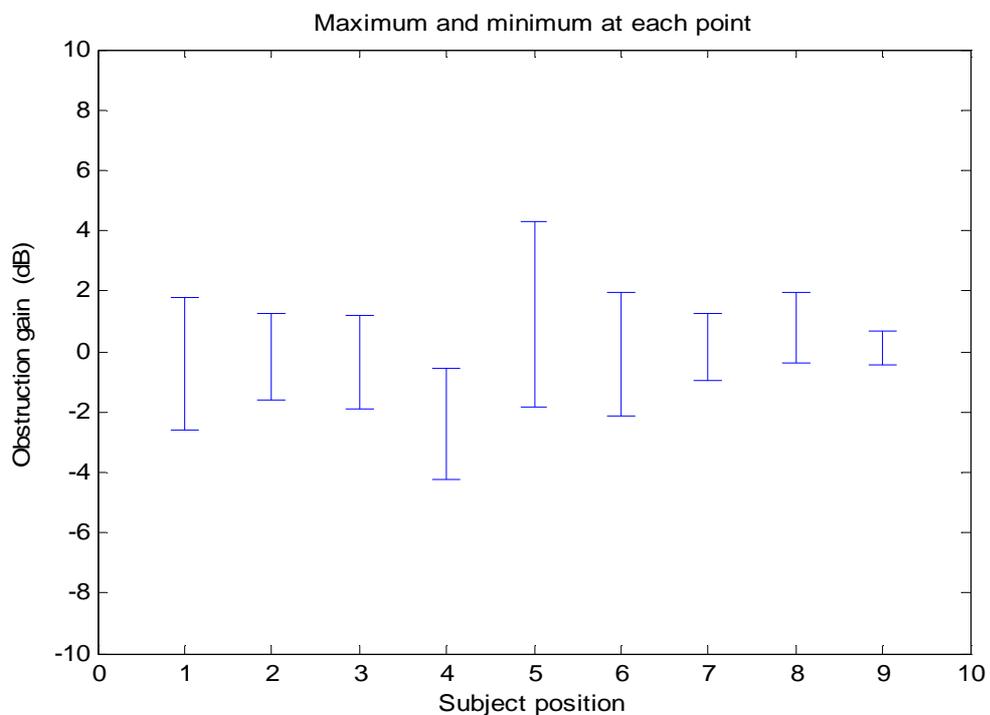


Figura 4-197 : Rango de valores que toma la ganancia obstrucción en cada punto entre todos los sujetos

Banda (880-900)MHz

En las dos siguientes figuras se muestra el rango de valores que toma la ganancia de obstrucción según la posición en la que se coloquen los sujetos 1 y 2 respectivamente.

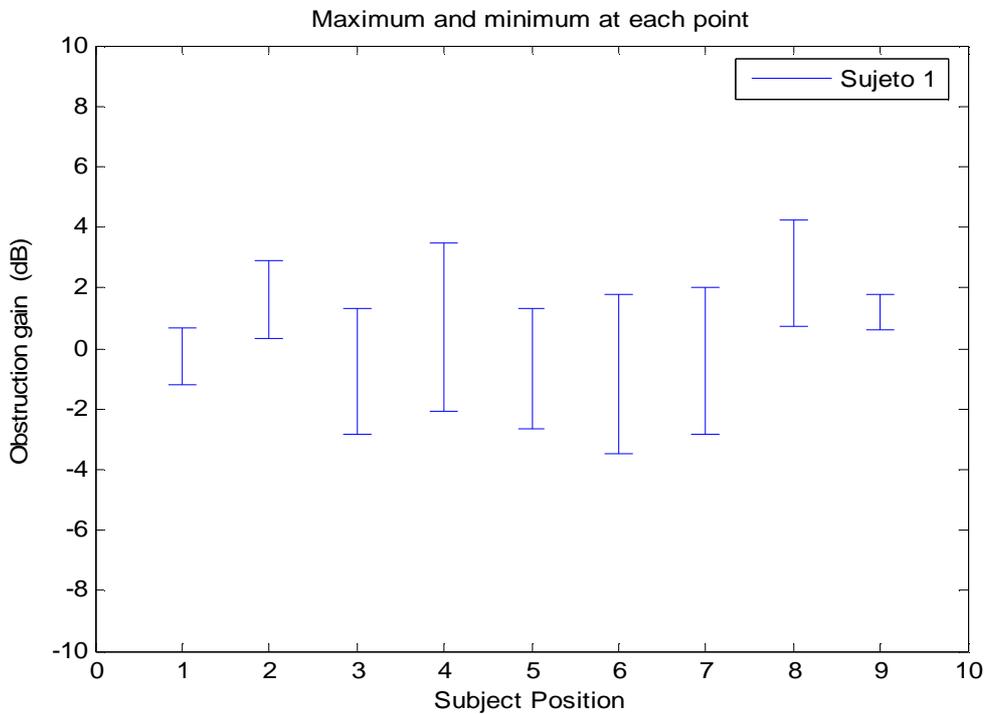


Figura 4-198: Rango de valores que toma la ganancia de obstrucción en cada punto de medida para el sujeto 1

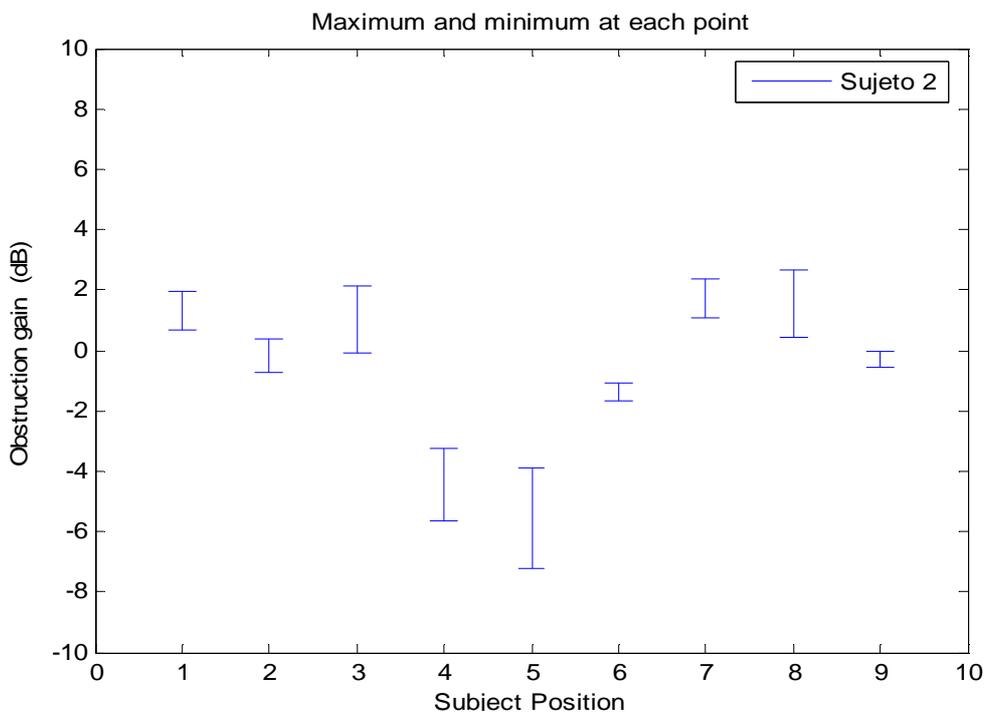


Figura 4-199: Rango de valores que toma la ganancia de obstrucción en cada punto de medida para el sujeto 2

En las dos siguientes figuras se muestra el rango de valores que toma la ganancia de obstrucción según la posición en la que se coloca el sujeto 3, y el rango de valores que toma dicha ganancia de obstrucción teniendo en cuenta a todos los sujetos.

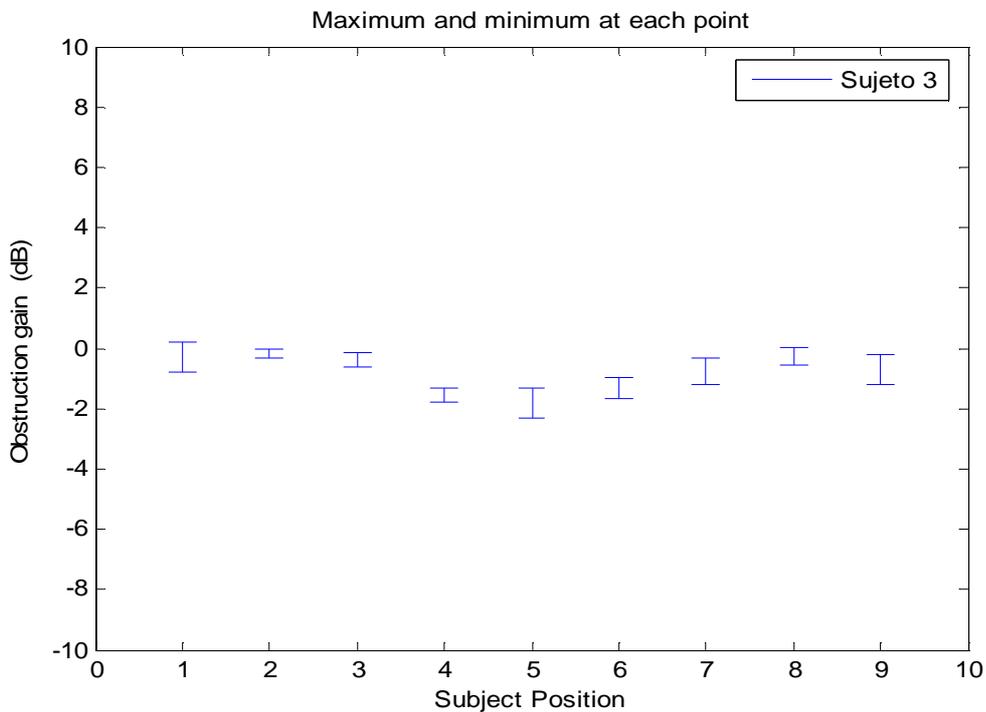


Figura 4-200: Rango de valores que toma la ganancia de obstrucción en cada punto de medida para el sujeto 3

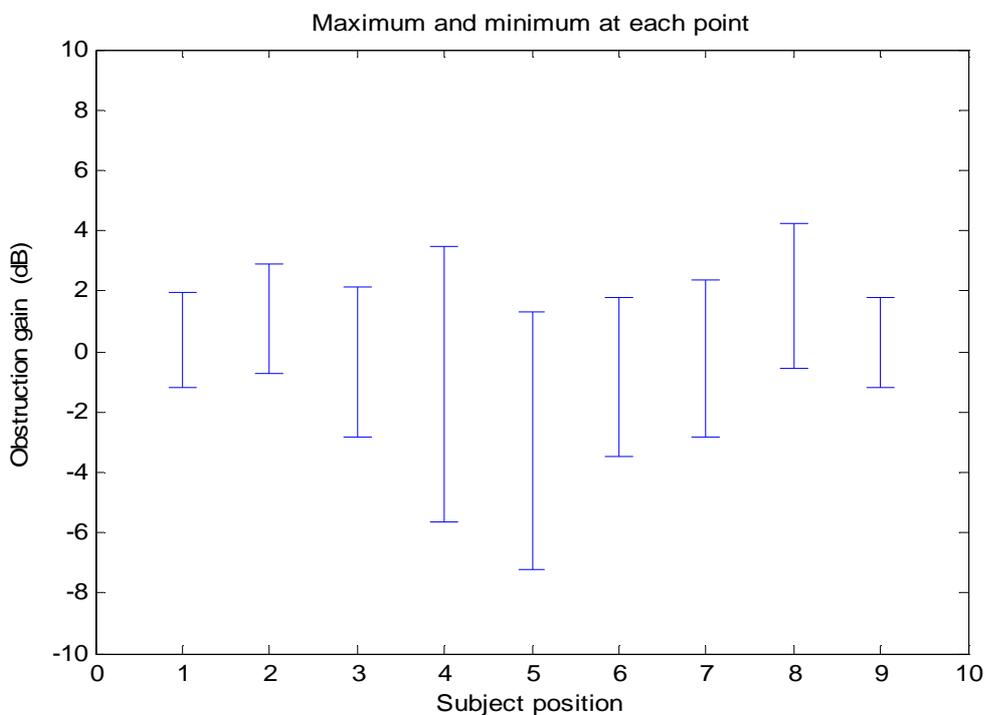


Figura 4-201: Rango de valores que toma la ganancia obstrucción en cada punto entre todos los sujetos

4.9 ESCENARIO 9

En este caso colocaremos tanto el transmisor como el receptor como el obstáculo en la planta baja del nuevo edificio de la EPS.

Se coloca el Tx y el Rx fijos a una distancia de 15 m, y se hace que el sujeto (que ejerce de obstáculo) se desplace cada metro siempre en la línea de visión entre Tx y Rx

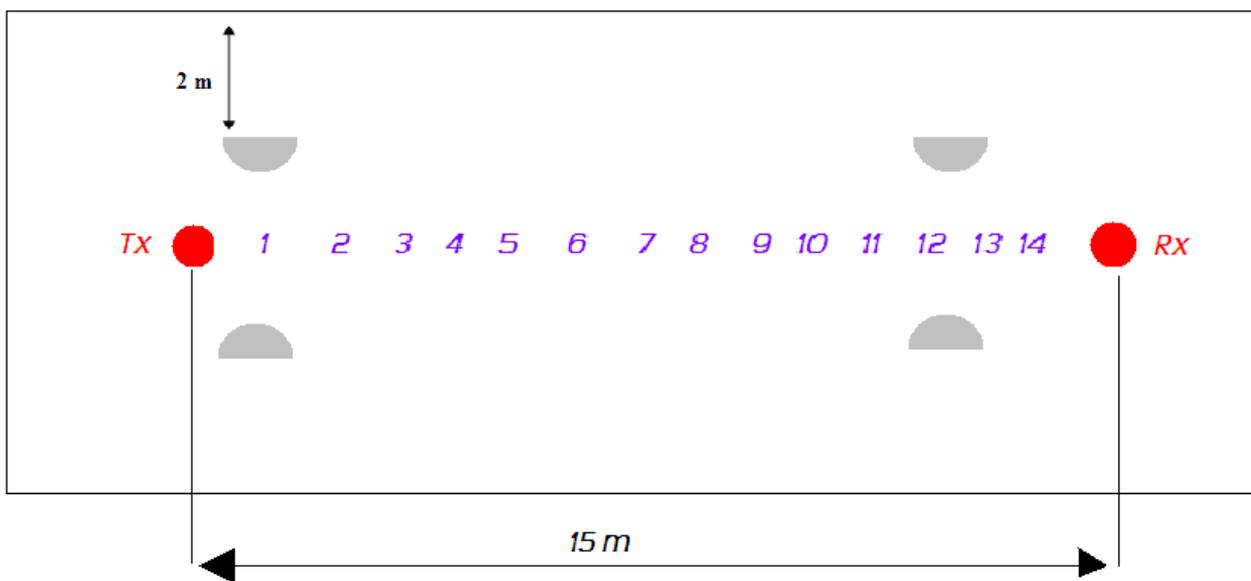


Figura 4-202: Esquema representativo de la vista de planta del escenario 9.

El escenario en el que se llevan a cabo estas medidas es el mismo que en el Escenario 1, pero con la salvedad de que en este caso, el transmisor y el receptor están fijos, y lo que varía es la posición de los distintos sujetos.

Los sujetos utilizados para realizar las medidas de este escenario son los mismos que en el Escenario 8

Banda (300-320)MHz

En las dos siguientes figuras se muestra el rango de valores que toma la ganancia de obstrucción según la posición en la que se coloquen los sujetos 1 y 2 respectivamente.

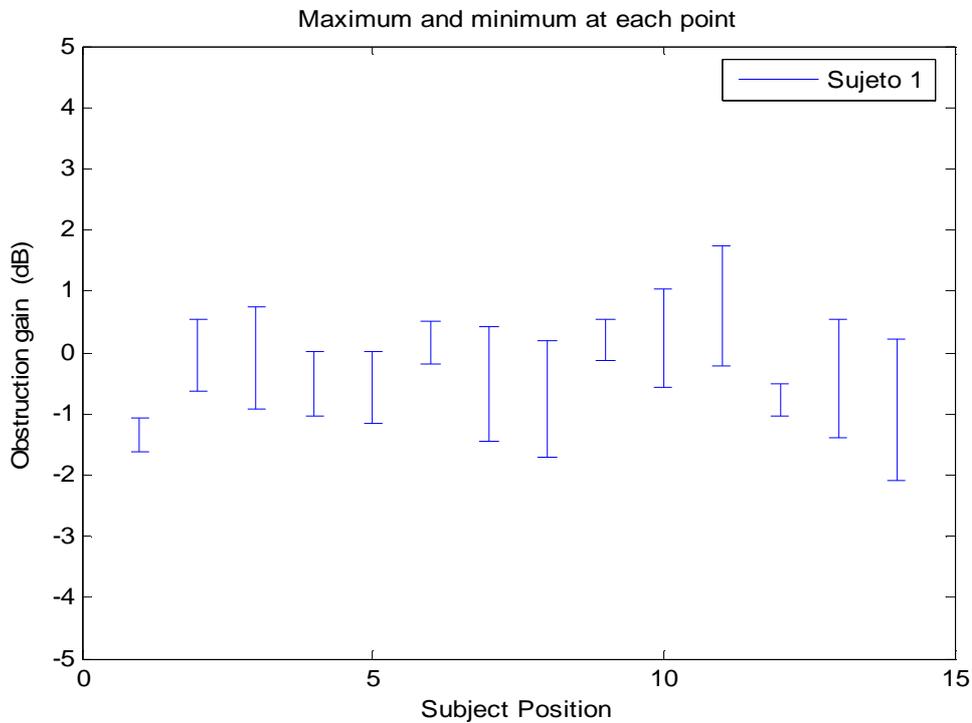


Figura 4-203: Rango de valores que toma la ganancia de obstrucción en función de las posiciones del sujeto 1

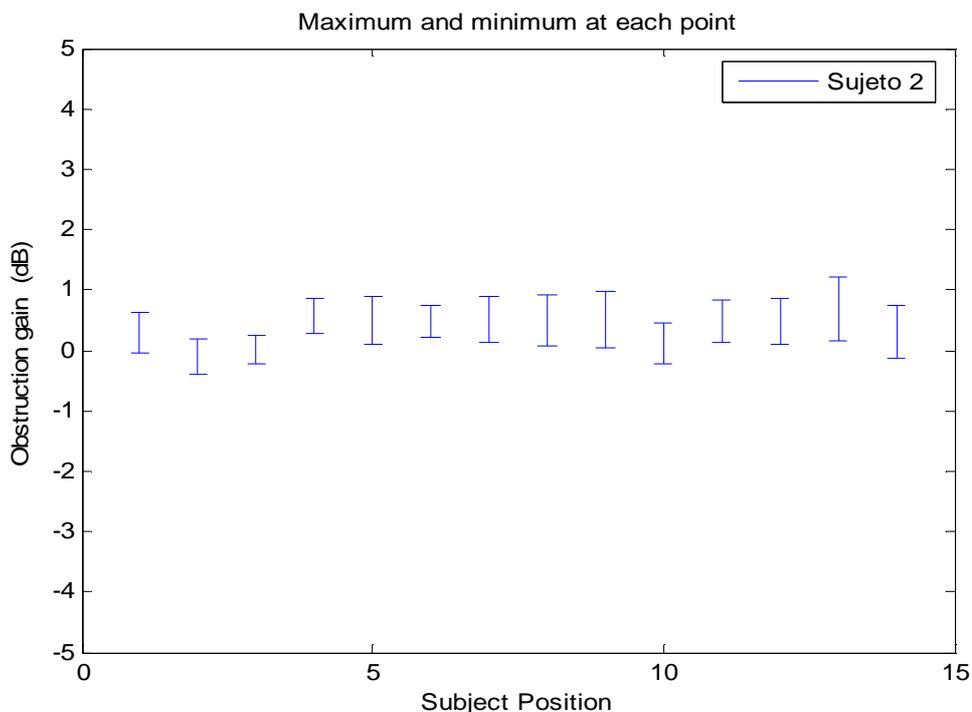


Figura 4-204: Rango de valores que toma la ganancia de obstrucción en función de las posiciones del sujeto 2

En las dos siguientes figuras se muestra el rango de valores que toma la ganancia de obstrucción según la posición en la que se coloca el sujeto 3, y el rango de valores que toma dicha ganancia de obstrucción teniendo en cuenta a todos los sujetos.

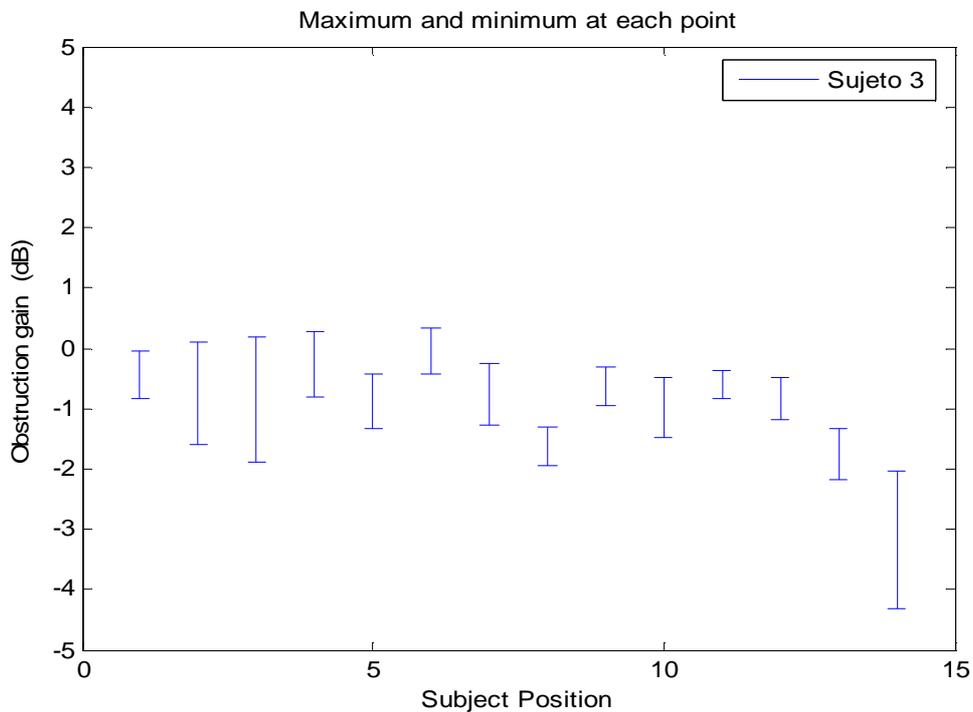


Figura 4-205: Rango de valores que toma la ganancia de obstrucción en función de las posiciones del sujeto 3

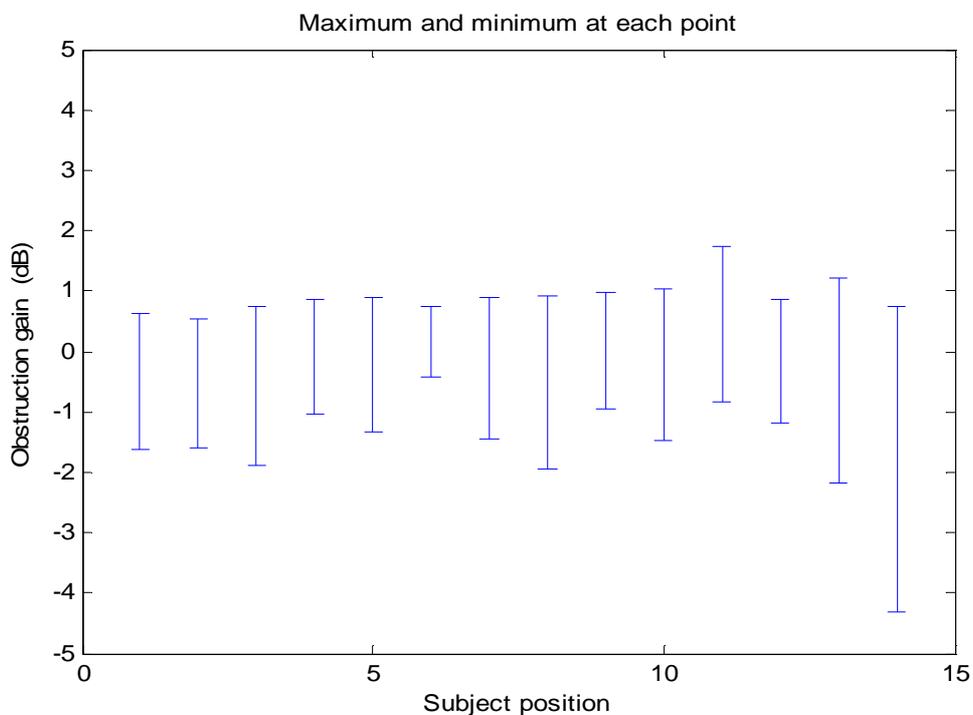


Figura 4-206: Rango de valores que toma la ganancia de obstrucción en función de las posiciones de todos los sujetos a 300 MHz

Banda (400-420)MHz

En las dos siguientes figuras se muestra el rango de valores que toma la ganancia de obstrucción según la posición en la que se coloquen los sujetos 1 y 2 respectivamente.

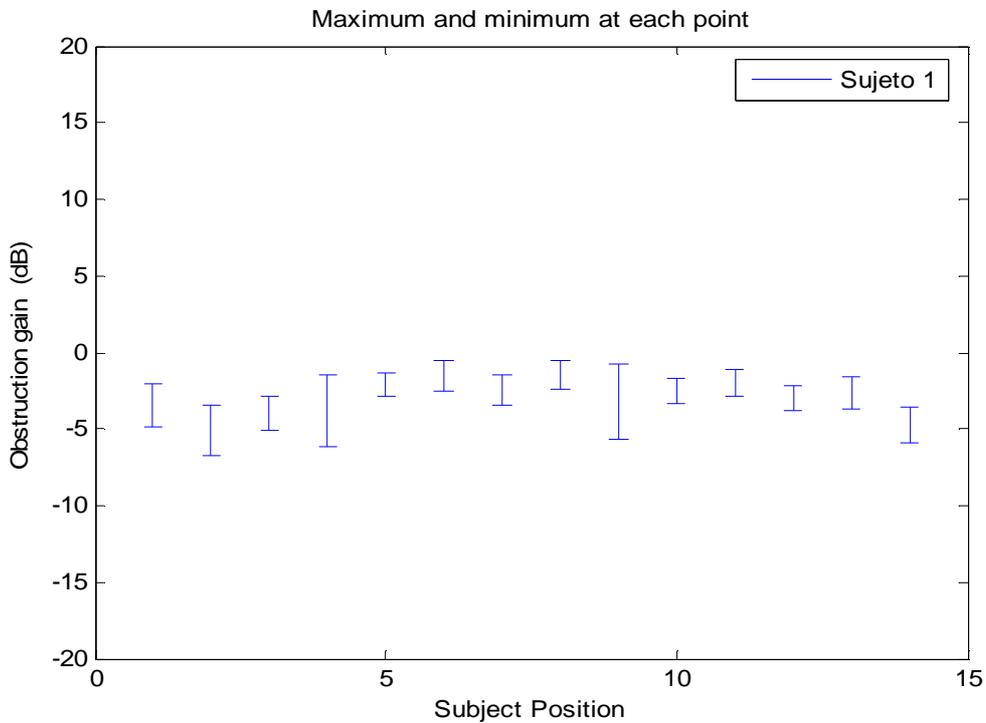


Figura 4-207: Rango de valores que toma la ganancia de obstrucción en función de las posiciones del sujeto 1

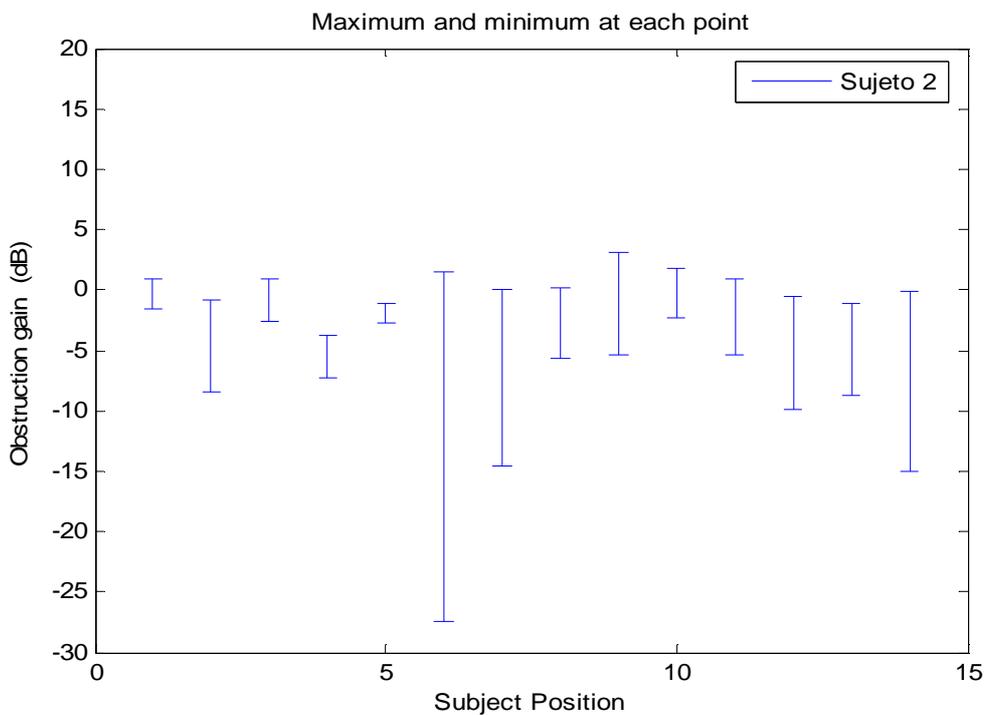


Figura 4-208: Rango de valores que toma la ganancia de obstrucción en función de las posiciones del sujeto 2

En las dos siguientes figuras se muestra el rango de valores que toma la ganancia de obstrucción según la posición en la que se coloca el sujeto 3, y el rango de valores que toma dicha ganancia de obstrucción teniendo en cuenta a todos los sujetos.

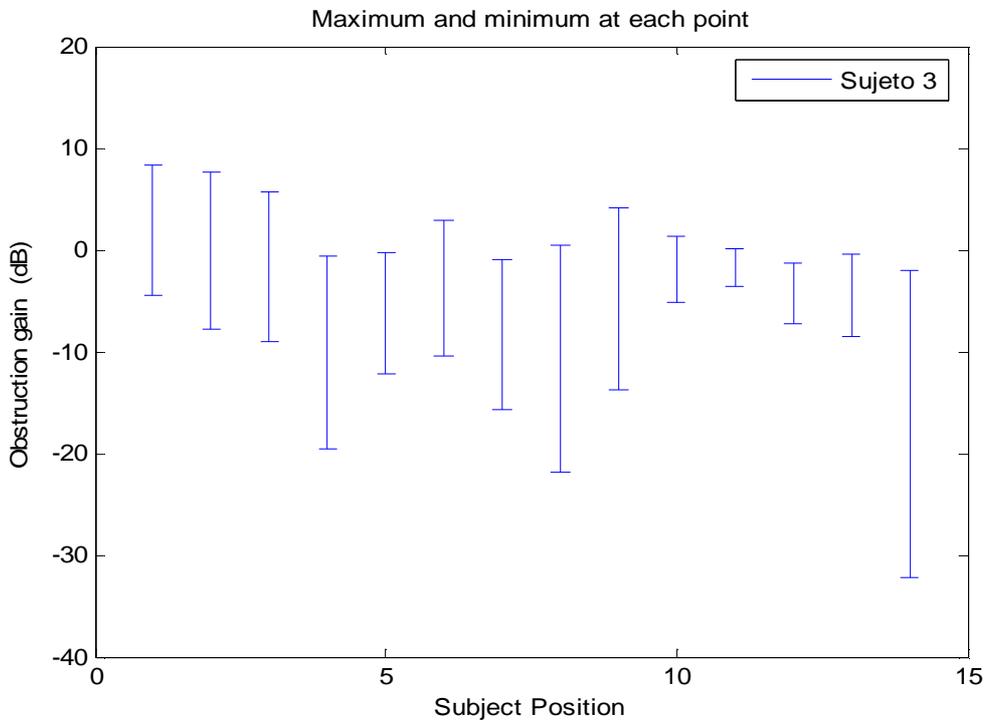


Figura 4-209: Rango de valores que toma la ganancia de obstrucción en función de las posiciones del sujeto 3

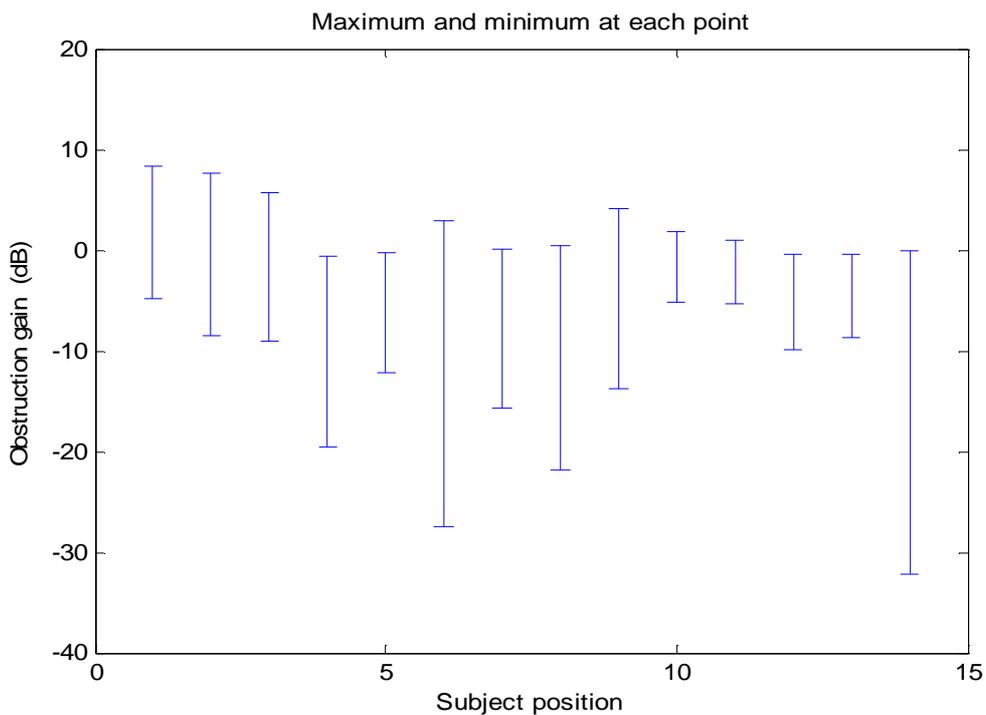


Figura 4-210: Rango de valores que toma la ganancia de obstrucción en función de las posiciones de todos los sujetos a 400 MHz

Banda (880-900)MHz

En las dos siguientes figuras se muestra el rango de valores que toma la ganancia de obstrucción según la posición en la que se coloquen los sujetos 1 y 2 respectivamente.

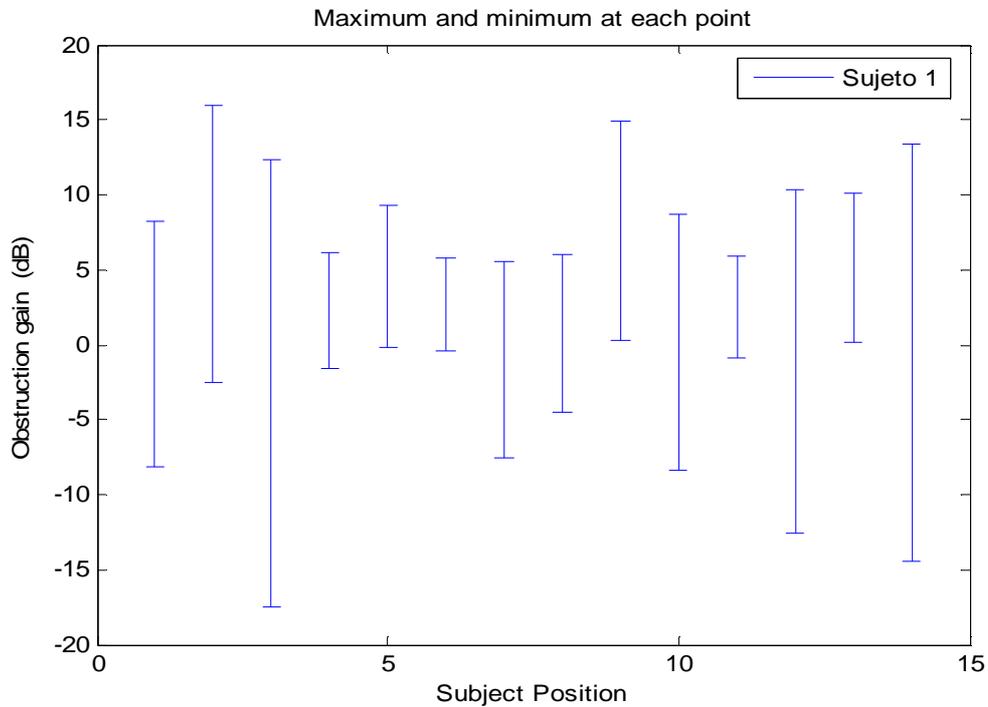


Figura 4-211: Rango de valores que toma la ganancia de obstrucción en función de las posiciones del sujeto 1

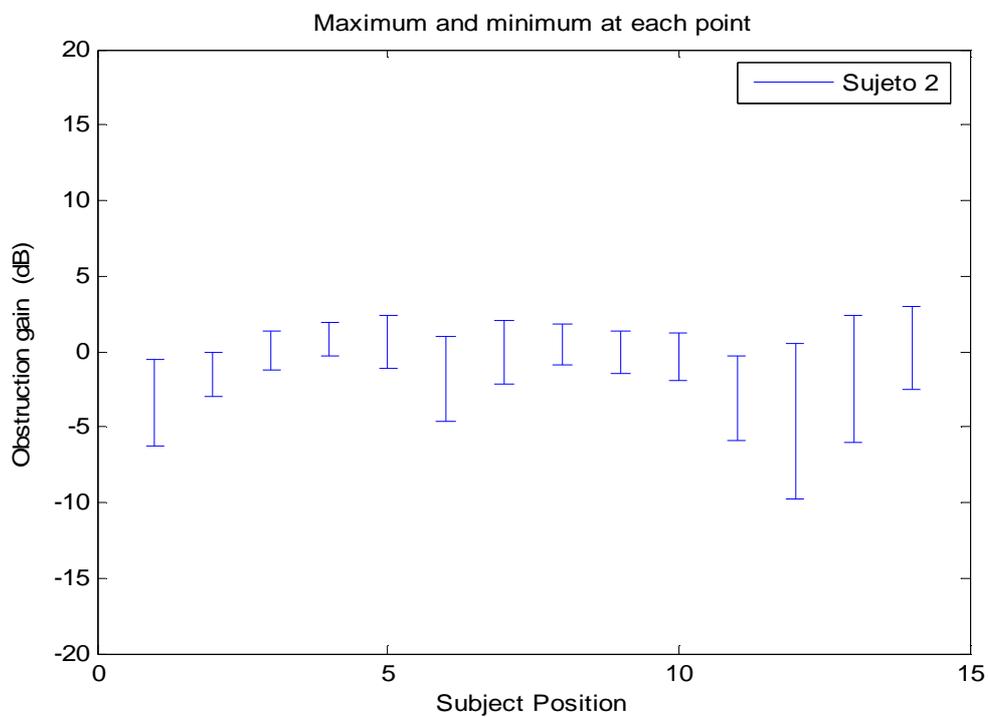


Figura 4-212: Rango de valores que toma la ganancia de obstrucción en función de las posiciones del sujeto 2

En las dos siguientes figuras se muestra el rango de valores que toma la ganancia de obstrucción según la posición en la que se coloca el sujeto 3, y el rango de valores que toma dicha ganancia de obstrucción teniendo en cuenta a todos los sujetos.

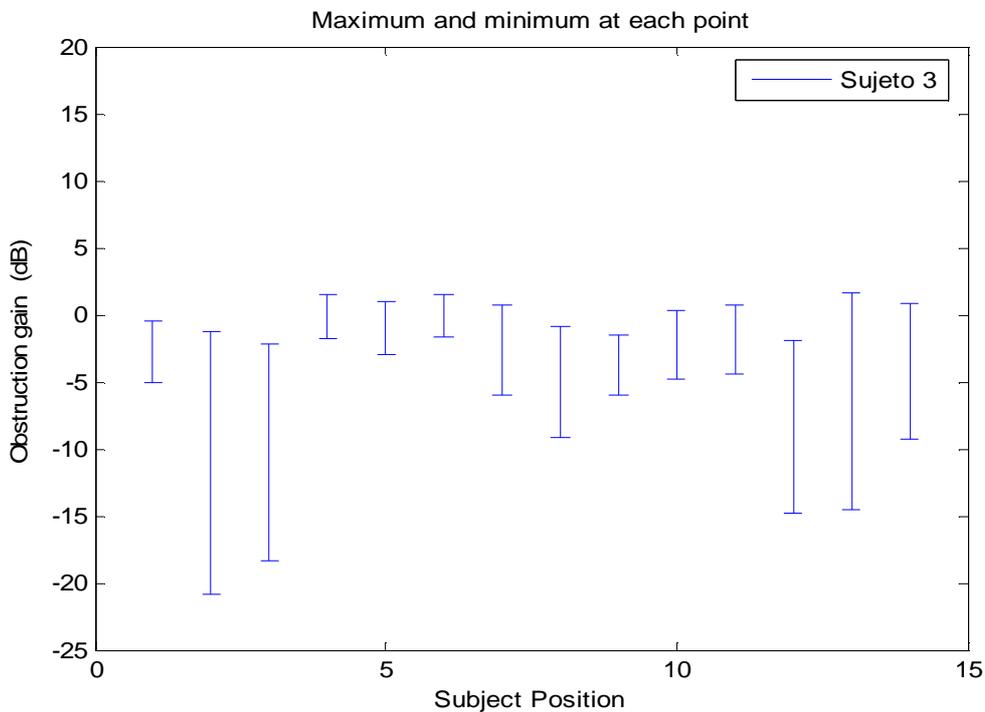


Figura 4-213: Rango de valores que toma la ganancia de obstrucción en función de las posiciones del sujeto 3

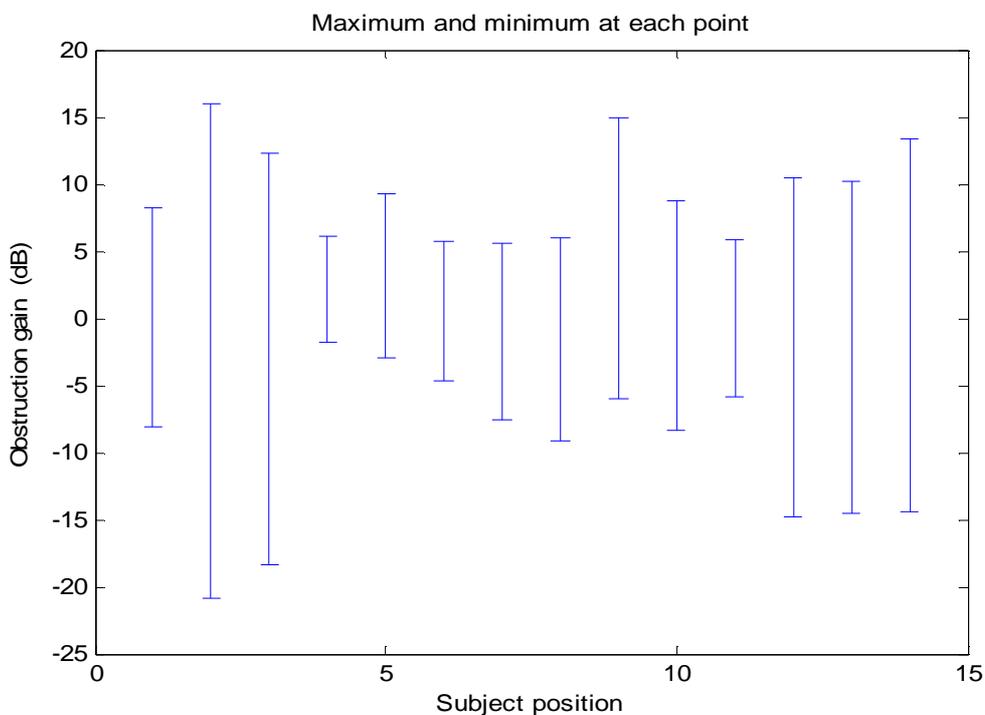


Figura 4-214: Rango de valores que toma la ganancia de obstrucción en función de las posiciones de todos los sujetos a 900 MHz

4.10 ESCENARIO 10

Este caso es similar al anterior, pero en un pasillo que tiene paredes a un lado y pared incompleta al otro

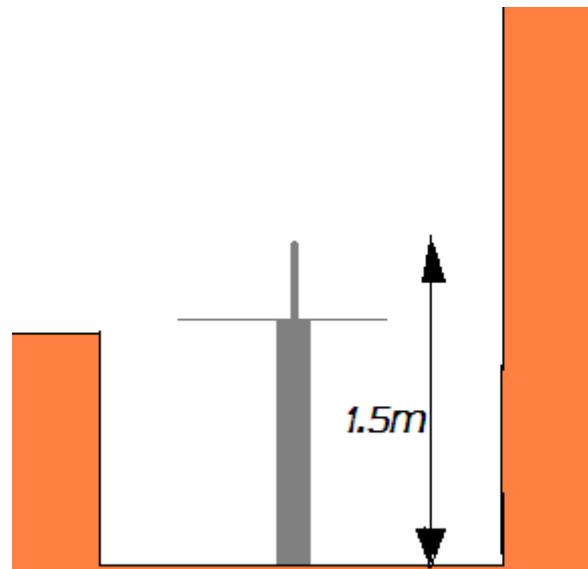


Figura 4-215: Esquema representativo de la vista de perfil del escenario 10.

Vista de planta

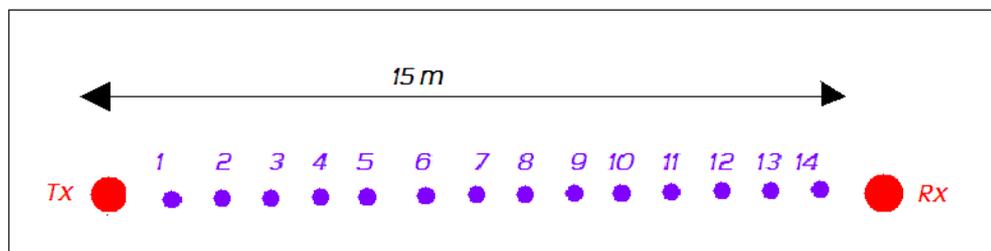


Figura 4-216: Esquema representativo de la vista de planta del escenario 10.

Los sujetos analizados son los mismos que en los Escenarios 8 y 9

Banda (300-320)MHz

En las dos siguientes figuras se muestra el rango de valores que toma la ganancia de obstrucción según la posición en la que se coloquen los sujetos 1 y 2 respectivamente.

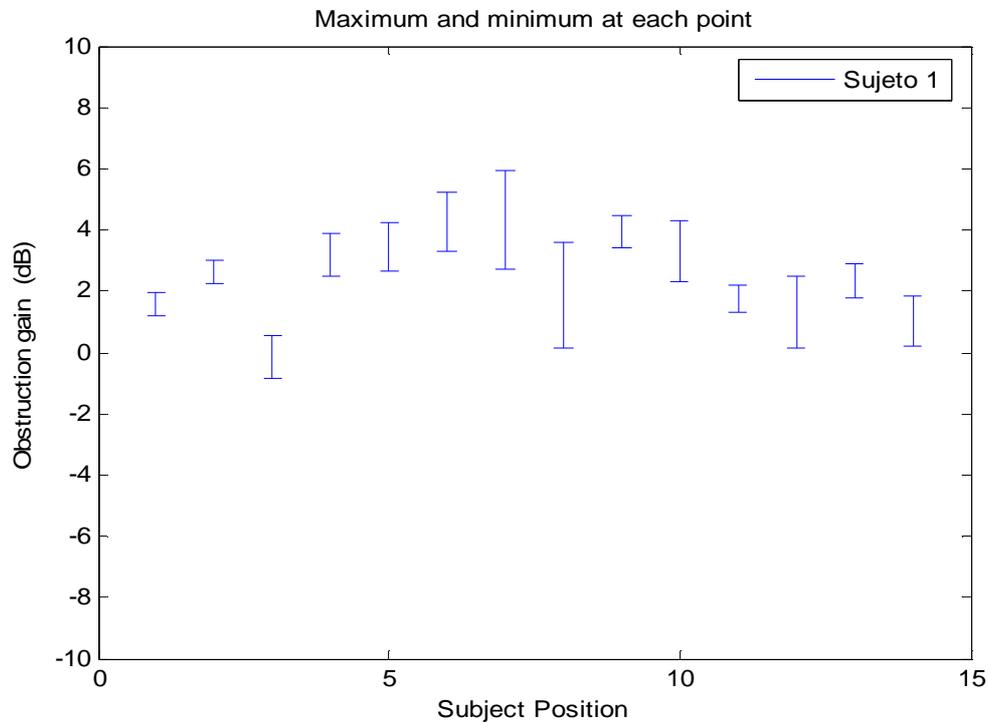


Figura 4-217: Rango de valores que toma la ganancia de obstrucción en función de las posiciones del sujeto 1

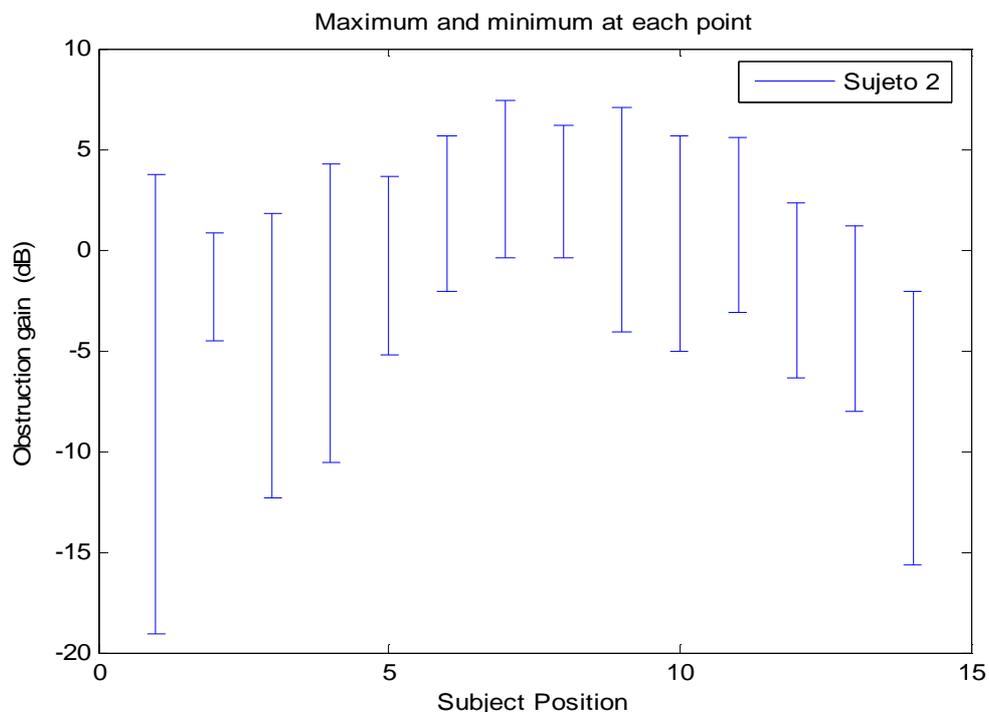


Figura 4-218: Rango de valores que toma la ganancia de obstrucción en función de las posiciones del sujeto 2

En las dos siguientes figuras se muestra el rango de valores que toma la ganancia de obstrucción según la posición en la que se coloca el sujeto 3, y el rango de valores que toma dicha ganancia de obstrucción teniendo en cuenta a todos los sujetos.

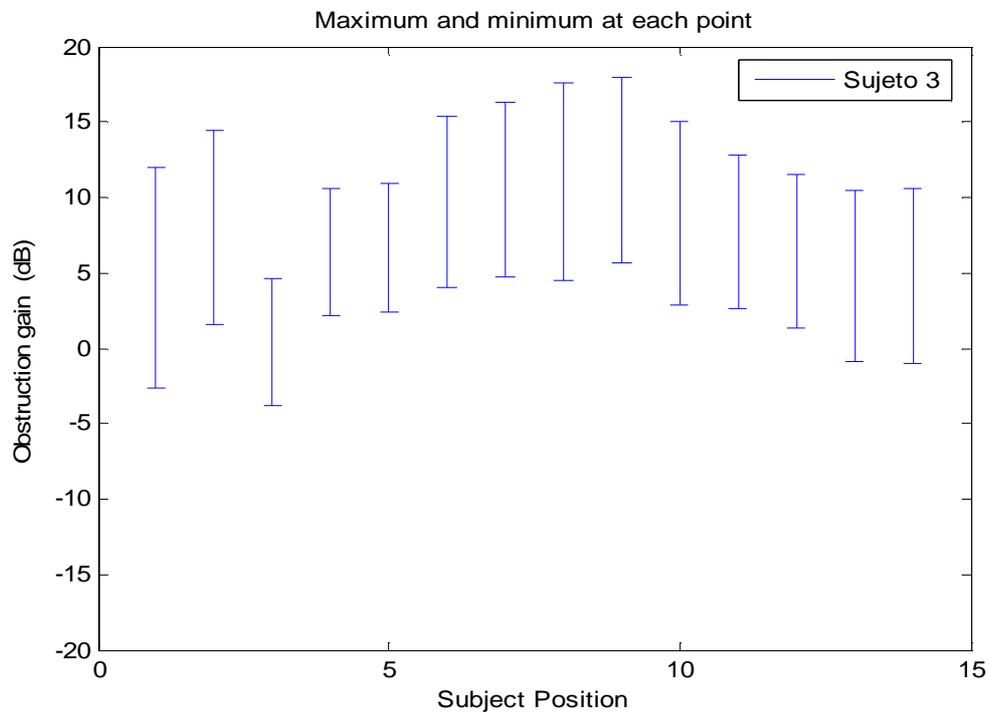


Figura 4-219: Rango de valores que toma la ganancia de obstrucción en función de las posiciones del sujeto 2

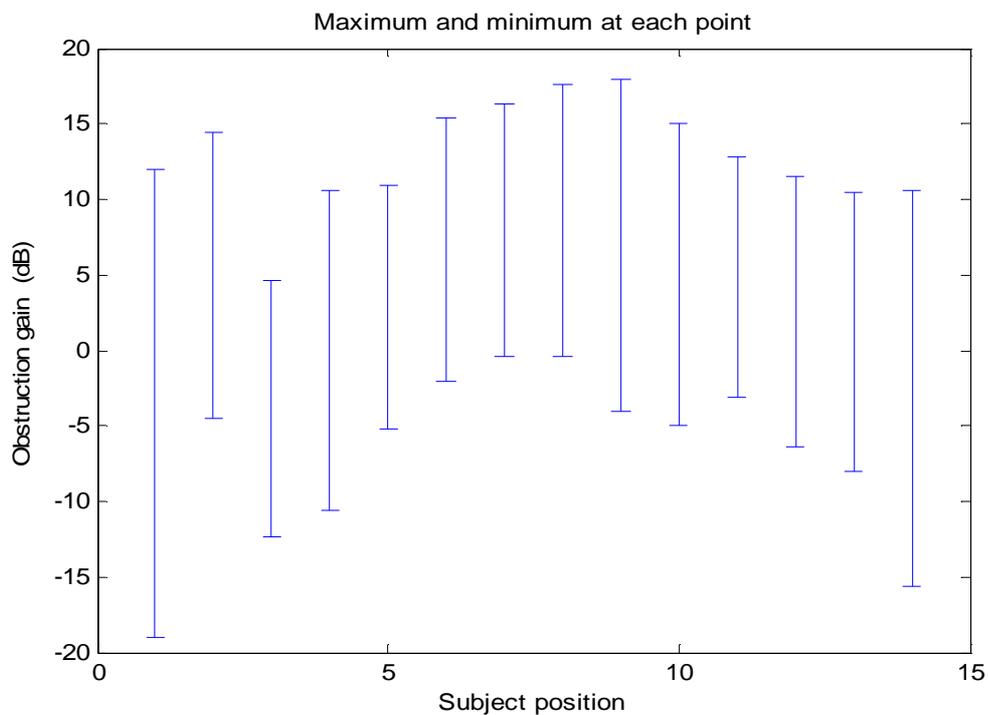


Figura 4-220: Rango de valores que toma la ganancia de obstrucción en función de las posiciones de todos los sujetos a 300 MHz

Banda (400-420)MHz

En las dos siguientes figuras se muestra el rango de valores que toma la ganancia de obstrucción según la posición en la que se coloquen los sujetos 1 y 2 respectivamente.

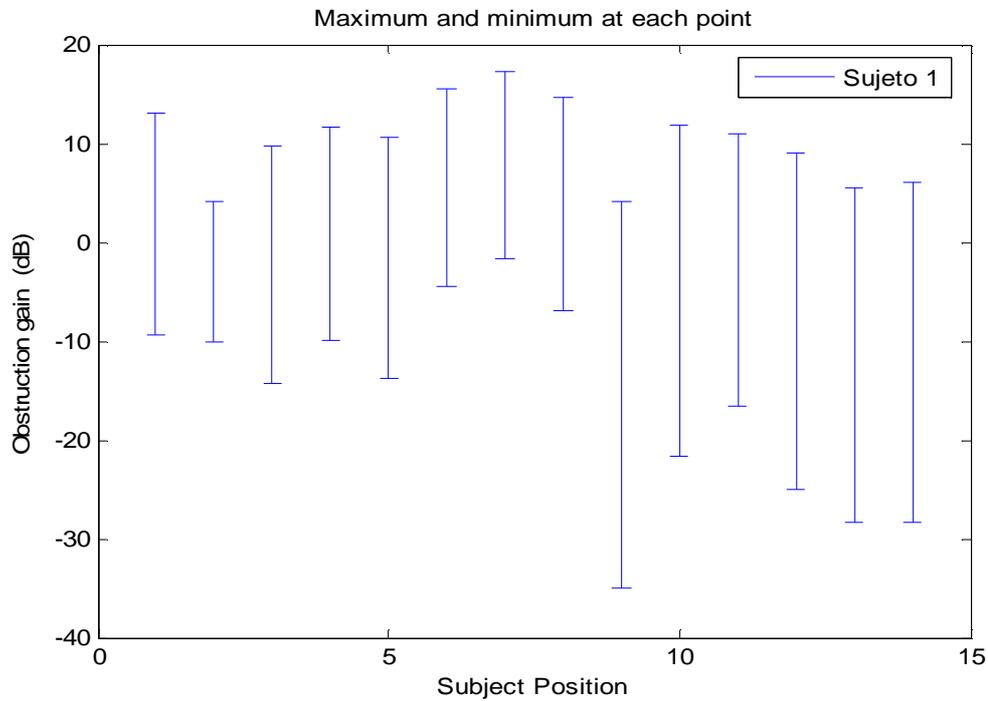


Figura 4-221: Rango de valores que toma la ganancia de obstrucción en función de las posiciones del sujeto 1

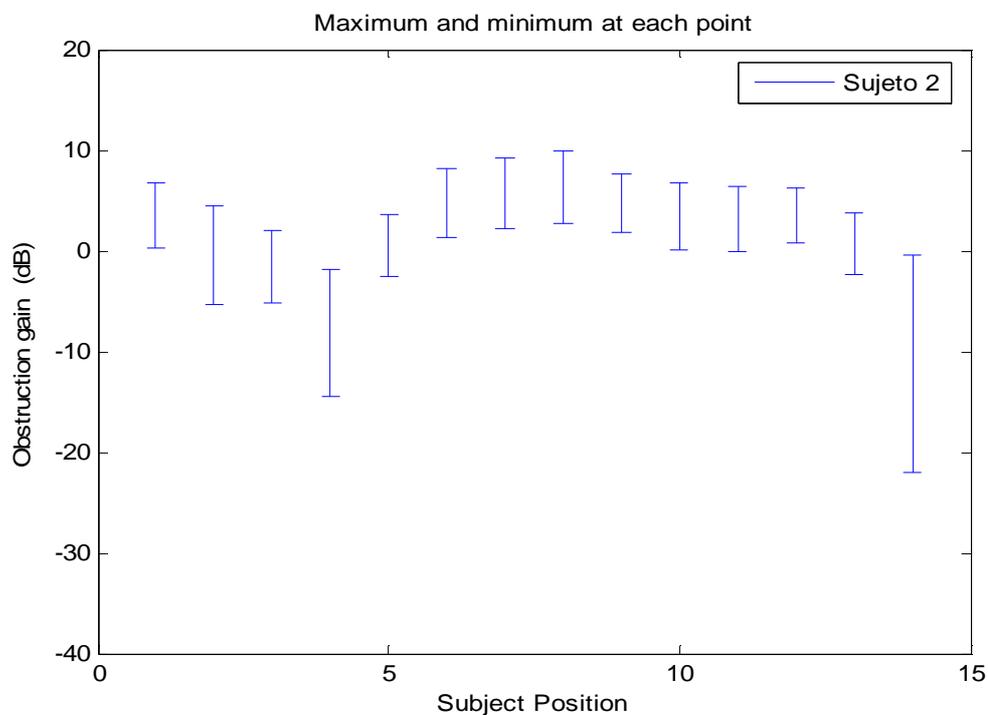


Figura 4-222: Rango de valores que toma la ganancia de obstrucción en función de las posiciones del sujeto 2

En las dos siguientes figuras se muestra el rango de valores que toma la ganancia de obstrucción según la posición en la que se coloca el sujeto 3, y el rango de valores que toma dicha ganancia de obstrucción teniendo en cuenta a todos los sujetos.

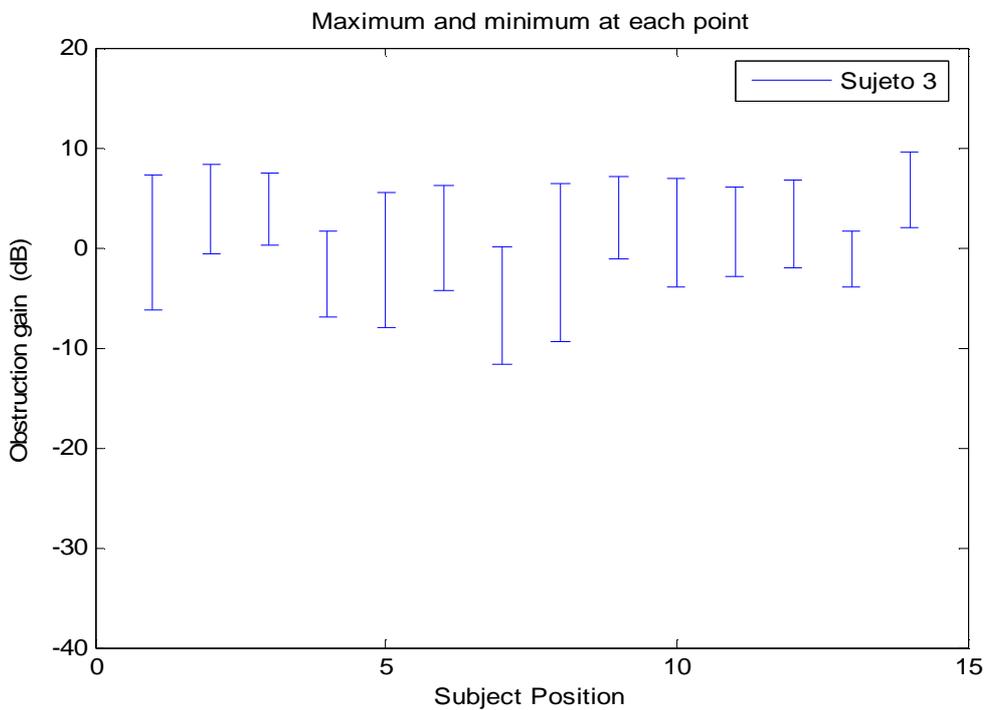


Figura 4-223: Rango de valores que toma la ganancia de obstrucción en función de las posiciones del sujeto 3

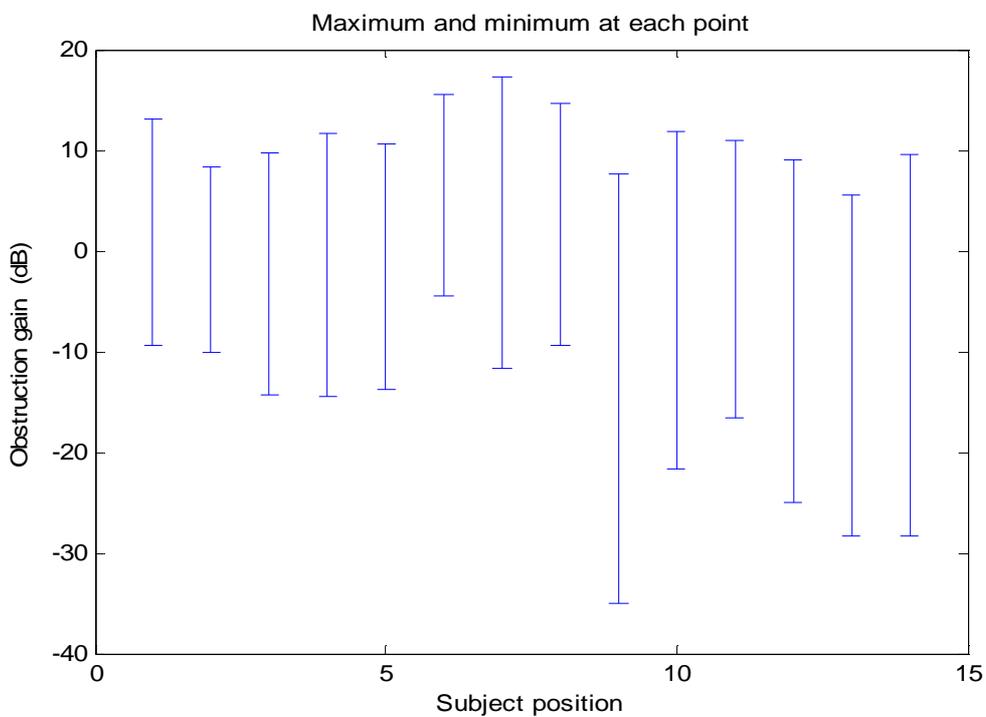


Figura 4-224: Rango de valores que toma la ganancia de obstrucción en función de las posiciones de todos los sujetos a 400 MHz

Banda (880-900)MHz

En las dos siguientes figuras se muestra el rango de valores que toma la ganancia de obstrucción según la posición en la que se coloquen los sujetos 1 y 2 respectivamente.

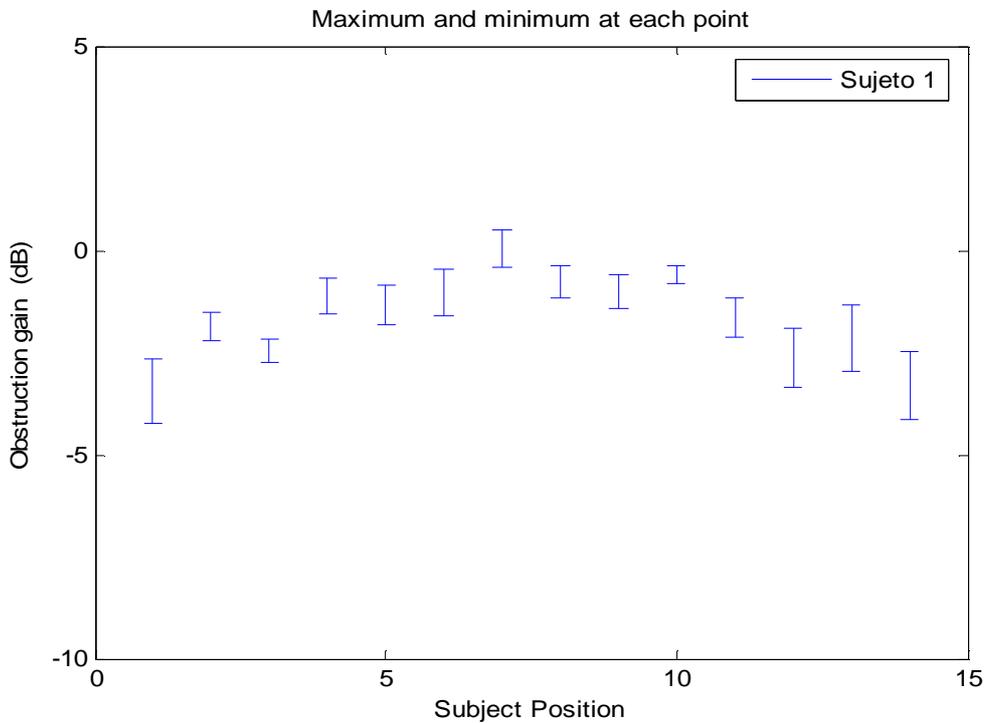


Figura 4-225: Rango de valores que toma la ganancia de obstrucción en función de las posiciones del sujeto 1

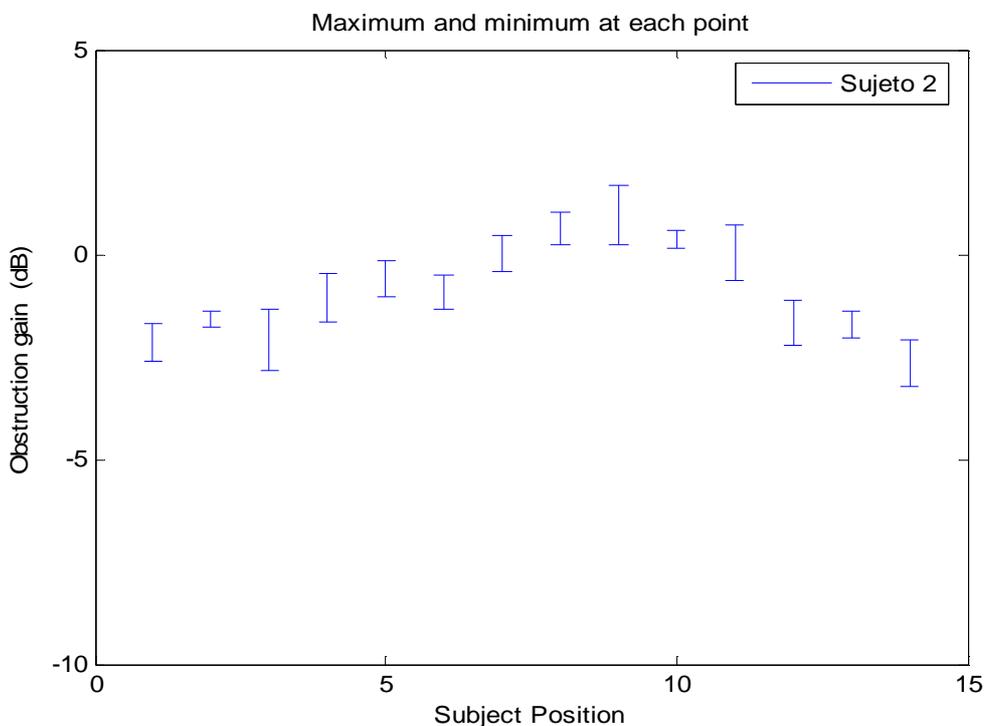


Figura 4-226: Rango de valores que toma la ganancia de obstrucción en función de las posiciones del sujeto 2

En las dos siguientes figuras se muestra el rango de valores que toma la ganancia de obstrucción según la posición en la que se coloca el sujeto 3, y el rango de valores que toma dicha ganancia de obstrucción teniendo en cuenta a todos los sujetos.

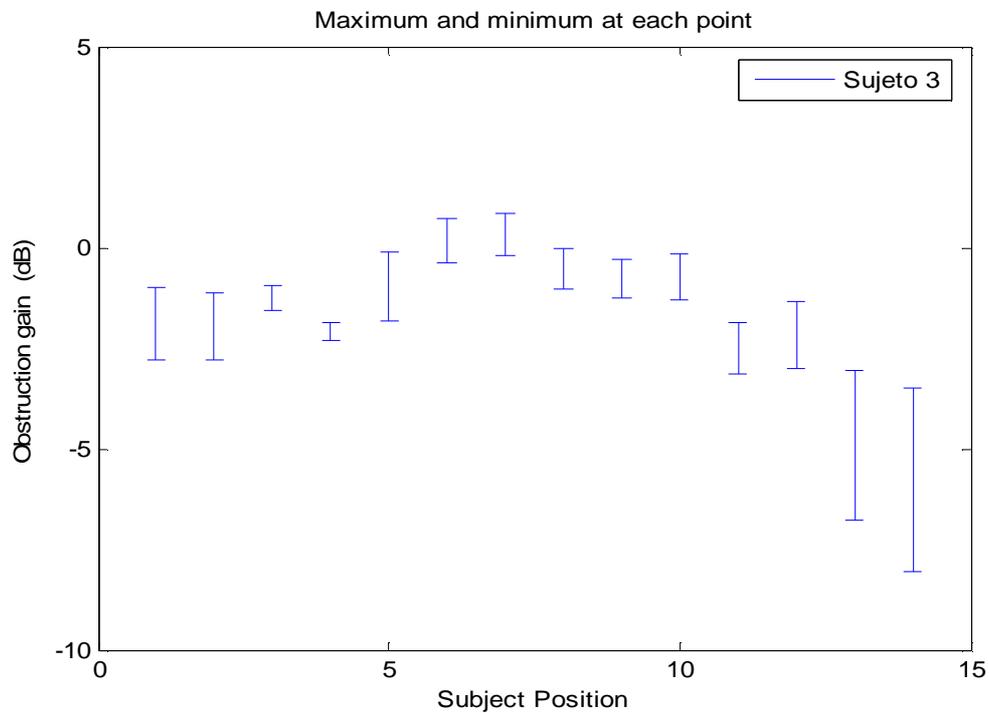


Figura 4-227: Rango de valores que toma la ganancia de obstrucción en función de las posiciones del sujeto 3

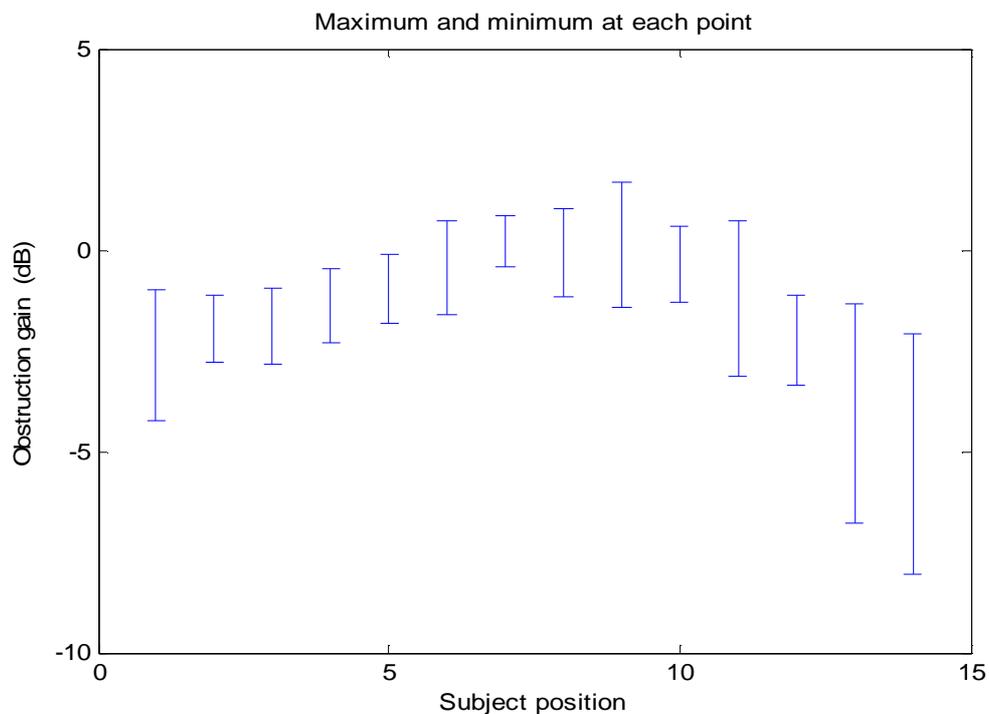


Figura 4-228: Rango de valores que toma la ganancia de obstrucción en función de las posiciones de todos los sujetos a 900 MHz

A lo largo de estos tres últimos escenarios (Escenarios 8,9 y 10) se ha medido el efecto de la presencia de distintas personas ejerciendo de obstáculo en distintas posiciones entre la antena transmisora y receptora para distintas bandas frecuenciales. Para ello, o bien se ha colocado la antena transmisora en un aula, la receptora en otra, y a los obstáculos (personas) en 9 posiciones distintas dentro del aula del medio tal y como se puede apreciar en la Figura 4-187, o bien se ha colocado a los sujetos a lo largo de la línea de visión entre transmisor y receptor tal y como se aprecia en la Figura 4-202 en el caso de estar en un corredor, o en la Figura 4-216 en el caso de estar en un pasillo con pared completa a un lado e incompleta al otro.

Después de analizar los resultados obtenidos, se puede observar que según el sujeto, la posición en la que se coloca, y la frecuencia analizada, en ocasiones la ganancia de obstrucción toma valores negativos y otras veces valores positivos. La manera de interpretar estos valores positivos es que el sujeto que ejerce de obstáculo se coloca en una posición en la que tiene un efecto beneficioso sobre la señal, es decir, está obstruyendo alguna de las trayectorias provocadas por multitrayecto o difracción de la señal con objetos metálicos que estaban teniendo un efecto perjudicial para la señal. Mientras que la manera de interpretar los valores negativos es que el sujeto está obstaculizando la trayectoria directa entre transmisor y receptor o alguna de las trayectorias provocadas por reflexión que estaban teniendo un efecto beneficioso para la señal.

En los escenarios 9 y 10 se puede observar que cuando el sujeto que ejerce de obstáculo se coloca en las posiciones más cercanas a las antenas (posiciones 1,2, 13 y 14) en general es cuando provocan más atenuación (ganancia de obstrucción mas negativa) ya que en estos casos, el sujeto está ejerciendo de obstáculo a la trayectoria directa. Esto se observa claramente en el análisis realizado en el escenario 10 empleando las antenas que funcionan entre 300 MHz y 320 MHz, en el que se puede apreciar que en dichas posiciones se produce una atenuación de hasta 20dB respecto a la situación inicial.

4.11 ESCENARIO 11

El primer escenario sobre propagación Indoor- Outdoor consiste en transmitir desde la tercera planta del edificio C de la EPS y recibir en distintos puntos de la entrada del edificio (planta 0).



Figura 4-229: Esquema representativo de la vista de perfil del escenario 11. (Transmisión desde la planta 3 y recepción en distintos puntos del exterior de la planta baja)

Una vez que llegamos a los 22 m, también mediremos desplazándonos hacia la derecha cada 2 m hasta encontrar la sensibilidad del sistema.

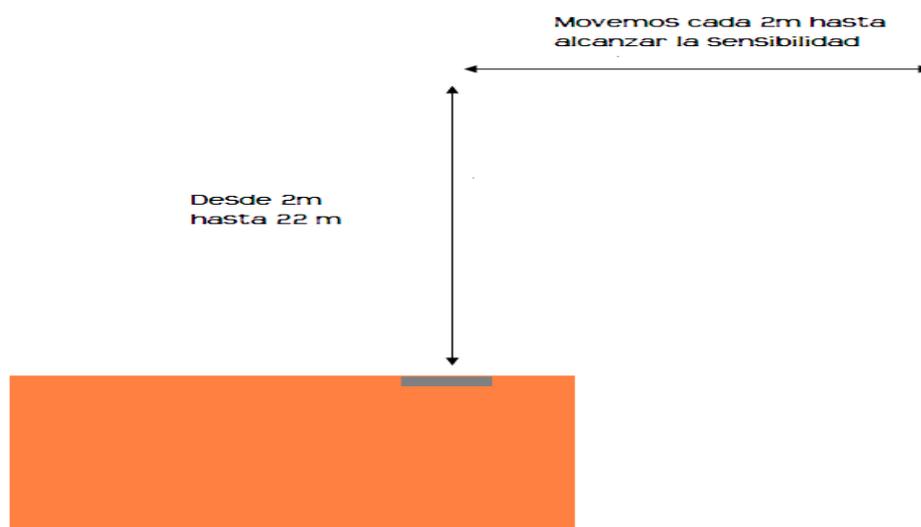


Figura 4-230: Esquema representativo de la vista de planta del escenario 11. (Transmisión desde la planta 3 y recepción en distintos puntos del exterior de la planta baja)

En las siguientes figuras se muestra la ganancia básica de propagación en función de los distintos puntos de medida, utilizando las antenas que resuenan a 310 MHz y 410 MHz respectivamente.

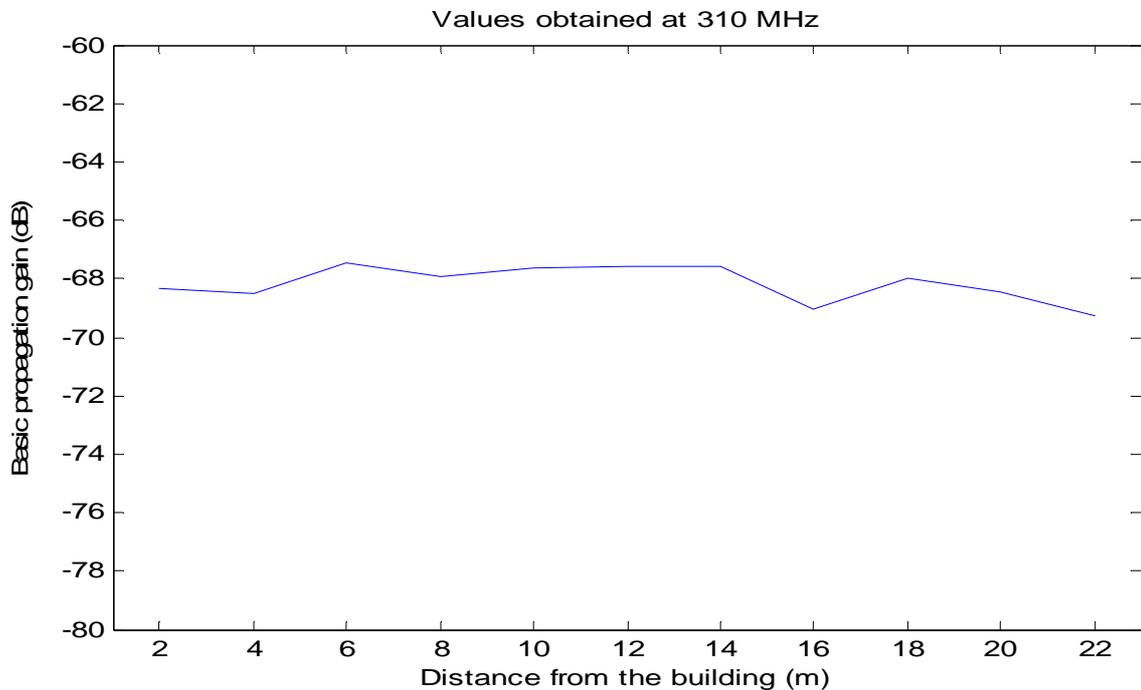


Figura 4-231: Ganancia básica de propagación en función de los distintos puntos de medida .

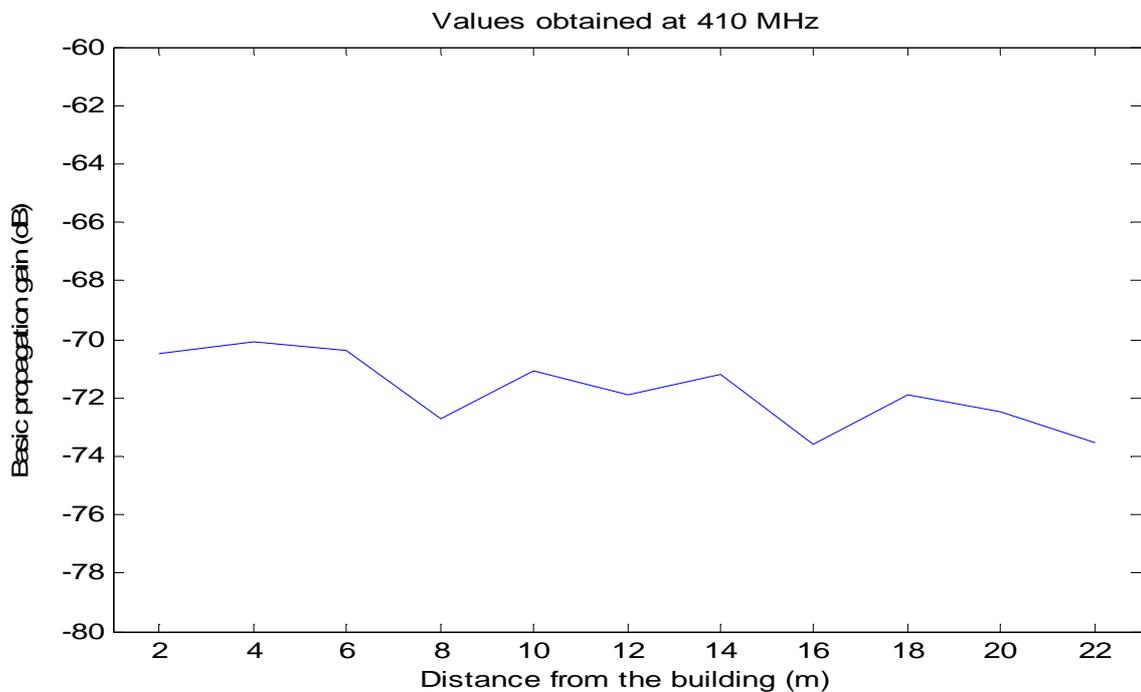


Figura 4-232: Ganancia básica de propagación en función de los distintos puntos de medida

Comparando las Figuras 4-222 y 4-223 se puede observar que el perfil de la ganancia básica de propagación en función de los puntos de medida es muy similar empleando las antenas que resuenan a 310 MHz y las que lo hacen a 410 MHz, y que en ambos casos, pese a producirse un aumento en la distancia del enlace, la ganancia básica de propagación permanece prácticamente constante (varía 3 o 4 dB como mucho). Esto es debido a que el aumento en la distancia se compensa con el aumento de la ganancia respecto al plano vertical.

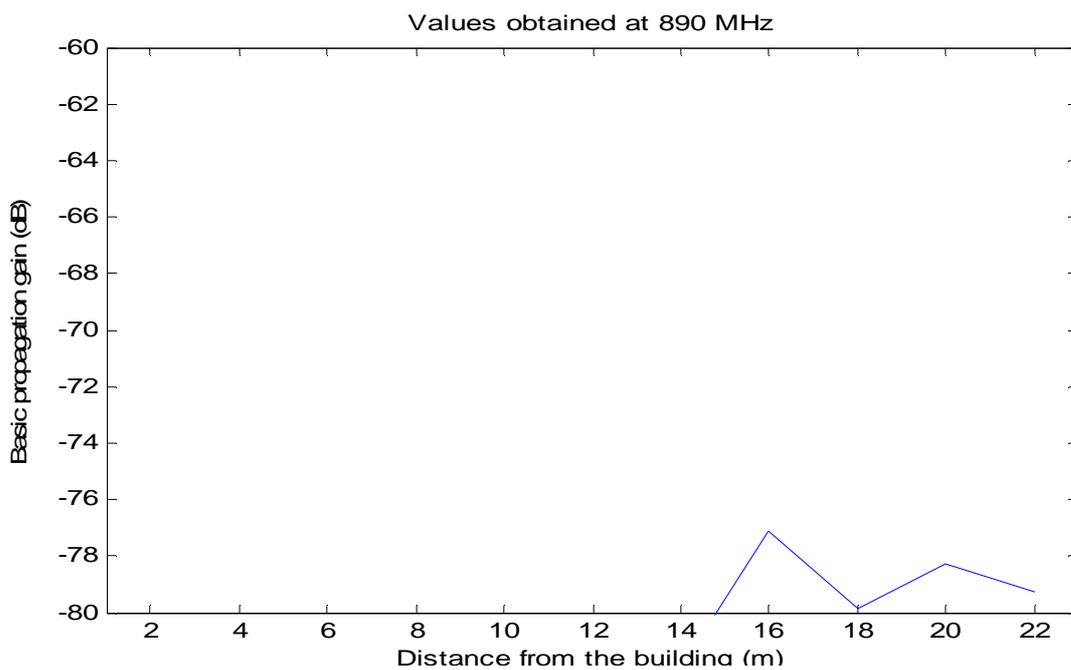


Figura 4-233: Ganancia básica de propagación en función de los distintos puntos de medida

Utilizando las antenas que trabajan entre 880 MHz y 900 MHz observamos este curioso efecto en el que a distancias cortas la potencia recibida es menor que la sensibilidad, y en cambio, conforme aumenta la distancia encuentra puntos en los que si que recibe mas potencia.

Esto probablemente sea debido, a que pese a que aumenta la distancia del enlace, conforme nos alejamos, la visión directa entre ambas antenas es cada vez mejor, y por tanto, a grandes distancias observamos que el comportamiento de la señal mejora.

La Tabla 4-9 presenta los resultados obtenidos generando una señal de 10 dBm de potencia a la frecuencia central con el generador de señales y viendo el valor obtenido en el analizador de espectros.

Tabla 4-9: Tabla de valores de la ganancia básica de propagación realizando un desplazamiento desde una distancia de 2m de la puerta hasta 22 m más adelante.

Frecuencia	2m	4m	6m	8m	10m	12m
310 MHz	-68,31	-68,52	-67,45	-67,93	-67,66	-67,58
410 MHz	-70,49	-70,07	-70,36	-72,71	-71,11	-71,9
890 MHz	SS	SS	SS	SS	-80,81	SS
Frecuencia	14m	16m	18m	20m	22m	
310 MHz	-67,55	-69,03	-67,98	-68,44	-69,24	
410 MHz	-71,17	-73,62	-71,88	-72,48	-73,54	
890 MHz	-81,86	-77,13	-79,86	-78,25	-79,24	

La conclusión principal que se puede extraer de este escenario es que el efecto que tiene el acercar o alejar la antena receptora en este caso es casi despreciable, ya que como se ha explicado anteriormente, el aumento de la distancia del enlace se compensa con el aumento de la ganancia de las antenas respecto al plano vertical.

En las siguientes gráficas se muestra la ganancia básica de propagación en función de los distintos puntos de medida, utilizando las antenas que resuenan a 310 MHz, 410 MHz y 890 MHz respectivamente.

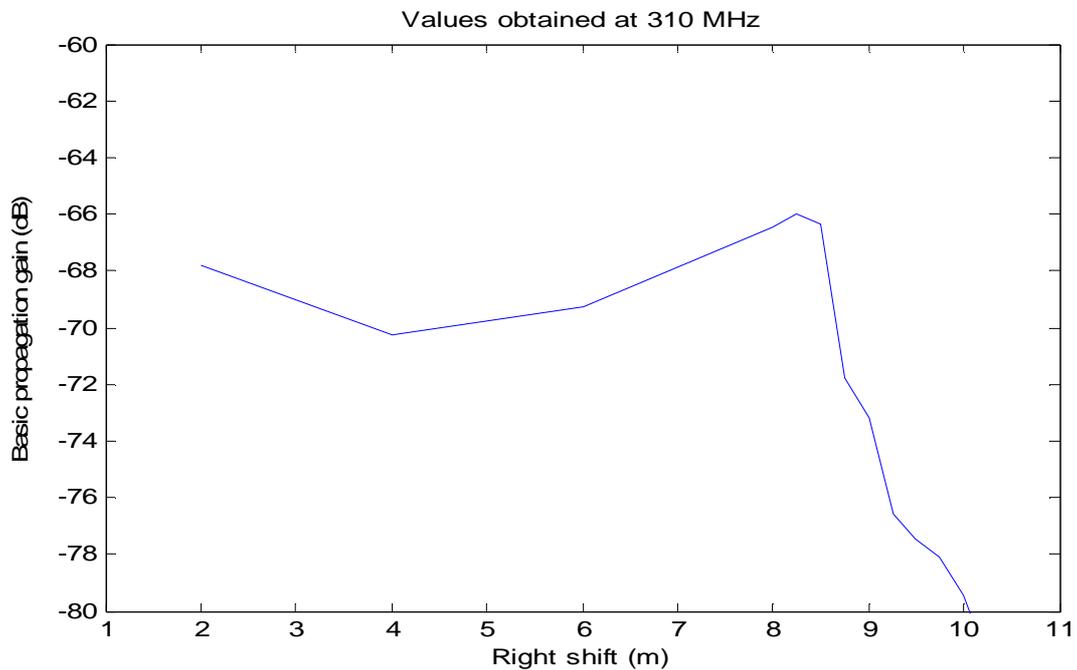


Figura 4-234: Ganancia básica de propagación en función de los distintos puntos de medida utilizando antenas que trabajan entre 300 MHz y 320 MHz

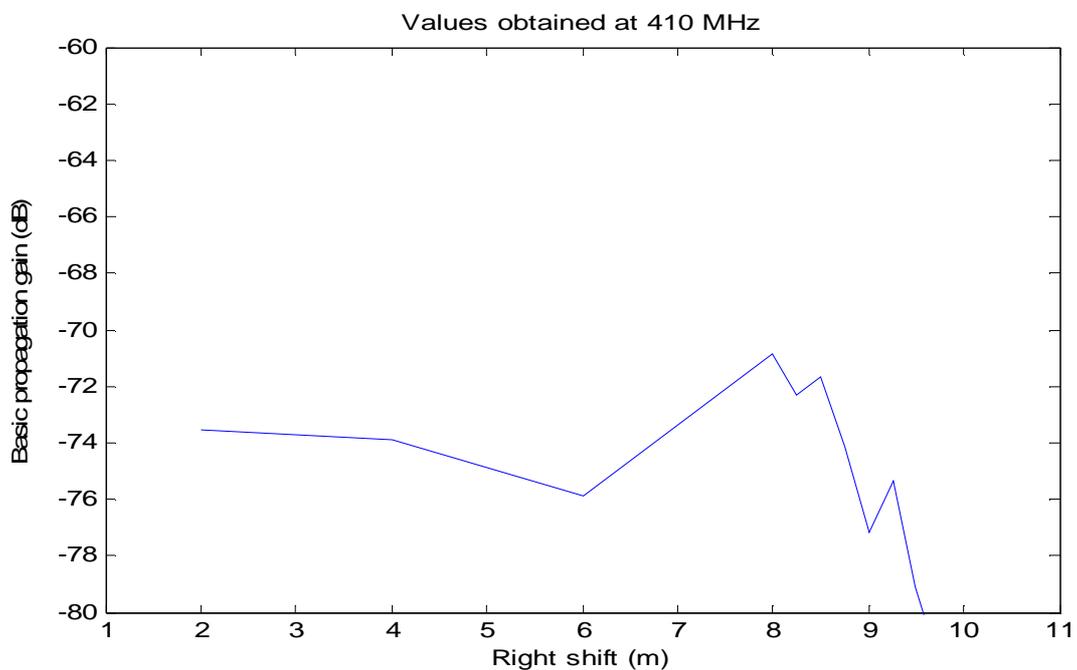


Figura 4-235: Ganancia básica de propagación en función de los distintos puntos de medida utilizando antenas que trabajan entre 400 MHz y 420 MHz

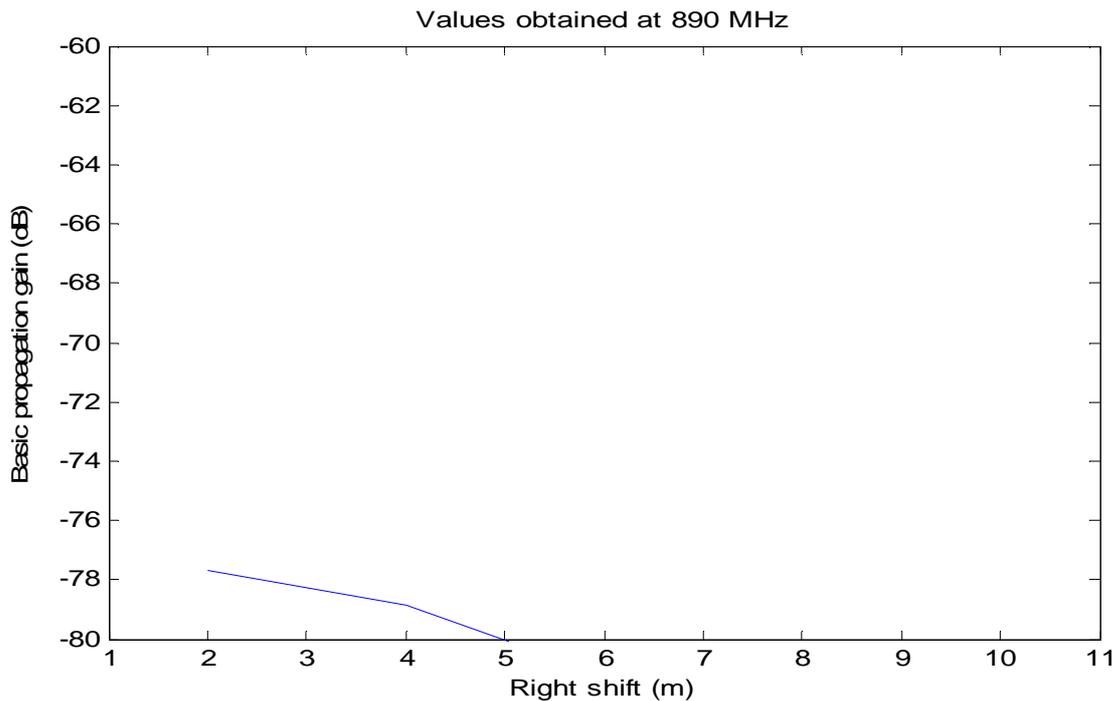


Figura 4-236: Ganancia básica de propagación en función de los distintos puntos de medida utilizando antenas que trabajan entre 880MHz y 900 MHz

En este caso si que conforme aumenta la distancia en nuestro desplazamiento a la derecha, la potencia de la señal recibida es cada vez menor.

Ahora se muestran las tablas que recogen los resultados de este escenario.

Tabla 4-10: Tabla de valores de la ganancia básica de propagación realizando un desplazamiento desde una distancia de 22m de la puerta hacia la derecha

Frecuencia	2m	4m	6m	8m	10m	12m
310 MHz	-67,79	-70,26	-69,27	-66,46	-79,44	SS
410 MHz	-73,51	-73,88	-75,85	-70,83	-83,64	SS
890 MHz	-77,68	-78,88	-81,15	SS	SS	SS

Se observa que entre los puntos de 8m a 10 m hay una gran pérdida de potencia, por lo tanto analizo esa distancia variando la posición de la antena cada 25 cm

Tabla 4-11: Búsqueda del punto en el que se produce una gran pérdida de potencia.

Frecuencia	8,25m	8,5m	8,75m	9m	9,25m	9,5m	9,75m
310 MHz	-66,02	-66,36	-71,8	-73,16	-76,56	-77,48	-78,12
410 MHz	-72,31	-76,4	-74,12	-77,14	-75,36	-79,12	-81,95

4.12 ESCENARIO 12

Este tercer escenario consistirá en transmitir desde uno de los despachos de la segunda planta del edificio C de la EPS y colocar la antena receptora en la parte trasera del mismo. Iremos realizando medidas en diferentes posiciones.

La primera parte consistirá en ir variando la posición de la antena receptora en línea recta, desde cerca de la puerta, hasta unos 10 m de distancia, subiendo las escaleras.

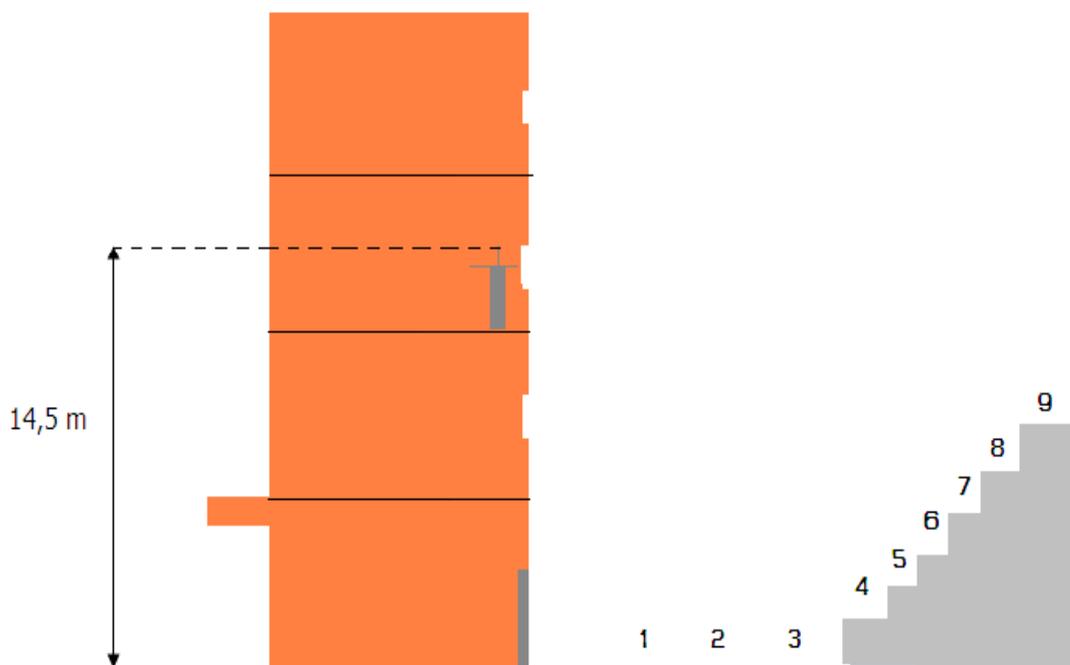


Figura 4-237: Esquema representativo de la vista de perfil del escenario 6. (Transmisión desde la planta 2 y recepción en distintos puntos en línea recta)

En las siguientes gráficas se muestra la ganancia básica de propagación en función de los distintos puntos de medida, utilizando las antenas que resuenan a 310 MHz, 410 MHz y 890 MHz respectivamente.

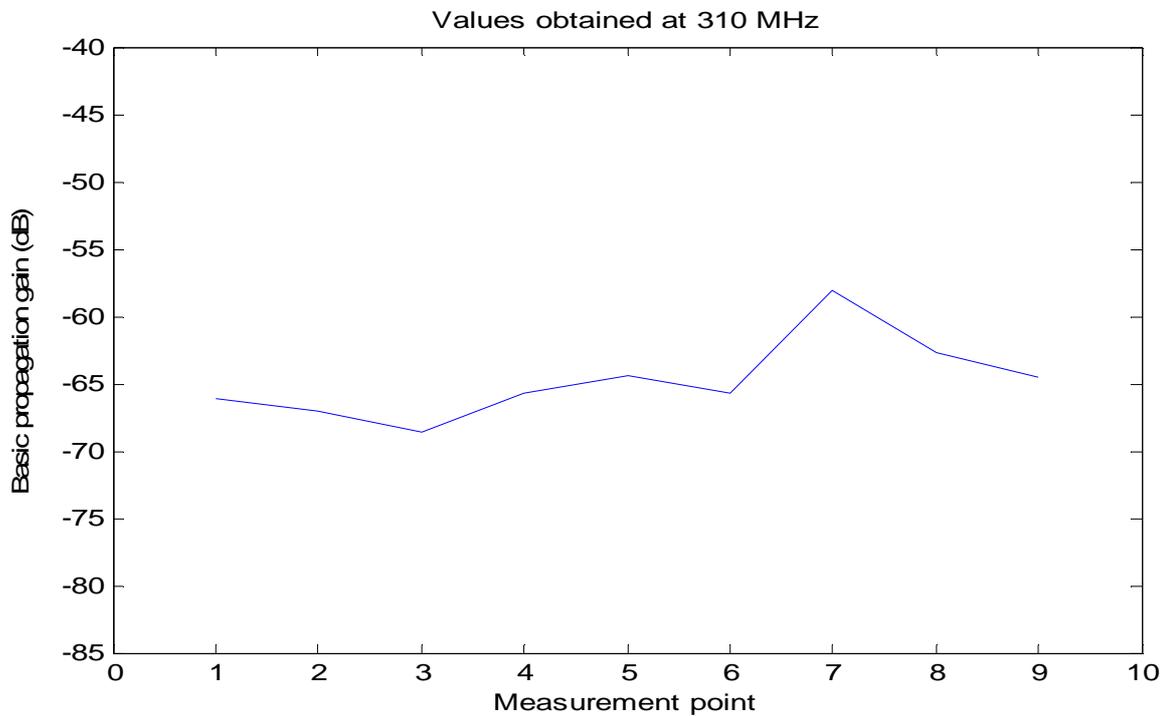


Figura 4-238: Ganancia básica de propagación en función de los distintos puntos de medida

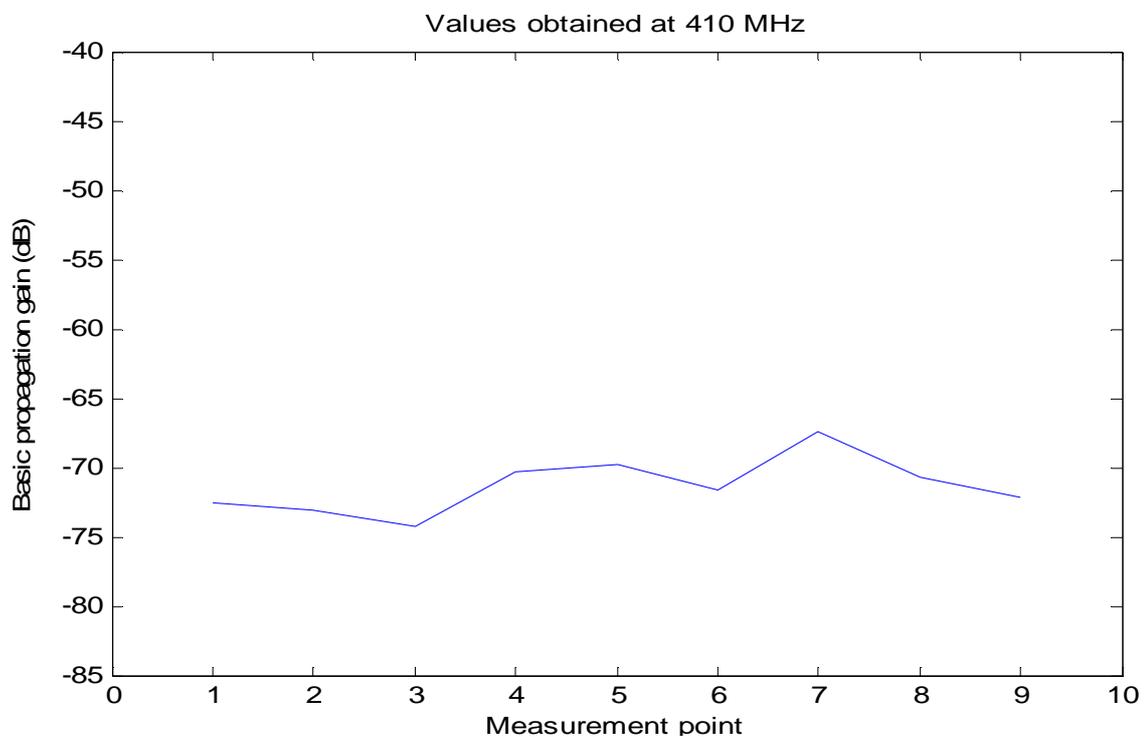


Figura 4-239: Ganancia básica de propagación en función de los distintos puntos de medida

En las Figuras 4-229 y 4-230 se puede observar que la antena receptora recibe más potencia conforme subimos las escaleras, aunque, por lo general, encuentra su valor máximo en el punto 7 (Cuarta escalera).

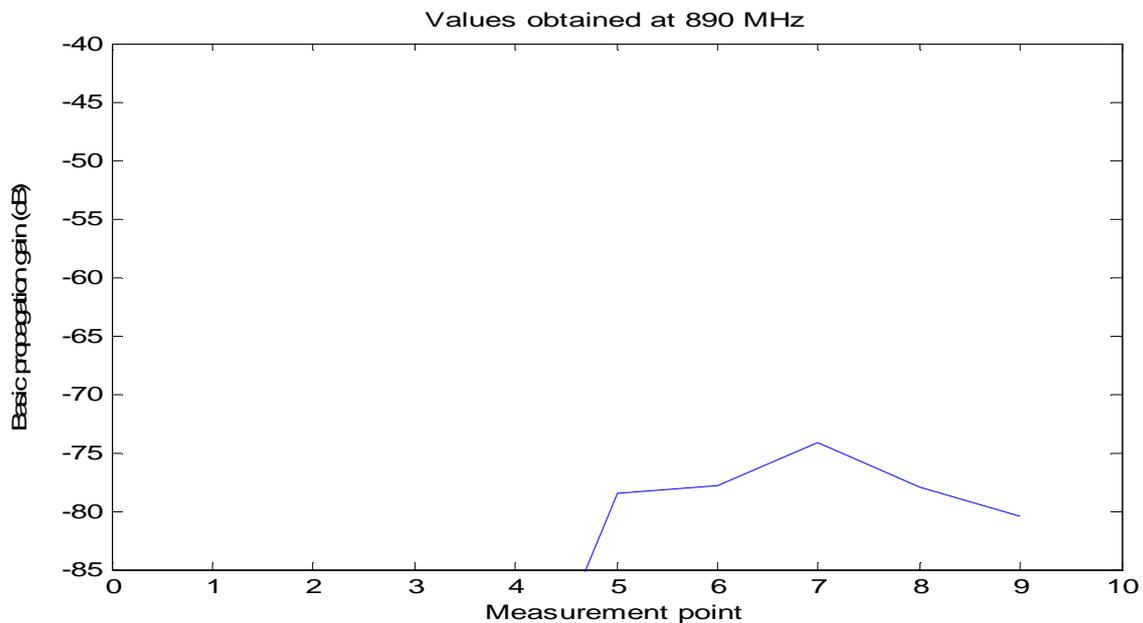


Figura 4-240: Ganancia básica de propagación en función de los distintos puntos de medida

En la Figura 4-231 vemos que en los primeros puntos de medidas (en el plano del suelo) la potencia recibida es menor que la sensibilidad (o no se puede distinguir la potencia recibida del ruido). Este efecto se hace más evidente en la segunda parte de este escenario, en el que empleando dichas antenas (las que resuenan a 890 MHz) no se recibe prácticamente nada de potencia en ninguno de los puntos de medida.

La Tabla 4-12 representa los resultados obtenidos generando una señal de 10dBm de potencia a la frecuencia central con el generador de señal y viendo el valor obtenido en el analizador de espectros.

Tabla 4-12: Resultados de la ganancia básica de propagación en dB en cada punto de medida

Frecuencia	1	2	3	4	5	6	7	8	9
310 MHz	-66,14	-66,99	-68,64	-65,71	-64,4	-65,7	-58,09	-62,66	-64,49
410 MHz	-72,56	-73,04	-74,32	-70,28	-69,85	-71,67	-67,43	-70,72	-72,16
890 MHz	SS	SS	SS	SS	-78,52	-77,86	-74,13	-77,91	-80,51

La segunda parte del escenario, consiste en desplazar la posición de la antena receptora perpendicularmente a la posición de la antena transmisora.

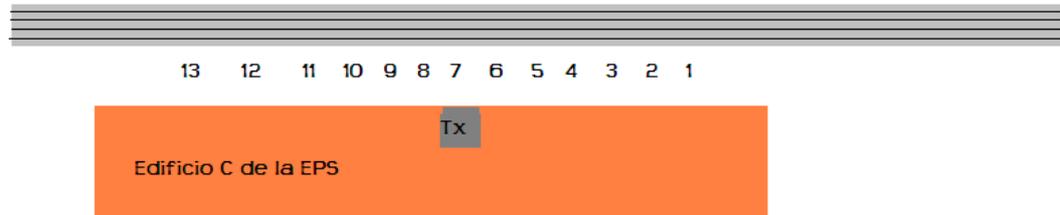


Figura 4-241: Esquema representativo de la vista de perfil del escenario 6. (Transmisión desde la planta 2 y recepción en distintos puntos del exterior de la planta baja)

La separación entre los puntos en los que se coloca la antena receptora es de 2,5m en todos los casos. Por lo que se recorre una distancia de 30 m.

En las siguientes gráficas se muestra la ganancia básica de propagación en función de los distintos puntos de medida, utilizando las antenas que resuenan a 310 MHz y 410 MHz respectivamente.

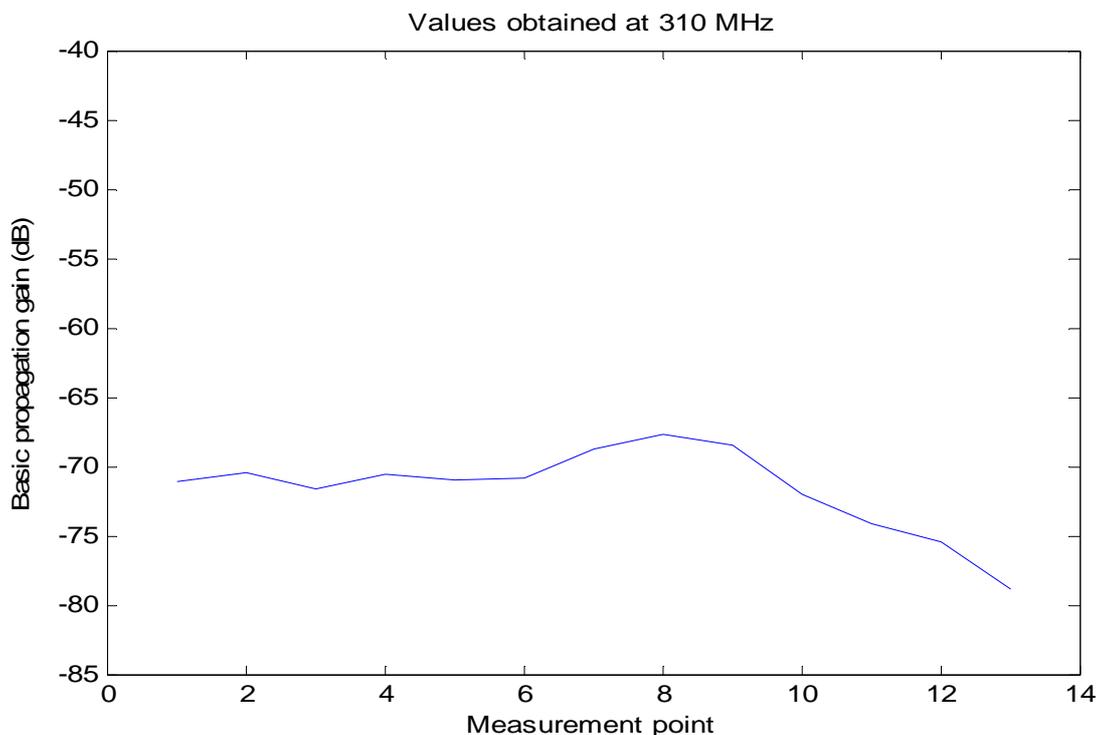


Figura 4-242: Ganancia básica de propagación en función de los distintos puntos de medida

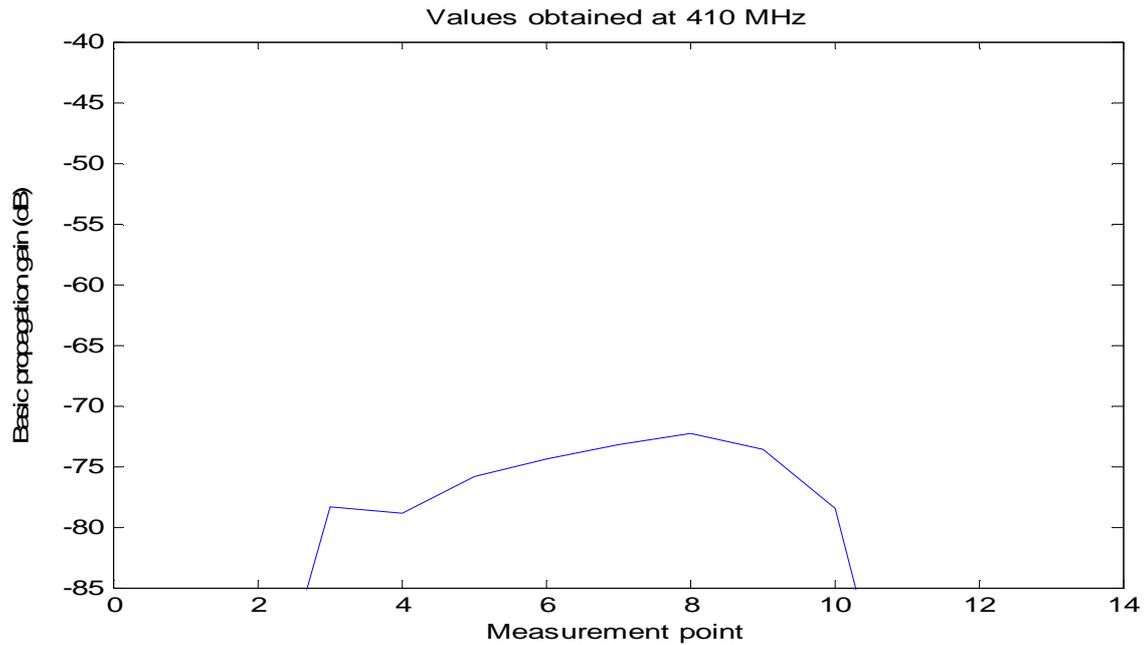


Figura 4-243: Ganancia básica de propagación en función de los distintos puntos de medida

En ambas figuras, pero especialmente en la Figura 4-234 se puede observar que en los puntos centrales (6,7 y 8), la potencia recibida es mayor que en el resto de puntos. Esto es lógico, ya que en estos puntos, la distancia entre transmisor y receptor es menor.

No se muestran los resultados para la antena de 890 MHz, ya que en este caso no recibe nada de potencia en ninguno de los puntos, o bien, la potencia recibida es tan poca que no se puede distinguir del ruido.

La Tabla 4-13 representa los resultados obtenidos generando una señal de 10dBm de potencia a la frecuencia central con el generador de señal y viendo el valor obtenido en el analizador de espectros.

Tabla 4-13: Resultados de la ganancia básica de propagación en dB en cada punto de medida

Frecuencia	1	2	3	4	5	6	7
310 MHz	-71,15	-70,51	-71,68	-70,58	-71,05	-70,91	-68,74
410 MHz	SS	SS	-78,42	-78,84	-75,91	-74,36	-73,21
Frecuencia	8	9	10	11	12	13	
310 MHz	-67,69	-68,47	-72,1	-74,12	-75,47	-78,92	
410 MHz	-72,28	-73,65	-78,47	SS	SS	SS	

5

Conclusiones y trabajo futuro

5.1 Conclusiones

Cuando se trabaja con comunicaciones inalámbricas es necesario realizar un exhaustivo estudio sobre el canal por el que se quiere transmitir para poder implementar dicho sistema, es decir, es vital el conocer de antemano las pérdidas de propagación de un determinado enlace, para así saber la potencia necesaria en la transmisión y la ganancia de las antenas que harán que el receptor reciba una señal con una determinada potencia en distintas posiciones y escenarios. Precisamente el estudio de las pérdidas de propagación en diferentes escenarios ha sido la piedra angular de este PFC.

Las principales conclusiones extraídas de este Proyecto Fin de Carrera son:

- Las pérdidas de propagación expresadas en función de la distancia entre la antena transmisora y receptora se pueden aproximar con el siguiente modelo:

$$L_p(dB) = \begin{cases} L_0 + 10 n_1 \log_{10}(d_b) + \xi_1 & d \leq d_b \\ L_1 + 10 n_2 \log_{10}(d/d_b) + \xi_2 & d > d_b \end{cases}$$

Es decir, en dos tramos lineales con distinta pendiente y desviación.

A lo largo de los distintos escenarios, se observa que n_1 toma valores entre 0.19 y 2.6 mientras que n_2 toma valores entre 1.6 y 4.18

- A distancias cortas y a alturas similares entre transmisor y receptor, las pérdidas de propagación se asemejan a las pérdidas en espacio libre.
- Cuanto más estrecho es un escenario, más se reducirá el coeficiente de propagación a larga distancia, obteniendo menos pérdidas que las ideales en espacio libre debido al fenómeno que hace que el pasillo o escenario correspondiente se comporte como una guía onda, y por tanto, cuando se produce un ensanchamiento en el escenario la señal deja de estar tan confinada y se esparce por el escenario, siendo así la potencia recibida menor y las pérdidas mayores.

- La presencia de obstáculos (personas y objetos) interfiriendo en la trayectoria directa (LoS) entre transmisor y receptor provoca unas pérdidas mayores cuanto mas cerca se encuentra el obstáculo de las antenas.

5.2 Trabajo futuro

En este Proyecto Fin de Carrera se ha realizado un análisis de las pérdidas de propagación en diferentes entornos y escenarios, pero aún así, este estudio puede continuar, ya que el estudio de las pérdidas de propagación es un campo en el que todavía queda mucho trabajo por realizar, como por ejemplo:

- Continuar el estudio utilizando antenas monopolos, realizando medidas en los mismos rangos frecuenciales, pero en otros escenarios no estudiados en este PFC.
- Continuar el estudio utilizando antenas monopolos, realizando medidas en los mismos escenarios utilizando otras bandas frecuenciales.
- Elaborar una nueva campaña de medidas utilizando otro tipo de antenas (de distinta directividad y ganancia)
- Elaborar una campaña de medidas como la que hemos desarrollado pero con la señal modulada.
- Elaborar una campaña de medidas en la que se estudien enlaces con una distancia de 500 m entre transmisor y receptor a distintas frecuencias.

Referencias

- [1] Bazil Taha Ahmed: Apuntes de la asignatura RRI. Universidad Autónoma de Madrid
- [2] Pablo Andrés Núñez López: “Estudio de la propagación de señales electromagnéticas en edificios en bandas de WiFi y WiMAX”, Proyecto Fin de Carrera UAM, 2009.
- [3] Wireless Communications principles and practices, T.S.Rappaport, 2002, Prentice-Hall.

Bibliografía

- [1] Radio Propagation for Modern Wireless Systems, Bertoni, H. L, 1999, Prentice Hall.
- [2] Homayoun Hashemi “The indoor Radio Propagation Channel”. *Proceedings of the IEEE*, Vol. 81, No. 7, pp 943-968, July 1993.
- [3] Henry L. Bertoni, Walter Honcharenko and Leandro Rocha Maciel “UHF Propagation Prediction for Wireless Personal Communications” *Proceedings of the IEEE*, Vol. 82, No. 9, pp 1333- 1359, September 1994
- [4] Dana Porrat and Donald C. Cox “UHF Propagation in Indoor Hallways” *IEEE Transactions on Wireless Communications*, Vol.3, No. 4, pp 1188-1198 July 2004

A

MANUAL DEL PROGRAMADOR

Para cada escenario ha sido necesario tratar los datos obtenidos del analizador de redes de una manera determinada, por lo que en este manual se trata de explicar como se ha realizado dicho tratamiento en términos generales.

```

% Carga de los valores de distintos archivos.slp
% cuyos nombres sean 1.slp, 1.25.slp, 1.5.slp, 1.75.slp,
2.slp...hasta 15.slp
indice = 0;
for ii=1:0.25:15

    nombre = strcat(num2str(ii),'.slp');
    indice = indice +1;

    fid = fopen(nombre);
    linea1= fgetl(fid);
    linea2= fgetl(fid);
    linea3= fgetl(fid);
    linea4= fgetl(fid);
    linea5= fgetl(fid);
    Valor{indice}= textscan(fid, '%u%f%u');

    %Valor{1,1}{1,2}(12)--numero de columna

    fclose(fid);%%Cerramos el archivo

end

% Definición de las variables distancia(definida por el
usuario)
% y frecuencia (Primera columna del archivo leído)
d = [1:0.25:15];
frecuencia = Valor{1,1}{1,1};

% Valores de las pérdidas de propagación
for i=1:121
L = Valor{1,1}{1,2}(45+i);
    for ii=2:1:57
        L = [L Valor{1,ii}{1,2}(45+i)];
    end
    semilogx(d,L,'o')
    axis([1 15 -120 0 ])
    hold on
end

title('\bf Propagation Gain in the range of 880 MHz to 900
MHz');
xlabel('\bf Distance from transmitting antenna (m)');
ylabel('\bf Basic propagation gain (dB)');

```

```
ptocritico = 16;
dist1=[d(1):0.25:d(ptocritico)];
dist2=[d(ptocritico):0.25:d(length(d))];

dist1_log = 10*log10(dist1)
dist2_log = 10*log10(dist2)

aux1 = L(1:(length(dist1)));
aux2 = L((length(dist1):end));

coef1 = polyfit(dist1_log, aux1, 1)
aproximacion1 = polyval(coef1, dist1_log)
plot(dist1 ,aproximacion1,'k','linewidth',2)

coef2 = polyfit(dist2_log, aux2, 1)
aproximacion2 = polyval(coef2, dist2_log)
plot(dist2 ,aproximacion2,'k','linewidth',2)

xl = [5 5 ];
hl = [-120 0 ];
plot(xl,hl,'--r','linewidth',2)
hold off

% %CALCULO DE LA CDF A MANO
limite_inferior = min(desv1)
limite_superior = max(desv1)

rango = limite_superior-limite_inferior
rango_ceil = ceil(rango)
tamano_intervalo = rango/length(desv1)
n_div = length(desv1)/rango
n_div = ceil(n_div);

numero_pasos = length(desv1)

limite_anterior = limite_inferior
for i=1:numero_pasos
    limite(i) = limite_anterior+tamano_intervalo;
    limite_anterior=limite(i);
end

contador = [];

for i=1:numero_pasos
    contador(i) = 0;
end
for ii=1:length(desv1)
```

```

    for i=1:numero_pasos
        if desvl(ii)<limite(i)
            contador(i) = contador(i)+1;
        end
    end

end

for j=1:numero_pasos
    porcentaje1(j) = contador(j)/length(desvl);
end

figure
eje_x = limite_inferior:rango/numero_pasos:limite_superior-
1/numero_pasos;
semilogy(eje_x,porcentaje1,'linewidth',3)

xlabel('\bf Relative received signal (dB)');
ylabel('\bf F(X)');
title('\bf CDF');
GRID ON

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
hold on
limite_inferior = x(1)
limite_superior = x(length(x))

numero_pasos = length(x)

valor = [];
for i=1:numero_pasos
    for j =1:ceil(comp(i))
        valor = [valor x(i)];
    end
end

rango = limite_superior-limite_inferior
rango_ceil = ceil(rango)
tamano_intervalo = rango/length(x)
n_div = length(x)/rango
n_div = ceil(n_div);

limite_anterior = limite_inferior
for i=1:numero_pasos
    limite(i) = limite_anterior+tamano_intervalo;
    limite_anterior=limite(i);
end

```

```

contador = [];

for i=1:numero_pasos
    contador(i) = 0;
end
for ii=1:length(valor)
    for i=1:numero_pasos
        if valor(ii)<limite(i)
            contador(i) = contador(i)+1;
        end
    end
end

porcentaje = contador./length(valor);

eje_x = limite_inferior:rango/numero_pasos:limite_superior-
1/numero_pasos;
hold on
semilogy(x,porcentaje,'--r','linewidth',3)

%Representaciones pasillo abierto

plot(frecuencia_900,Sara_Pasillo_abierto_900{1,14}{1,2})
hold on
plot(frecuencia_900,Robe_Pasillo_abierto_900{1,14}{1,2},'r')
plot(frecuencia_900,Antonio_Pasillo_abierto_900{1,14}{1,2},'g')
axis([880*10^6 900*10^6 -25 25])
title('Punto 14 a 900MHz');
xlabel('frecuencia (Hz)');
ylabel('Ganancia de obstrucción (dB)');
legend('Sujeto 1', 'Sujeto 2', 'Sujeto 3');
hold off;

figure
for ii=1:1:14
    max_900 =
max(Robe_Pasillo_abierto_900{1,ii}{1,2}(51:151));
    min_900 =
min(Robe_Pasillo_abierto_900{1,ii}{1,2}(51:151));
    valores_900 = [max_900 min_900];
    punto = [ii ii];
    plot(punto,valores_900)
        hold on;
    vec = [ii-0.16 ii+0.16]
    lat1 = [max_900 max_900]

```

```

    lat2 = [min_900 min_900]
        plot(vec, lat1)
        plot(vec, lat2)
    axis([0 15 -10 5])
    hold on;
end

title('Maximum and minimum at each point');
xlabel('Subject Position');
ylabel('Obstruction gain (dB)');
legend('Sujeto 2')
hold off;

figure
for ii=1:1:14
    max_400_r =
max(Robe_Pasillo_abierto_400{1,ii}{1,2}(51:151));
    min_400_r =
min(Robe_Pasillo_abierto_400{1,ii}{1,2}(51:151));
    max_400_s =
max(Sara_Pasillo_abierto_400{1,ii}{1,2}(51:151));
    min_400_s =
min(Sara_Pasillo_abierto_400{1,ii}{1,2}(51:151));
    max_400_a =
max(Antonio_Pasillo_abierto_400{1,ii}{1,2}(51:151));
    min_400_a =
min(Antonio_Pasillo_abierto_400{1,ii}{1,2}(51:151));

    maximo = [max_400_r max_400_s max_400_a];
    maximo = max(maximo)
    minimo = [min_400_r min_400_s min_400_a];
    minimo = min(minimo)

    valores_400 = [maximo minimo]
    punto = [ii ii];
    plot(punto,valores_400)
        hold on;
    vec = [ii-0.16 ii+0.16]
    lat1 = [maximo maximo]
    lat2 = [minimo minimo]
        plot(vec, lat1)
        plot(vec, lat2)
    axis([0 15 -20 20])
    hold on;
end

title('Maximum and minimum at each point');
xlabel('Subject position');
ylabel('Obstruction gain (dB)');
hold off;

```

```
%Representacion de datos obtenidos con el analizador de
espectros
%(Los valores sin introducen manualmente)
close all
d = [1:13]
P_310 = [-71.15      -70.51      -71.68      -70.58      -71.05      -
70.91      -68.74 -67.69  -68.47      -72.1      -74.12      -75.47
-78.92];

P_410 = [-100  -100 -78.42  -78.84  -75.91  -74.36  -
73.21 -72.28  -73.65  -78.47  -100 -100 -100];

P_890 = [];
plot(d, P_410)
axis([0 14 -85 -40])
title('Values obtained at 410 MHz');
xlabel('Measurement points');
ylabel('Basic propagation gain (dB)');
```

Nuevamente se recuerda que este código aquí expuesto es solo una guía sobre la manera de proceder en cada caso, y que para representar adecuadamente cada escenario es necesario ejecutar el código proporcionado para cada caso específico.

B

PRESUPUESTO

PRESUPUESTO

1) Ejecución Material

- Compra de ordenador personal (Software incluido)..... 1.000 €
- Alquiler de impresora láser durante 6 meses 50 €
- Material de oficina 100 €
- Utilización de equipos de medidas.....1.000 €
- Total de ejecución material 2.150 €

2) Gastos generales

- 16 % sobre Ejecución Material 344 €

3) Beneficio Industrial

- 6 % sobre Ejecución Material 129 €

4) Honorarios Proyecto

- 950 horas a 15 € / hora..... 15.000 €
- 100 horas de trabajo del tutor.....2500 €

5) Material fungible

- Gastos de impresión..... 200 €
- Encuadernación..... 20 €

6) Subtotal del presupuesto

- Subtotal Presupuesto..... 20.123 €

7) I.V.A. aplicable

- 18% Subtotal Presupuesto 3622,14 €

8) Total presupuesto

- Total Presupuesto..... 23.745,14 €

Madrid, Mayo 2011

El Ingeniero Jefe de Proyecto

Fdo: Pablo Manzano Martín
Ingeniero Superior de Telecomunicación

C

PLIEGO DE CONDICIONES

PLIEGO DE CONDICIONES

Este documento contiene las condiciones legales que guiarán la realización, en este proyecto, de un Estudio de propagación en diferentes entornos para señales de banda ancha y estrecha en redes UHF. En lo que sigue, se supondrá que el proyecto ha sido encargado por una empresa cliente a una empresa consultora con la finalidad de realizar dicho sistema. Dicha empresa ha debido desarrollar una línea de investigación con objeto de elaborar el proyecto. Esta línea de investigación, junto con el posterior desarrollo de los programas está amparada por las condiciones particulares del siguiente pliego.

Supuesto que la utilización industrial de los métodos recogidos en el presente proyecto ha sido decidida por parte de la empresa cliente o de otras, la obra a realizar se regulará por las siguientes:

Condiciones generales

1. La modalidad de contratación será el concurso. La adjudicación se hará, por tanto, a la proposición más favorable sin atender exclusivamente al valor económico, dependiendo de las mayores garantías ofrecidas. La empresa que somete el proyecto a concurso se reserva el derecho a declararlo desierto.

2. El montaje y mecanización completa de los equipos que intervengan será realizado totalmente por la empresa licitadora.

3. En la oferta, se hará constar el precio total por el que se compromete a realizar la obra y el tanto por ciento de baja que supone este precio en relación con un importe límite si este se hubiera fijado.

4. La obra se realizará bajo la dirección técnica de un Ingeniero Superior de Telecomunicación, auxiliado por el número de Ingenieros Técnicos y Programadores que se estime preciso para el desarrollo de la misma.

5. Aparte del Ingeniero Director, el contratista tendrá derecho a contratar al resto del personal, pudiendo ceder esta prerrogativa a favor del Ingeniero Director, quien no estará obligado a aceptarla.

6. El contratista tiene derecho a sacar copias a su costa de los planos, pliego de condiciones y presupuestos. El Ingeniero autor del proyecto autorizará con su firma las copias solicitadas por el contratista después de confrontarlas.

7. Se abonará al contratista la obra que realmente ejecute con sujeción al proyecto que sirvió de base para la contratación, a las modificaciones autorizadas por la superioridad o a las órdenes que con arreglo a sus facultades le hayan comunicado por escrito al Ingeniero Director de obras siempre que dicha obra se haya ajustado a los preceptos de los pliegos de condiciones, con arreglo a los cuales, se harán las modificaciones y la valoración de las diversas unidades sin que el importe total pueda exceder de los presupuestos aprobados. Por consiguiente, el número de unidades que se consignan en el proyecto o en el presupuesto, no podrá servirle de fundamento para entablar reclamaciones de ninguna clase, salvo en los casos de rescisión.

8. Tanto en las certificaciones de obras como en la liquidación final, se abonarán los trabajos realizados por el contratista a los precios de ejecución material que figuran en el presupuesto para cada unidad de la obra.

9. Si excepcionalmente se hubiera ejecutado algún trabajo que no se ajustase a las condiciones de la contrata pero que sin embargo es admisible a juicio del Ingeniero Director de obras, se dará conocimiento a la Dirección, proponiendo a la vez la rebaja de precios que el Ingeniero estime justa y si la Dirección resolviera aceptar la obra, quedará el contratista obligado a conformarse con la rebaja acordada.

10. Cuando se juzgue necesario emplear materiales o ejecutar obras que no figuren en el presupuesto de la contrata, se evaluará su importe a los precios asignados a otras obras o materiales análogos si los hubiere y cuando no, se discutirán entre el Ingeniero Director y el contratista, sometiéndolos a la aprobación de la Dirección. Los nuevos precios convenidos por uno u otro procedimiento, se sujetarán siempre al establecido en el punto anterior.

11. Cuando el contratista, con autorización del Ingeniero Director de obras, emplee materiales de calidad más elevada o de mayores dimensiones de lo estipulado en el proyecto, o sustituya una clase de fabricación por otra que tenga asignado mayor precio o ejecute con mayores dimensiones cualquier otra parte de las obras, o en general, introduzca en ellas cualquier modificación que sea beneficiosa a juicio del Ingeniero Director de obras, no tendrá derecho sin embargo, sino a lo que le correspondería si hubiera realizado la obra con estricta sujeción a lo proyectado y contratado.

12. Las cantidades calculadas para obras accesorias, aunque figuren por partida alzada en el presupuesto final (general), no serán abonadas sino a los precios de la contrata, según las condiciones de la misma y los proyectos particulares que para ellas se formen, o en su defecto, por lo que resulte de su medición final.

13. El contratista queda obligado a abonar al Ingeniero autor del proyecto y director de obras así como a los Ingenieros Técnicos, el importe de sus respectivos honorarios facultativos por formación del proyecto, dirección técnica y administración en su caso, con arreglo a las tarifas y honorarios vigentes.

14. Concluida la ejecución de la obra, será reconocida por el Ingeniero Director que a tal efecto designe la empresa.

15. La garantía definitiva será del 4% del presupuesto y la provisional del 2%.

16. La forma de pago será por certificaciones mensuales de la obra ejecutada, de acuerdo con los precios del presupuesto, deducida la baja si la hubiera.

17. La fecha de comienzo de las obras será a partir de los 15 días naturales del replanteo oficial de las mismas y la definitiva, al año de haber ejecutado la provisional, procediéndose si no existe reclamación alguna, a la reclamación de la fianza.

18. Si el contratista al efectuar el replanteo, observase algún error en el proyecto, deberá comunicarlo en el plazo de quince días al Ingeniero Director de obras, pues transcurrido ese plazo será responsable de la exactitud del proyecto.

19. El contratista está obligado a designar una persona responsable que se entenderá con el Ingeniero Director de obras, o con el delegado que éste designe, para todo relacionado con ella. Al ser el Ingeniero Director de obras el que interpreta el proyecto, el contratista deberá consultarle cualquier duda que surja en su realización.

20. Durante la realización de la obra, se girarán visitas de inspección por personal facultativo de la empresa cliente, para hacer las comprobaciones que se crean oportunas. Es obligación del contratista, la conservación de la obra ya ejecutada hasta la recepción de la misma,

por lo que el deterioro parcial o total de ella, aunque sea por agentes atmosféricos u otras causas, deberá ser reparado o reconstruido por su cuenta.

21. El contratista, deberá realizar la obra en el plazo mencionado a partir de la fecha del contrato, incurriendo en multa, por retraso de la ejecución siempre que éste no sea debido a causas de fuerza mayor. A la terminación de la obra, se hará una recepción provisional previo reconocimiento y examen por la dirección técnica, el depositario de efectos, el interventor y el jefe de servicio o un representante, estampando su conformidad el contratista.

22. Hecha la recepción provisional, se certificará al contratista el resto de la obra, reservándose la administración el importe de los gastos de conservación de la misma hasta su recepción definitiva y la fianza durante el tiempo señalado como plazo de garantía. La recepción definitiva se hará en las mismas condiciones que la provisional, extendiéndose el acta correspondiente. El Director Técnico propondrá a la Junta Económica la devolución de la fianza al contratista de acuerdo con las condiciones económicas legales establecidas.

23. Las tarifas para la determinación de honorarios, reguladas por orden de la Presidencia del Gobierno el 19 de Octubre de 1961, se aplicarán sobre el denominado en la actualidad "Presupuesto de Ejecución de Contrata" y anteriormente llamado "Presupuesto de Ejecución Material" que hoy designa otro concepto.

Condiciones particulares

La empresa consultora, que ha desarrollado el presente proyecto, lo entregará a la empresa cliente bajo las condiciones generales ya formuladas, debiendo añadirse las siguientes condiciones particulares:

1. La propiedad intelectual de los procesos descritos y analizados en el presente trabajo, pertenece por entero a la empresa consultora representada por el Ingeniero Director del Proyecto.
2. La empresa consultora se reserva el derecho a la utilización total o parcial de los resultados de la investigación realizada para desarrollar el siguiente proyecto, bien para su publicación o bien para su uso en trabajos o proyectos posteriores, para la misma empresa cliente o para otra.
3. Cualquier tipo de reproducción aparte de las reseñadas en las condiciones generales, bien sea para uso particular de la empresa cliente, o para cualquier otra aplicación, contará con autorización expresa y por escrito del Ingeniero Director del Proyecto, que actuará en representación de la empresa consultora.
4. En la autorización se ha de hacer constar la aplicación a que se destinan sus reproducciones así como su cantidad.
5. En todas las reproducciones se indicará su procedencia, explicitando el nombre del proyecto, nombre del Ingeniero Director y de la empresa consultora.
6. Si el proyecto pasa la etapa de desarrollo, cualquier modificación que se realice sobre él, deberá ser notificada al Ingeniero Director del Proyecto y a criterio de éste, la empresa consultora decidirá aceptar o no la modificación propuesta.
7. Si la modificación se acepta, la empresa consultora se hará responsable al mismo nivel que el proyecto inicial del que resulta el añadirla.

8. Si la modificación no es aceptada, por el contrario, la empresa consultora declinará toda responsabilidad que se derive de la aplicación o influencia de la misma.

9. Si la empresa cliente decide desarrollar industrialmente uno o varios productos en los que resulte parcial o totalmente aplicable el estudio de este proyecto, deberá comunicarlo a la empresa consultora.

10. La empresa consultora no se responsabiliza de los efectos laterales que se puedan producir en el momento en que se utilice la herramienta objeto del presente proyecto para la realización de otras aplicaciones.

11. La empresa consultora tendrá prioridad respecto a otras en la elaboración de los proyectos auxiliares que fuese necesario desarrollar para dicha aplicación industrial, siempre que no haga explícita renuncia a este hecho. En este caso, deberá autorizar expresamente los proyectos presentados por otros.

12. El Ingeniero Director del presente proyecto, será el responsable de la dirección de la aplicación industrial siempre que la empresa consultora lo estime oportuno. En caso contrario, la persona designada deberá contar con la autorización del mismo, quien delegará en él las responsabilidades que ostente.

D

PUBLICACIONES

UHF Very Short Range Propagation for Special Squads Operations

Journal:	<i>IET Communications</i>
Manuscript ID:	Draft
Manuscript Type:	Research Paper
Date Submitted by the Author:	n/a
Complete List of Authors:	Ahmed, Bazil; Escuela politecnica Superior, Informatica
Keyword:	PROPAGATION AND CHANNEL CHARACTERIZATION, RADIO APPLICATIONS, RADIO NETWORKS

SCHOLARONE™
Manuscripts

UHF Very Short Range Propagation for Special Squads Operations

Pablo Manzano Martín, Bazil Taha Ahmed and J. L. Masa Campos

RF Group

Electronic and Communication Technology Department

Universidad Autonoma de Madrid

ABSTRACT

The purpose of this study is to characterize the indoor propagation in different scenarios, using monopole antennas working at 890 MHz, and characterize indoor-outdoor propagation using monopole antennas working at 410 MHz. In scenarios with a continuous variation of the distance between the transmitter and receiver antenna (1 D scenarios), we use log-distance path loss model to determine the equations that describe path loss in each scenario and study if the indoor multipath induced fading can be represented by a Rayleigh distribution, Gaussian distribution, or a combination of both. In scenarios where the position of the receiver is not a uniform function of the distance between the transmitter and the receiver, we represent the basic propagation gain as a function of the measurement point index.

1. INTRODUCTION

Ultra High Frequency (UHF) designates the ITU Radio frequency range of electromagnetic waves between 300 MHz and 3 GHz (3,000 MHz), also known as the decimetre band or decimetre wave as the wavelengths range from one to ten decimetres (10 cm to 1 metre).

The UHF antenna is short, so it can be carried by a soldier without so much effort. [1] Shown us that monopole antennas were becoming popular, and had been proposed for modern and future wideband wireless applications.

The characteristics of radio signals in the UHF band present fundamental limits on the design and performance of wireless personal communications systems, such as Cellular Mobile Radio (CMR), Wireless LAN's, and Personal Communication Services, (PCS) [2].

Because of the potential implementation of indoor Wireless Local Area networks (LAN's) and Personal Communication Networks (PCN) it is important to understand propagation of signals in the UHF band inside buildings. Work [3] explored features of office buildings of modern construction that influences propagation between transmitter and receiver located on the same floor. In reference [4], the principles of radio propagation in indoor environments were reviewed. In [5], the propagation modes and the temporal variations along a lift shaft in UHF band have been given. Propagation in corridors using the SHF band has been studied using dynamic multi-link MIMO measurement at 5.3 GHz [6]. Propagation in tunnels and urban street canyons using the UHF band has been studied in [7].

In [8], a new model for UHF propagation in large buildings was presented. That model was based on knowledge of the interior arrangement of the building without requiring much detail. The guiding of radiation along hallways is the most significant propagation process at distances of more than 10 m from the transmitter. The wave guide model predicts the power loss rate along the hallways, which was affected by the coupling among the propagating modes. The coupling results due to the roughness of the surfaces in the building were predicted in an average manner using the average deviation of the walls from perfect smoothness. The model predictions were compared to measurements in an office building and to ray tracing predictions.

In [9], a UWB signal propagation experiment was carried out in a typical modern office building in order to characterize the signal propagation channel. Robustness of the UWB signal to fades was quantified through histogram and cumulative distribution of the received energy in various locations of the building.

In work [10] the indoor channel for IEEE 802.16 (WiMAX) at 3.5 GHz frequency band has been characterized. In [11], techniques for the measurement of local mean signal strength at 900 MHz have been explored.

In this work we will study indoor and indoor-outdoor propagation for very short distance that can be used in Tactical Communication in Urban Terrain (TCUT). Our main contribution is to study and understand signal behaviour in different scenarios and situations know how to treat the signal and how much power we have to use in transmission to receive a certain amount of power at reception to ensure a certain quality.

Our work is organised as follow. In Section 2, the propagation models that we use along this work are given. In Section 3, we explain how the measurement campaign is, giving

information and a representation of the different scenarios. In Section 4, indoor results are presented. In Section 5, indoor-outdoor results are presented. In Section 6, conclusions are drawn.

2. PROPAGATION MODELS

In indoor environment, with low distance between Tx and Rx, propagation could be due to the direct ray and four reflection rays (reflection from side walls, ground and ceil). For a medium distance (higher than the width of the studied zone) between the transmitting antenna and the receiving one, multi reflection rays also exist. Thus, in general, indoor propagation cannot be represented by the Two Rays Model (direct ray and ground reflection one).

For a short distance between the transmitting and receiving antennas, the propagation loss is given by the single slope propagation model represented by:

$$L_p = L_0 + 10 n_1 \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + \xi_1 \quad (1)$$

where L_0 is the propagation loss at the reference distance d_0 (1m in our case); n_1 is the propagation exponent; and ξ_1 is a random variable (Gaussian, Rayleigh or a combination of both) that represents the deviation from the mean value. This deviation is due to the multipath induced fading.

For a higher distance between the transmitting antenna and the receiving one, the propagation loss model is given by the two slope propagation loss model. In this case, the propagation loss at a distance d higher than the breakpoint distance d_b can be written as:

$$L_p(dB) = \begin{cases} L_0 + 10 n_1 \log_{10}(d_b) + \xi_1 & d \leq d_b \\ L_1 + 10 n_2 \log_{10}(d / d_b) + \xi_2 & d > d_b \end{cases} \quad (2)$$

where L_1 is the propagation loss of the distance d_b at which the waveguide mode starts, and n_2 is the second propagation exponent usually lower than n_1 . ξ_2 is a random variable (Gaussian, Rayleigh or a combination of both) that represents the deviation from the main value.

In narrow indoor environment (corridors), n_2 will be in general lower than 2 (1.3 to 1.8) representing the waveguide mode of propagation. In wide indoor environment, n_2 will be in general higher than 2 (3 to 4). For the indoor environment with the transmitting antenna mechanically or electrically inclined pointing at a given distance, L_0 will have a

value higher than the propagation loss in free space. L_1 will have a value lower than L_0 . The first propagation exponent n_1 will have a negative value mean while n_2 has a positive one.

The balance for a radio link can be represented by:

$$P_{rx} = P_{tx} + G_{atx} + G_{arx} - L_p \quad (3)$$

We can therefore express the propagation loss as:

$$L_p = P_{tx} - P_{rx} + G_{atx} + G_{arx} \quad (4)$$

In our case, we will present the basic propagation gain (G_{bp}), and since we are talking about gain, we have negative values (against before we represented losses and therefore the values were positive)

$$\begin{aligned} G_{bp} &= -L_{pb} \\ L_{pb} &= P_{tx} - P_{rx} \end{aligned} \quad (5)$$

where L_{pb} is the basic propagation loss in dB.

3. MEASUREMENT CAMPAIGN

Measurements have been carried out at different sites within the Escuela Politecnica Superior of the Universidad Autónoma de Madrid.

For the indoor scenarios measurement, we have used monopole antennas that work (with a $SWR \leq 2$) between 880 MHz and 900 MHz. A Network Analyzer (6 GHz ZVL of Rohde & Schwarz) has been used to measure the propagation loss.

For the indoor-outdoor scenarios, we have used a signal generator (SMB100A of Rohde & Schwarz) and a spectrum analyzer (FSL of R&S) to measure the propagation loss. For these scenarios, we have used monopole antennas that work (with a $SWR \leq 2$) between 400MHz and 420 MHz.

The transmitted power in all the measurements has been 10 dBm, with a receiver resolution bandwidth of 100 KHz.

Both transmitting and receiving antenna have been placed at a height of 1.5m in all the scenarios. We have chosen this high because it's more or less where a soldier will carry the radio equipment.

Scenario 1 represents a wide corridor with two columns separated by a distance of 4 m between them, at a distance of 5 m from the transmitting antenna, where the measurement were carried out with a minimum distance between transmitting and receiver antennas of 1 m and then it have been increased up to 15 m.

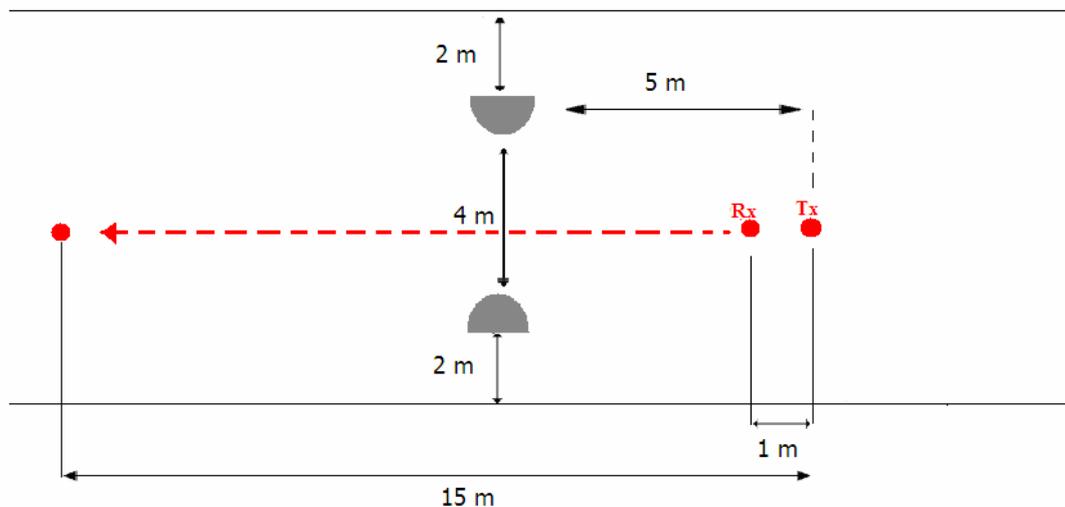


Figure 1: Scenario 1-Wide corridor

Scenario 2 represents a semi open corridor of **1.5 m** of width. We started from the initial situation, in which the separation between the transmitting and receiving antenna was 1m, and then we increased the separation up to 32 m.

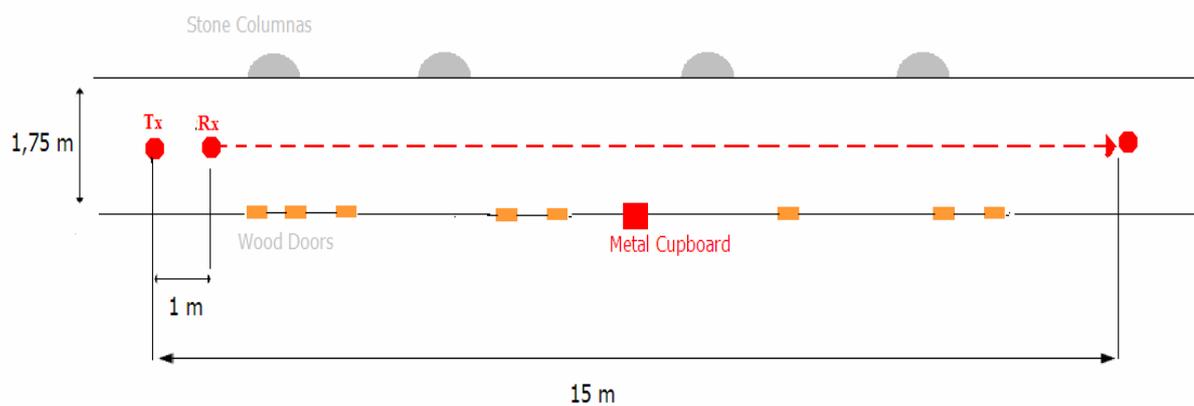


Figure 2: Scenario 2- Semi open corridor

Scenario 3 represents the stairs zone of the building C of EPS where measurement have been carried out at in different points of the stairs, as shown in Fig.3

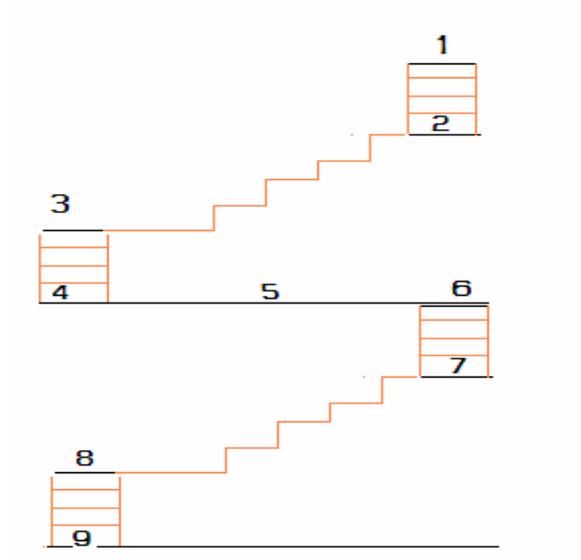


Figure 3: Scenario 3-Indoor stairs. Frontal representation

If we "stretch out" the stairs, we will get a view like that presented by Fig. 4.

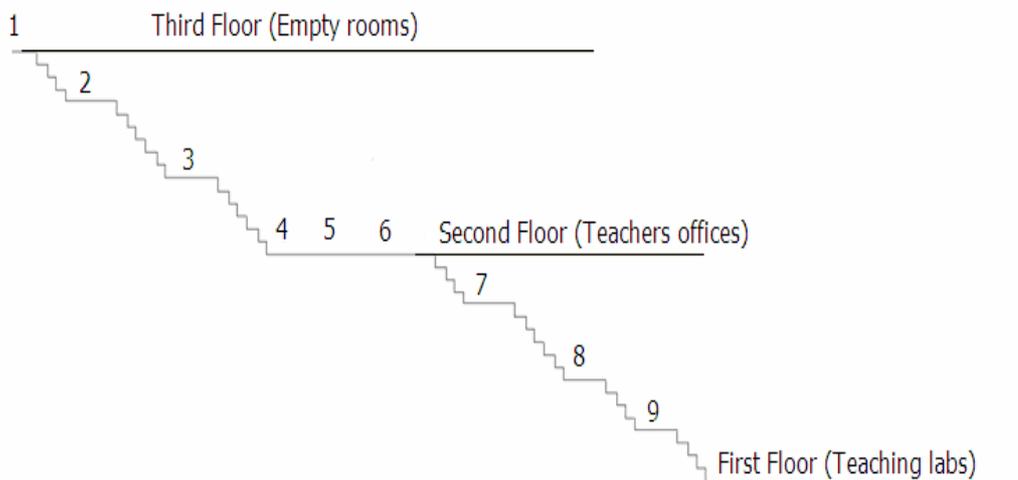


Figure 4: Scenario 3- Indoor stairs. Profile representation

Scenario 4 is an indoor-outdoor scenario; we have placed the transmitting antenna in the fourth plant of the EPS C building and moved the receiving antenna outside, from 2m from the building door to 22m in steps of 2m. We have started with a distance step of only 1m and noted that the variation was very small. Thus, we have decided to increase the distance step to 2m.

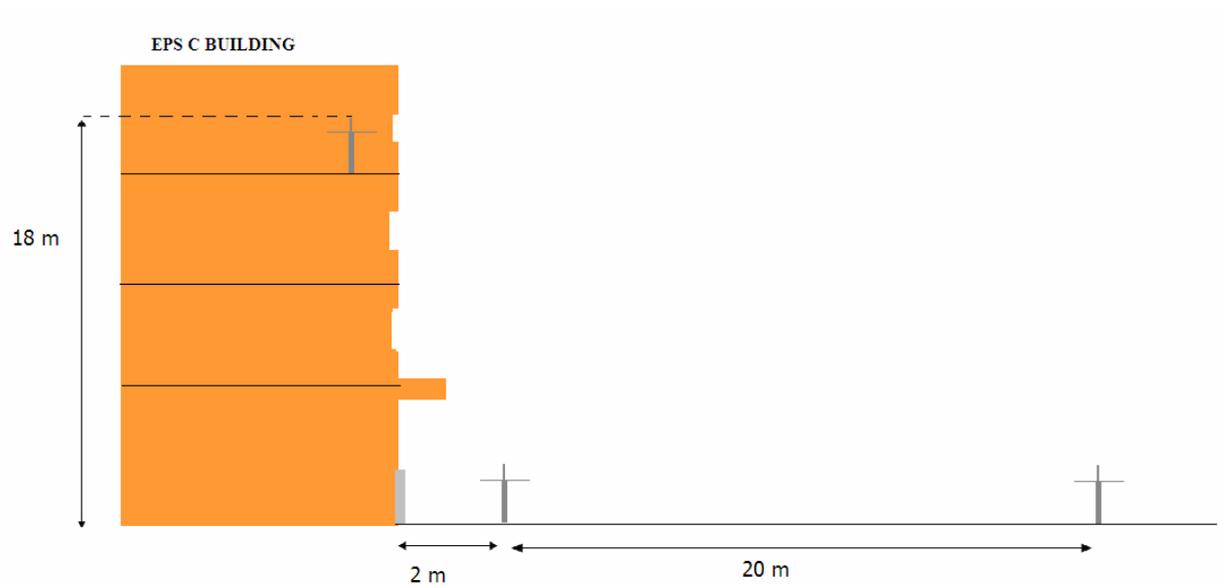


Figure 5: Scenario 4- First indoor-outdoor scenario

Scenario 5 is also an indoor-outdoor scenario, with the measurements carried out in the opposite side of scenario 4. We have placed the transmitting antenna in the third plant of the EPS C building and vary the position of the receiving antenna in a straight line from near the door, up to about 10 m away.

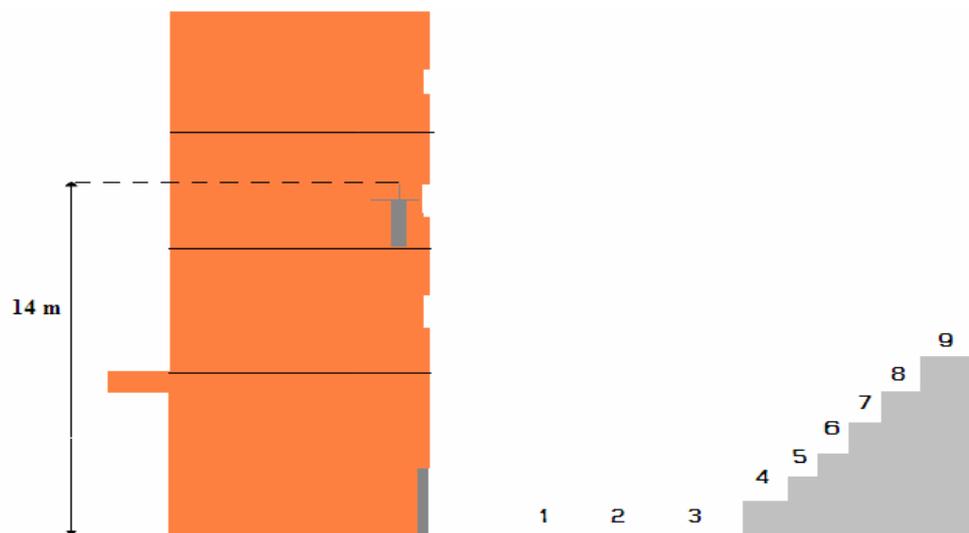


Figure 6: Scenario 5- Second outdoor scenario

4. INDOOR SCENARIOS RESULTS

In this section, some of the results of the measurements campaign are shown.

For the First Scenario, A 1 MHz and a 5 MHz channel bandwidth with 890 MHz central frequency have been considered.

Firstly, the results using a 1 MHz bandwidth channel are shown in Fig 7. From Fig. 7(a), it can be noticed that the basic propagation gain can be presented by the two slope propagation loss model as that given by (2), with the difference that we are going to represent the basic propagation gain.

Mean value of the basic propagation gain is given by:

$$G_{pb} (dB) = \begin{cases} -\{40.49 + 15.08 \log_{10}(d)\} & d \leq 3.25 m \\ -\{49.37 + 21.41 \log_{10}(d/3.25)\} & 15 \geq d > 3.25 m \end{cases} \quad (6)$$

Equation (6) shows us that n_1 (1.51) is smaller than the free space propagation exponent of 2 meanwhile the propagation exponent for the second part of the path n_2 (2.14) is little bit more than 2.

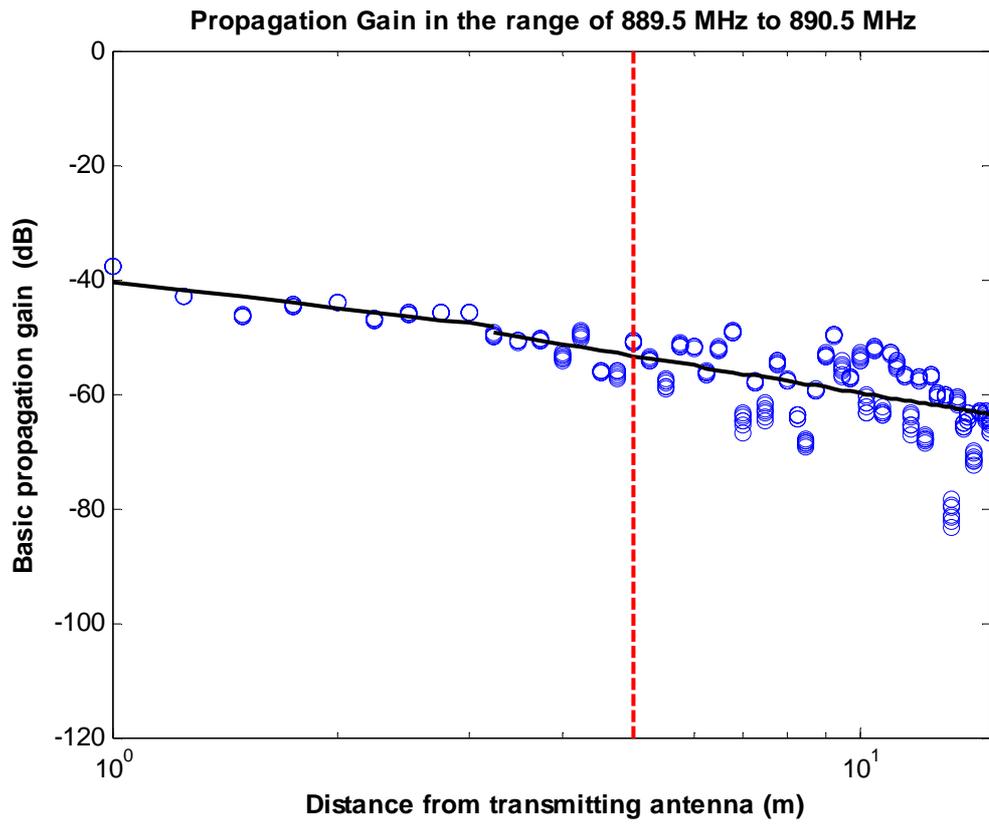
Fig. 7 (b) represents the histogram of the measured points of the first part of the path (measurement points for a distance of 1 to 3.25m) which has been approximated by a combination of Gaussian (95%) and Rayleigh (5%) distributions.

Fig. 7 (c) represents the Cumulative Distribution Function (CDF) of the measurements of the first part of the path. Also the CDF of an approximation represented by a combination of Gaussian (95%) and Rayleigh (5%) distributions is also shown.

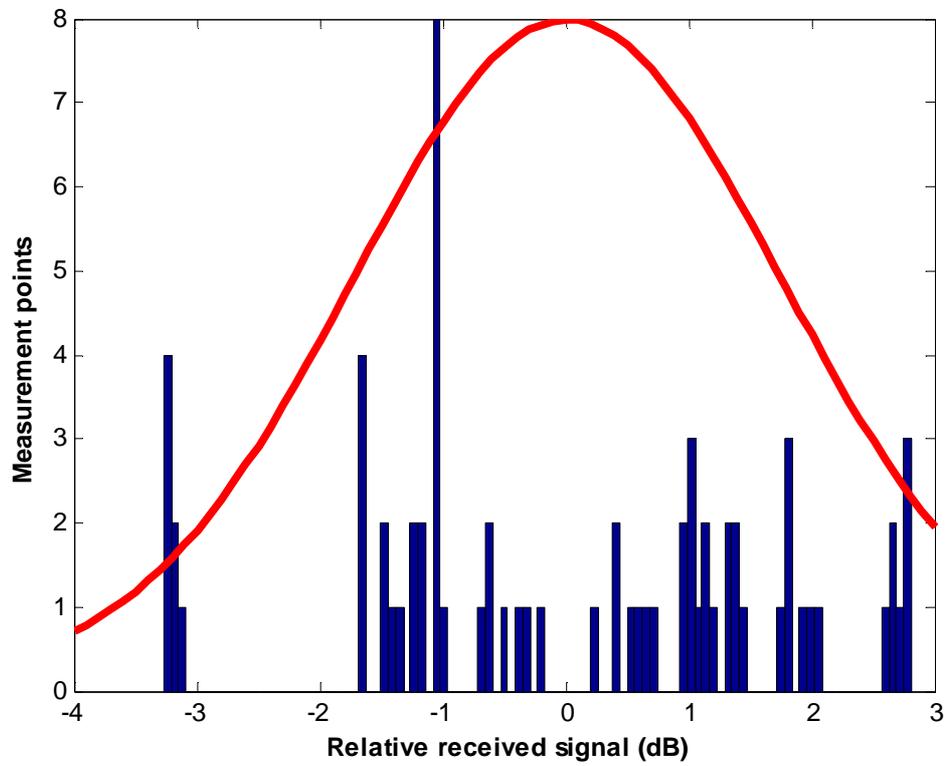
Here it can be noticed that the multipath induced fading can be represented by a little bit deformed Gaussian distribution.

Fig. 7 (d) represents the histogram of the measured points of the second part of the path (measurement points for a distance of 3.25 to 15m) which has been approximated by a combination of Gaussian (75%) and Rayleigh (25%) distributions.

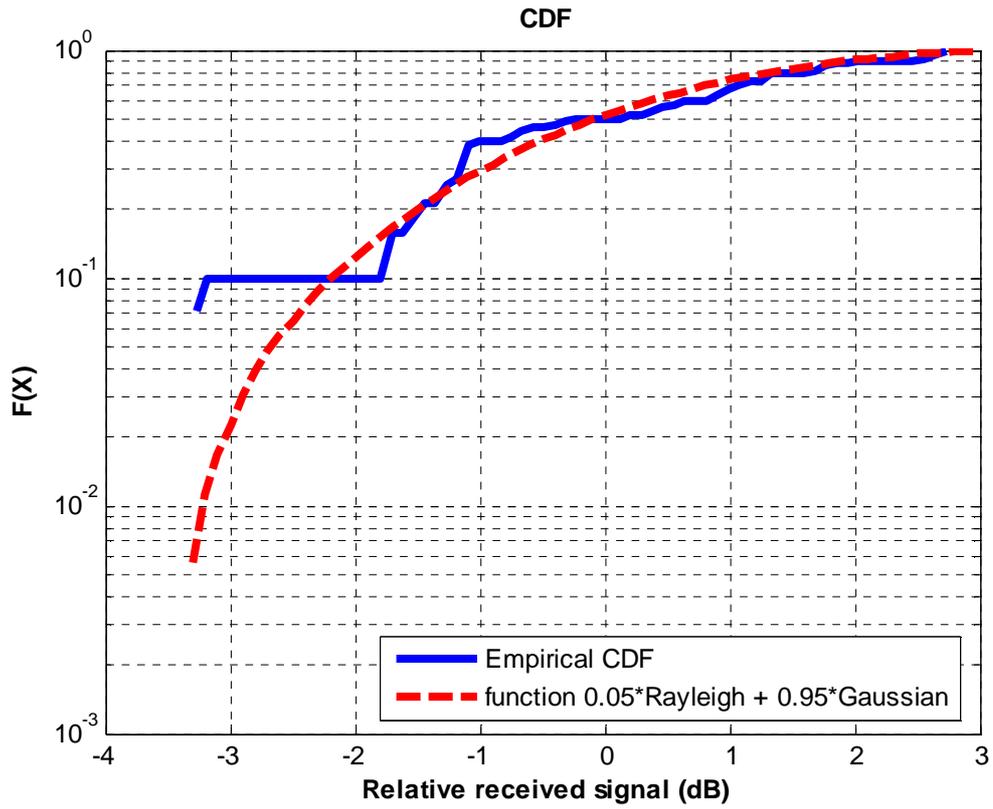
Fig. 7 (e) represents the CDF of the measurements of the second part of the path. Also the CDF of an approximation represented by a combination of Gaussian (75%) and Rayleigh (25%) distributions is also shown.



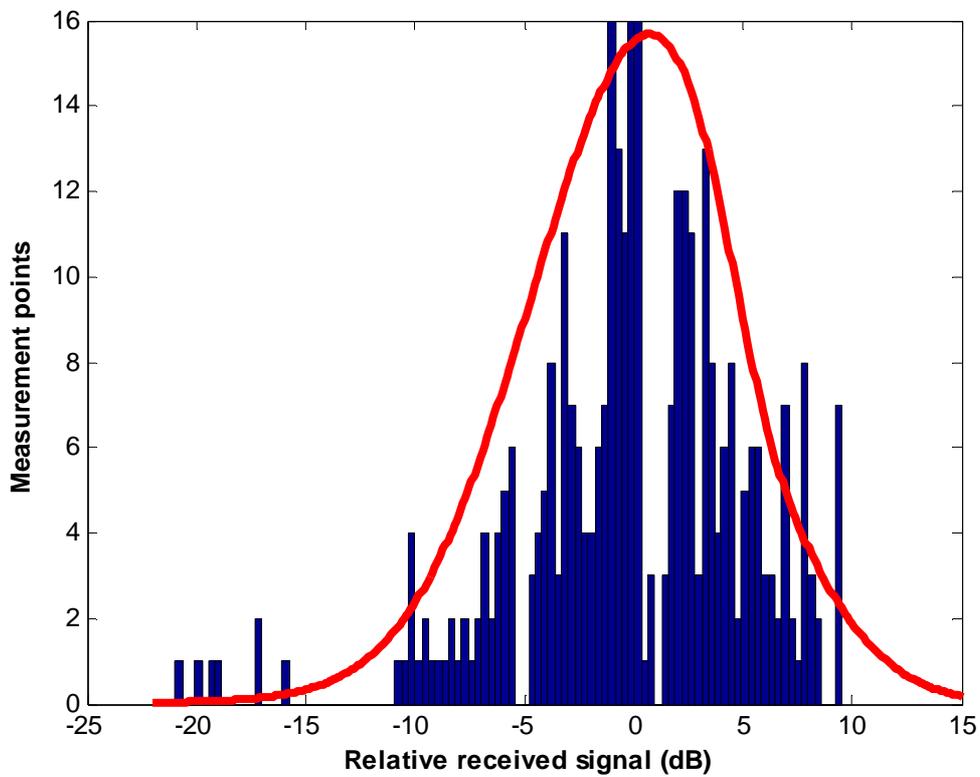
(a)



(b)



(c)



(d)

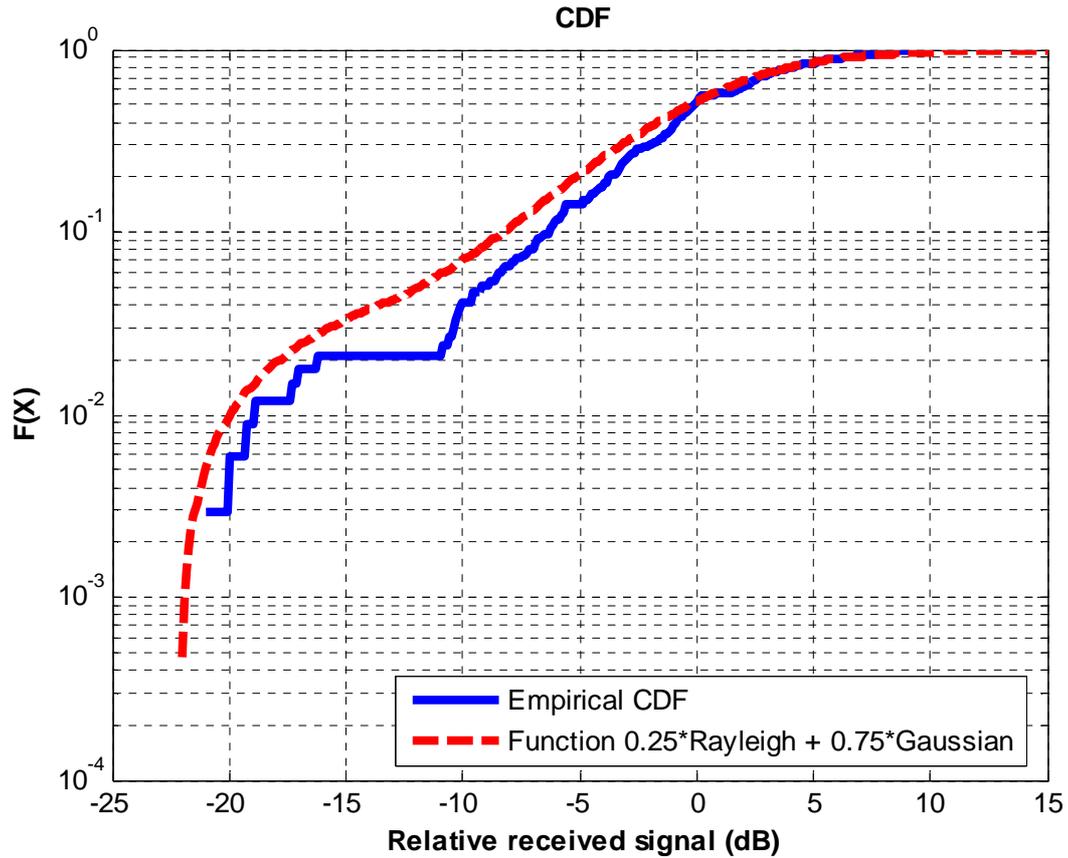


Figure 7: Basic propagation gain for scenario 1 using a 1 MHz bandwidth channel.

- (a) Basic propagation gain regression as a function of the distance from the Tx antenna
- (b) Histogram of the normalized measured propagation loss for the first part of the approximation
- (c) CDF (Cumulative Distribution Function) of the measurements for the first part of the approximation
- (d) Histogram of the normalized measured propagation loss for the second part of the approximation
- (e) CDF (Cumulative Distribution Function) of the measurements for the second part of the approximation.

Secondly, the results for scenario 1 using a 5 MHz bandwidth channel are shown in Fig 8. From Fig. 8(a), it can be noticed that the basic propagation gain can be also presented by the two slope propagation loss model given by (2).

Mean value of the basic propagation gain is given by:

$$G_{pb} (dB) = \begin{cases} -\{40.74 + 13.95 \log_{10}(d)\} & d \leq 3m \\ -\{48.19 + 22.72 \log_{10}(d/3)\} & 15 \geq d > 3.25m \end{cases} \quad (7)$$

Equation (7) shows us that n_1 (1.39) is smaller than the free space propagation exponent of 2 meanwhile the propagation exponent for the second part of the path n_2 (2.27) is a little bit more than 2.

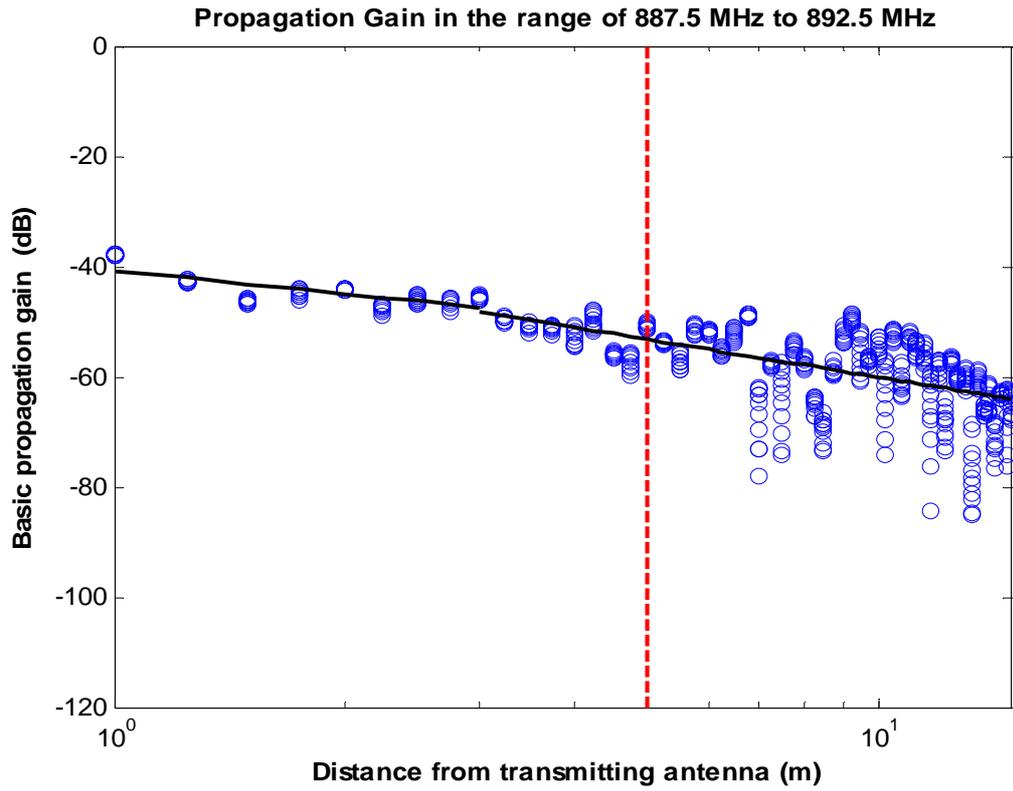
Fig. 8 (b) represents the histogram of the measured points for the first part of the path (measurement points for a distance of 1 to 3m) which has been approximated by a combination of Gaussian (25%) and Rayleigh (75%) distributions.

Fig. 8 (c) represents the CDF of the measurements for the first part of the path. Also the CDF of an approximation represented by a combination of Gaussian (25%) and Rayleigh (75%) distributions is also shown.

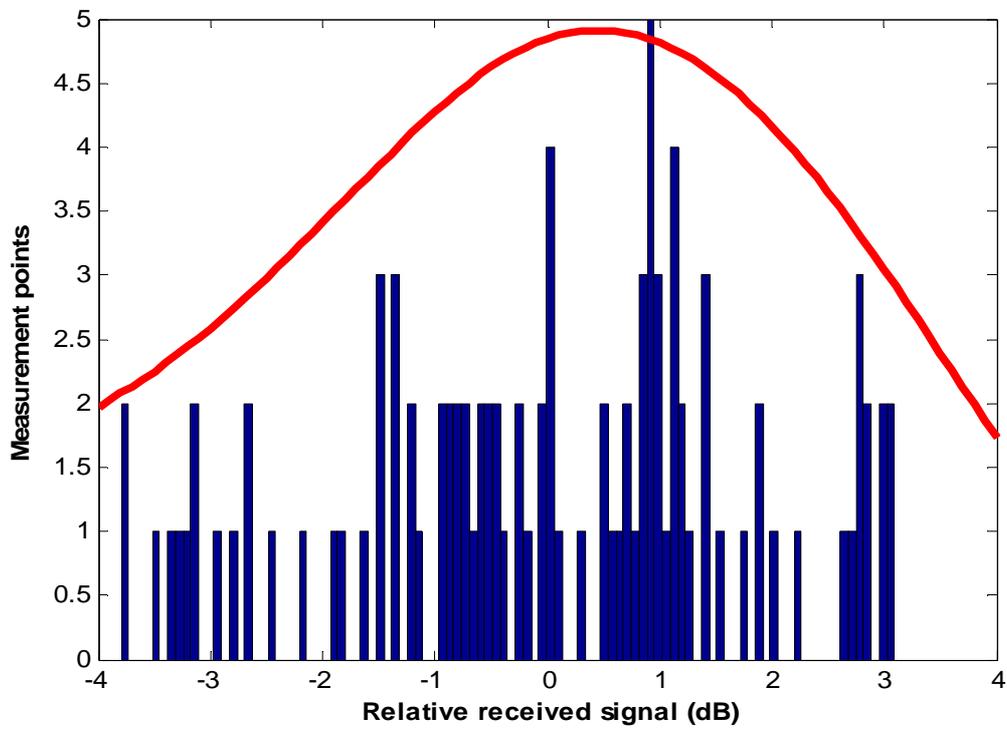
Fig. 8 (d) represents the histogram of the measured points for the second part of the path (measurement points for a distance of 3 to 15m) which has been approximated by a combination of Gaussian (10%) and Rayleigh (90%) distributions.

Fig. 8 (e) represents the CDF of the measurements for the second part of the path. Also the CDF of an approximation represented by a combination of Gaussian (10%) and Rayleigh (90%) distributions is also shown.

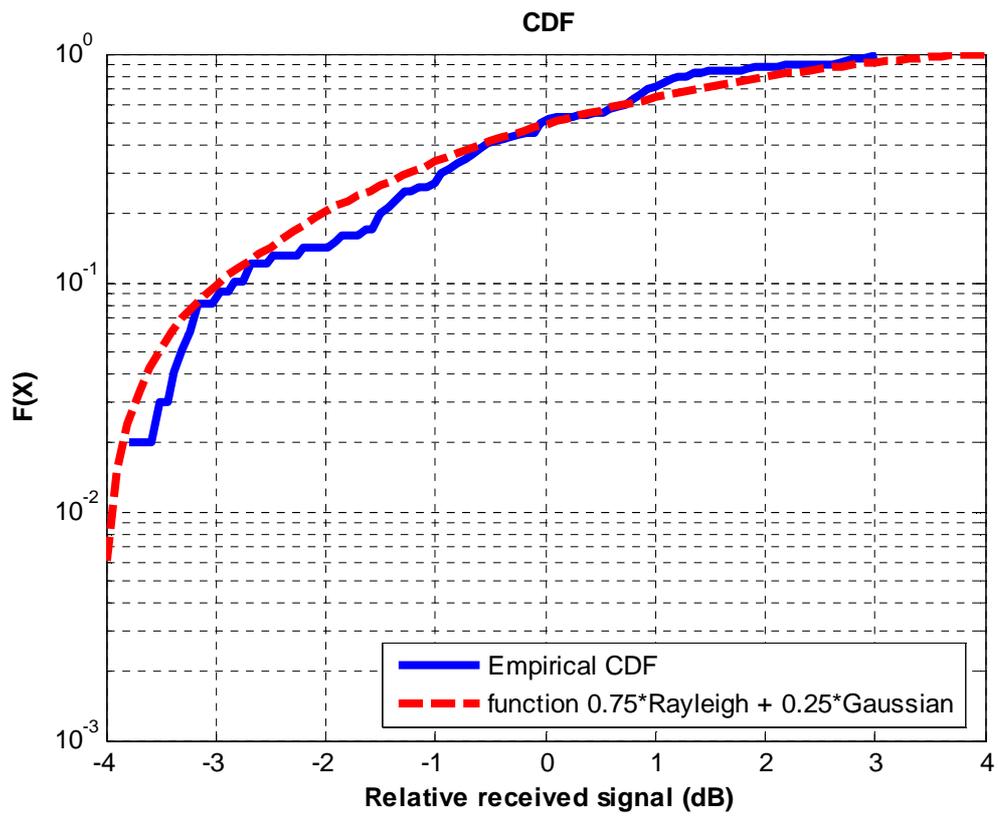
Comparing these results with the results presented by Fig. 7, we can notice that the multipath induced fading has a higher Rayleigh component value compared to its value in Fig. 7. This is due to the higher bandwidth which provokes a higher value of Rayleigh multipath induced fading share.



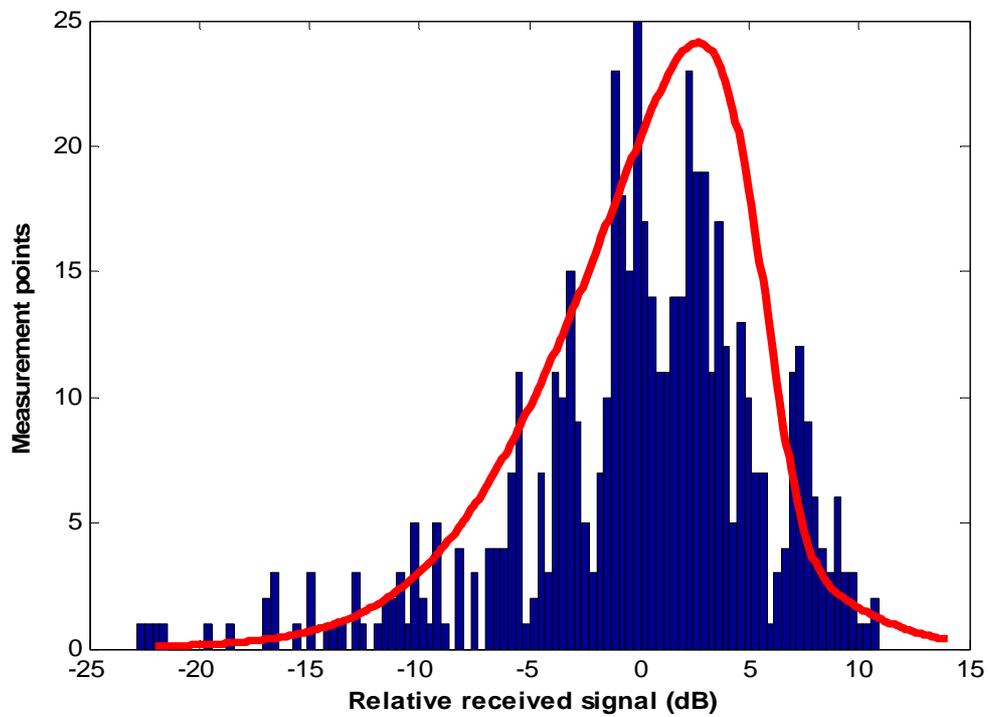
(a)



(b)



(c)



(d)

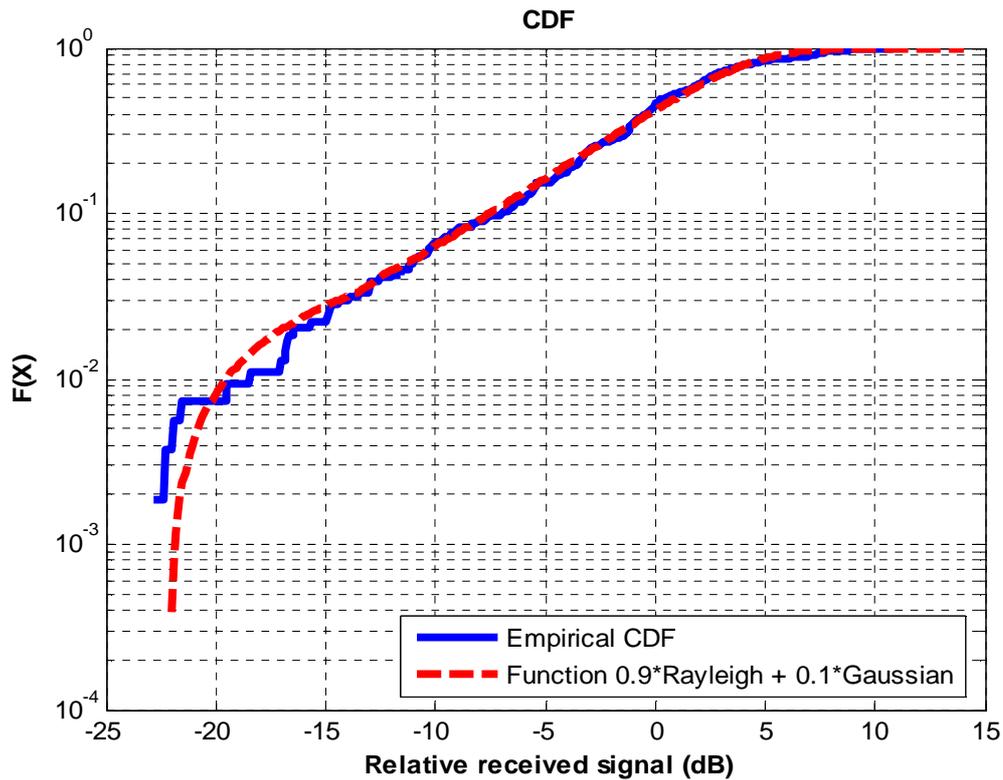


Figure 8: Basic propagation gain for scenario 1 using a 5 MHz bandwidth channel:

- (a) Basic propagation gain regression as a function of the distance from the Tx antenna
- (b) Histogram of the normalized measured propagation loss for the first part of the approximation
- (c) CDF (Cumulative Distribution Function) of the measurements for the first part of the approximation
- (d) Histogram of the normalized measured propagation loss for the second part of the approximation
- (e) CDF (Cumulative Distribution Function) of the measurements for the second part of the approximation.

Thirdly, we will present the results of scenario 2.

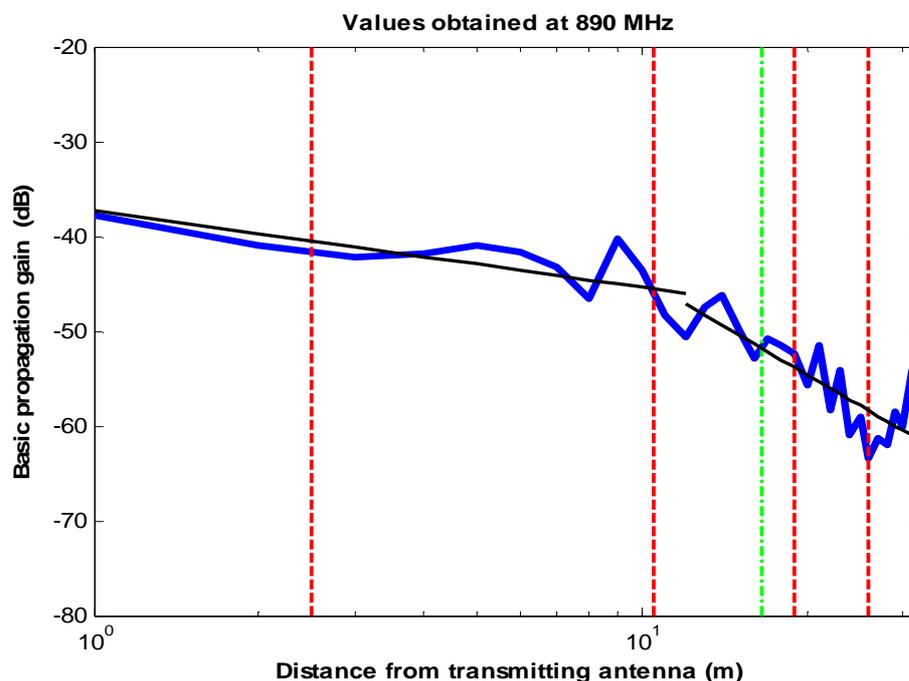


Figure 9: Basic propagation gain in each measurement point of the scenario 3

Fig. 9 shows the basic propagation gain as a function of the distance between the transmitting antenna and the receiver one. It can be noticed that the basic propagation gain can be also presented by the two slope propagation loss model given by (2), where the basic propagation gain is given by:

$$G_{pb} (dB) = \begin{cases} -\{37.31 + 8.08 \log_{10}(d)\} & d \leq 12m \\ -\{47.12 + 33.63 \log_{10}(d/12)\} & 32 \geq d > 12m \end{cases} \quad (8)$$

Equation (8) shows us that n_1 (0.81) is smaller than the free space propagation exponent of 2 meanwhile the propagation exponent for the second part of the path n_2 (3.36) is more than 2.

In Fig. 9, the vertical discontinuous red lines represent the position (centre) of the semicircle columns and the vertical discontinuous green line represent the position (centre) of the red metal fire cupboard, which causes a diffraction effect.

Now, let us present the results for scenario 3.

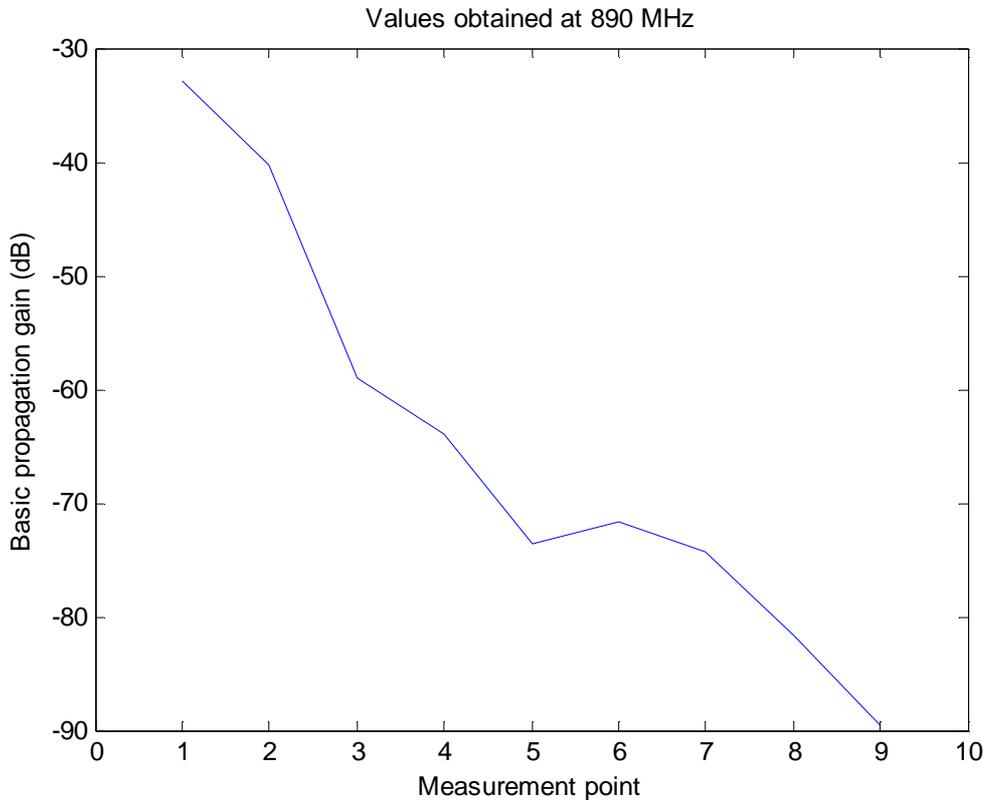


Figure 10: Basic propagation gain in each measurement point of the scenario

The main conclusion to be drawn from this scenario is that the representation of the basic gain of spread against the different measuring points shown in Figure 10 looks fairly similar to the profile of the stage shown in Figure 4, which represents different points of measurement in stairs. This represents a particular Inverse Propagation Case from which the propagation scenario can be very well estimated using the propagation results.

5. INDOOR-OUTDOOR SCENARIOS RESULTS

Now, let us present the result of the first outdoor scenario. Figure 11 represent the basic propagation gain as a function of the different measurement points of scenario 4. We can notice that the value of the basic propagation gain at a 22 m from the building is little bit than its value at a 2m from the building. This is mainly due to the distance increments compensated little bit the increment of the transmitting antenna gain. Free space loss has a value of 49.8 dB for the nearest point to the building and a value of 53.6 dB for the farthest point from the building. The extra loss of propagation is due to the low gain of the transmitting antenna in the direction of propagation.

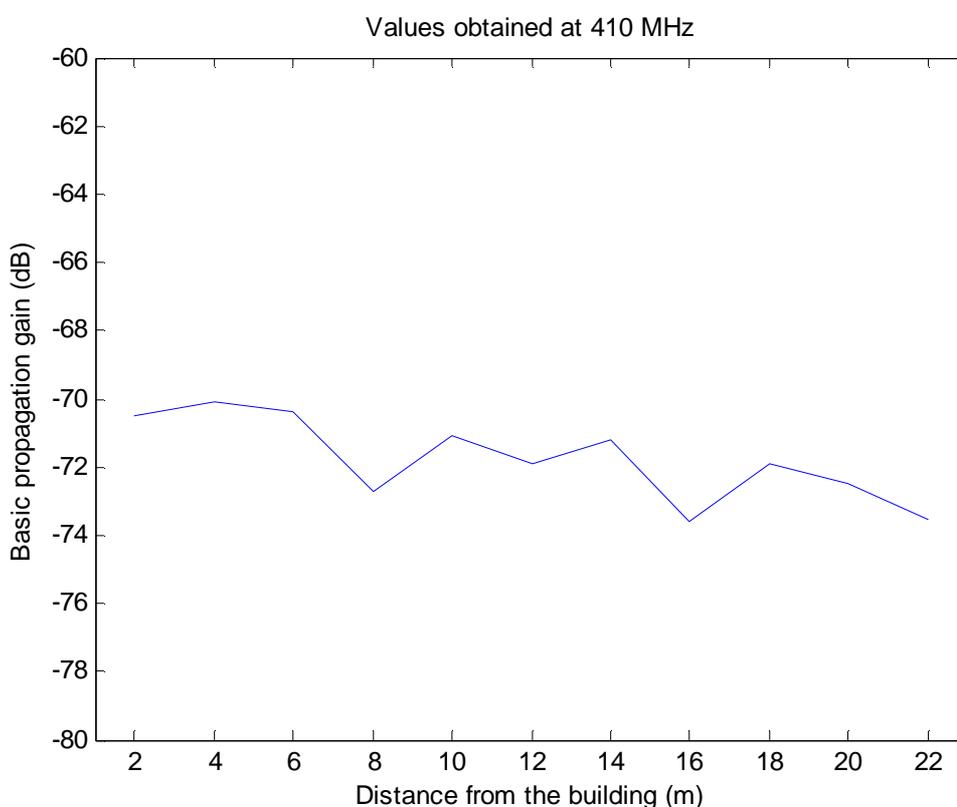


Figure 11: Basic propagation gain in each measurement point of the scenario 4

Finally, the result of scenario 5 is shown in Figure 12. We can notice that the propagation gain has a little increment tendency due to the increment of the height of the 4 to 9 measurements points which increases the transmitting antenna gain. Free space loss has a value of 47.7 dB for the nearest point to the building and a value of 49.5 dB for the farthest point from the building. The extra loss of propagation is due to the low gain of the transmitting antenna in the direction of propagation.

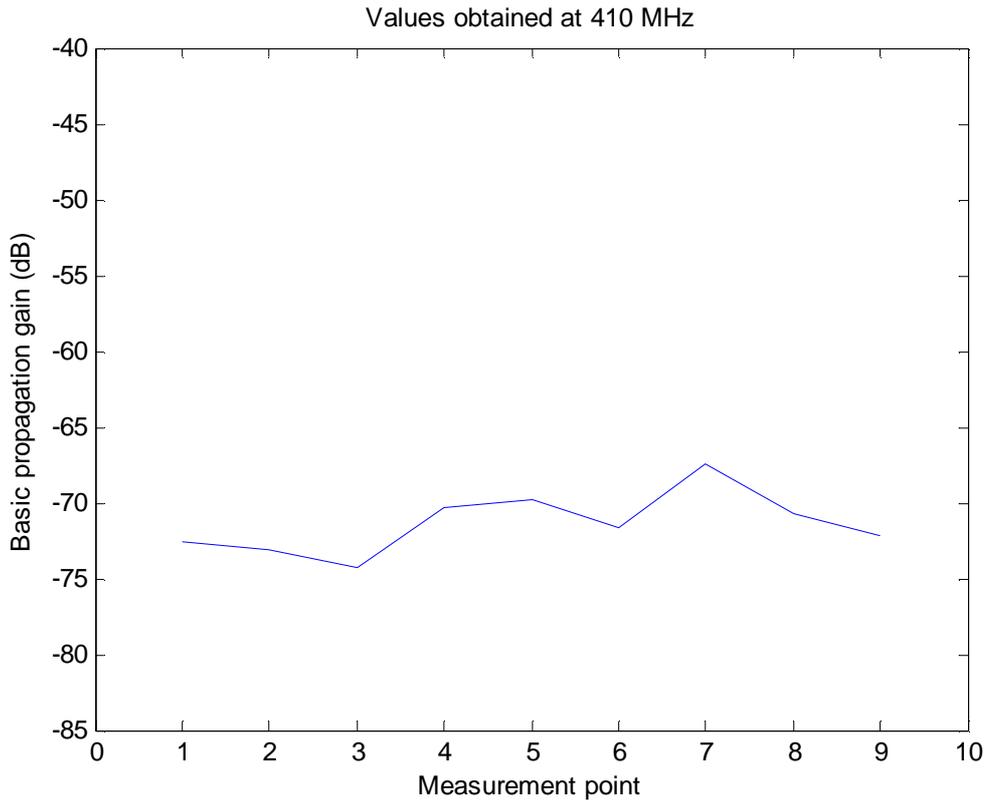


Figure 12: Basic propagation gain in each measurement point of the scenario 5

6. CONCLUSIONS

In this work we have studied the UHF very short range propagation in indoor and indoor-outdoor scenarios. A frequency of 890 MHz has been used in the indoor propagation measurement meanwhile a frequency of 410 MHz has been used in the indoor-outdoor measurements. We have noticed that the deviation from the mean value of propagation can be represented by little bit deformed Gaussian distribution when the distance between the transmitting antenna and the receiving one is lower than 4m. At a higher distance, the Gaussian distribution share reduces, increasing the Rayleigh distribution share. Also it has been noticed that higher channel bandwidth gives arise to a higher Rayleigh multipath induced fading.

REFERENCES

1. M. J. Ammann and Zhi Ning Chen “Wideband Monopole Antennas for Multi-Band Wireless Systems” IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol. 45, No. 2, 146-150, April 2003
2. Henry L. Bertoni, Walter Honcharenko and Leandro Rocha Maciel “UHF Propagation Prediction for Wireless Personal Communications” Proceedings of the IEEE, Vol. 82, No. 9, 1333- 1359, September 1994
3. Walter Honcharenko, Henry L. Bertoni, James L. Dailing, J. Qian, and H. D. Yee “Mechanisms Governing UHF Propagation on Single Floors in Modern Office Buildings” IEE Transactions on vehicular technology, Vol. 41, No. 4, 496- 504. November 1992
4. Homayoun Hashemi “The indoor Radio Propagation Channel”. Proceedings of the IEEE, Vol. 81, No. 7, 943-968, July 1993
5. Mao, X. H., Y. H. Lee, and B. C. Ng, “Propagation modes and temporal variations along a lift shaft in UHF band,” IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 58, No. 8, 2700– 2709, Aug. 2010.
6. Poutanen, J., K. Haneda, J. Salmi., “Analysis of radio wave propagation from an indoor hall to a corridor,” IEEE Antennas and Propagation Symposium/USNC/URSI, Vols. 1–6, 2683–2686, 2009
7. Lee, J. and H. L. Bertoni, “Coupling at cross, T, and L junctions in tunnels and urban street canyons,” IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 51, No. 5, 926–935, May 2003.
8. Dana Porrat and Donald C. Cox “UHF Propagation in Indoor Hallways” IEE Transactions on wireless communications, Vol.3, No. 4, 1188-1198 July 2004
9. Moe Z. Win, and Robert A. Scholtz. Communications, 'Towards the Knowledge Millennium'. 1997 IEEE International Conference, Montreal,8-12 Jun 1997 ,56 - 60 vol.1
10. Iskander, M. F. and Z. Yun, “Propagation prediction models for wireless communication systems,” IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. 50, No. 3, 662–673, Mar. 2002.
11. Reinaldo A. Valenzuela, Orlando Landron and D.L.Jacobs “Estimating Local Mean Signal Strength of Indoor Multipath Propagation” IEE Transactions on vehicular technology, Vol. 46, No. 1, 203- 212. February 1997