

Índice General

1	Introducción	1
1.1	Antecedentes	1
1.1.1	Electromagnetismo Computacional	1
1.1.2	Antenas de Microtira	2
1.2	Objetivos de la Tesis	2
1.3	Organización de la Tesis	3
2	Antenas de Microtira	4
2.1	Introducción	4
2.2	Modelo de Cavidad Resonante	5
2.3	Ecuaciones del Campo	6
2.4	Solución Analítica	7
2.5	Campo Radiado	9
2.6	Impedancia de Entrada y Frecuencia de Resonancia	11
2.7	Ancho de Banda y Eficiencia	13

2.8	Antenas de geometría simple	14
2.8.1	Parche Rectangular	14
2.8.2	Parche Circular	15
2.8.3	Parche Triangular	17
2.9	Resultados	18
2.10	Resumen	21
3	Métodos Numéricos	24
3.1	Introducción	24
3.2	Ecuación Diferencial	24
3.3	Método de los Elementos Finitos	25
3.3.1	Formulación	26
3.3.2	Discretización	26
3.3.3	Ensamblado de Matrices	29
3.4	Método de los Elementos de Contorno	31
3.4.1	Identidades de Green	32
3.4.2	Solución Fundamental	32
3.4.3	Formulación	33
3.4.4	Discretización	35
3.4.5	Ensamblado de matrices	36

3.5	Método de Reciprocidad Dual	39
3.5.1	Formulación	39
3.5.2	Discretización	42
3.5.3	Ensamblado de matrices	44
3.6	Resultados numéricos	45
3.7	Resumen	49
4	Antena Cuadrada con Ranura Excéntrica	50
4.1	Introducción	50
4.2	Antenas No Convencionales	50
4.3	Geometría de la Antena Propuesta	51
4.4	Análisis y Simulación	52
4.4.1	Fórmula para el Campo de Borde	53
4.4.2	Frecuencia de Resonancia	55
4.4.3	Impedancia de Entrada	56
4.4.4	Patrón de Radiación	57
4.4.5	Ancho de Banda, Directividad y Eficiencia	58
4.5	Resultados experimentales	59
4.6	Resumen	62
5	Conclusiones	63

<i>ÍNDICE GENERAL</i>	vi
5.1 Resumen	63
5.2 Conclusiones	64
5.3 Trabajo Futuro	65
A Algunos Principios del Electromagnetismo	66
A.1 Principio de Equivalencia (o de Huygens)	66
A.2 Campo Electromagético en la Zona Lejana	67
A.3 Dualidad	68
B Teoría de Difracción	69
B.1 Introducción	69
B.2 Teoría Geométrica de Difracción	69
B.3 Teoría Uniforme de Difracción	70
B.4 Corriente Equivalente	72
B.5 Antena de Microtira	73
C Código Fuente	77
C.1 Introducción	77
C.2 Rutinas de FEM	77
C.3 Rutinas de BEM	80
C.4 Rutinas de DRM	85
C.5 Rutinas Varias	89

ÍNDICE GENERAL

vii

D Símbolos

99

Índice de Figuras

2.1	Geometría de una antena de microtira de forma arbitraria. . . .	5
2.2	Principio de Equivalencia aplicado a una antena de microtira. . .	9
2.3	Geometría de una antena de microtira de forma rectangular. . .	15
2.4	Geometría de una antena de microtira de forma circular.	16
2.5	Geometría de una antena de microtira de forma triangular. . . .	18
2.6	Impedancia de entrada a la frecuencia de resonancia en función de la posición del punto de alimentación: a) parche rectangular ($x_0 = a/2$); b) circular ($x_0 = 0$); c) triangular ($x_0 = 0$).	19
2.7	Impedancia de entrada en función de la frecuencia: a) parche rectangular ($x_0 = a/2, y_0 = 0.3b$); b) circular ($x_0 = 0, y_0 = -0.26a$); c) triangular ($x_0 = 0, y_0 = -0.11a$).	20
2.8	Patrón de radiación a la frecuencia de resonancia: a) parche rectangular; b) circular; c) triangular.	22
3.1	Geometría del problema.	25
3.2	Método de los elementos finitos: a) subdivisión del dominio Ω en elementos triangulares; b) elemento triangular.	27
3.3	Método de los elementos finitos: a) notación local de los vértices de ; b) vértices con notación global.	29

3.4	Ampliación de la frontera con un semicírculo centrado en \mathbf{r}_i y de radio ϵ	33
3.5	Método de los elementos de contorno: a) subdivisión de la frontera Γ en elementos; b) definición de un elemento.	35
3.6	Problema con tres elementos: a) nodos numerados localmente; b) nodos numerados globalmente.	36
3.7	Elemento Γ_j : a) en un sistema de coordenadas global; b) en uno local.	38
3.8	Método de Reciprocidad Dual: nodos internos y sobre la frontera.	41
3.9	Número de onda en el dieléctrico correspondiente al menor modo de resonancia: a) parche rectangular; b) circular; c) triangular.	45
3.10	Frecuencia de resonancia correspondiente al menor modo de resonancia: a) parche rectangular; b) circular; c) triangular.	47
3.11	Impedancia de entrada a la frecuencia de resonancia: a) parche rectangular; b) circular; c) triangular.	48
4.1	Geometría de la antena propuesta.	51
4.2	Pérdida de retorno ² de una antena diseñada con distintas fórmulas para las dimensiones efectivas: a) fórmulas de parches rectangulares; b) fórmulas de un anillo circular.	53
4.3	Frecuencia de resonancia de la antena propuesta para ranuras de distintos tamaños y posiciones.	55
4.4	Distribución del campo eléctrico bajo el parche en el modo (0,1), a lo largo del eje y ($x = 0$).	56
4.5	Impedancia de entrada a la frecuencia de resonancia en función de la posición del punto de alimentación a lo largo del eje y ($x_0 = 0$).	57

4.6	Planos E y H del patrón de radiación: a) modelo de cavidad resonante, b) modelo de cavidad resonante + GTD.	58
4.7	Diagrama de Smith de las distintas antenas: a) antena de referencia; b) antena A; c) antena B; d) antena C.	60
4.8	Patrón de radiación de las distintas antenas: a) antena de referencia; b) antena A; c) antena B; d) antena C.	61
B.1	Geometría del problema de difracción: a) vista lateral; b) superior.	71
B.2	Campo generado por: a) líneas de corriente; b) difracción.	72
B.3	Plano E del patrón de radiación de las distintas antenas: a) antena de referencia; b) antena A; c) antena B; d) antena C.	75
B.4	Plano H del patrón de radiación de las distintas antenas: a) antena de referencia; b) antena A; c) antena B; d) antena C.	76

Índice de Tablas

2.1	Propiedades de las distintas antenas simuladas.	21
3.1	Parámetro α de la función $K/Nodos^\alpha$ que se ajusta a las curvas de error de los distintos tipos de antenas, para: a) número de onda; b) frecuencia de resonancia.	46
4.1	Dimensiones de las antenas construidas (a , x_0 y y_0 en mm , b , c y Δ son proporcionales a a).	52
4.2	Características de las antenas (halladas numéricamente).	58
4.3	Características de las antenas (halladas experimentalmente).	59
A.1	Cantidades Duales	68
A.2	Ecuaciones Duales	68