

ÍNDICE

ÍNDICE.....	2
ÍNDICE DE GRÁFICAS	6
ÍNDICE DE TABLAS.....	12
DEFINICIONES Y ACRÓNIMOS	13
DEFINICIONES.....	13
ACRÓNIMOS	14
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	15
1.1.- INTRODUCCIÓN.....	15
1.2.- ORGANIZACIÓN DE LA MEMORIA	18
CAPÍTULO 2: EL CANAL RADIO MÓVIL EN INTERIORES	19
2.1.- INTRODUCCIÓN.....	19
2.1.1.- <i>Comunicaciones Inalámbricas en banda ancha y en banda estrecha</i>	20
2.2.- CARACTERIZACIÓN DEL CANAL RADIO MÓVIL EN BANDA ESTRECHA	21
2.2.1.- <i>Desvanecimientos a largo y a corto plazo</i>	24
2.2.2.- <i>Efecto Doppler</i>	25
2.3.- CARACTERIZACIÓN DEL CANAL RADIO MÓVIL EN BANDA ANCHA	26
2.3.1.- <i>El canal radio móvil como sistema lineal variable en el tiempo. Funciones de Bello</i>	28
2.3.2.- <i>El canal móvil como sistema lineal variable en el tiempo aleatorio</i>	30
2.3.2.1.- <i>Canales estacionarios en sentido amplio y de dispersión incorrelada (WSSUS)</i>	32
2.3.3.- <i>Caracterización del canal mediante la función de dispersión</i>	34
2.3.4.- <i>Caracterización del canal radio móvil en los dominios frecuencial y temporal</i>	35
2.4.- PECULIARIDADES DEL CANAL EN INTERIORES.....	39
CAPÍTULO 3: MÉTODOS DE MEDIDA Y MODELADO DEL CANAL EN INTERIORES.....	42
3.1.- PROPAGACIÓN EN INTERIORES	42
3.2.- ASPECTOS GENERALES DEL MODELADO DEL CANAL EN INTERIORES.....	43
3.2.1.- <i>Pérdidas Espacio Libre</i>	46
3.2.2.- <i>Desvanecimiento</i>	46
3.2.3.- <i>Reflexión</i>	47
3.2.4.- <i>Difracción</i>	47
3.3.- MODELOS DE PROPAGACIÓN.....	47
3.3.1.- <i>Modelos empíricos de predicción de pérdidas</i>	51
3.3.1.1.- <i>Modelos dependientes exclusivamente de la distancia</i>	51
3.3.1.1.1.- <i>Modelos exponenciales</i>	51
3.3.1.1.2.- <i>Modelos lineales</i>	52
3.3.1.2.- <i>Modelos empíricos dependientes del entorno</i>	53
3.3.1.2.1.- <i>Modelo de Motley y Keenan</i>	54
3.3.1.2.2.- <i>Modelo De Múltiples Paredes Cost 231 (CMWM)</i>	54
3.3.1.2.2.1.- <i>Pérdidas por difracción</i>	57
3.3.2.- <i>Modelos deterministas</i>	60
3.3.2.1.- <i>Método de las Imágenes Virtuales. Trazado de Rayos</i>	60
3.3.2.2.- <i>Métodos de Lanzado de Rayos</i>	61
3.3.3.- <i>Resumen</i>	62

CAPÍTULO 4: PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES.....	63
4.1.- INTRODUCCIÓN.....	63
4.2.- ADQUISICIÓN DE IMÁGENES	64
4.3.- PROCESAMIENTO DE LA IMAGEN	65
4.3.1.- <i>Funciones para la conversión de formatos de color</i>	65
4.3.2.- <i>Detección de bordes</i>	66
4.3.2.1.- Introducción	66
4.3.2.2.- Técnicas basadas en el gradiente	68
4.3.2.2.1.- Algoritmo de Canny	71
4.3.2.2.1.1.- Obtención del gradiente	72
4.3.2.2.1.2.- Supresión no máxima	74
4.3.2.2.1.3.- Histéresis de umbral	75
4.3.2.2.1.4.- Resultados	77
4.3.2.2.2.- Problemas en los operadores para la detección de bordes.....	77
4.3.2.3.- Técnicas basadas en el Laplaciano.....	78
4.3.3.- <i>Transformada de Hough</i>	79
4.3.3.1.- Detección de líneas rectas.....	79
4.3.3.2.- Algoritmo de Hough	89
CAPÍTULO 5: INTERFAZ DE USUARIO (GUI).....	91
5.1.- ¿POR QUÉ USAR MATLAB?	91
5.2.- PRESENTACIÓN DEL GUIDE	92
5.3.- ORGANIZACIÓN DE LOS OBJETOS GRÁFICOS EN MATLAB.....	95
5.4.- PRIMEROS PASOS CON EL GUIDE.....	97
5.5.- PROPIEDADES DE LOS COMPONENTES.....	100
5.6.- FUNCIONAMIENTO DE UNA APLICACIÓN GUI	101
5.6.1.- <i>Manejo de datos entre los elementos de la aplicación y el archivo .m</i>	102
5.6.2.- <i>Sentencias GET y SET</i>	103
CAPÍTULO 6: IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO DE MÚLTIPLES PAREDES COST 231	104
6.1.- OBJETIVOS DEL MODELO.....	104
6.2.- INTRODUCCIÓN.....	104
6.2.1.- <i>Familia IEEE 802.11 (WI-FI)</i>	105
6.2.2.- <i>Frecuencia</i>	106
6.3.- CLASIFICACIÓN DE PAREDES.....	107
6.4.- UBICAR TRANSMISOR Y RECEPTOR.....	107
6.5.- CÁLCULO DE INTERSECCIONES.....	107
6.6.- CÁLCULO DE POTENCIA	108
6.6.1.- <i>Propagación en el espacio libre</i>	108
6.6.2.- <i>Perdidas del Modelo de Múltiples Paredes Cost 231</i>	109
CAPÍTULO 7: IMPLEMENTACIÓN DE LA HERRAMIENTA DE PREDICCIÓN DE COBERTURA	110
7.1.- INTRODUCCIÓN.....	110
7.2.- REQUISITOS DEL SIMULADOR DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA PARA REDES INALÁMBRICAS EN INTERIORES.....	111
7.3.- MANUAL DE USUARIO DEL SIMULADOR.....	113
7.3.1.- <i>Pantalla principal</i>	114
7.3.2.- <i>Interfaz gráfica principal de adquisición de datos</i>	115
7.3.2.1.- Cargar Plano	116
7.3.2.1.1.- Implementación del algoritmo de procesamiento de imagen en el simulador	118
7.3.2.2.- Resolución	122
7.3.2.3.- Materiales Empleados	122

7.3.2.4.- LOS.....	126
7.3.2.5.- Reflexión.....	126
7.3.2.6.- Difracción	127
7.3.2.7.- Transmisor.....	131
7.3.2.7.1.- Potencia de Transmisión.....	132
7.3.2.7.2.- Polarización	132
7.3.2.8.- Receptor	134
7.3.2.9.- Calcular potencia.....	135
7.3.2.10.- Cobertura Radioeléctrica.....	135
7.3.2.11.- Ayuda.....	135
7.3.2.12.- Barra de progreso.....	136
7.3.2.13.- Excepciones de la Interfaz	138
7.3.3.- Crear ejecutable de la herramienta en Matlab.....	140
CAPÍTULO 8: RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES	146
8.1.- INTRODUCCIÓN.....	146
8.1.1.- Descripción del entorno	146
8.2.- RESULTADOS Y EJEMPLOS DE SIMULACIÓN.....	147
8.2.1.- Ejemplos sencillos	148
8.2.1.1.- Entorno sin muros internos	148
8.2.1.1.1.- Método 2D Ray Tracing	148
8.2.1.1.2.- Método De Múltiples Paredes Cost 231	150
8.2.1.2.- Entorno con un muro interno.....	152
8.2.1.2.1.- Método 2D Ray Tracing	152
8.2.1.2.2.- Modelo 3D Ray Tracing.....	156
8.2.1.2.3.- Modelo de Múltiples Paredes Cost 231.....	156
8.2.2.- Entorno real: vivienda (80 m ²).....	158
8.2.2.1.- Entorno con solo reflexión	158
8.2.2.1.1.- Método 2D Ray Tracing	158
8.2.2.1.2.- Método 3D Ray Tracing	161
8.2.2.2.- Entorno con reflexión y el transmisor en vertical con receptor	161
8.2.2.2.1.- Método 2D Ray Tracing	162
8.2.2.2.2.- Modelo de Múltiples Paredes Cost 231.....	164
8.2.2.3.- Entorno con reflexión y rayo directo.....	165
8.2.2.3.1.- Método 2D Ray Tracing	165
8.2.2.3.2.- Método 3D Ray Tracing	167
8.2.2.4.- Entorno con reflexión y difracción	167
8.2.2.4.1.- Método 2D Ray Tracing	168
8.2.2.5.- Entorno con reflexión, difracción y facetas interiores de Vidrio	170
8.2.2.5.1.- Método 2D Ray Tracing	170
8.2.2.6.- Entorno con rayo directo, reflexión y difracción	172
8.2.2.6.1.- Método 2D Ray Tracing	172
8.2.2.6.2.- Modelo de Múltiples Paredes Cost 231.....	175
8.2.2.7.- Entorno con rayo directo, reflexión, difracción y Potencia del Punto de Acceso 100mW	178
8.2.2.7.1.- Método 2D Ray Tracing	179
8.2.2.7.2.- Modelo de Múltiples Paredes Cost 231.....	179
8.2.2.8.- Entorno con distintas posiciones para TX y RX. Rayo directo, reflexión y difracción.	180
8.2.2.8.1.- Método 2D Ray Tracing	181
8.2.2.8.2.- Método 3D Ray Tracing	183
8.2.2.9.- Entorno con visión directa (LOS), reflexión y difracción.....	184
8.2.2.9.1.- Método 2D Ray Tracing	185
8.2.2.9.2.- Modelo de Múltiples Paredes Cost 231.....	187
8.2.2.10.- Entorno con visión directa (LOS), reflexión, difracción y polarización vertical.....	188
8.2.2.10.1.- Método 2D Ray Tracing	188

8.2.2.11.- Entorno con dos trayectorias de reflexión	189
8.2.2.11.1.- Método 2D Ray Tracing	190
8.2.3.- Conclusiones de los resultados obtenidos.....	191
CAPÍTULO 9: DIAGRAMAS DE FLUJO	192
9.1.- PORTADA	192
9.2.- INTERFAZ 2D RAY TRACING	193
9.3.- INTERFAZ 3D RAY TRACING	195
9.4.- INTERFAZ COST 231	197
9.5.- PROCESAR IMAGEN PLANO.....	198
9.6.- ALGORITMO DE DETECCIÓN DE LÍNEAS- TRANSFORMADA DE HOUGH.....	199
9.7.- PROGRAMA PRINCIPAL: RAYTRACER.....	202
9.8.- PROGRAMA PRINCIPAL: RAYTRACER 3D.....	203
9.9.- PROGRAMA PRINCIPAL: MODELO DE MÚLTIPLES PAREDES COST 231	204
CAPÍTULO 10: CONCLUSIONES	205
10.1.- CONCLUSIONES	205
10.2.- LÍNEAS FUTURAS DE TRABAJO	206
ANEXO I: ALMACENAMIENTO EN ARCHIVO	207
ANEXO II: BARRA DE PROGRESO	208
ANEXO III: UICONTROLS GUI.....	214
REFERENCIAS	226

ÍNDICE DE GRÁFICAS

FIGURA 2.1: ENVOLVENTE DE LA SEÑAL RECIBIDA EN UN MÓVIL PARA UNA VELOCIDAD DE 50KM/H; $F_c=1\text{GHZ}$; TIEMPO DE OBSERVACIÓN=1SEG	23
FIGURA 2.2: DIAGRAMA FASORIAL PARA DOS COMPONENTES DEL MULTI-TRAYECTO	23
FIGURA 2.3: ESPECTRO DE LA ENVOLVENTE VISTA EN LA FIGURA 2.1. $F = 46:29\text{HZ}$	25
FIGURA 2.4: ELIPSES DE IGUAL RETARDO. LOS CAMINOS TXBRX Y TXCRX HAN DE DISTINGUIRSE POR EL ÁNGULO DE LLEGADA, PUES POSEEN EL MISMO VALOR DE RETARDO	27
FIGURA 2.5: ÁNGULO ENTRE LA DIRECCIÓN DEL RECEPTOR MÓVIL Y LA DE LA SEÑAL RECIBIDA	28
FIGURA 2.6: RELACIÓN ENTRE LAS DISTINTAS FUNCIONES DE CARACTERIZACIÓN DEL CANAL, COMO SISTEMA LINEAL VARIANTE EN EL TIEMPO.	30
FIGURA 2.7: RELACIONES ENTRE LAS DISTINTAS FUNCIONES DE AUTOCORRELACIÓN DEL CANAL, COMO SISTEMA LINEAL CRONOVARIABLE ALEATORIO.	32
FIGURA 2.8: RELACIONES ENTRE LAS FUNCIONES DE AUTOCORRELACIÓN PARA CANALES WSSUS	34
FIGURA 2.9: DISTINTOS EJEMPLOS DE FUNCIONES DE CORRELACIÓN EN FRECUENCIA	36
FIGURA 2.10: EJEMPLOS DE PERFILES DE POTENCIA. (A) SITUACIÓN CON VISIBILIDAD DIRECTA ENTRE ANTENAS. (B), (C) Y (D) SITUACIONES SIN VISIBILIDAD DIRECTA.	37
FIGURA 2.11: ILUSTRACIÓN DEL CÁLCULO DE LA VENTANA DE RETARDO W_Q , Y DEL INTERVALO DE RETARDO I_p	39
FIGURA 3.1: PÉRDIDA DE PROPAGACIÓN (<i>PROPAGATION LOSS</i>) Y DESVANECIMIENTO (<i>FADING</i>).	45
FIGURA 3.2: REFLEXIÓN	45
FIGURA 3.3: DIFRACCIÓN	45
FIGURA 3.4: GUIÓN PARA EL DESARROLLO DE UN MODELO DE PROPAGACIÓN EN INTERIORES	50
FIGURA 3.5: PÉRDIDAS POR PENETRACIÓN DE PISOS ADYACENTES	56
FIGURA 3.6: PÉRDIDAS POR PENETRACIÓN DE PAREDES	56
FIGURA 3.7: ESQUEMA PARA EL CÁLCULO DE PÉRDIDAS POR DIFRACCIÓN.	57
FIGURA 3.8: PÉRDIDA POR DIFRACCIÓN EN UNA ARISTA EN FILO DE CUCHILLO	59
FIGURA 4.1: ESQUEMA GENERAL DE VISIÓN ARTIFICIAL	63
FIGURA 4.2 (A): IMAGEN RGB	66
FIGURA 4.2 (B): IMAGEN RESULTANTE DE APLICAR LA FUNCIÓN RGB2GRAY A LA IMAGEN (A)	66
FIGURA 4.3(A): IMAGEN GRAYSCALE	68
FIGURA 4.3(B): IMAGEN RESULTANTE DE APLICAR LA FUNCIÓN EDGE A LA IMAGEN (A)	68
FIGURA 4.4: DETECCIÓN DE CONTORNOS MEDIANTE LA PRIMERA Y SEGUNDA DERIVADA	69
FIGURA 4.5: MÁSCARAS PARA LOS OPERADORES ROBERTS, PREWITT, SOBEL E ISOTRÓPICO	70

FIGURA 4.6: MÁSCARAS DE CONVOLUCIÓN RECOMENDADAS PARA OBTENER EL FILTRO GAUSSIANO. LA MÁSCARA (A) FUE OBTENIDA DE [26], MIENTRAS QUE LA MÁSCARA (B) FUE OBTENIDA DE [27] .. 72	72
FIGURA 4.7: RESULTADO DE APLICAR EL DETECTOR DE BORDES DE CANNY: (A) IMAGEN ORIGINAL; (B) ORIENTACIÓN; (C) SUPRESIÓN NO MÁXIMA; (D) HISTÉRESIS DE UMBRAL..... 77	77
FIGURA 4.8: MÁSCARAS UTILIZADAS PARA EL OPERADOR LAPLACIANO..... 78	78
FIGURA 4.9: EJEMPLO DE CONVERSIÓN HACIA EL ESPACIO PARAMÉTRICO 80	80
FIGURA 4.10: ESPACIO PARAMÉTRICO EN COORDENADAS POLARES 81	81
FIGURA 4.11: VOTACIONES EN EL ESPACIO PARAMÉTRICO DE COORDENADAS POLARES 81	81
FIGURA 4.12: DETECCIÓN DE LÍNEAS. SE ILUSTRAN LA RECTA QUE MEJOR APROXIMA EL BORDE DESCRITO POR LOS PUNTOS QUE REPRESENTAN ORILLAS. 82	82
FIGURA 4.13: MATRIZ BINARIA (BW) 83	83
FIGURA 4.14: REPRESENTACIÓN DE LA LÍNEA 84	84
FIGURA 4.15: VECTORES θ Y P 84	84
FIGURA 4.16: MATRIZ H 85	85
FIGURA 4.17: IMAGEN BINARIA 86	86
FIGURA 4.18: REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA MATRIZ H 87	87
FIGURA 4.19: MÁXIMOS DE LA MATRIZ H (AMPLIACIÓN DE LA FIG. 4.16)..... 87	87
FIGURA 4.20: DETECCIÓN DE LAS COORDENADAS DE LOS MÁXIMOS DE LA MATRIZ H 88	88
FIGURA 4.21: LÍNEAS DETECTADAS 89	89
FIGURA 4.22: PROCESAMIENTO DE IMAGEN PARA DETECTAR LÍNEAS RECTAS 90	90
FIGURA 5.1: VENTANA PRINCIPAL DE <i>GUIDE</i> CON SUS COMPONENTES 93	93
FIGURA 5.2: OBJETOS GRÁFICOS EMPLEADOS EN MATLAB..... 96	96
FIGURA 5.3: CUADRO DE DIÁLOGO DE INICIO DEL <i>GUIDE</i> 97	97
FIGURA 5.4: AÑADIR UN <i>PUSH BUTTON</i> A LA INTERFAZ GRÁFICA..... 99	99
FIGURA 5.5: HERRAMIENTAS DE LA INTERFAZ GRÁFICA..... 99	99
FIGURA 5.6: OPCIONES DE LOS COMPONENTES DEL <i>GUIDE</i> 100	100
FIGURA 5.7: ENTORNO <i>PROPERTY INSPECTOR</i> . PERMITE VER Y EDITAR LAS PROPIEDADES DE UN OBJETO 100	100
FIGURA 5.8: MENÚ PARA ACCEDER A LA FUNCIÓN <i>CALLBACK</i> DE CUALQUIER ELEMENTO..... 102	102
FIGURA 6.1: MODELO DE MÚLTIPLES PAREDES <i>COST 231</i> 105	105
FIGURA 7.1: PORTADA DEL SIMULADOR DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA..... 114	114
FIGURA 7.2: INTERFAZ PRINCIPAL DE ADQUISICIÓN DE DATOS..... 116	116
FIGURA 7.3: PLANTA REAL EMPLEADA EN LOS EJEMPLOS DEL SIMULADOR..... 117	117
FIGURA 7.4: IMAGEN DEL PLANO DE LA PLANTA ANTERIOR EN FORMATO .JPG 117	117
FIGURA 7.5: CUADRO PARA INTRODUCIR LOS LÍMITES DEL RECINTO..... 118	118
FIGURA 7.6: IMAGEN ORIGINAL RGB (PLANO) 120	120

FIGURA 7.7: IMAGEN EN ESCALA DE GRISES	120
FIGURA 7.9: TRANSFORMADA DE <i>HOUGH</i> (DETECCIÓN DE LÍNEAS)	120
FIGURA 7.8: IMAGEN BINARIA. ALGORITMO DE CANNY (DETECCIÓN DE BORDES)	120
FIGURA 7.10: INTERFAZ 2D DESPUÉS DE PROCESAR PLANO	121
FIGURA 7.11: INTERFAZ 3D DESPUÉS DE PROCESAR PLANO	121
FIGURA 7.12: PANTALLA DE INFORMACIÓN DE MATERIALES POR DEFECTO	123
FIGURA 7.13: CUADRO DE DIÁLOGO EMPLEADO EN PREGUNTAS	123
FIGURA 7.14: FORMULARIO PARA INTRODUCIR NUEVOS MATERIALES	124
FIGURA 7.15: INTERFAZ PARA ASIGNAR EL MATERIAL A CADA FACETA	125
FIGURA 7.16: PREGUNTA PARA ELEGIR SI CONSIDERAR <i>LOS</i> O NO.....	126
FIGURA 7.17: PREGUNTA PARA ELEGIR SI CONSIDERAR REFLEXIÓN O NO	127
FIGURA 7.18: INTERFAZ CON <i>POPUPMENU</i> PARA ELEGIR EL NÚMERO DE REFLEXIONES	127
FIGURA 7.19: PREGUNTA PARA ELEGIR SI CONSIDERAR DIFRACCIÓN O NO	128
FIGURA 7.20: INTERFAZ PARA ELEGIR LOS PUNTOS DE DIFRACCIÓN Y SU LOCALIZACIÓN.....	129
FIGURA 7.21: INTERFAZ PARA ELEGIR TRAYECTORIAS DE DIFRACCIÓN	130
FIGURA 7.22: FORMULARIO PARA INTRODUCIR DATOS DEL TRANSMISOR.....	131
FIGURA 7.23: REFLEXIÓN-POLARIZACIÓN HORIZONTAL.....	133
FIGURA 7.24: REFLEXIÓN-POLARIZACIÓN VERTICAL.....	134
FIGURA 7.25: FORMULARIO PARA UBICAR RECEPTOR	134
FIGURA 7.26: INTERFAZ DE AYUDA	136
FIGURA 7.27: BARRA DE PROGRESO ORIGINAL DE MATLAB	137
FIGURA 7.28: BARRA DE PROGRESO MODIFICADA	137
FIGURA 7.29: BARRA DE PROGRESO DEL SIMULADOR <i>ESINDOOR</i>	138
FIGURA 7.30: CUADRO DE DIÁLOGO AL CERRAR BARRA DE PROGRESO.....	138
FIGURA 7.31: CUADRO DE DIÁLOGO PARA INDICAR UN ERROR EN LA ADQUISICIÓN DE DATOS	139
FIGURA 7.32: VENTANA DE INICIO PARA CREAR EJECUTABLE MATLAB	140
FIGURA 7.33: VENTANA PARA INDICAR NOMBRE DEL PROYECTO	141
FIGURA 7.34: VENTANA PARA AÑADIR FICHEROS AL PROYECTO	141
FIGURA 7.35: FICHEROS PRINCIPAL Y OTROS AÑADIDOS AL PROYECTO.....	142
FIGURA 7.36: VENTANA DE OPCIONES	143
FIGURA 7.37: INCLUIR EL <i>RUNTIME</i> DE MATLAB AL EJECUTABLE	144
FIGURA 7.38: CONSTRUYENDO EL FICHERO <i>.EXE</i>	144
FIGURA 7.39: PROGRAMA EJECUTABLE CREADO	145
FIGURA 8.1: COBERTURA Y TRAZADO DE RAYOS SIN MUROS INTERNOS- <i>2D RAY TRACING</i> -	149
FIGURA 8.2: COBERTURA SIN MUROS INTERNOS- <i>2D RAY TRACING</i> -	149

FIGURA 8.3: POTENCIA EN EL RECEPTOR SELECCIONADO, ENTORNO SIN MUROS -RAY TRACING 2D-	150
FIGURA 8.4: COBERTURA SIN MUROS INTERNOS-MÚLTIPLES PAREDES COST 231-	151
FIGURA 8.5: POTENCIA EN EL RECEPTOR SELECCIONADO, ENTORNO SIN MUROS -MÚLTIPLES PAREDES COST 231-	151
FIGURA 8.6: COBERTURA EN ENTORNO CON UN MURO INTERNO, REFLEXIÓN Y DIFRACCIÓN-2D RAY TRACING-	153
FIGURA 8.7: TRAZADO DE RAYOS EN ENTORNO CON UN MURO INTERIOR CON REFLEXIÓN, DIFRACCIÓN, DOBLE DIFRACCIÓN, REFLEXIÓN-DIFRACCIÓN Y DIFRACCIÓN-REFLEXIÓN -2D RAY TRACING -	154
FIGURA 8.8: POTENCIA EN ENTORNO CON UN MURO INTERIOR CON REFLEXIÓN, DIFRACCIÓN, DOBLE DIFRACCIÓN, REFLEXIÓN-DIFRACCIÓN Y DIFRACCIÓN-REFLEXIÓN -2D RAY TRACING -	154
FIGURA 8.9: TRAZADO DE RAYOS EN ENTORNO CON UN MURO INTERIOR CON REFLEXIÓN Y DIFRACCIÓN -2D RAY TRACING -	155
FIGURA 8.10: POTENCIA EN ENTORNO CON UN MURO INTERIOR CON REFLEXIÓN Y DIFRACCIÓN – 2D RAY TRACING -	155
FIGURA 8.11: TRAZADO DE RAYOS EN 2D Y 3D EN ENTORNO CON UN MURO INTERNO - 3D RAY TRACING -	156
FIGURA 8.12: COBERTURA CON UN MURO INTERNO, CON RAYO DIRECTO Y DIFRACCIÓN EN AMBOS BORDES DEL MURO INTERIOR - MÚLTIPLES PAREDES COST 231 -	157
FIGURA 8.13: POTENCIA EN EL RECEPTOR SELECCIONADO, ENTORNO CON UN MURO INTERNO - MÚLTIPLES PAREDES COST 231 -	157
FIGURA 8.14: COBERTURA Y TRAZADO DE RAYOS EN ENTORNO REAL, CON REFLEXIÓN – 2D RAY TRACING -	159
FIGURA 8.15: COBERTURA EN ENTORNO REAL, CON REFLEXIÓN - 2D RAY TRACING-	159
FIGURA 8.16: TRAZADO DE RAYOS EN ENTORNO REAL, CON REFLEXIÓN -2D RAY TRACING-	160
FIGURA 8.17: POTENCIA EN EL RECEPTOR SELECCIONADO, ENTORNO REAL, CON REFLEXIÓN - 2D RAY TRACING -	160
FIGURA 8.18: TRAZADO DE RAYOS EN ENTORNO REAL, CON REFLEXIÓN -2D Y 3D RAY TRACING-	161
FIGURA 8.19: COBERTURA CON REFLEXIÓN, TX VERTICAL CON RX -2D RAY TRACING-	162
FIGURA 8.20: TRAZADO DE RAYOS, CON REFLEXIÓN. TX VERTICAL CON RX -2D RAY TRACING-	163
FIGURA 8.21: POTENCIA EN EL RECEPTOR CON REFLEXIÓN. TX VERTICAL CON RX -2D RAY TRACING-	163
FIGURA 8.22: COBERTURA CON RAYO DIRECTO Y DIFRACCIÓN, TX VERTICAL CON RX -MÚLTIPLES PAREDES COST 231-	164
FIGURA 8.23: POTENCIA EN EL RECEPTOR CON RAYO DIRECTO Y DIFRACCIÓN. TX VERTICAL CON RX - MÚLTIPLES PAREDES COST 231-	164
FIGURA 8.24: COBERTURA Y TRAZADO DE RAYOS EN ENTORNO REAL, CON REFLEXIÓN Y RAYO DIRECTO – 2D RAY TRACING -	165

FIGURA 8.25: COBERTURA EN ENTORNO REAL, CON REFLEXIÓN Y RAYO DIRECTO– <i>2D RAY TRACING</i> -	166
FIGURA 8.26: POTENCIA EN EL RECEPTOR, CON REFLEXIÓN Y RAYO DIRECTO - <i>2D RAY TRACING</i> -...166	166
FIGURA 8.27: TRAZADO DE RAYOS EN ENTORNO REAL, CON REFLEXIÓN Y RAYO DIRECTO - <i>2D Y 3D RAY TRACING</i> -.....	167
FIGURA 8.28: COBERTURA EN ENTORNO REAL, CON REFLEXIÓN Y DIFRACCIÓN - <i>2D RAY TRACING</i> - .168	168
FIGURA 8.29: TRAZADO DE RAYOS EN ENTORNO REAL, CON REFLEXIÓN Y DIFRACCIÓN - <i>2D RAY TRACING</i> -.....	169
FIGURA 8.30: POTENCIA EN EL RECEPTOR SELECCIONADO, ENTORNO REAL, CON REFLEXIÓN Y DIFRACCIÓN - <i>2D RAY TRACING</i> - .	169
FIGURA 8.31: COBERTURA CON REFLEXIÓN Y DIFRACCIÓN, FACETAS DE VIDRIO - <i>2D RAY TRACING</i> - .	171
FIGURA 8.32: POTENCIA EN EL RECEPTOR CON REFLEXIÓN Y DIFRACCIÓN. FACETAS DE VIDRIO - <i>MÚLTIPLES PAREDES COST 231</i> -.....	171
FIGURA 8.33: COBERTURA CON RAYO DIRECTO, REFLEXIÓN Y DIFRACCIÓN - <i>2D RAY TRACING</i> -.....	173
FIGURA 8.34: TRAZADO DE RAYOS CON RAYO DIRECTO, REFLEXIÓN Y DIFRACCIÓN - <i>2D RAY TRACING</i> -	174
FIGURA 8.35: POTENCIA EN EL RECEPTOR SELECCIONADO, CON RAYO DIRECTO, REFLEXIÓN Y DIFRACCIÓN - <i>2D RAY TRACING</i> - .	174
FIGURA 8.36: COBERTURA EN ENTORNO CON RAYO DIRECTO Y DIFRACCIÓN – <i>MODELO DE MÚLTIPLES PAREDES COST 231</i> - .	175
FIGURA 8.37: POTENCIA EN ENTORNO CON RAYO DIRECTO Y DIFRACCIÓN – <i>MODELO DE MÚLTIPLES PAREDES COST 231</i> - .	176
FIGURA 8.38: COBERTURA CON REFLEXIÓN Y DIFRACCIÓN, MUROS INTERNOS FINOS O CON MÚLTIPLES ABERTURAS - <i>MÚLTIPLES PAREDES COST 231</i> -.....	177
FIGURA 8.39: POTENCIA EN EL RECEPTOR CON REFLEXIÓN Y DIFRACCIÓN. MUROS INTERNOS FINOS O CON MÚLTIPLES ABERTURAS - <i>MÚLTIPLES PAREDES COST 231</i> - .	177
FIGURA 8.40: POTENCIA EN EL RECEPTOR CON RAYO DIRECTO, REFLEXIÓN Y DIFRACCIÓN. POT=100MW- <i>2D RAY TRACING</i> - .	179
FIGURA 8.41: POTENCIA EN EL RECEPTOR CON RAYO DIRECTO, REFLEXIÓN Y DIFRACCIÓN. POT=100MW- <i>MÚLTIPLES PAREDES COST 231</i> -.....	179
FIGURA 8.42: COBERTURA Y TRAZADO DE RAYOS, LOS, REFLEXIÓN Y DIFRACCIÓN - <i>2D RAY TRACING</i> -	181
FIGURA 8.43: COBERTURA ENTORNO CON RAYO DIRECTO, REFLEXIÓN Y DIFRACCIÓN.....	181
FIGURA 8.44: TRAZADO DE RAYOS ENTORNO CON RAYO DIRECTO, REFLEXIÓN Y DIFRACCIÓN	182
FIGURA 8.45: POTENCIA EN EL RECEPTOR CON RAYO DIRECTO, REFLEXIÓN Y DIFRACCIÓN	182
FIGURA 8.46: TRAZADO DE RAYOS 2D Y 3D. TRANSMISOR Y RECEPTOR EN Z=1	183
FIGURA 8.47: TRAZADO DE RAYOS 2D Y 3D. TRANSMISOR EN Z=1 Y RECEPTOR EN Z=2.....	183
FIGURA 8.48: TRAZADO DE RAYOS 2D Y 3D. TRANSMISOR EN Z=1 Y RECEPTOR EN Z=3.....	184

FIGURA 8.49: COBERTURA Y TRAZADO DE RAYOS, TX VISIÓN DIRECTA CON RX, REFLEXIÓN Y DIFRACCIÓN -2D RAY TRACING-	185
FIGURA 8.50: COBERTURA, TX VISIÓN DIRECTA CON RX, REFLEXIÓN Y DIFRACCIÓN -2D RAY TRACING-	185
FIGURA 8.51: TRAZADO DE RAYOS EN ENTORNO CON TX VISIÓN DIRECTA CON RX, REFLEXIÓN Y DIFRACCIÓN – 2D RAY TRACING -	186
FIGURA 8.52: POTENCIA EN EL RECEPTOR. TX VISIÓN DIRECTA CON RX, REFLEXIÓN Y DIFRACCIÓN -2D RAY TRACING-	186
FIGURA 8.53: COBERTURA PARA EL CASO DEL TX CON VISION DIRECTA CON RX Y DIFRACCIÓN – MÚLTIPLES PAREDES COST 231-	187
FIGURA 8.54: POTENCIA EN EL RECEPTOR, VISIÓN DIRECTA Y DIFRACCIÓN – MÚLTIPLES PAREDES COST 231-	187
FIGURA 8.55: POTENCIA EN EL RECEPTOR, LOS, REFLEXIÓN Y DIFRACCIÓN. POLARIZACIÓN VERTICAL – 2D RAY TRACING -	189
FIGURA 8.56: COBERTURA Y TRAZADO DE RAYOS EN ENTORNO CON DOS TRAYECTORIAS DE REFLEXIÓN -2D RAY TRACING -	190
FIGURA 8.57: TRAZADO DE RAYOS EN UN ENTORNO CON DOS TRAYECTORIAS DE REFLEXIÓN	190

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 3.1: VALORES MEDIOS DE LOS FACTORES DE PÉRDIDA SEGÚN CATEGORÍA	56
TABLA 4.1: FORMATOS Y EXTENSIONES SOPORTADAS POR MATLAB.	64
TABLA 4.2: CÁLCULO DE LOS ÁNGULOS A , θ_1 Y P_1	86
TABLA 4.3: CÁLCULO DE LOS ÁNGULOS B , θ_2 Y P_2	86
TABLA 5.1: DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL <i>GUIDE</i>	94
TABLA 7.1: ENMIENDAS DEL IEEE 802.11	106
TABLA 8.1: TIEMPOS DE CÓMPUTO ESINDOOR.....	147
TABLA 8.2: PARÁMETROS DE LA SIMULACIÓN 1	148
TABLA 8.3: PARÁMETROS DE LA SIMULACIÓN 2	152
TABLA 8.4: PARÁMETROS DE LA SIMULACIÓN 3	158
TABLA 8.5: PARÁMETROS DE LA SIMULACIÓN 4	161
TABLA 8.6: PARÁMETROS DE LA SIMULACIÓN 5	165
TABLA 8.7: PARÁMETROS DE LA SIMULACIÓN 6	167
TABLA 8.8: PARÁMETROS DE LA SIMULACIÓN 7	170
TABLA 8.9: PARÁMETROS DE LA SIMULACIÓN 8	172
TABLA 8.10: PARÁMETROS DE LA SIMULACIÓN 9	178
TABLA 8.11: PARÁMETROS DE LA SIMULACIÓN 10	180
TABLA 8.12: PARÁMETROS DE LA SIMULACIÓN 11	184
TABLA 8.13: PARÁMETROS DE LA SIMULACIÓN 12	188
TABLA 8.14: PARÁMETROS DE LA SIMULACIÓN 13	189
TABLA A1.1: TABLA RESUMEN DEL COMANDO SAVE	207
TABLA A1.2: TABLA RESUMEN DEL COMANDO LOAD	207