



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE RECEPTOR DE ALTA FRECUENCIA PARA SU UTILIZACIÓN EN REDES INTEGRADAS DE QUINTA GENERACIÓN (5G)

LORENA ELIZABETH BALSECA PAREDES

Trabajo de Titulación modalidad: Proyectos de Investigación y Desarrollo, presentado ante el Instituto de Posgrado y Educación Continua de la ESPOCH, como requisito parcial para la obtención del grado de:

MAGISTER EN SISTEMAS DE TELECOMUNICACIONES

RIOBAMBA – ECUADOR

Enero 2019

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

CERTIFICACIÓN:

EL TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Titulación Modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, titulado: **“ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE RECEPTOR DE ALTA FRECUENCIA PARA SU UTILIZACIÓN EN REDES INTEGRADAS DE QUINTA GENERACIÓN (5G)”** de responsabilidad de la Ing. Lorena Elizabeth Balseca Paredes, ha sido minuciosamente revisado y se autoriza su presentación.

Tribunal:

LCDA. PEPITA IVONN ALARCÓN PARRA; Mgs.

PRESIDENTE _____

ING. CARLOS DIEGO GORDÓN GALLEGOS; PhD.

DIRECTOR DE TESIS _____

ING. PAULINA ELIZABETH AYALA BAÑO; M.Sc.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL _____

ING. CARMEN DE LAS MERCEDES BELTRÁN MESÍAS; M.Sc.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL _____

Riobamba, Enero 2019

DERECHOS INTELECTUALES

Yo, Lorena Elizabeth Balseca Paredes, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, y que el patrimonio intelectual generado por la misma pertenece exclusivamente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Lorena Elizabeth Balseca Paredes

N° de cédula: 1804202396

©2019, Lorena Elizabeth Balseca Paredes.

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor

Yo, Lorena Elizabeth Balseca Paredes, declaro que el presente proyecto de investigación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otras Fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación de Maestría.

Lorena Elizabeth Balseca Paredes

N° de cédula: 1804202396

DEDICATORIA

A mi padre Ángel Balseca y en especial a mi madre Beatriz Paredes por su ejemplo de lucha y perseverancia, porque gracias a su apoyo moral e incondicional en todo momento he logrado concluir una etapa más de mi vida.

A mi abuela Leonor, a mis hermanos Oscar y Amparito y demás familiares por compartir su tiempo, paciencia, alegrías y tristezas.

A mis amigos y compañeros por los momentos compartidos y el apoyo brindado.

Lorena

AGRADECIMIENTO

A la vida que me ha permitido conocer personas maravillosas y darme fortaleza en todo este largo camino, enseñándome y aprendiendo, pero sobre todo poniéndome de pie ante los tropiezos, dificultades y decepciones para continuar caminando siempre con sueños y anhelos por alcanzar.

A mi madre por ser una mujer fuerte, de empuje y perseverancia dándome fuerzas para llegar a concluir este trabajo y continuar con mi preparación académica.

Al Dr. Carlos Gordón y a las Ingenieras Paulina Ayala y Carmen Beltrán quienes de forma desinteresada con su ayuda, guía y consejos permitieron la culminación de este trabajo de investigación.

Al Instituto de Posgrados y Educación Continua de la ESPOCH que me permitieron continuar mis estudios de Maestría y a los docentes que impartieron cada uno de los módulos siendo una guía para el desarrollo de esta investigación.

Lorena

CONTENIDO

RESUMEN.....	xx
ABSTRACT.....	xxi
CAPÍTULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Problema de Investigación.....	3
1.1.1 Situación problemática.....	3
1.1.2 Formulación del problema.....	5
1.1.3 Sistematización del problema.....	5
1.1.4 Preguntas directrices o específicas de la investigación.....	6
1.2 Justificación de la investigación.....	6
1.3 Objetivos de la investigación.....	7
1.3.1 Objetivo General.....	7
1.3.2 Objetivos Específicos.....	8
1.4 Hipótesis.....	8
1.4.1 Hipótesis general.....	8
CAPÍTULO II.....	9
2 MARCO DE REFERENCIA.....	9
2.1 Quinta Generación (5G).....	9
2.1.1 Aplicaciones.....	10
2.1.2 Características de la Quinta Generación (5G).....	13
2.2 Espectro electromagnético.....	14
2.2.1 Banda Milimétrica.....	15
2.2.1.1 Características de la banda milimétrica.....	16
2.2.2 Banda submilimétrica.....	17
2.2.2.1 Características de la banda submilimétrica.....	17
2.3 Semiconductores y Antenas para 5G.....	18
2.3.1 Requerimientos de la Tecnología de Quinta Generación (5G).....	19
2.3.2 Ventajas y desventajas de la frecuencia en estudio para la 5G.....	20
2.3.2.1 Pérdida de trayecto en espacio libre.....	22

2.3.2.2	<i>Difracción</i>	22
2.3.2.3	<i>Reflexión y dispersión</i>	22
2.3.2.4	<i>Penetración de materiales</i>	22
2.3.2.5	<i>Oxígeno y absorción de agua, pérdida por lluvia</i>	23
2.3.2.6	<i>Pérdida por follaje</i>	23
2.4	Antenas	23
2.4.1	Antenas en el régimen de GHz y THz	23
2.4.2	Parámetros característicos de una antena	24
2.4.2.1	<i>Densidad de potencia radiada</i>	24
2.4.2.2	<i>Intensidad de radiación</i>	24
2.4.2.3	<i>Eficiencia de la antena</i>	24
2.4.2.4	<i>Diagrama de radiación o Patrón de radiación</i>	25
2.4.2.5	<i>Adaptación</i>	26
2.4.2.6	<i>Directividad</i>	27
2.4.2.7	<i>Ganancia</i>	27
2.4.2.8	<i>Ancho de haz</i>	28
2.4.2.9	<i>Polarización</i>	28
2.4.2.10	<i>Impedancia</i>	28
2.4.2.11	<i>Relación de onda estacionaria</i>	29
2.4.2.12	<i>Coefficiente de adaptación</i>	29
2.4.2.13	<i>Ancho de banda</i>	29
2.4.2.14	<i>Área efectiva</i>	29
2.4.2.15	<i>Longitud efectiva</i>	30
2.5	Tipos de antenas	31
2.5.1	Antenas isotrópicas	31
2.5.2	Antenas de hilo	31
2.5.3	Antenas YAGI – UDA	31
2.5.4	Antena helicoidal	32
2.5.5	Antenas de apertura	33
2.5.6	Antenas planas	33
2.5.7	Antenas parabólicas	34
2.5.8	Arrays	34
2.5.9	Antenas inteligentes	35

2.5.10	<i>Antenas MIMO</i>	37
2.5.11	<i>Antenas tipo parche o microstrip</i>	37
2.5.11.1	<i>Características de los substratos para las antenas Microstrip</i>	40
2.6	Simuladores para alta frecuencia	40
2.6.1	<i>Herramienta CST Microwave Studio</i>	40
2.6.2	<i>Herramienta ANSYS HFSS</i>	42
2.6.3	<i>Herramienta FDTD</i>	43
CAPÍTULO III		44
3	DISEÑO E INVESTIGACIÓN	44
3.1	Tipo y diseño de investigación	44
3.2	Métodos de investigación	44
3.3	Enfoque de la investigación	44
3.4	Alcance de la investigación	45
3.5	Unidad de análisis	45
3.6	Técnicas de Investigación	45
3.6.1	<i>Técnica de recolección de datos primarios y secundarios</i>	45
3.6.2	<i>Instrumentos de recolección de datos primarios y secundarios</i>	45
3.6.3	<i>Instrumentos para procesar datos recopilados</i>	46
3.7	Planteamiento de la Hipótesis	46
3.7.1	<i>Hipótesis general</i>	46
3.8	Determinación de las Variables	46
3.8.1	<i>Hipótesis general:</i>	46
3.9	Operacionalización de variables	46
3.9.1	<i>Hipótesis general:</i>	46
3.10.1	<i>Aspectos generales</i>	47
CAPÍTULO IV		48
4	RESULTADOS	48
4.1	Análisis de los diseños de receptores de alta frecuencia	48
4.1.1	<i>Resultados de la simulación de la antena receptora tipo parche rectangular</i> ..	48
4.1.2	<i>Resultados de la simulación de la antena receptora tipo parche circular</i>	51
4.1.3	<i>Resultados de la simulación de la antena receptora tipo parche clover</i>	54
4.1.4	<i>Resultados de la simulación de la antena receptora antena tipo parche labyrinth</i>	57

4.1.5	<i>Resultados de la simulación de la antena receptora tipo parche tree</i>	60
4.1.6	<i>Resultados de la simulación de la antena receptora tipo parche empty space tree</i>	63
4.1.7	<i>Resultados de la simulación de la antena receptora tipo parche línea espiral</i>	66
4.1.8	<i>Resultados de la simulación de la antena receptora tipo parche espiral</i>	69
4.1.9	<i>Resultados de la simulación de la antena receptora tipo parche star</i>	72
4.1.10	<i>Resultados de la simulación de la antena receptora tipo parche double star</i>	75
4.2	Optimización de los datos del elemento radiante unitario	79
4.2.1	<i>Resultados de la optimización de la antena receptora tipo parche rectangular</i>	81
4.2.2	<i>Resultados de la optimización de la antena receptora tipo parche circular</i>	83
4.2.3	<i>Resultados de la optimización de la antena receptora tipo parche clover</i>	84
4.2.4	<i>Resultados de la optimización de la antena receptora tipo parche labyrinth</i>	85
4.2.5	<i>Resultados de la optimización de la antena receptora tipo parche tree</i>	86
4.2.6	<i>Resultados de la optimización de la antena receptora tipo parche empty space tree</i>	87
4.2.7	<i>Resultados de la optimización de la antena receptora tipo parche línea espiral</i>	88
4.2.8	<i>Resultados de la optimización de la antena receptora tipo parche espiral</i>	89
4.2.9	<i>Resultados de la optimización de la antena receptora tipo parche star</i>	90
4.2.10	<i>Resultados de la optimización de la antena receptora tipo parche double star</i>	91
	CAPÍTULO V	93
5	DESARROLLO DE LA PROPUESTA	93
5.1	Modelado de antenas tipo parche con tecnología microstrip para 5G	93
5.1.1	<i>Diseño de las antenas tipo parche con tecnología microstrip de 37 a 39 GHz</i>	94
5.2	Diseño de antenas receptoras de alta frecuencia en CST STUDIO SUITE	96
5.2.1	<i>Antena Tipo Parche Rectangular</i>	96
5.2.2	<i>Antena Tipo Parche Circular</i>	100
5.2.3	<i>Antena Tipo Parche Clover</i>	102
5.2.4	<i>Antena Tipo Parche Labyrinth</i>	105
5.2.5	<i>Antena Tipo Parche Tree</i>	107
5.2.6	<i>Antena Tipo Parche Empty Space Tree</i>	109
5.2.7	<i>Antena Tipo Parche Línea Espiral</i>	112
5.2.8	<i>Antena Tipo Parche Espiral</i>	114

5.2.9	<i>Antena Tipo Parche Star</i>	116
5.2.10	<i>Antena Tipo Parche Double Star</i>	118
	CONCLUSIONES	122
	RECOMENDACIONES	123

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2. IMT propone el escenario para el desarrollo futuro.	10
Figura 2-2. Espectro Electromagnético	14
Figura 3-2. Banda de frecuencia superior a 3 GHz.....	16
Figura 4-2. Bandas de frecuencia con su atenuación atmosférica.....	21
Figura 5-2. Características de propagación por onda milimétrica: a) pérdidas por penetración de follaje; b) atenuación por lluvia.....	21
Figura 6-2.a) Diagrama de antena y lóbulos de radiación b) Radiación y ancho de haz. HPBW: ancho de haz de media potencia, FNBW: ancho de haz entre los primeros nulos	25
Figura 7-2. Diagrama de radiación tridimensional y bidimensional	26
Figura 8-2. Fuente de recepción conectada a la antena.....	26
Figura 9-2. Patrones de directividad de forma tridimensional de una antena	27
Figura 10-2. Tipos de polarización.....	28
Figura 11-2. Área equivalente y apertura	30
Figura 12-2. Tipos de antenas de hilo.....	31
Figura 13-2. Antena YAGI – UDA	32
Figura 14-2. Tipo de antena helicoidal	32
Figura 15-2. Tipo de antena de apertura.....	33
Figura 16-2. Tipo de Antena Plana.....	33
Figura 17-2. Tipo de antena parabólica	34
Figura 18-2. Array de antenas parabólicas	34
Figura 19-2. Array de antenas de hilo	35
Figura 20-2. Haz de antena inteligente	35
Figura 21-2. Onda directa a un dispositivo en particular	36
Figura 22-2. Tipo de antena MIMO	37
Figura 23-2. Dimensiones de la antena tipo parche	37
Figura 24-2. Antena tipo parche rectangular	38
Figura 25-2. Formas de antenas tipo parche	38
Figura 1-4. Antena receptora tipo parche rectangular.....	48
Figura 1-4. Antena receptora tipo parche rectangular.....	48
Figura 2-4. Coeficiente de reflexión S11 del elemento radiante unitario tipo parche rectangular	49
Figura 3-4. Eficiencia del elemento radiante unitario tipo parche rectangular.....	49
Figura 4-4. Razón de voltaje de onda estacionaria del elemento radiante unitario tipo parche rectangular	50
Figura 5-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario tipo	50
Figura 6-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario tipo parche.....	51
Figura 7-4. Antena receptora tipo parche circular	51
Figura 8-4. Coeficiente de reflexión S11 del elemento radiante unitario tipo parche circular ..	52
Figura 9-4. Eficiencia del elemento radiante unitario tipo parche circular	52
Figura 10-4. Razón de voltaje de onda estacionaria del elemento radiante unitario tipo parche circular	53

Figura 11-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario tipo parche circular en 3D	53
Figura 12-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario tipo parche	54
Figura 13-4. Antena receptora tipo parche clover con	54
Figura 14-4. Coeficiente de reflexión S11 del elemento radiante unitario tipo parche clover ..	55
Figura 15-4. Eficiencia del elemento radiante unitario tipo parche clover	55
Figura 16-4. Razón de voltaje de onda estacionaria del elemento radiante unitario tipo parche clover	56
Figura 17-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario tipo parche circular	56
Figura 18-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario tipo parche circular	57
Figura 19-4. Antena receptora tipo parche labyrinth	57
Figura 20-4. Coeficiente de reflexión S11 del elemento radiante unitario tipo parche labyrinth	58
Figura 21-4. Eficiencia del elemento radiante unitario tipo parche labyrinth	58
Figura 22-4. Razón de voltaje de onda estacionaria del elemento radiante unitario tipo	59
Figura 23-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario tipo parche	59
Figura 24-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario tipo parche labyrinth en coordenadas polares	60
Figura 25-4. Antena receptora tipo parche tree con	60
Figura 26-4. Coeficiente de reflexión S11 del elemento radiante unitario tipo parche tree	61
Figura 27-4. Eficiencia del elemento radiante unitario tipo parche tree	61
Figura 28-4. Razón de voltaje de onda estacionaria del elemento radiante unitario tipo parche tree	62
Figura 29-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario tipo parche tree en 3D	62
Figura 30-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario tipo parche tree en coordenadas polares	63
Figura 31-4. Antena receptora tipo parche empty space tree	63
Figura 32-4. Coeficiente de reflexión S11 del elemento radiante unitario tipo parche empty space tree	64
Figura 33-4. Eficiencia del elemento radiante unitario tipo parche empty space tree	64
Figura 34-4. Razón de voltaje de onda estacionaria del elemento radiante unitario tipo parche empty space tree	65
Figura 35-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario tipo parche	65
Figura 36-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario tipo parche empty space tree en coordenadas polares	66
Figura 37-4. Antena receptora tipo parche línea espiral con	66
Figura 38-4. Coeficiente de reflexión S11 del elemento radiante unitario tipo parche línea espiral	67
Figura 39-4. Eficiencia del elemento radiante unitario tipo parche línea espiral	67
Figura 40-4. Razón de voltaje de onda estacionaria del elemento radiante unitario tipo parche línea espiral	68
Figura 41-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario tipo parche línea espiral en 3D	68
Figura 42-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario tipo	69
Figura 43-4. Antena receptora tipo parche espiral	69
Figura 44-4. Coeficiente de reflexión S11 del elemento radiante unitario tipo parche espiral ..	70

Figura 45-4. Eficiencia del elemento radiante unitario tipo parche espiral	70
Figura 46-4. Razón de voltaje de onda estacionaria del elemento radiante unitario tipo parche espiral.....	71
Figura 47-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario tipo parche espiral en 3D.....	71
Figura 48-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario tipo parche espiral en coordenadas polares	72
Figura 49-4. Antena receptora tipo parche star.....	72
Figura 53-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario tipo	74
Figura 54-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario tipo parche.....	75
Figura 55-4. Figura 50-4. Coeficiente de reflexión S11 del elemento radiante unitario tipo parche star	73
Figura 51-4. Eficiencia del elemento radiante unitario tipo parche star.....	73
Figura 52-4. Razón de voltaje de onda estacionaria del elemento radiante unitario tipo parche star	74
Antena receptora tipo parche double star	75
Figura 56-4. Coeficiente de reflexión S11 del elemento radiante unitario tipo parche double star	76
Figura 57-4. Eficiencia del elemento radiante unitario tipo parche double star	76
Figura 58-4. Razón de voltaje de onda estacionaria del elemento radiante unitario tipo parche double star.....	77
Figura 59-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario tipo parche.....	77
Figura 60-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario tipo parche double star en coordenadas polares	78
Figura 61-4. Coeficiente de reflexión S11 del elemento radiante unitario optimizado tipo parche rectangular.	81
Figura 62-4. Eficiencia del elemento radiante unitario optimizado tipo parche rectangular	82
Figura 63-4. Patrón de radiación del elemento radiante	82
Figura 64-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario	82
Figura 65-4. Coeficiente de reflexión S11 del elemento radiante unitario optimizado tipo parche circular.....	83
Figura 66-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario en 3D optimizado tipo parche circular.	83
Figura 67-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario en coordenadas	83
Figura 68-4. Coeficiente de reflexión S11 del elemento radiante unitario optimizado tipo parche clover.	84
Figura 69-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario en 3D optimizado tipo parche clover.	84
Figura 70-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario en coordenadas polares optimizado tipo parche clover.	84
Figura 71-4. Coeficiente de reflexión S11 del elemento radiante unitario optimizado tipo parche labyrinth.	85
Figura 72-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario en 3D optimizado tipo parche labyrinth.	85
Figura 73-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario en coordenadas polares optimizado tipo parche labyrinth.	85

Figura 74-4. Coeficiente de reflexión S11 del elemento radiante unitario optimizado tipo parche tree.....	86
Figura 75-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario en 3D optimizado tipo parche tree.	86
Figura 76-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario en coordenadas polares optimizado tipo parche tree.	86
Figura 77-4. Coeficiente de reflexión S11 del elemento radiante unitario optimizado empty space tree.....	87
Figura 78-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario en 3D optimizado tipo parche empty space tree.....	87
Figura 79-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario en coordenadas polares optimizado tipo parche empty space tree.....	87
Figura 80-4. Coeficiente de reflexión S11 del elemento radiante unitario optimizado tipo parche línea espiral.....	88
Figura 81-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario en 3D optimizado tipo parche empty línea espiral.	88
Figura 82-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario en coordenadas polares optimizado línea espiral.	88
Figura 83-4. Coeficiente de reflexión S11 del elemento radiante unitario optimizado tipo parche espiral.	89
Figura 84-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario en 3D optimizado tipo parche espiral.....	89
Figura 85-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario en coordenadas polares optimizado tipo parche espiral.	89
Figura 86-4. Coeficiente de reflexión S11 del elemento radiante unitario optimizado tipo parche star.....	90
Figura 87-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario en 3D optimizado tipo parche star.	90
Figura 88-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario en coordenadas polares optimizado tipo parche star.	90
Figura 89-4. Coeficiente de reflexión S11 del elemento radiante unitario optimizado tipo parche double star.	91
Figura 90-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario en 3D optimizado tipo parche double star.....	91
Figura 91-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario en coordenadas polares optimizado tipo parche double star.....	91
Figura 1-5. Dimensiones de antenas	96
Figura 1-5. Dimensiones de antenas.....	96
Figura 2 -5. Antena tipo parche rectangular vista frontal	98
Figura 3 -5. Parche rectangular y línea de transmisión unificada	99
Figura 4 -5. Antena tipo parche rectangular con el puerto discreto	99
Figura 5 -5. Condiciones de contorno conductor magnético perfecto de la antena tipo parche rectangular.....	100
Figura 6-5. Dimensiones de la antena tipo parche circular	100
Figura 7 -5. Antena tipo parche circular vista frontal	101
Figura 8-5. Parche circular y línea de transmisión unificada	101

Figura 9-5. Antena tipo parche circular con el puerto discreto	102
Figura 10-5. Condiciones de contorno conductor magnético perfecto.....	102
Figura 11 -5. Dimensiones de la antena tipo	102
Figura 12 -5. Antena tipo parche clover vista frontal	103
Figura 13 -5. Parche clover y línea de transmisión unificada	104
Figura 14 -5. Antena tipo parche clover con el puerto discreto	104
Figura 15 -5. Condiciones de contorno conductor magnético perfecto de la antena.....	104
Figura 16-5. Dimensiones de la antena tipo parche labyrinth.....	105
Figura 17-5. Antena tipo parche labyrinth vista frontal.....	106
Figura 18-5. Parche labyrinth y línea de transmisión unificada.....	106
Figura 19-5. Antena tipo parche labyrinth con el puerto discreto.....	106
Figura 20-5. Condiciones de contorno conductor magnético perfecto de la antena tipo parche labyrinth	107
Figura 21-5. Dimensiones de la antena tipo parche tree	107
Figura 22-5. Antena tipo parche tree vista frontal	108
Figura 23-5. Parche tree y línea de transmisión unificada	108
Figura 24-5. Antena tipo parche tree con el puerto discreto	109
Figura 25-5. Condiciones de contorno conductor magnético perfecto de	109
Figura 26 -5. Dimensiones de la antena tipo	109
Figura 27 -5. Antena tipo parche empty space tree vista frontal.....	110
Figura 28 -5. Parche empty space tree y línea de transmisión unificada.....	111
Figura 29 -5. Antena tipo parche empty space tree con el puerto discreto.....	111
Figura 30 -5. Condiciones de contorno conductor magnético perfecto de la antena tipo	111
Figura 31-5. Dimensiones de la antena tipo parche línea espiral	112
Figura 32-5. Antena tipo parche línea espiral vista frontal	113
Figura 33-5. Parche línea espiral y línea de transmisión unificada.....	113
Figura 34-5. Antena tipo parche línea espiral con el puerto discreto	113
Figura 35-5. Condiciones de contorno conductor magnético perfecto.....	114
Figura 36 -5. Dimensiones de la antena tipo parche espiral	114
Figura 37 -5. Antena tipo parche espiral vista frontal.....	115
Figura 38 -5. Parche espiral y línea de transmisión unificada	115
Figura 39 -5. Antena tipo parche espiral con el puerto discreto	116
Figura 40 -5. Condiciones de contorno conductor magnético perfecto de la antena.....	116
Figura 41-5. Dimensiones de la antena tipo parche star	116
Figura 42-5. Antena tipo parche star vista frontal	117
Figura 43-5. Parche star y línea de transmisión unificada	117
Figura 44-5. Antena tipo parche star con el puerto discreto	118
Figura 45-5. Condiciones de contorno conductor.....	118
Figura 46-5. Dimensiones de la antena tipo parche.....	118
Figura 47-5. Antena tipo parche double star vista frontal.....	119
Figura 48-5. Parche double star y línea de transmisión unificada.....	120
Figura 49-5. Antena tipo parche double star con el puerto discreto.....	120
Figura 50-5. Condiciones de contorno conductor magnético perfecto de la antena.....	120

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2. Futuras aplicaciones para 5G con sus requisitos potenciales.....	10
Tabla 2-2. Requisitos para la 5G.....	12
Tabla 3-2. Bandas de frecuencia	15
Tabla 4-2. Banda de frecuencias en microondas	15
Tabla 5-2. Características de transmisión de las bandas de frecuencia.....	17
Tabla 6-2. Atenuación de materiales	21
Tabla 7-2. Eficiencia de las antenas	24
Tabla 8-2. Características de sustratos dieléctricos RF-45	40
Tabla 9-2. Módulos de CST STUDIO.....	41
Tabla 1-3. Operacionalización conceptual de la hipótesis general	46
Tabla 2-3. Operacionalización metodológica de los aspectos generales.....	47
Tabla 1-4. Parámetros S11 de las antenas analizadas con los valores iniciales de los diseños.	78
Tabla 2-4. Parámetros de radiación de las antenas analizadas con los valores iniciales de los diseños.	79
Tabla 3-4. Parámetros analizados con los valores iniciales de los diseños de las antenas receptoras de alta frecuencia tipo parche con tecnología microstrip.	80
Tabla 4-4. Características de la antena tipo parche rectangular optimizada	81
Tabla 5-4. Parámetros S11 optimizados de las antenas tipo parche microstrip.	92
Tabla 6-4. Parámetros de radiación optimizados de las antenas tipo parche microstrip.	92
Tabla 1-5. Características de la antena	93
Tabla 2-5. Características de los simuladores para antenas de alta frecuencia	94
Tabla 3-5. Características de los materiales	95
Tabla 4-5. Medidas de la antena tipo parche rectangular	98
Tabla 5-5. Medidas de la antena tipo parche circular	100
Tabla 6-5. Medidas de la antena tipo parche clover	103
Tabla 7-5. Medidas de la antena tipo parche labyrinth	105
Tabla 8-5. Medidas de la antena tipo parche tree	107
Tabla 9-5. Medidas de la antena tipo parche empty space tree	110
Tabla 10-5. Medidas de la antena tipo parche línea espiral	112
Tabla 11-5. Medidas de la antena tipo parche espiral	114
Tabla 12-5. Medidas de la antena tipo parche star	117
Tabla 13-5. Medidas de la antena tipo parche double star	119

ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo A.- Unidades de trabajo de Antena en CST STUDIO SUITE 2018
- Anexo B.- Frecuencias de trabajo para la Antena en CST STUDIO SUITE 2018
- Anexo C.- Tipo de sustrato seleccionado de la librería de CST
- Anexo D.- Tipo de conductor para la antena tipo parche seleccionado de la librería de CST
- Anexo E.- Construcción del puerto discreto de la antena tipo parche
- Anexo F.- Configuración de los parámetros de dominio del tiempo
- Anexo G.- Herramienta Optimizer para el ajuste de los datos
- Anexo H.- Ajuste de datos de la antena tipo parche
- Anexo I.- Parche rectangular de la antena tipo parche optimizado vista frontal
- Anexo J.- Parche rectangular de la antena tipo parche optimizado vista lateral
- Anexo K.- Parche rectangular y línea de transmisión de la antena tipo parche optimizado unificada
- Anexo L.- Construcción del puerto discreto de la antena tipo parche optimizado
- Anexo M.- Antena tipo parche optimizado con el puerto discreto
- Anexo N.- Finalización de la simulación en dominio del tiempo de la antena tipo parche optimizado

RESUMEN

Las tendencias en todo el mundo principalmente en los países desarrollados presentan un adelanto en cuanto a la tecnología inalámbrica e indica una evolución en las frecuencias portadoras y los anchos de banda a utilizarse, con mercados revolucionarios y aplicaciones para dispositivos masivos de banda ancha. Este proyecto analiza y evalúa una antena receptora de alta frecuencia para su utilización en redes integradas de Quinta Generación (5G) que demandará de frecuencias altas en la banda de ondas milimétricas por lo que de acuerdo con el análisis se requiere de antenas direccionales debido a las pérdidas de propagación. Se revisa las características de las antenas, las altas frecuencias del espectro radioeléctrico para telecomunicaciones que se encuentran en estudio en el rango de 30 GHz a 300 GHz, que son frecuencias en las que se puede trabajar para 5G. Además, se realizó varios diseños de antenas receptoras trabajando en el rango de frecuencias de 37 a 39 GHz, aplicando la tecnología tipo parche o microstrip basada en el modelo de línea de transmisión, se realiza los diseños y sus simulaciones electromagnéticas en 3D en el software CST STUDIO SUITE, obteniendo un modelo aceptable dentro del rango de frecuencias mencionadas, con la configuración y estructuración de sus elementos adecuados. Se explica los detalles y características del diseño de una antena receptora de alta frecuencia tipo parche con tecnología microstrip, basada en la parte teórica de esta investigación y finalmente se desarrolla el proceso de simulación. Se concluye que se puede utilizar antenas receptoras de alta frecuencia para las redes integradas de Quinta Generación (5G), demostrándolo con los resultados obtenidos de la antena tipo parche rectangular microstrip, donde el análisis y evaluación de los principales parámetros, muestran un acople de la antena en el rango de 37 GHz a 39 GHz. Para investigaciones futuras se recomienda optimizar los diseños propuestos y se puede realizar arreglos de antenas que podría tener mayor cobertura operando en las frecuencias para 5G en los sistemas de telecomunicaciones.

Palabras clave: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <TELECOMUNICACIONES>, <QUINTA GENERACIÓN (5G)>, <TECNOLOGIA TIPO PARCHE O MICROSTRIP>, <ONDAS MILIMÉTRICAS>, <SIMULACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN 3D>, <CST STUDIO SUITE 2018 (SOFTWARE)>, <ANTENA DE ALTA FRECUENCIA>.

ABSTRACT

Trends around the world mainly in developed countries has an advance on wireless technology this show an evolution on the carrier frequency and bandwidth to be used, with revolutionary markets and the applications for massive devices of bandwidth. This project analyze and evaluate an transceiver antenna of high frequency to be used on the integrated webs of fifth generation (5G) that needs frequency of high bandwidth of millimeter waves so agree with the analysis is required directional antennas due to propagation losses. The characteristics of the antennas are reviewed, the high frequencies of radioelectric spectrum for telecommunication that are studied be on the range of 30 GHZ to 300 GHZ , that are frequencies in which is able to work for 5G. Also, various designs of transceiver antennas were working on the range of 37 to 39 GHZ, applying microstrip or patch technology based in the transmission line model, designs are made and electromagnetics simulations on 3D using the software CST STUDIO SUITE, getting an acceptable model in the range of mentioned frequencies, with the configuration and structuring of its suitable components. The details and characteristics of the design of an transceiver antenna of high frequency patch type with microstrip technology is explain, based on the theory of this research and finally the simulation process is develop. It conclude that is possible the use of transceiver antennas of high frequency for the integrated webs of fifth generation (5G), demonstrating it with the results obtained of the first antenna patch type rectangular microstrip, where the analysis and evaluation of the main parameters, show an adapt to the antenna on the range of 37 to 39 GHZ. For future researches it is recommended optimize the propose design and it can make arrangements to the antennas that can have more coverage working on the 5G frequency in the telecommunication systems.

Key words: < TECHNOLOGIES AND ENGINEERING SCIENCES>, <TELECOMMUNICATION>, <FIFTH GENERATION (5G)>, < MICROSTRIP OR PATCH TECHNOLOGY>, < MILLIMETER WAVES>, < ELECTROMAGNETICS SIMULATION>, <CST STUDIO SUITE 2018(SOFTWARE)>, <HIGH FREQUENCY ANTENNA>.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

Las telecomunicaciones han ido evolucionando y las comunicaciones móviles han sido una de las tecnologías más innovadoras en la última época. El desarrollo de la telefonía móvil ha tenido un gran impacto siendo el descubrimiento más indispensable para la comunicación en la sociedad actual. Los avances de las comunicaciones móviles han ido mejorando con el paso del tiempo, y cada generación es mejor que la anterior, se desarrolló en la época de los 80 con la tecnología analógica que en primer lugar solo se podía realizar llamadas, luego hubo el paso de la tecnología analógica a digital, apareciendo la tecnología móvil donde se podía conectar a internet con una velocidad de datos de hasta 2 Mbps, más adelante se mejoró la velocidad de transmisión de datos hasta 1 Gbps (Redo & Xi-Cheng, 2008). En la actualidad se continúa desarrollando estudios de la Quinta Generación (5G) para las comunicaciones móviles (Andrews, y otros, 2014).

Se han realizado investigaciones en la tecnología de ondas milimétricas y submilimétricas para la banda de GHz y THz, que es una de las oportunidades para el estudio de los circuitos, antenas y sistemas de comunicación durante la próxima década. Siendo el comienzo de una tendencia de escalada de las frecuencias portadoras que proporcionarán velocidades de datos, a varios gigabits por segundo permitiendo transferencia de medios de alta definición sin comprimir, detección y aplicaciones de radar, acceso a una variedad de información (Andrews, y otros, 2014), que sin embargo aún no satisface las necesidades de las redes integradas de Quinta Generación por lo que se debe trabajar con frecuencias altas en el rango de los Gigahertz y Terahertz.

Las redes de comunicaciones, redes celulares operan en una banda inferior a 6 GHz, con frecuencias de 700 MHz a 2,6 GHz saturando el espectro de red para futuras tecnologías móviles, 5G propone utilizar bandas de frecuencia desde 30 GHz a 300 GHz de 0.3 THz a 10 THz a ser utilizados (Hossain & Hasan, 2015); (Gitin, Wise, Arjavalingham, Pastoral, & Compton, 1994); (Gerecht, y otros, 1999).

La Quinta Generación está siendo considerada para la tecnología celular en las bandas de 28 GHz, 38 GHz y 73 GHz, teniendo una comunicación por onda milimétrica, conocida esta banda de frecuencias como banda milimétrica por la longitud de las ondas de radio que se encuentran en el rango de frecuencias de los milímetros (Gitin, Wise, Arjavalingham, Pastoral, & Compton, 1994).

Por lo tanto como se trabaja con ondas milimétricas que son de ínfimo tamaño las antenas que se emplearán también deberán ser muy pequeñas, debido a que debe ser proporcional a la longitud de onda, siendo una ventaja poder emplear voluminosos arreglos en espacios pequeños debido a su banda milimétrica.

Las mejoras tecnológicas se han dado a medida que los dispositivos transmiten los datos de forma inalámbrica dándose mejoras en líneas de transmisión, frecuencias utilizadas, antenas, receptores, etc. El aprovechamiento de ancho de banda y la utilización de frecuencias altas en equipos que trabajan recibiendo y enviando información a frecuencias determinadas. En este trabajo se plantea el análisis y evaluación de un receptor de alta frecuencia para su utilización en redes integradas de quinta generación (5G), a través de esta investigación se determina los parámetros y las características para el funcionamiento y operación del diseño de la antena receptora que trabajará en el rango de 37 a 39 GHz y se utiliza un software de simulación de antenas de alta frecuencia CST STUDIO SUITE 2018 (Student Edition) que puede simular el comportamiento de dispositivos a mayores frecuencias en vista que es más complejo, es un programa que puede simular los campos magnéticos y facilitar el diseño de dispositivos, los resultados obtenidos determinan el comportamiento de la antena. Además, para esta investigación se realiza un diseño de antena receptora de alta frecuencia tipo parche con tecnología microstrip que es lo que demanda las redes integradas de Quinta Generación 5G.

Este documento está dividido en 5 capítulos, en el capítulo I se trata básicamente la introducción del proyecto a investigar, se redacta el problema de investigación con su situación problemática, su formulación, sistematización y preguntas directrices. Se plantea la justificación del problema, sus objetivos e hipótesis.

En el capítulo II es el marco teórico sobre la Tecnología de la Quinta Generación (5G), los tipos de antenas sus parámetros y las frecuencias a considerar en 5G, información útil para la realización de la propuesta.

En el capítulo III se revisa la metodología, el enfoque a utilizar y la parametrización de las variables del tema.

En el capítulo IV se analiza las especificaciones de la tecnología 5G, los tipos de antenas y frecuencias para el desarrollo de la propuesta y se diseña un receptor de alta frecuencia en el software CST STUDIO SUITE 2018 para su análisis en el capítulo V de acuerdo a los datos obtenidos en el programa de simulación para responder a las hipótesis planteadas.

1.1 Problema de Investigación

1.1.1 Situación problemática

Existen algunas contribuciones a la ciencia y tecnología en el estudio de las altas frecuencias, los progresos recientes abren una gama de oportunidades de investigación. Históricamente las comunidades astronómicas fueron quienes utilizaban esta tecnología para buscar radiaciones de infrarrojo lejano y por la comunidad de fusión láser para diagnósticos de plasmas. Una de las primeras demostraciones de espectroscopia de onda fue a finales de los años ochenta y en los últimos años se han producido avances significativos, en vista que las intensas fuentes y los detectores más sensibles brindan nuevas oportunidades para comprender la ciencia básica de la gama de frecuencias en ondas milimétricas. Las aplicaciones incluyen la caracterización de semiconductores, tomografías, análisis genéticos, imagen a nivel celular y detección química-biológica, todo esto da nuevas oportunidades a las microondas y fotónica.

En los años noventa, con el desarrollo de las comunicaciones ópticas el ancho de banda más elevado produjo un enorme desarrollo en las técnicas fotónicas para la generación y detección de ondas milimétricas, submilimétricas que continúan hasta nuestros días.

Se han hecho estudios en el campo de la física, la química, la biología, las telecomunicaciones, la ciencia de los materiales y la medicina. En la actualidad las grandes sociedades internacionales incluyen la IEEE, la Sociedad Internacional de Ingeniería Óptica de América (OSA), la Sociedad Internacional de Ingeniería Óptica (SPIE), tienen temas de ciencia e ingeniería de GHz y THz (Redo & Xi-Cheng, 2008).

Las bandas en estudio están dentro del rango de 30 GHz a 300 GHz y de los 0,3THz hasta los 10 THz de la banda milimétrica y sub-milimétrica o infrarrojo lejano. Debido a las limitaciones físicas y tecnológicas para trabajar con las frecuencias y longitudes de onda en emisores láser, han sido uno de temas de estudio en búsqueda de aplicaciones para la banda de frecuencia en GHz y THz.

Las Ondas en GHz y Terahertz se las está utilizando en algunas aplicaciones en los últimos años, además se han realizado investigaciones como por ejemplo el Grupo de Radiofrecuencia, Electromagnetismo, Microondas y Antenas (GREMA) de la Universidad Carlos III de Madrid (UC3M).

Otras investigaciones como Nuevas Técnicas Electrónicas y Ópticas para el desarrollo de Matrices de Imágenes en ondas milimétricas y THz del Ministerio de Ciencia e Innovación de España.

Transceptores fotónicos integrados en la gama de ondas Sub-THz para comunicaciones inalámbricas de banda ancha (iPHOS), de la Comisión Europea, el proyecto se centra en el diseño de dispositivos electrónicos y ópticos para desarrollar matrices de imágenes en frecuencias THz.

Tecnología THz para aplicaciones de detección electromagnética TERASENSE del Ministerio de Ciencias e Innovación de España, es un proyecto europeo que involucra a diferentes grupos de investigación europeos para desarrollar transceptores fotónicos integrados para comunicaciones inalámbricas de banda ultra-ancha a frecuencias subterahertz.

Desarrollo de un sistema integrado de Comunicación Inalámbrica de Alta Tasa de Datos THz del Ministerio de Ciencia e Innovación de España, este último es un proyecto español que involucra a diferentes grupos de investigación españoles cuyo último objetivo es diseñar dispositivos THz y estudiar ondas THz para la fabricación de sistemas de detección THz.

Existen estudios realizados sobre el diseño de antenas en la banda de 38 GHz, en el año 2013 en el artículo “Millimeter Wave Mobile Communications for 5G Cellular” (Rappaport, y otros, 2013), que demuestran una investigación basada en la necesidad del empleo de la banda milimétrica en la 5G, a través de resultados y mediciones obtenidos, donde se concluye el uso de las frecuencias de 28 y 38 GHz con antenas direccionales para dispositivos móviles y estaciones base.

El artículo “Design of a 28/38 GHz dual-band printed slot antenna for the future 5G mobile communication Networks” (Haraz, Ali, Alshebeili, & Sebak, 2015), proponen una antena de ranura que opera en las frecuencias de 28 y 38 GHz para la 5G, es una antena compacta con dimensiones de $0.8\lambda \times 28\lambda$ a 28 GHz, la antena propuesta tiene una apertura en forma elíptica para mejorar el ancho de banda y un patrón omnidireccional de alta frecuencia de radiación, en la simulación la antena tiene una función de doble banda que podría cubrir las aplicaciones para 5G.

A nivel de Latinoamérica y en el Ecuador existen análisis del espectro radio eléctrico, pero no se han realizado mayores estudios acerca de las frecuencias altas en la banda de los Gigahertz y Terahertz, ondas milimétricas y submilimétricas. En Ecuador no se han realizado muchos estudios de la última tecnología 5G ni de antenas receptoras a emplear para ésta tecnología.

Además, está en auge la tecnología 4G por lo que el estudio de esta tecnología es importante para los avances tecnológicos del país.

Con el incremento en el tráfico de enlaces de comunicaciones inalámbricos y el desarrollo de la tecnología con aplicaciones en tiempo real, compartición y consumo de información, en los últimos años existe una mayor demanda de tasas de datos y ancho de banda para los sistemas de comunicaciones que aumenta drásticamente de acuerdo a la aparición de nuevas tecnologías, utilizando velocidades de datos de 10 Gbit/s a 20 Gbit/s, frecuencias portadoras en el orden de las ondas milimétricas y sub-milimétricas. Existiendo un crecimiento exponencial con la tendencia tecnológica de que cada vez los usuarios utilizan más dispositivos con comunicaciones inalámbricas, el problema es de que todas las comunicaciones por radio, servicio de televisión – radio, comunicaciones celulares utilizan el espectro hasta los 6 GHz, siendo un espectro muy limitado que ya se encuentra congestionado, razón por la cual se requiere utilizar altas frecuencias portadoras.

Con la evolución de las comunicaciones inalámbricas por banda ancha móvil para la Quinta Generación (5G), existe una alta demanda de capacidad de tráfico, mayores velocidades de transmisión de información y acceso inalámbrico escalable. 5G utilizaría banda ancha móvil optimizada para aplicaciones de video de alta definición con alta densidad, comunicaciones confiables y de baja latencia para automatización de la industria y transporte, comunicaciones tipo Máquina (MTC) masivas para salud electrónica, vehículo a vehículo (V2V), realidad virtual e internet digital-táctil, aplicaciones que demandan mayor capacidad de comunicación, confiabilidad y seguridad para brindar estos servicios. Cabe mencionar que existen varias bandas en el orden de ondas milimétricas y submilimétricas que se pueden utilizar para comunicaciones inalámbricas de altas tasas de transmisión y velocidad de datos. Las Frecuencias en el rango de GHz y THz son una propuesta para 5G que propone utilizar ondas milimétricas y submilimétricas.

1.1.2 Formulación del problema

¿Cómo afecta el incremento de la tasa de datos y velocidad en la recepción de altas frecuencias para su utilización en redes integradas de Quinta Generación (5G)?

1.1.3 Sistematización del problema

- ¿El análisis y evaluación de un receptor de alta frecuencia permitirá su utilización en redes integradas de Quinta Generación (5G)?

1.1.4 Preguntas directrices o específicas de la investigación

- ¿Qué características se deben tomar en cuenta en el estado del arte del receptor de alta frecuencia?
- ¿Cómo influye el desarrollo del modelo de un receptor de alta frecuencia para las redes de Quinta Generación (5G)?
- ¿Qué parámetros serán evaluados en los resultados de la simulación del modelo de receptor para establecer su funcionalidad?

1.2 Justificación de la investigación

En la actualidad el desarrollo tecnológico y la demanda de capacidad y velocidad para la transmisión de datos ha sido uno de los principales temas de estudio, mencionando que existe un incremento con dispositivos de tecnología inalámbrica, siendo uno de los principales campos a investigarse para mejorar la calidad de las telecomunicaciones. Con el estudio de altas frecuencias se podría generar impulsos extremadamente cortos, aprovechar la velocidad, capacidad de estas frecuencias y sus longitudes de ondas milimétricas y sub-milimétricas, por estas razones actualmente existe un gran interés en diferentes aplicaciones de la tecnología para la seguridad, telecomunicaciones, biología y medicina (Redo & Xi-Cheng, 2008).

La banda de 30 GHz a 300 GHz y de 0,3THz a 10 THz en comunicación atrae el interés debido a su amplio ancho de banda disponible, pequeño tamaño de antena y alta directividad, el ancho de banda fundamental para permitir la comunicación a muy alta velocidad que se prevé en la futura generación de comunicaciones inalámbricas como 5G.

Muchos factores incluyen en la nueva tecnología, el desarrollo de nuevas aplicaciones y el crecimiento de la demanda de los usuarios por comunicaciones inalámbricas. Para aplicaciones 5G el estudio de la utilización de frecuencias en la banda de los GHz describe la importancia para el desarrollo de un conjunto diverso de aplicaciones, con velocidades de transmisión que podrían ser aprovechadas en esta tecnología. Las ondas milimétricas de 30 GHz a 300 GHz tienen un principal interés debido al ancho de banda disponible para transportar información, permitiendo comunicaciones inalámbricas de banda ancha (Rapport, Murdock, & Gutierrez, 2011), pero que aún se encuentran en estudio para las nuevas tecnologías como 5G.

La presente investigación planteará el análisis y evaluación de un receptor de frecuencia alta para su utilización en redes integradas de Quinta Generación, debido a la demanda de capacidades de ésta nueva tecnología se pretende realizar un estudio teórico, recopilar la

información pertinente para desarrollar la evaluación del diseño del receptor de alta frecuencia utilizando una herramienta de simulación CST Microwave Studio. Se realizará un diseño de antena receptora para simular en una frecuencia de la banda de 30 GHz a 300 GHz, para analizar el diseño propuesto de un receptor de onda milimétrica. El diseño simplificado a evaluar de un receptor trabajando a frecuencias altas, tomando en cuenta todos los parámetros necesarios para la recepción de señal en el rango de GHz.

De acuerdo al Plan Nacional del Buen Vivir, el Gobierno Nacional del Ecuador plantea en el objetivo 10: Impulsar la transformación de la matriz productiva, y en el objetivo 11: Asegurar la soberanía y eficiencia de los sectores estratégicos para la transformación industrial y tecnológica; y las estrategias de la Secretaria Nacional de Telecomunicaciones del país para cumplir con estos objetivos plantea, readecuar parámetros de calidad que permitan mejorar los servicios de telecomunicaciones (telefonía fija, telefonía móvil, portador, valor agregado, audio y video por suscripción), a través de actos administrativos y normativa.

El área de las Telecomunicaciones es uno de los ámbitos de investigación en auge, además cumple el Objetivo 10 y 11 del Plan del Buen Vivir del Gobierno Nacional del Ecuador, puesto que la presente investigación permitirá llegar a tener sistemas de comunicación confiables para garantizar la comunicación a corta y larga distancia con la aparición de las nuevas tecnologías, realizando estudios minuciosos de las atenuaciones y sensibilidad para la recepción de señales de alta frecuencia.

En las redes integradas 5G se describe como una tecnología de comunicaciones inalámbricas con demanda de mayor velocidad y ancho de banda para la transmisión de datos, por lo que trabajar en GHz, THz y ondas milimétricas, sub-milimétricas, donde las antenas son más pequeñas y el espectro es mucho mayor, es interesante desde el punto de vista de capacidad y velocidad para la aplicación de las nuevas y futuras tecnologías de comunicación que incrementarían las tasas de transmisión de datos.

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo General.

- Analizar y evaluar una antena receptora de alta frecuencia para su utilización en redes integradas de Quinta Generación (5G).

1.3.2 Objetivos Específicos

- Elaborar un estado del arte de las características que se deben tomar en cuenta para el receptor de alta frecuencia.
- Desarrollar el modelo de un receptor de alta frecuencia.
- Simular el diseño del receptor utilizando un software.
- Analizar los resultados de la simulación del diseño del receptor de alta frecuencia.

1.4 Hipótesis

1.4.1 Hipótesis general

¿El desarrollo de un receptor de alta frecuencia permitirá que trabaje en ondas milimétricas para su aplicación en redes integradas de Quinta Generación (5G)?

CAPÍTULO II

2 MARCO DE REFERENCIA

2.1 Quinta Generación (5G)

La tecnología 5G está siendo estudiada para una aplicación en el mercado de la Industria Móvil Mundial (IMT), más allá de las últimas tecnologías LTE y WMAN – Advanced, teniendo desde un punto de vista tecnológico integral para 5G que llevará avances tecnológicos para la Red de Acceso Radioeléctrico (RAN) como en la red central (Andrews, y otros, 2014).

Las tecnologías anteriores (3G y 4G) han usado la banda ancha móvil prestando servicios de sistemas optimizados y grandes tasas de datos, sin embargo con 5G se pretende mejorar la capacidad e incrementar la tasa de datos.

Las redes inalámbricas deberán ofrecer conexión para cualquier dispositivo incluyendo servicios que beneficiarán en la forma de vida y trabajo de las personas, a este desarrollo se lo conoce como La Internet de las Cosas (IoT), ciudades inteligentes, toda la sociedad interconectada, comunicaciones centradas en las máquinas, etc. Las Radiocomunicaciones de la Unión Internacional de las Telecomunicaciones (UIT-R) identificó su principal uso, como se muestra en la figura 1-2 se ven los escenarios de uso y aplicaciones que se desarrollarán:

- En banda ancha móvil optimizada
- Comunicaciones de baja latencia y confiables
- Comunicaciones tipo máquinas

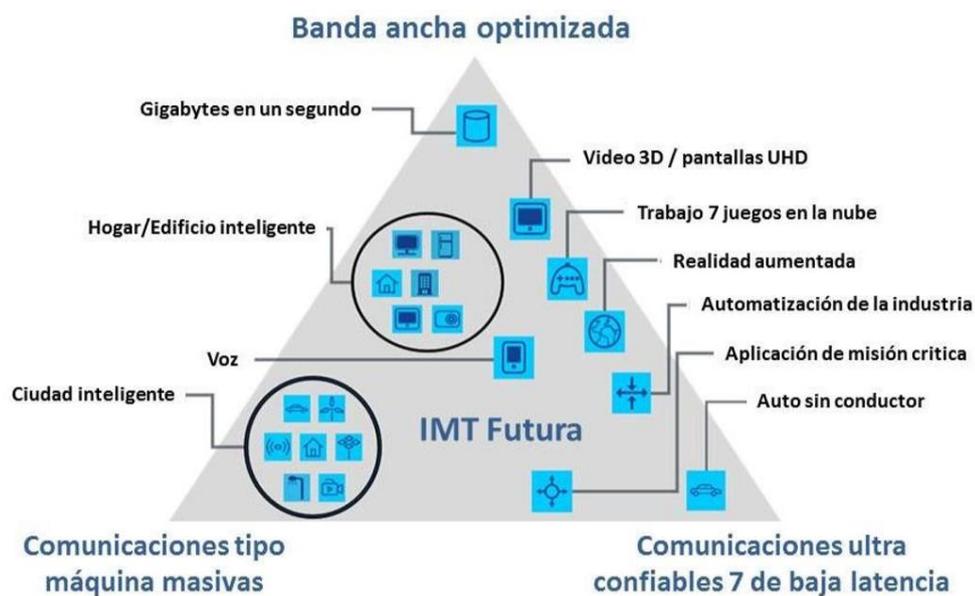


Figura 1-2. IMT propone el escenario para el desarrollo futuro.

Fuente: (Recomendación ITU-R, 2015)

2.1.1 Aplicaciones

La UIT menciona que para 5G existirán múltiples aplicaciones desde dispositivos de tipo wearable, sistemas industriales y comerciales, la IoT, video de alta resolución (4k, 8k), Realidad Aumentada (AR), Realidad Virtual (VR) que se utiliza en juegos, películas, como se puede apreciar en la figura 1-2 donde se observa una variedad de aplicaciones.

Para la aplicación de 5G existen algunas demandas técnicas que se describen en la tabla 1-2 y 2-2, que son en cuanto al adecuado diseño de la interfaz de radio, accesos a frecuencias adecuadas, velocidades de conexión que se requerirán para video de alta resolución, por lo que 5G ofrecerá mayor capacidad para incluir a las aplicaciones de futuras redes (Recomendación ITU-R, 2015).

Tabla 1-2. Futuras aplicaciones para 5G con sus requisitos potenciales

ESCENARIO DE USO	APLICACIÓN	REQUISITO DE ALTO NIVEL
Banda ancha móvil optimizada	Video UHD (4k, 8K), video 3D, servicios de radiodifusión	Baja latencia Enlaces de radiocomunicaciones de alta velocidad
	Realidad virtual	
	Realidad aumentada	
	Juegos en la nube	
	Vehicular (autos, buses, trenes, estaciones aéreas, etc)	Baja latencia Enlaces de radiocomunicaciones de alta velocidad Rango corto o largo

Comunicaciones ultra confiables	Automatización industrial	Enlaces de radiocomunicaciones de alta confiabilidad y velocidad Latencia baja a ultra baja Corto o largo alcance Operaciones en entornos congestionados
	Aplicaciones críticas de misión, como salud electrónica, entornos peligrosos, misiones de rescate, etc.	Enlaces de radiocomunicaciones de alta confiabilidad y velocidad Latencia baja a ultra baja Rango corto a largo Operación en entornos congestionados Penetración de suelos y obstáculos
	Vehículos sin conductor	Enlaces de radiocomunicaciones de alta confiabilidad y velocidad Latencia baja a ultra baja Rango corto a largo Operación en entornos congestionados Operación cerca de obstáculos en rápido movimiento
Comunicaciones tipo máquina masivas	Hogar inteligente	Operación en entorno congestionado Penetración de obstáculos
	Oficina inteligente	Operación en entorno congestionado Penetración de obstáculos Enlaces de radiocomunicaciones de alta confiabilidad
	Ciudad inteligente	Rango corto a largo Operación en entorno congestionado Operación cerca de obstáculos en rápido movimiento Enlaces de radiocomunicaciones de alta confiabilidad Penetración de suelos y obstáculos
	Redes de sensores (industrial, comercial, etc)	Rango corto a largo Operación en entorno congestionado Operación cerca de obstáculos en rápido movimiento Redes en malla Penetración de suelos y obstáculos

Fuente: (Recomendación ITU-R, 2015)

Realizado por: (Balseca, 2018)

La tabla 1-2 detalla algunos de los requerimientos potenciales para el uso y aplicación de la tecnología 5G, y así lograr conexiones seguras, confiables y de alta velocidad en el rango de los Gigabits por segundo con el uso de ancho de banda de ultra portadora.

La tabla 2-2 muestra las potenciales implicancias vinculadas al espectro de los diversos requisitos de alto nivel para 5G.

Tabla 2-2. Requisitos para la 5G.

REQUISITO DE ALTO NIVEL	POTENCIALES IMPLICANCIAS VINCULADAS AL ESPECTRO
Enlaces de radiocomunicaciones de ultra alta velocidad	Anchos de banda de portadora ultra amplios.
Enlaces de radiocomunicaciones de alta velocidad	Anchos de banda de portadora amplios.
Soporte para entorno de bajo a alto Doppler	Depende del requisito de velocidad de transmisión
Latencia ultra baja	Implicancias de corto rango
Baja latencia	Implicancias de rango medio-corto
Enlaces de radiocomunicaciones de confiabilidad ultra alta	Severo impacto de la lluvia y otros efectos atmosféricos sobre la disponibilidad de enlaces en las frecuencias superiores (las ondas milimétricas para operaciones a la intemperie)
Enlaces de radiocomunicaciones de alta confiabilidad	Impacto de lluvia y otros efectos atmosféricos sobre la disponibilidad de enlaces en las frecuencias superiores
Rango corto	Frecuencias más altas (ondas milimétricas)
Rango largo	Frecuencias más bajas (sub-3 GHz)
Penetración de suelos / obstáculos	Frecuencias más bajas (sub-1 GHz)
Operación en entorno congestionado	Entorno dominado por difracción en frecuencias más bajas Entorno dominado por reflexión en frecuencias más altas
Operación cerca de obstáculos en rápido movimiento	Canales de desvanecimiento con selección de frecuencias
Redes en malla	Backhaul inalámbrico distribuido de alta velocidad operando en o fuera de banda

Fuente: (Recomendación ITU-R, 2015)

Realizado por: (Balseca, 2018)

La información de las tablas 1-2 y 2-2, incluye varios temas importantes como:

- Entornos de despliegue
- Reutilización de Frecuencias
- Capacidad de interfaz de radiocomunicaciones

Los sistemas celulares no operan de forma aislada, sino que operan en bandas adyacentes y tienen un impacto con la interferencia de sistemas vecinos, eso en cuanto a los entornos de despliegue, por lo que se debe establecer bandas de guarda entre los diversos operadores y los servicios adyacentes por lo que debe proveer de aislamiento apropiado a los sistemas.

La tecnología celular trabaja con mayor eficiencia espectral debido a que pueden operar con una reutilización de frecuencias de uno a lo largo del área de despliegue, brindando cobertura, calidad y capacidad a los usuarios.

La capacidad de interfaz de radiocomunicaciones ha mejorado con la utilización de técnicas de antenas múltiples o direccionales con nuevos esquemas de modulación y espectralmente más eficientes, mecanismos de acceso múltiple, con lo cual se prevé que incremente la eficiencia espectral de los futuros sistemas de 5G.

2.1.2 Características de la Quinta Generación (5G)

La tecnología 5G en la actualidad se está investigando para las comunicaciones móviles debido a su capacidad de integración a diferencia de las versiones anteriores, vinculará cualquier nueva interfaz y espectro 5G junto con LTE y WiFi, se prevé que proporcionará una cobertura universal de alta velocidad, facilidad de servicio, comodidad y confiabilidad, viéndose la necesidad de emplear las frecuencias de la banda milimétrica y submilimétrica, las mismas que serán aprovechadas y las cuales pueden utilizar anchos de banda altos sobre distancias cortas (Andrews, y otros, 2014); (Hossain & Hasan, 2015).

El crecimiento exponencial de datos inalámbricos para las demandas de las redes de datos impulsado principalmente por teléfonos inteligentes, tabletas y transmisión de video. Las redes 5G tendrán que admitir aplicaciones multimedia con una amplia variedad de requisitos que incluyen latencia reducida, cobertura interior mejorada, eficiencia energética mejorada, etc. Las principales tecnologías y enfoques para abordar los requisitos de los sistemas 5G se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Aprovecharán las altas frecuencias de la banda milimétrica.
- Capacidad y mejora del rendimiento, alta velocidad de datos.
- Servicios y aplicaciones avanzadas.
- Incrementará el número de usuarios en la red.
- Empleo de antenas altamente direccionales.
- Mejora de la eficiencia de energética.
- Bajas latencias.
- Aplicaciones autónomas y gestión de redes, internet de las cosas.

Al aumentar las conexiones y para soportar el ancho de banda, las redes integradas 5G deberá ser una red heterogénea, formadas por celdas grandes y pequeñas llamadas macro-celdas, pico celdas y femto-celdas con diferentes tecnologías.

Las celdas pequeñas sirven para dar cobertura en áreas urbanas muy densas a altas frecuencias del espectro pudiendo realizar transmisiones de mayor capacidad y aprovechamiento en el uso de energía.

Por la complejidad de la administración de la red 5G, tendrá capacidad de auto-organización, un mejor rendimiento en términos de cobertura, de consumo de energía, de eficiencia espectral y de utilización de frecuencia.

2.2 Espectro electromagnético

Se caracterizan por la longitud de onda y por su frecuencia de ondas electromagnéticas, se encuentran todas las frecuencias y se lo conoce como espectro electromagnético, figura 2-2, formadas por un campo magnético y eléctrico perpendicular entre sí y con dirección a la propagación de energía. Las telecomunicaciones utilizan intervalos de frecuencia del espectro electromagnético, ésta designación está regulada por la Unión Internacional de Telecomunicaciones.

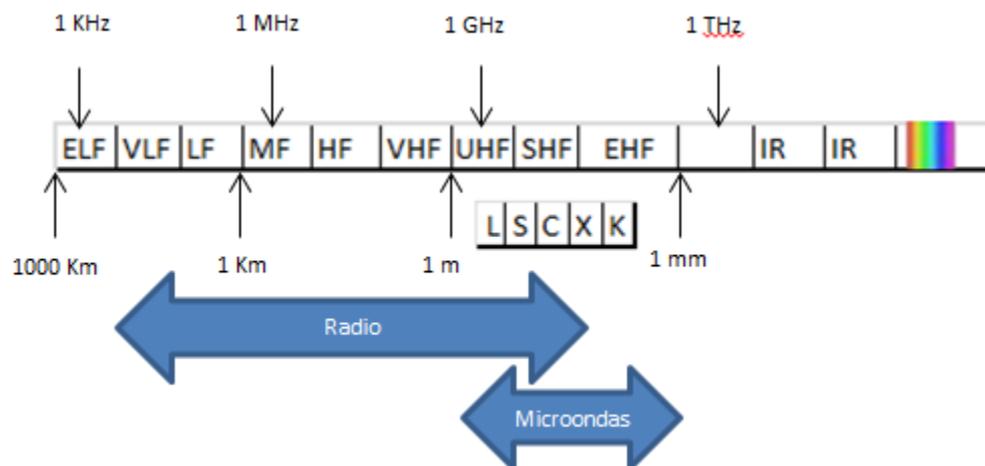


Figura 2-2. Espectro Electromagnético

Fuente: (Alejos, Sánchez, & Cuiñas, 2008)

Realizado por: (Balseca, 2018)

Las ondas electromagnéticas se pueden clasificar de acuerdo a las bandas de frecuencia: MF, HF, VHF, UHF vistas en la tabla 3-2. Para las frecuencias de microondas se trabaja en las bandas: L, C, S, X descritas en la tabla 4-2 que generalmente se utiliza para los radares como se observa en la figura 2-2.

Tabla 3-2. Bandas de frecuencia

BANDA	DENOMINACIÓN	frec. mínima	frec. máxima	λ máxima	λ mínima
ELF	Extremely Low Frequency	-	3 KHz	-	100 Km
VLF	Very Low Frequency	3 KHz	30 KHz	100 Km	10 Km
LF	Low Frequency	30 KHz	300 KHz	10 Km	1 Km
MF	Medium Frequency	300 KHz	3 MHz	1 Km	100 m
HF	High Frequency	3 MHz	30 MHz	100 m	10 m
VHF	Very High Frequency	30 MHz	300 MHz	10 m	1 m
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
		300 GHz	10 THz	-	<1mm

Fuente: (Recomendación ITU-R, 2015)

Realizado por: (Balseca, 2018)

Tabla 4-2. Banda de frecuencias en microondas

BANDA	frec. mínima	frec. Máxima	λ máxima	λ mínima
L	1 GHz	2 GHz	30 cm	15 cm
S	2 GHz	4 GHz	15 cm	7.5 cm
C	4 GHz	8 GHz	7.5 cm	3.75 cm
X	8 GHz	12.4 GHz	3.75 cm	2.42 cm
Ku	12.4 GHz	18 GHz	2.42 cm	1.66 cm
K	18 GHz	26.5 GHz	1.66 cm	1.11 cm
Ka	26.5 GHz	40 GHz	11.1 mm	7.5 mm
Mm	40 GHz	300 GHz	7.5 mm	1 mm

Fuente: (Recomendación ITU-R, 2015)

Realizado por: (Balseca, 2018)

2.2.1 Banda Milimétrica

Ésta banda está conformada por el conjunto de frecuencias de 30 GHz a 300 GHz también llamadas Extremely High Frequency (EHF), comprendiendo longitudes de onda de 1mm a 10 mm como se observa en la tabla 3-2. Debido al trabajo sobre estas frecuencias y a que las ondas de radio no viajan a grandes distancias se ve la necesidad de uso de antenas direccionales en vista de que enfocan la potencia de la señal en una dirección deseada.

2.2.1.1 Características de la banda milimétrica

Las comunicaciones inalámbricas terrestres se las ha definido para un rango de frecuencias que van desde los cientos de MHz hasta los GHz como se observa en la tabla 5-2, siendo longitudes de onda de varios centímetros hasta casi un metro, en el margen de las frecuencias de la banda milimétrica en el rango de los GHz aún hay espectro disponible en el rango de 20 GHz a 30 GHz (Zhang, y otros, 2011). Una de las principales razones para no utilizar el espectro en la banda milimétrica y esté desocupada es por las condiciones hostiles de propagación, incluyendo pérdidas por trayecto, absorción atmosférica y lluvia, baja penetración a través de objetos y al fuerte ruido de fase. La banda no autorizada es de los 60 GHz alrededor apropiada para transmisiones cortas, en el rango de 57 GHz a 64 GHz, la absorción del oxígeno es elevada con atenuaciones de 15 dB/km, debido a que el oxígeno absorbe la energía electromagnética de los 60 GHz. Por vapor de agua la absorción puede alcanzar hasta decenas de dBs en el rango de 164 a 200 GHz, por lo que el uso de esta banda es limitado para las comunicaciones inalámbricas (Tani, Herrmann, Kono, & Sakai, 2002).

Las ondas milimétricas ofrecen más espectro y se está optando por la utilización de estas ondas debido a que el espectro de microondas entre los 6 y 30 GHz se encuentra prácticamente saturado, la expansión de los servicios móviles con tecnologías 4G LTE se encuentran limitados debido a que no tienen disponibilidad de espectro, siendo las ondas milimétricas una alternativa para resolver esta limitación proporcionando más espacio para la expansión y un desarrollo en la tecnología 5G. Las ondas milimétricas permiten velocidades de datos más altas que pueden alcanzar los 10 Gbits/s o más. Por otra parte, hay varias bandas en el régimen de ondas milimétricas que pueden utilizarse para comunicaciones inalámbricas de alta velocidad de datos.

En la siguiente figura 3-2 se encuentran las frecuencias superior a 3 GHz, señaladas las frecuencias afectadas por la absorción del oxígeno y el vapor de agua.

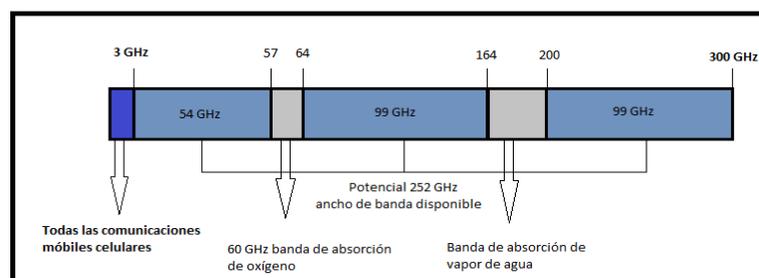


Figura 3-2. Banda de frecuencia superior a 3 GHz

Fuente: (Alejos, Sánchez, & Cuiñas, 2008)

Realizado por: (Balseca, 2018)

Tabla 5-2. Características de transmisión de las bandas de frecuencia

	BANDAS	CAPACIDAD	ATENUACIÓN	COBERTURA	USOS TÍPICOS
BAJA FRECUENCIA	VLF, LF (3 - 300 KHz)	Baja	Baja	Amplia	Radionavegación, emergencias, policía, comunicaciones militares, radio
FRECUENCIAS MEDIAS Y ALTAS	MF, HF (300 KHz - 30 MHz)	Media	Media	Media	Radio, radioaficionados
FRECUENCIAS MUY ALTAS	VHF, UHF (30 MHz - 1 GHz)	Media - Alta	Alta	Media	Televisión, radio, comunicaciones móviles
MICROONDAS	1 GHz - 30 GHz	Alta	Alta	Reducida	Comunicaciones móviles, satélite, radioenlaces, redes de datos inalámbricas
MILIMÉTRICAS	30 - 300 GHz	Muy Alta	Muy Alta	Muy Reducida	Radioastronomía, investigación
SUBMILIMÉTRICAS	0.3 – 10 THz	Muy alta	Muy Alta	Muy Reducida	Técnicas fotónicas, espectroscopía, radioastronomía, investigación

Fuente: (Recomendación ITU-R, 2015)

Realizado por: (Balseca, 2018)

2.2.2 Banda submilimétrica

La banda de los THz es una banda espectral definida como la banda de frecuencias de (0,3 a 10) THz, situado entre la banda de microondas y el infrarrojo lejano. Esta banda presenta una transición entre la electrónica y la óptica o fotónica para la generación y detección de radiación THz.

2.2.2.1 Características de la banda submilimétrica

Las ventajas en la utilización de estas frecuencias en THz ha impulsado el desarrollo de la tecnología, los intervalos de frecuencia del espectro electromagnético asignado a diferentes usos dentro de las radiocomunicaciones, regulado por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), varía de acuerdo al lugar donde se sitúen, el espacio asignado abarca las diferentes bandas del espectro de radiofrecuencias y parte de microondas dividido en sectores. Para los receptores de THz se espera una tecnología quasi-óptica planar integrada basada en guías de ondas. Con los recientes avances tecnológicos en nanoestructura y micromecanizado permiten una producción y alineación confiable de las estructuras planares de las antenas en lentes dieléctricos con precisión que puede alcanzar el rango de los THz (Semenov A., y otros, 2007).

Han demostrado un mejor acoplamiento a la radiación en el rango de longitud de onda submilimétrica, Log-periódica (Gitin, Wise, Arjavalingham, Pastoral, & Compton, 1994); (Gerecht, y otros, 1999), log-espiral (Büttgenbach, Miller, Wengler, Watson, & Phillips, 1988); (Semenov, Richter, Günther, Hübers,

& Karamarkovic, 2005), doble ranura (Filipovic, Gearhart, & Rebeiz, 1993); (Zhang, y otros, 2011), y doble dipolo (Filipovic, Ahmad, & Rebeiz, 1992) con alimentación plana integrada con lentes de cuarzo o de silicio (Büttgenbach, 1993).

2.3 Semiconductores y Antenas para 5G

Una de las soluciones que podría facilitar y habilitar al espectro para 5G, es la implementación de semiconductores y dispositivos de antenas de bandas más altas, en microondas, con disponibilidad de más oportunidades para el espectro que sería inaccesible para los sistemas móviles.

El identificar el espectro para el licenciamiento exclusivo de 5G debe ser el objetivo principal de los reguladores, para la protección de los sistemas adyacentes que puede incluir desde equipos sensores para confirmar la utilidad del espectro y sus necesidades incluso cuando se emplea diferentes tecnologías en el mismo espectro o adyacente.

Aún hay espectro disponible entre la banda de 30 a 300 GHz y de 0.3 a 10 THz, que es un recurso atractivo para la tecnología móvil de 5G, con vista de satisfacer las tasas de 10 Gbps y de 100 Mbps, por lo que se requiere tecnología avanzada de semiconductores y antenas.

Las técnicas en las cuales se enfocan para mejorar la capacidad de los sistemas y cobertura es la formación de haz que incrementa la Relación Señal – Ruido del enlace (SNR) utilizando una sumatoria coherente de la señal transmitida lo que incrementa su capacidad y cobertura, y la multiplexación espacial que aumenta la capacidad del sistema al formar múltiples canales paralelos espaciales entre los Puntos de Acceso (AP) y entre uno o más equipos de los usuarios que se conecten. Mejorando la cobertura, capacidad y eficiencia espectral en bandas de hasta 100 GHz, lo que para bandas milimétricas se podrá utilizar un ancho de banda mayor.

La longitud de onda en bandas celulares actuales y las bandas de ondas milimétricas de 30 – 100 GHz, es propensa a la atenuaciones por trayectoria adicional de 20 a 30 dB, compensando con el uso de fase de gran escala que son factibles en frecuencias altas, en vista de que al incrementar la frecuencia portadora el tamaño de la antena disminuye de forma inversamente proporcional.

La arquitectura de hardware para la implementación de antenas dependerá de la banda de operación, existiendo tres clases:

- Arquitectura orientada a la banda base
- Arquitectura orientada a la Radio Frecuencia
- Arquitectura híbrida

La arquitectura banda base, la formación de haz se da en la banda base y existe una única cadena de transmisión para la alimentación de cada antena, por lo que es ideal para bandas por debajo de los 6 GHz, permitiendo alta flexibilidad y alto desempeño pero a un alto costo y consumo de potencia.

La arquitectura RF, cada flujo de información alimenta a una única cadena de transmisión, es para bandas de microondas mayores a 30 GHz.

La arquitectura híbrida, la formación del haz de transmisión se realiza tanto en banda base como en RF, para las bandas de ondas milimétricas, se presentan semiconductores avanzados que ya operan en estas bandas y aún están en desarrollo para mejoras de su desempeño.

2.3.1 Requerimientos de la Tecnología de Quinta Generación (5G)

El canal de comunicaciones emergente en el rango de GHz y THz de banda ancha para redes inalámbricas 5G, prevé dar cabida a la comunicación inalámbrica de alta velocidad, lo que lo convierte en una excelente opción para las redes móviles de Quinta Generación (Khalid & Akan, 2016).

La demanda para el acceso a la información y el entretenimiento se está dando a grandes velocidades de datos, incrementándose los consumidores que esperan que las comunicaciones alcancen los throughputs de las comunicaciones por cable, esta demanda sugiere velocidades de transmisión de datos inalámbricos que alcancen la velocidad de terabits por segundo (Tbps) que deben realizarse en redes inalámbricas 5G (Huang & Wang, 2011).

Con el estudio en el espectro de GHz y THz, se espera un incremento en las velocidades de transmisión de datos hasta 6 Gbits/s, limitándose el espectro disponible en torno a esas frecuencia que pueden satisfacer las crecientes demandas de mayores tasas de transmisión de datos, por lo que para soportar tan altos rendimientos de Gbps y Tbps, se requiere un enorme ancho de banda, y por lo tanto los investigadores están explorando la banda de ondas milimétricas y submilimétricas (Rapport, Murdock, & Gutierrez, 2011).

Las futuras WLANs se basarán principalmente en condiciones de línea de visión y antenas de ganancia alta, con ganancias superiores a 25 dBi para superar el alto espacio libre y pérdidas adicionales de alta reflexión (Khalid & Akan, 2016). Se requiere diseños sofisticados de antenas para proporcionar tanto una alta ganancia como capacidad de servir a múltiples usuarios en diferentes posiciones.

2.3.2 Ventajas y desventajas de la frecuencia en estudio para la 5G

Las comunicaciones móviles han saturado los espectros de frecuencia y están concentradas en bandas inferiores a 6 GHz por sus condiciones de propagación favorables, por lo que han considerado una nueva parte del espectro para 5G. En la quinta generación las frecuencias propuestas son 28, 38 y 73 GHz (Zürcher & Gardiol, 2011). Las altas frecuencias pueden abarcar más usuarios y transmisiones elevadas, además también existen limitaciones en esta banda debido a que las ondas de radio no pueden viajar grandes distancias.

Las limitaciones en la tecnología 5G para las ondas de radio de las bandas de frecuencia 28, 38 y 73 GHz es viajar a grandes distancias, teniendo pequeños rangos de transmisión, aumentando las pérdidas de propagación al pasar por construcciones y edificaciones en la zona urbana (Naceur, Merahi, & Abdelmalik, 2014).

Las bajas frecuencias penetran fácilmente las edificaciones mientras que las señales de onda milimétricas y submilimétricas tienen la dificultad de atravesar algunos materiales.

Las atenuaciones por follaje son un limitante como se puede observar en la figura 4-2 y 5-2, donde se trazan las pérdidas por propagación debido al follaje con profundidades de 5, 10, 20 y 40 metros. Es importante analizar que a una frecuencia de 80 GHz y 10 metros de follaje, las pérdidas pueden ser de 23.5 dB, la cual es de 15 dB mayor que las pérdidas a 3 GHz. En las frecuencias de 28 y 38 GHz la atenuación atmosférica es despreciable, se muestran en la tabla 6-2, los valores de atenuación de señal a frecuencias inferiores a 3 GHz, 40 GHz, 60 GHz para materiales comunes (Tani, Herrmann, Kono, & Sakai, 2002).

Tabla 6-2. Atenuación de materiales

MATERIAL	ESPESOR (cm)	ATENUACIÓN (dB)		
		< 3 GHz	40 GHz	60 GHz
crystal puro	0.3 / 0.4	6.4	2.5	3.6
Madera	0.7	5.4	3.5	—
cartón de yeso	1.5	—	2.9	—
pared de ladrillo	10.0	—	178.0	—
Hormigón	10.0	17.7	175.0	—

Fuente: (Tani, Herrmann, Kono, & Sakai, 2002)

Realizado por: (Balseca, 2018)

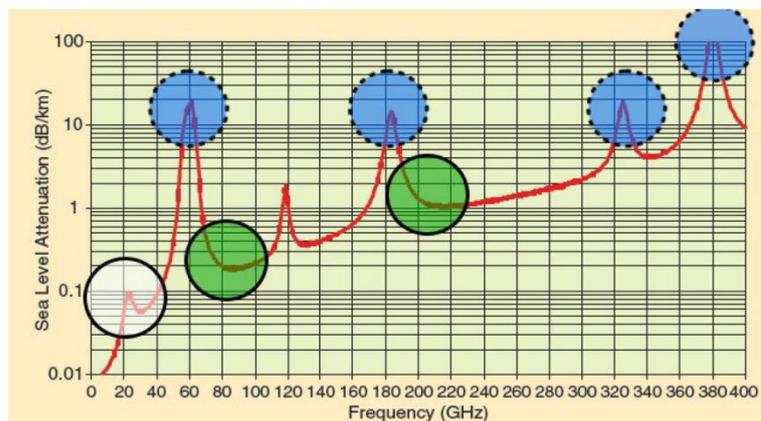


Figura 4-2. Bandas de frecuencia con su atenuación atmosférica

Fuente: (Tani, Herrmann, Kono, & Sakai, 2002)

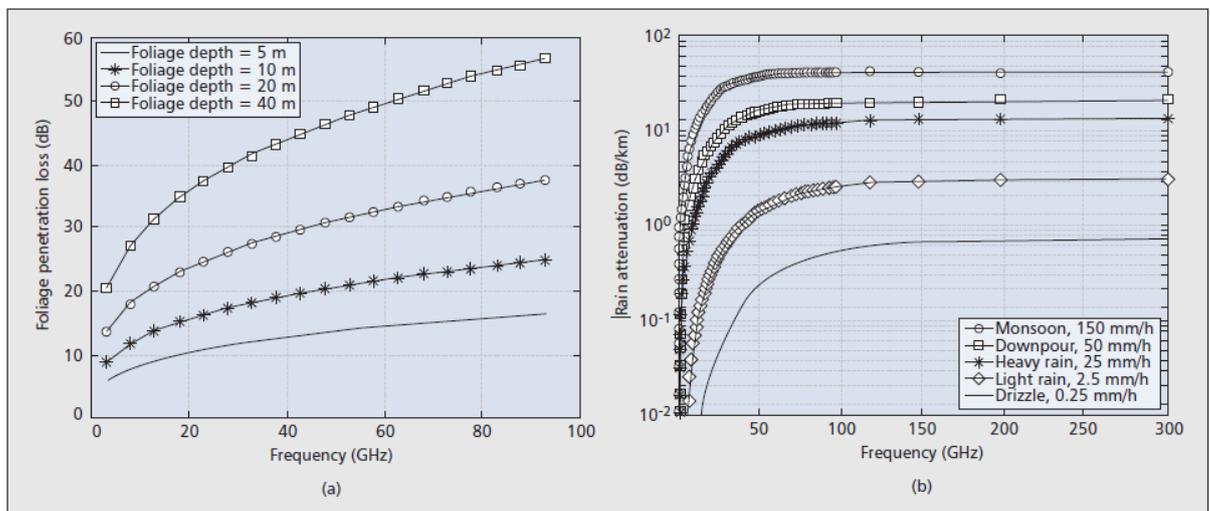


Figura 5-2. Características de propagación por onda milimétrica: a) pérdidas por penetración de follaje; b) atenuación por lluvia

Fuente: (Tani, Herrmann, Kono, & Sakai, 2002)

La diferencia de longitud de onda entre bandas presenta mecanismos de propagación con características diferentes como:

2.3.2.1 Pérdida de trayecto en espacio libre

La ecuación de Friss en las comunicaciones inalámbricas determina la potencia recibida en un receptor (antena) en particular, de acuerdo a la potencia enviada. La ley de transmisión de Friss indica que las pérdidas crecen con el cuadrado de la frecuencia por atenuaciones en el trayecto y espacio libre.

Los tamaños de las antenas de transmisión y recepción supone es fijo respecto de su longitud de onda, y el tamaño de apertura de la antena física decrece con la frecuencia, por lo que para ondas milimétricas se deben colocar más antenas en una misma superficie física, por lo que mejoraría la ganancia de la antena y disminuiría las pérdidas por espacio libre.

2.3.2.2 Difracción

La pérdida aumenta de forma proporcional a las frecuencias, por lo que en frecuencias de ondas milimétricas no es un mecanismo de propagación dominante o no hay difracción.

2.3.2.3 Reflexión y dispersión

La reflexión especular por objetos (muros, autos, suelos) o personas y la reflexión difusa por la dispersión de energía de la señal al encontrarse con un objeto, ha llevado a realizar estudios de propagación de ondas milimétricas, puesto que los mecanismos de reflexión difusa podría ayudar a la ampliación de rangos de cobertura de las mismas, debido a la dispersión de la onda en amplios rangos de ángulos, por lo que es uno de los medios para la obtención de la señal en condiciones de no tener vista directa.

2.3.2.4 Penetración de materiales

A medida que la frecuencia se incrementa, existe mayor dificultad para la transmisión de señal por las pérdidas que se producen al transmitir una cantidad de energía a través de un objeto, produciéndose dificultad con las construcciones para difundir la señal especialmente las ondas milimétricas.

2.3.2.5 Oxígeno y absorción de agua, pérdida por lluvia

La atenuación por lluvia en las peores condiciones es de 0,6 dB, por lo que el rango soportable va de 100 – 150 m y es despreciable aún en las ondas milimétricas.

2.3.2.6 Pérdida por follaje

Aumenta con la frecuencia y ocasiona pérdidas en la banda de las ondas milimétricas, por lo que podría superarse con reflexiones, re-enrutamiento a puntos de acceso distintos, por lo que para 5G se requerirá canales de alta confianza, apropiados para las atenuaciones que se podrían generar, figura 5-2.

2.4 Antenas

Las antenas son dispositivos mecánicos generalmente formados por conductores metálicos, diseñados para radiar y recibir ondas de radio adaptados de acuerdo al entorno, emitiendo o recibiendo ondas electromagnéticas (Balanis & Willey, 2005), de acuerdo a los estándares de la IEEE.

Las antenas de recepción convierten las ondas electromagnéticas en voltajes. Las antenas son estructuras de transición entre un medio de transmisión por el espacio libre o un medio guiado, su principal objetivo es la radiación de una potencia suministrada, dependiendo de las características de la misma, si la antena está diseñada para que radie en todas las direcciones se la conoce como antena omnidireccional utilizado por los sistemas de radiodifusión o en una sola dirección utilizada por las radiocomunicaciones llamada antena directiva (Balanis & Willey, 2005).

Se puede definir varios tipos y características con una variedad de diseños, configuraciones, geometrías y materiales, por lo que al conocer los detalles que determinan una configuración óptima se determinará el rendimiento de una antena.

2.4.1 Antenas en el régimen de GHz y THz

Los detectores fabricados para altas frecuencias son adecuados para detectar las fuentes de luz de los láseres de electrones libres debido a sus tiempos de respuesta rápida, proponiendo una matriz integrada con detectores superconductores acoplados a doble banda estrecha, que cubre las frecuencias de 30 GHz, 140 GHz, 350 GHz, 650 GHz y 1,02 THz.

El tamaño de los elementos detectores se ha reducido a um y sub-um con procesos de fabricación mejorados, por lo que lleva mayor sensibilidad de los detectores ya que están relacionados inversamente y es proporcional al tamaño de fuente. Quasi-Óptico basado en diodos Schottky, donde se ha maximizado la potencia entregada al diodo desde la antena. Es un receptor pensado para formar parte de un sistema de comunicaciones inalámbricas de alta velocidad.

2.4.2 *Parámetros característicos de una antena*

2.4.2.1 *Densidad de potencia radiada*

La onda electromagnética tiene una potencia de onda expresada mediante la ecuación de Poynting, que apunta hacia la dirección de la onda de propagación, esta ecuación expresa la ley de conservación de la energía. Además indica la disminución de energía electromagnética al desarrollar la integral de dicha ecuación, que contiene la potencia en forma de calor en un área determinada.

2.4.2.2 *Intensidad de radiación*

Se mide en el campo lejano donde es la potencia radiada de una antena por unidad de ángulo sólido, es un parámetro que expresa la cantidad de potencia radiada por el cuadrado de la distancia

2.4.2.3 *Eficiencia de la antena*

La eficiencia o rendimiento de la antena es la relación que existe entre la potencia radiada por la antena y la potencia entregada a la antena para una frecuencia dada de operación. Se puede emplear la directividad y la ganancia de cada antena, por lo que cada antena tiene su valor típico de eficiencia como se muestra en la tabla 7-2.

Tabla 7-2. Eficiencia de las antenas

TIPOS DE ANTENAS	EFICIENCIA (Valor típico)
Dipolo	90%
Bocinas	90%
Parches	80%
Arrays impresos	70%
Reflectores	65%

Fuente: (Balanis & Willey, 2005)

Realizado por: (Balseca, 2018)

2.4.2.4 Diagrama de radiación o Patrón de radiación

Es una representación matemática y gráfica de las características y propiedades de la radiación de una antena en función de las coordenadas esféricas, se puede representar la intensidad de radiación que está definido por regiones de campo lejano (Balanis & Willey, 2005), que se entiende como la forma de energía que se propaga alrededor de la antena (lóbulo angosto es una antena direccional o lóbulo muy amplio es una antena omnidireccional). La manera de radiar de la antena depende de su geometría que orienta la energía a una región en particular, físicamente representa el patrón de radiación de la distribución del campo electromagnético en el espacio, dependiendo de las características se puede encontrar el lóbulo mayor o principal, menores, laterales y posteriores. El patrón de radiación forma lóbulos que es una porción del diagrama limitado por regiones diferentes (Campos, 2014) como se puede observar en la figura 6-2.

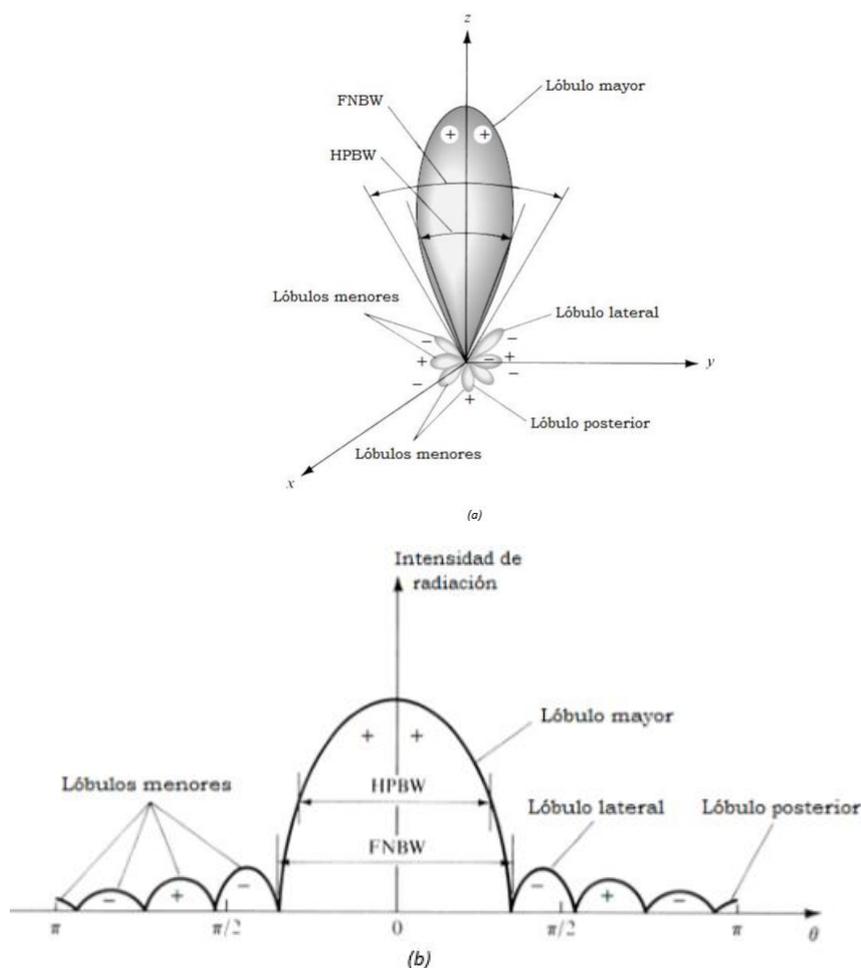


Figura 6-2.a) Diagrama de antena y lóbulos de radiación b) Radiación y ancho de haz. HPBW: ancho de haz de media potencia, FNBW: ancho de haz entre los primeros nulos

Fuente: (Balanis & Willey, 2005)

Se puede representar de forma tridimensional o bidimensional, como se ve en la figura 7-2.

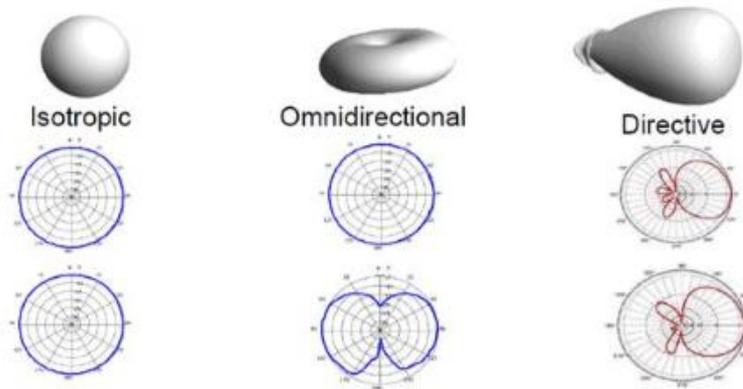


Figura 7-2. Diagrama de radiación tridimensional y bidimensional

Fuente: (Balanis & Willey, 2005)

2.4.2.5 Adaptación

La antena puede estar en modo transmisión o recepción, sin embargo para los dos modos de operación la impedancia sigue siendo la misma. En recepción la antena está unida a la línea de transmisión o directamente al receptor (Balanis & Willey, 2005).

La antena puede estar en conexión a una línea de transmisión o bien al receptor, por lo que para la medición del grado de reflexión en la potencia en una carga, se utiliza el parámetro de dispersión S_{11} que nos genera una idea de la transferencia de potencia a la antena. El parámetro S_{11} representa al coeficiente de reflexión en un puerto, siendo la relación entre la onda reflejada respecto a la onda incidente cuando no hay reflexión a la salida, figura 8-2.

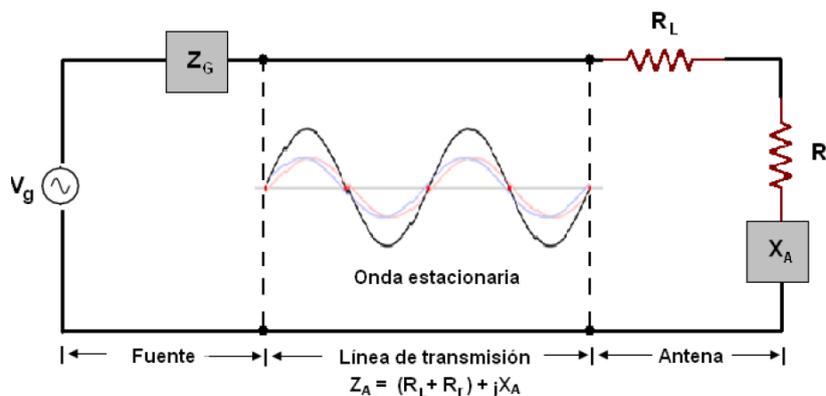


Figura 8-2. Fuente de recepción conectada a la antena

Fuente: (Pozar & Schaubert, 1995)

Fórmula de adaptación:

$$S_{11} = \frac{Z_A - Z_0}{Z_A + Z_0} \quad (1)$$

Dónde:

Z_A es la impedancia de entrada de la antena

Z_0 es la impedancia característica de la línea de recepción conectada a la antena (Pozar, 2000)

2.4.2.6 Directividad

La directividad de la antena es la relación entre la intensidad en una misma dirección dada con respecto a la máxima radiación y la radiación media generada en las demás direcciones, figura 9-2. La ganancia directiva es la relación entre la intensidad de radiación en cada dirección espacial y la de una antena isotrópica teniendo la misma potencia total.

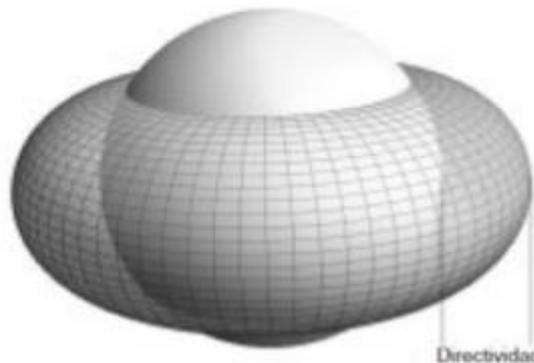


Figura 9-2. Patrones de directividad de forma tridimensional de una antena

Fuente: (Pozar & Schaubert, 1995)

2.4.2.7 Ganancia

La ganancia de una antena se relaciona directamente con la directividad y es útil para describir el funcionamiento de una antena, tomando en cuenta los parámetros de la eficiencia de la antena y sus capacidades direccionales. Es la relación entre la intensidad de radiación en una dirección dada, con la de una antena isotrópica que recibirá la potencia entregada. La ganancia y la directividad están relacionadas por la eficiencia de la antena, ya que no radia toda la potencia que se le suministra, parte de la potencia se disipa en forma de calor.

2.4.2.8 Ancho de haz

Ángulo formado por los dos ejes de una antena con los puntos donde ha caído a 3 dB su ganancia con respecto al máximo punto de radiación. El ancho de haz se entiende como a mitad de potencia, encontrándose en el pico de intensidad de radiación.

2.4.2.9 Polarización

Las antenas crean campos eléctricos radiados. La polarización se la define por la trayectoria que describe una antena por el campo radiado, siendo la figura geométrica que traza en el campo eléctrico, que varía de acuerdo al tiempo en una determinada dirección de la onda de propagación.

Se tiene la polarización lineal cuando el campo proyectado y las variaciones de radiación están en una sola dirección recta (horizontal o vertical), polarización circular cuando el extremo del vector de campo eléctrico describe una trayectoria circular, polarización elíptica cuando el extremo del vector describe una trayectoria elíptica, como se observa en la figura 10-2.

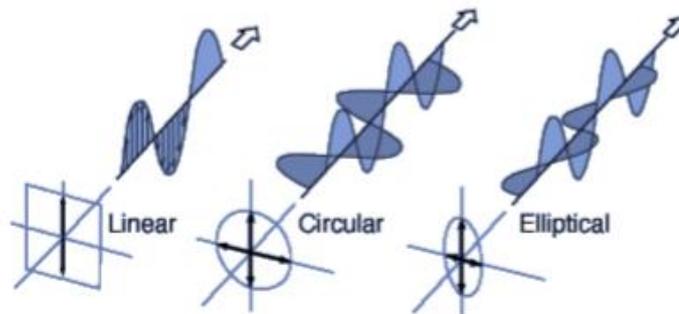


Figura 10-2. Tipos de polarización

Fuente: (Balanis & Willey, 2005)

2.4.2.10 Impedancia

La impedancia es la relación entre la tensión y la corriente de entrada en los terminales de una antena, siendo en la parte numérica un número complejo, la parte real se la conoce como la Resistencia de la antena (suma la resistencia de radiación y la resistencia perdida) y la parte imaginaria es la Reactancia de la antena.

2.4.2.11 Relación de onda estacionaria

Es el grado de adaptación entre la antena y la impedancia del propio circuito. La relación entre el máximo y el mínimo de la onda estacionaria de tensión o de corriente que se genera a la salida del generador.

2.4.2.12 Coeficiente de adaptación

Es la relación entre la potencia recibida y la potencia que se recibiría a una máxima potencia, sus valores varían entre 1 y 0. Las antenas tienen una impedancia de antena y un generador de tensión equivalente al circuito de Thevenin.

2.4.2.13 Ancho de banda

Margen de frecuencia para que una antena mantenga sus características, especificaciones (ganancia, directividad, etc) y su frecuencia central. El ancho de banda se define como el intervalo de frecuencias que se ajusta a un estándar en específico con respecto al rendimiento y características de la antena. La expresión del ancho de banda relativo es:

$$BW = \frac{f_{max}-f_{min}}{f_0} \quad (2)$$

Dónde:

f_{max} = frecuencia máxima

f_{min} = frecuencia mínima

f_0 = frecuencia central

2.4.2.14 Área efectiva

Es la relación entre la potencia recibida y la densidad de potencia incidente en una antena. La antena debe estar calibrada para recibir la carga con una potencia de transferencia máxima. La onda electromagnética a recibir debe estar adaptada de acuerdo a la polarización de la antena.

$$A_{ef} = \frac{W_r}{P_{in}} \quad (3)$$

2.4.2.15 Longitud efectiva

Relación entre la tensión inducida en una antena en circuito abierto y el campo incidente en la misma. Este parámetro determina el voltaje inducido en los terminales del circuito abierto de la antena al existir una onda incidente.

$$l_{ef} = \frac{V_{oc}}{E_{in}} \quad (4)$$

Dónde:

V_{oc} = Voltaje en los terminales del circuito abierto de la antena

E_{in} = Campo eléctrico incidente

l_{ef} = Vector de longitud efectiva

En las partes anteriores se ha tratado los conceptos como una antena transmisora sin embargo algunos parámetros como la ganancia y directividad van a ser los mismos, se considera para éste punto como una antena receptora.

La relación entre la potencia disponible en los terminales de la antena y la densidad de potencia de la onda incidente es el área equivalente que procede de la antena transmisora situada a una determinada distancia (Campos, 2014).

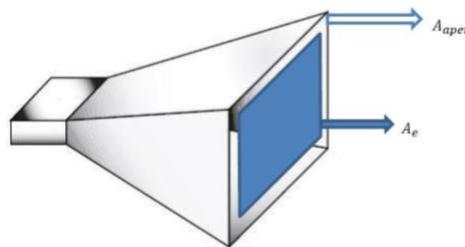


Figura 11-2. Área equivalente y apertura

Fuente: (Campos, 2014)

En la antena receptora el área de apertura A_{aper} es la una superficie útil de la antena para recibir la onda incidente, figura 11-2.

El área equivalente A_e , depende de tres factores: área de apertura, eficiencia de apertura (porción de área física de antena que capta la onda incidente) y la eficiencia de radiación, factores que evalúan las pérdidas disipadas.

2.5 Tipos de antenas

Las antenas se pueden clasificar dependiendo de la utilización que se les vaya a dar por ejemplo antenas para expandir el área radiada, otras que deban canalizar la potencia sin interferir a otros servicios. Las antenas se relacionan con la longitud de onda de la señal de radiofrecuencia a transmitir o a recibir, por lo que debe ser un múltiplo o submúltiplo exacto de esa longitud de onda, si se utiliza frecuencias mayores las antenas disminuyen su tamaño.

2.5.1 Antenas isotrópicas

Es una antena ideal sin pérdida, el área física es cero y no hay pérdidas por disipación de calor, su intensidad de radiación es homogénea en todas direcciones. Las antenas isotrópicas son un concepto que se lo utiliza para la evaluación de directividad, su nivel de energía, las pérdidas de propagación en el espacio libre en los enlaces de radiofrecuencia, siendo el patrón de radiación una esfera.

2.5.2 Antenas de hilo

Están formadas por hilos conductores (eléctricamente delgados), cuyo diámetro es menor que la longitud de onda. Pueden estar formados por hilos espirales (cualquier forma arbitraria, circular o cuadrada), rectos (dipolos, rombos) y hélices, se observa en la figura 12-2.

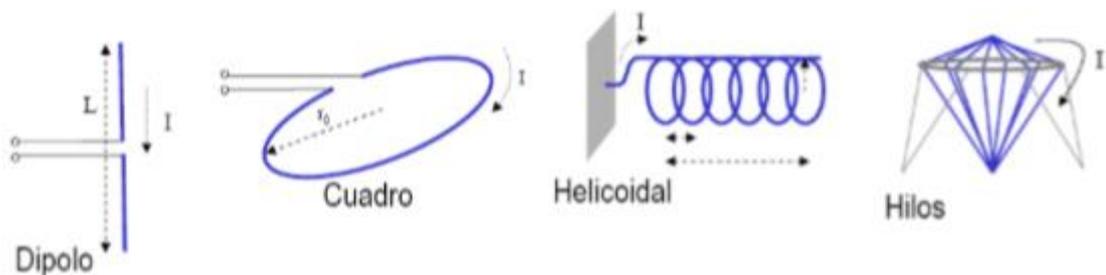


Figura 12-2. Tipos de antenas de hilo

Fuente: (Pozar, 2000)

2.5.3 Antenas YAGI – UDA

Son antenas directivas, utilizadas para la recepción de señales de televisión de la banda UHF. La figura 13-2 muestra un tipo de antena YAGI, su ganancia y directividad dependerá del número de elementos reflectores, cuanto más sea mejor. Es capaz de concentrar la mayor cantidad de

energía radiada de forma localizada, aumentando de esta manera la potencia emitida hacia el receptor y evitando atenuaciones por fuentes no deseadas.

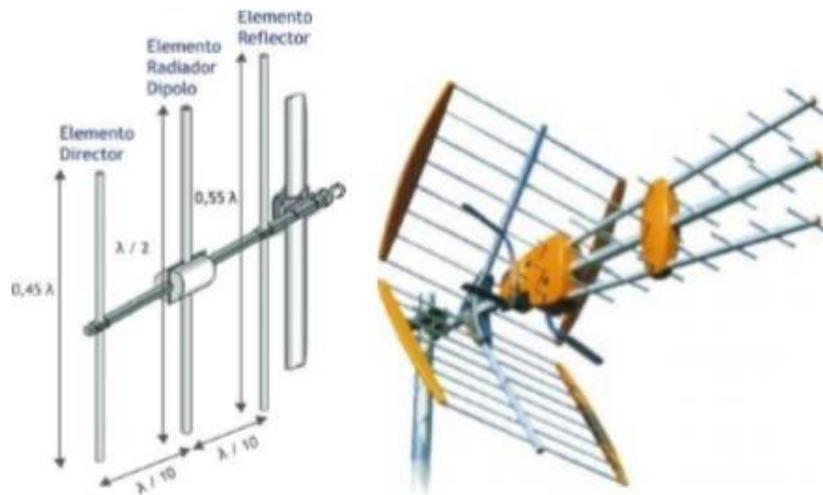


Figura 13-2. Antena YAGI – UDA

Fuente: (Campos, 2014)

2.5.4 Antena helicoidal

Tipo de antena con un comportamiento de banda ancha, resultado de bobinar un hilo conductor sobre un cilindro de diámetro constante. En el diseño de la figura 14-2 se toma en cuenta el diámetro, la separación entre vueltas, el número de vueltas, el diámetro del hilo con el que se realiza el bobinado y su sentido (derecha o izquierda).

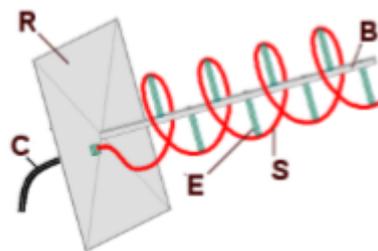


Figura 14-2. Tipo de antena helicoidal

Fuente: (Campos, 2014)

2.5.5 Antenas de apertura

Se las utiliza para frecuencias de microondas, por su fácil diseño y construcción y sus características de ancho de banda. Son las antenas cuya radiación sale por una embocadura, existen las antenas de apertura delimitada por paredes metálicas conductoras (piramidal, cónica, ranuras, bocinas) y apertura definida por porción de superficie frontal plana que permite optimizar las características de radiación, figura 15-2.

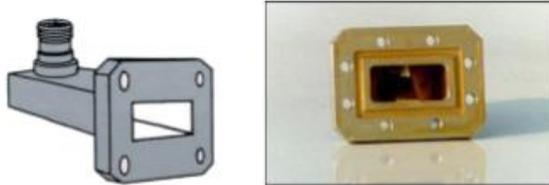


Figura 15-2. Tipo de antena de apertura

Fuente: (Campos, 2014)

2.5.6 Antenas planas

Están formadas por un grupo plano de radiadores y un circuito que distribuye la señal entre ellos. Son las antenas cuyo elemento radiante es bidimensional, su diseño es adecuado de tal manera que su estructura disipe la potencia en forma de radiación, pueden tener diseños de forma rectangular o circular y es utilizado generalmente en la telefonía celular por utilizar poco espacio, un ejemplo de antena se observa en la figura 16-2.



Figura 16-2. Tipo de Antena Plana

Fuente: (Campos, 2014)

2.5.7 Antenas parabólicas

La señal emitida o transmitida no sale o entra al elemento captador, se emite o recoge en el mismo una vez que se haya reflejado en un elemento pasivo, figura 17-2.

Siendo el caso de una antena receptora, el funcionamiento está en la reflexión de las ondas electromagnéticas, por lo que las ondas que van al eje principal se reflejan y van al foco en el centro de la paraboloides.



Figura 17-2. Tipo de antena parabólica

Fuente: (Campos, 2014)

2.5.8 Arrays

Los Arrays son grupos de antenas que cuando se conectan funcionan como una sola antena, el ancho de haz y dirección se puede cambiar electrónicamente sin mover físicamente las antenas individuales. Se los ocupa en radares puestos que necesitan cambiar rápidamente los patrones de radiación y en la telefonía 3G y 4G, figura 18-2 y 19-2.



Figura 18-2. Array de antenas parabólicas

Fuente: (Chang & Hu, 2012)



Figura 19-2. Array de antenas de hilo

Fuente: (Chang & Hu, 2012)

2.5.9 Antenas inteligentes

Con la evolución de las comunicaciones móviles y el incremento de servicios inalámbricos para mejorar la calidad y la capacidad de los servicios de telecomunicaciones será posible gracias a las antenas inteligentes que aumentan las múltiples capacidades de conexión.

Una antena inteligente es un conjunto de arrays, que optimizan los diagramas de transmisión y recepción dinámicamente, puede variar el patrón de radiación e interactuar con el medio por lo que se le conoce como antena inteligente. Puede haber antenas de haz conmutado que genera haces a ángulos prefijados que se van conmutando secuencialmente, haz de seguimiento formado por un array de antenas que controla electrónicamente las fases de las corrientes de excitación para modificar la dirección del haz y establecer comunicación con el usuario respectivo y haz adaptativo presenta selectividad espacial permitiendo discernir las señales de otros usuarios, las asignaciones se dan dinámicamente conformando un diagrama de radiación que presenta el haz principal hacia el usuario deseado, como se visualiza en la figura 20-2.

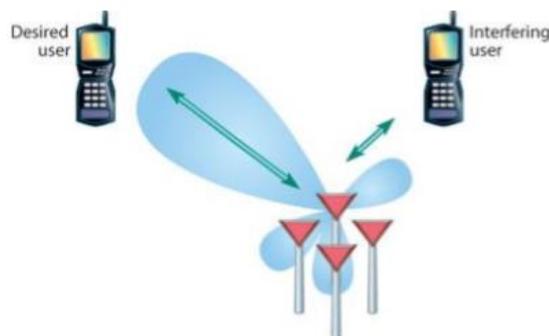


Figura 20-2. Haz de antena inteligente

Fuente: (Elmurtada, Awad, & Elnourani, 2012)

Las antenas direccionales son de gran ayuda para las ondas milimétricas debido a que no pueden atravesar grandes distancias, por lo que con estas antenas se pretende mejorar la capacidad y calidad de los servicios de telecomunicaciones e incrementar la disponibilidad para los servicios inalámbricos (Chang & Hu, 2012). Las antenas inteligentes ayudarán a las comunicaciones inalámbricas, a la reducción de interferencias, incrementar las comunicaciones entre dispositivos inalámbricos simultáneamente (Rawat, 2013).

Para el desarrollo de antenas inteligentes se basaron en los problemas que enfrentan las comunicaciones inalámbricas (Naceur, Merahi, & Abdelmalik, 2014).

- Limitado espectro de frecuencia
- Propagación multirrayecto lo que produce que la señal se desvanezca.
- Canal adyacente con interferencias
- La duración limitada de la batería de los dispositivos inalámbricos

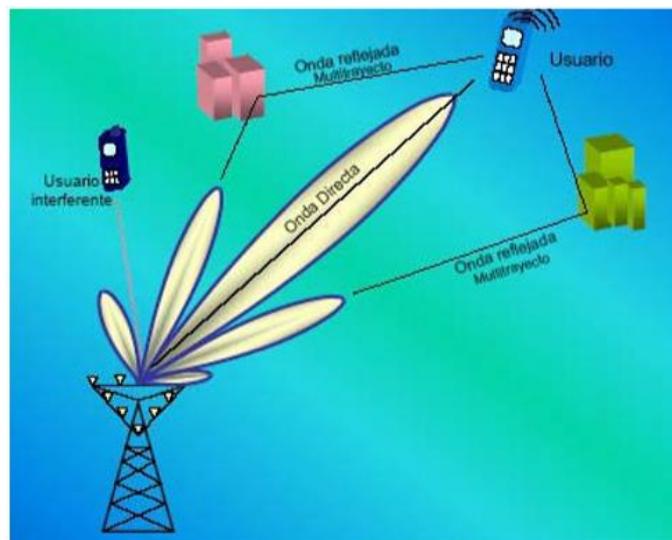


Figura 21-2. Onda directa a un dispositivo en particular

Fuente: (Elmurtada, Awad, & Elnourani, 2012)

En la figura 21-2 se observa que las antenas inteligentes pueden tener sus propias características, incremento de la capacidad de conexión de usuarios, mayor capacidad y seguridad, menor potencia de transmisión, propagación por multirrayecto y nivel de interferencia (Elmurtada, Awad, & Elnourani, 2012).

2.5.10 Antenas MIMO

Antenas con múltiples entradas y múltiples salidas, figura 22-2, conocidas como MIMO (Multiple Input Multiple Output), una tecnología de antenas inteligentes con arrays adaptativos empleado en las redes inalámbricas y radiocomunicaciones proporcionando mayor velocidad y alcance.



Figura 22-2. Tipo de antena MIMO (Router Wi-Fi con tres antenas)

Fuente: (Elmurtada, Awad, & Elnourani, 2012)

2.5.11 Antenas tipo parche o microstrip

Las antenas tipo parche datan de la época de los 50, también se las llama antenas microstrip que son antenas resonantes impresas, además que se las empezó a utilizar para los sistemas de telecomunicaciones, aplicaciones aeronáuticas, biomédicas, telemetría, frecuencias de microondas y ondas milimétricas principalmente (rango de frecuencias de 100 MHz a 50 GHz), se los puede fabricar con pistas en circuito impreso, llegando a ser de peso liviano y tamaño pequeño, no manejan mucha potencia y trabajan en un rango de frecuencias específicas, tienen una directividad y ganancia media de unos 6 dBi, aunque depende de la forma y materiales que se utilice para su estructura, son utilizadas para recibir y transmitir señales. (Balanis & Willey, 2005)

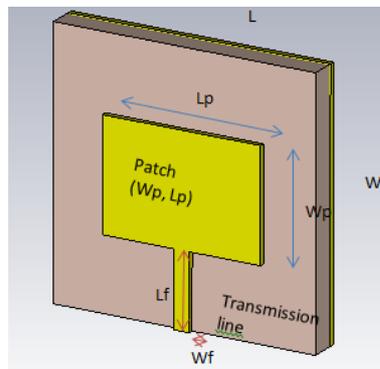


Figura 23-2. Dimensiones de la antena tipo parche

Fuente: (Pozar & Schaubert, 1995)

Realizado por: (Balseca, 2018)

Su constitución se basa en una tecnología planar que consiste en radiar y guiar las ondas electromagnéticas en una capa conductora separada de la capa de masa por una capa de sustrato dieléctrico figura 23-2 y 24-2. El espesor del sustrato al tener un aumento provoca mayor eficiencia de radiación de la antena y un incremento en las atenuaciones del dieléctrico, su constante dieléctrica al ser menor significa mejores eficiencias de radiación, menor atenuación en el dieléctrico como se puede observar en la Fig. 23-2 el sustrato dieléctrico que se encuentra debajo del parche metálico tiene una permeabilidad eléctrica (ϵ_r) comprendida entre 2.2 y 12 (Büttgenbach, 1993).

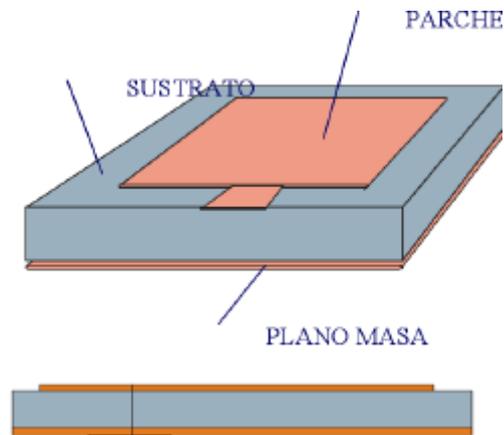


Figura 24-2. Antena tipo parche rectangular alimentada por línea de microstrip

Fuente: (Jiménez, Rodríguez, & Gonzáles, 2011)

Para el parche metálico su grosor es muy reducido, menor que la longitud de onda y con unas dimensiones de largo L y ancho W para el parche tipo rectangular cuyo diseño dependerá de la frecuencia y el tipo de antena a diseñar.

Existen algunos tipos de formas para las antenas tipo parche como se observa en la figura 25-2: cuadrada, rectangular, dipolo, circular, elíptica, triangular, sector y anular.

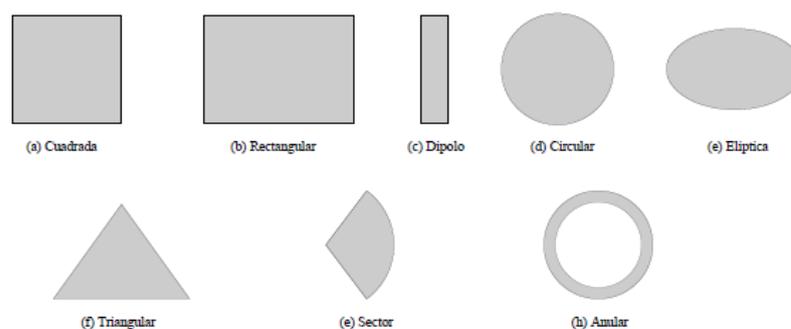


Figura 25-2. Formas de antenas tipo parche

Fuente: (Jiménez, Rodríguez, & Gonzáles, 2011)

Para la alimentación de una antena microstrip se puede hacer mediante línea de transmisión, acoplamiento por apertura, acople por proximidad, y mediante cable coaxial (Büttgenbach, 1993).

El método de línea de transmisión para las antenas microstrip consiste en un conductor eléctrico separado por un sustrato dieléctrico sobre un plano de masa como se observa en la figura 21-2. La excitación de la antena de microcinta mediante una línea metálica plana impresa sobre el mismo sustrato, la alimentación mediante separación línea/parche debe ser pequeña si se pretende un eficiente acoplamiento de potencia. (Suárez, 2017) (Herrera A. , 2008)

Para el ancho del parche W y para el largo del parche L , se puede encontrar una buena aproximación para una mejor eficiencia de radiación con las ecuaciones 5 y 6 (Balanis & Willey, 2005) (Zürcher & Gardiol, 2011).

$$Wp = \frac{c}{2f_r \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}} \quad (5)$$

Dónde:

c es la velocidad de la luz $3 \cdot 10^8$ m/s

f_r es la frecuencia

ϵ_r es la constante dieléctrica

$$Lp = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_r}} \quad (6)$$

Para el largo de la línea de transmisión L_g , se puede utilizar:

$$Lg = \frac{6h}{2} \quad (7)$$

$$Wg = \frac{Wp}{10} \quad (8)$$

Ecuaciones para el ancho y largo del sustrato L_s :

$$W_s = L_s \quad (9)$$

$$L_s = 6h + Lp \quad (10)$$

Dónde:

h es el grosor del sustrato

2.5.11.1 Características de los sustratos para las antenas Microstrip

El primer paso en el diseño de una antena microstrip es la elección del sustrato adecuado, ya que este proporciona el soporte mecánico al elemento, esto significa que debe estar compuesto de un material dieléctrico que puede afectar su rendimiento, ya sea en una antena, en dispositivos pasivos de microondas, o líneas de transmisión. (Suárez, 2017) (Balanis & Willey, 2005) Para obtener un diseño acorde a las características de las antenas tipo parche de alta frecuencia se utilizan los siguientes tipos de Sustratos dieléctricos, tabla 8-2, los principales factores a tomar en cuenta son: la constante dieléctrica y el grosor del sustrato, aunque existen otros factores que también afectan el comportamiento de la antena como el tipo de material para la conductividad.

Tabla 8-2. Características de sustratos dieléctricos RF-45

RF-41, 43 & 45 Typical Values					
Property	Test Method	Unit	Value		
Material			RF-41	RF-43	RF-45
Dielectric Constant (FSR)	IPC-TM-650 2.5.5.6		4.10	4.30	4.50
Dissipation Factor @ 10 GHz	IPC-TM-650 2.5.5.5.1		0.0038	0.0033	0.0037
Moisture Absorption	IPC-TM-650 2.6.2.1	%	≤0.02	≤0.02	≤0.04
Flexural Strength (MD)	ASTM D 790	psi	20,700	20,100	20,700
Flexural Strength (CD)	ASTM D 790	psi	18,500	18,800	19,300
Peel Strength (1 oz VLP)	IPC-TM-650 2.4.8 (Thermal Stress)	lbs/linear inch	8	7	10
Thermal Conductivity	ASTM F 433	W/m/K	0.29	0.30	0.33
Volume Resistivity	IPC-TM-650 2.5.17.1	Mohm/cm	1.4 x 10 ⁸	6.6 x 10 ⁷	1.4 x 10 ⁸
Surface Resistivity	IPC-TM-650 2.5.17.1	Mohm	1.2 x 10 ⁷	6.2 x 10 ⁵	3.3 x 10 ⁶
CTE (x)	IPC-TM-650-2.4.41 (>RT - 125°C)	ppm/°C	9	9	9
CTE (y)	IPC-TM-650-2.4.41 (>RT - 125°C)	ppm/°C	12	11	13
CTE (z)	IPC-TM-650-2.4.41 (>RT - 125°C)	ppm/°C	93	96	96
Flammability Rating	UL 94		V-0		

Fuente:(Suárez, 2017)

2.6 Simuladores para alta frecuencia

2.6.1 Herramienta CST Microwave Studio

CST (Computer Simulation Technology) Microwave Studio ofrece soluciones computacionales precisas y eficientes para el diseño y análisis electromagnéticos, es un software especializado en simulación 3D de alta frecuencia, utiliza un modelado gráfico sólido, que permite elegir el método más apropiado para el diseño y la optimización de dispositivos que operan en una amplia gama de frecuencias para la creación de estructuras, el simulador utiliza el método PBA (Perfect Boundary Approximation), el algoritmo FIT (Finite Integration Technique) y TST (Thin Sheet Technique), es una plataforma de gran alcance para los problemas relacionados a

los campos magnéticos y sus aplicaciones, estos métodos aumentan la precisión de la simulación por computador (CST, 2018). Se presenta los módulos del software CST STUDIO en la tabla 9-2.

Tabla 9-2. Módulos de CST STUDIO

MÓDULO	DESCRIPCIÓN
 CST MICROWAVE STUDIO	Herramienta para la rápida y precisa simulación en 3D de problemas de alta frecuencia. El módulo incluye una variedad de diferentes solucionadores que operan en los dominios del tiempo y la frecuencia.
 CST EM STUDIO	Se lo utiliza para la simulación en 3D de problemas estáticos y de baja frecuencia. El módulo cuenta con una gran colección de solucionadores para diversas aplicaciones.
 CST PARTICLE STUDIO	Se especializa en la simulación 3D de campos electromagnéticos que interactúan con partículas cargadas. El módulo contiene varios solucionadores diferentes que abordan estos problemas.
 CST DESIGN STUDIO	Herramienta esquemática. La cual mantiene diversos tipos de bloques que representan a modelos o componentes del circuito. El módulo ofrece una variedad de solucionadores lineales y no lineales.
 CST PCB STUDIO	Es una herramienta para la investigación de la señal y la integridad de poder y la simulación de los efectos en las placas de circuitos impresos.
 CST CABLE STUDIO	Sirve para el análisis en los sistemas de cable, cables individuales, par trenzados, arneses de cables complejos.
 CST MPHYSICS STUDIO	Se lo utiliza para soluciones térmicas, como problemas de estrés mecánicos. Éste módulo se usa típicamente en conjunción con otros módulos para hacer frente a tareas de simulación acopladas.

Fuente: (CST, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

El software trabaja principalmente con el método de FIT que trata de la discretización numérica utilizada para la simulación de campos electromagnéticos que sirve para la síntesis y análisis de los diseños.

Permite parametrizar el modelo del diseño con variables cuyo resultado se basa en técnicas de simulación como: transitorio, dominio de la frecuencia, ecuaciones integrales, asintótico,

multicapa, adecuado para el diseño de antenas, además de realizar detalles finos en la geometría de la estructura del diseño.

CST MICROWAVE STUDIO es un software para el análisis y diseño electromagnético en el rango de las altas frecuencias, tiene un entorno gráfico que simplifica el proceso de estructura y diseños para la simulación, el simulador plasma la aproximación perfecta de contorno PBA y la extensión de la técnica de hoja delgada TST, las cuales incrementan las posibilidades de precisión en la simulación.

El desarrollo de dispositivos inalámbricos para la transmisión de datos, ha provocado mejoras tecnológicas en los componentes encargados de tales funciones, por ejemplo en las antenas, filtros, líneas de transmisión, equipos que trabajan a determinadas frecuencias buscan el mejor aprovechamiento del ancho de banda y el uso de frecuencias más elevadas debido a que las frecuencias bajas se encuentran saturadas. Todo esto conlleva a simular el comportamiento de dichos componentes, en vista de que a mayor frecuencia el comportamiento de los elementos es más complejo, por lo que la herramienta CST MICROWAVE STUDIO (versión estudiante) es un software capaz de simular eficientemente los campos electromagnéticos y muy útiles para el diseño de antenas a altas frecuencias. Algo distintivo de este programa es el excelente entorno gráfico tanto bidimensional como tridimensional para la simulación de antenas.

2.6.2 Herramienta ANSYS HFSS

ANSYS Electronics Desktop permite diseñar y simular antenas con HFSS (Simulador de Estructura de Alta Frecuencia) con detalles en la geometría de la estructura simulada no muy finos. ANSOFT- ANSYS HFSS (High Frequency Electromagnetic Field Simulation). HFSS es un software comercial utilizado para el diseño de antenas, y el diseño de elementos complejos de circuitos de RF para métodos de elementos finitos, es un simulador de estructura de alta frecuencia.

ANSYS design workflow habilita la definición y parametrización de la estructura, e integrando diferentes configuraciones de solver, consolida HFSS como el entorno estándar industrial para la simulación Electromagnética. (HFSS, 2018).

2.6.3 *Herramienta FDTD*

Método del dominio del tiempo de diferencias finitas es una técnica de análisis numérico utilizada para modelar la electrodinámica computacional, siendo un método de dominio de tiempo, las soluciones FDTD pueden cubrir un amplio rango de frecuencias.

El método FDTD por su flexibilidad es aplicable en casi todas las áreas del electromagnetismo computacional como: cálculo de secciones de radar, estudios sobre los efectos de pulsos electromagnéticos, obtención de los modos de cavidades resonantes y guías de ondas, caracterización de circuitos de media y alta frecuencia, simulación de sistemas electromagnéticos con regiones solo de formas regulares. (Taflove A. , 1995) (Taflove A. , 1998) (Herrera, 2000).

CAPÍTULO III

3 DISEÑO E INVESTIGACIÓN

3.1 Tipo y diseño de investigación

El presente trabajo es una investigación experimental y documental por lo que se basará en estudios realizados y se aplicará criterios técnicos para el diseño y simulación de la propuesta con parámetros debidamente sustentados de acuerdo a la investigación realizada y a la bibliografía encontrada, siendo un estudio transversal debido a la toma instantánea de los datos generados en las simulaciones en un momento determinado, lo que permite extraer conclusiones acerca de los resultados obtenidos.

3.2 Métodos de investigación

La investigación científica hace referencia al **Método Deductivo** para la comprensión de conceptos, definiciones, leyes, parámetros, estándares y normas generales que involucran el conocimiento de los receptores de alta frecuencia y su aplicación en las redes integradas de quinta generación (5G).

Al **Método Inductivo** porque mediante el estudio bibliográfico y la utilización de parámetros adecuados para la elaboración del diseño de un receptor de alta frecuencia va a permitir obtener los objetivos planteados de esta investigación.

Es **Analítica** debido a que permitirá clasificar las ideas para sintetizarlas, describirlas, concretarlas y así poder realizar el diseño de un receptor de alta frecuencia y su aplicación en las redes integradas de Quinta Generación. En síntesis, enfocar los análisis para establecer las conclusiones de la investigación.

3.3 Enfoque de la investigación

Se aplica el enfoque cualitativo de los datos obtenidos, por lo que se realizará pruebas de diseño con diferentes características, utilizando las herramientas de diseño para encontrar mediante la simulación los parámetros de ganancia, potencia, ancho de banda y sensibilidad, adecuados, para el diseño del receptor de alta frecuencia.

Las características del objeto de investigación están enfocadas dentro del ámbito de las telecomunicaciones. En la presente investigación se analiza y evalúa un receptor de alta frecuencia en el rango de 37 a 39 GHz para su utilización en las redes integradas 5G.

3.4 Alcance de la investigación

Debido a que la investigación trata del análisis y diseño de un receptor de alta frecuencia se tiene un alcance Descriptivo de acuerdo a los datos encontrados y obtenidos en la simulación. Los datos de la simulación entregan información que se puede utilizar en futuras investigación con respecto a estudios de antenas de múltiple entrada múltiple salida (MIMO) o un arreglo de antenas que podrían tener mayor cobertura.

3.5 Unidad de análisis

Receptor de alta frecuencia: se obtienen datos del material bibliográfico además de herramientas de simulación como CST MICROWAVE STUDIO.

Tecnología 5G: requerimientos de esta tecnología, análisis de redacciones científicas y publicadas en la IEEE.

3.6 Técnicas de Investigación

3.6.1 Técnica de recolección de datos primarios y secundarios

- Lectura científica
- Fuentes primarias obtenidas de los datos bibliográficos.
- Pruebas
- Observación
- Procesamiento y análisis de datos obtenidos de la simulación.

3.6.2 Instrumentos de recolección de datos primarios y secundarios

Hojas de cálculo y gráficas.

3.6.3 Instrumentos para procesar datos recopilados

Computador y programa de simulación CST MICROWAVE STUDIO.

3.7 Planteamiento de la Hipótesis

3.7.1 Hipótesis general

¿El desarrollo de un receptor de alta frecuencia permitirá que trabaje en ondas milimétricas para su aplicación en redes integradas de Quinta Generación (5G)?

3.8 Determinación de las Variables

3.8.1 Hipótesis general:

Variable independiente:

Desarrollo de un receptor de alta frecuencia

Variable Dependiente:

Trabajo en ondas milimétricas

3.9 Operacionalización de variables

3.9.1 Hipótesis general:

Tabla 1-3. Operacionalización conceptual de la hipótesis general

Variable independiente	Variable dependiente
Desarrollo de un receptor de alta frecuencia	Trabajo en ondas milimétricas
Parámetros y datos para el análisis y evaluación del receptor de alta frecuencia.	Frecuencias altas con las cuales se van a trabajar.

Realizado por: (Balseca, 2018)

3.10 Matriz de consistencia

3.10.1 Aspectos generales

Tabla 2-3. Operacionalización metodológica de los aspectos generales

Formulación del problema	Objetivo General	Hipótesis general	Variables	Indicadores	Técnicas	Instrumentos
¿Cómo afecta el incremento de la tasa de datos y velocidad en la recepción de alta frecuencia para su utilización en redes integradas de Quinta Generación (5G)?	Analizar y evaluar una antena receptora de alta frecuencia para su utilización en redes integradas de Quinta Generación (5G).	¿El desarrollo de un receptor de alta frecuencia permitirá que trabaje en ondas milimétricas?	VI: Desarrollo de un receptor de alta frecuencia	Trabajo en altas frecuencias	Documental Observación y recolección de datos de sistemas de Gestión	Hojas de cálculo Cuestionario
			VD: Trabajo en ondas milimétricas	Trabajo en altas frecuencias	Observación y recolección de datos de sistemas de Gestión	Guía de observación Hojas de cálculo Cuestionario

Realizado por: (Balseca, 2018)

CAPÍTULO IV

4 RESULTADOS

Cumpliendo con los objetivos planteados, al haber desarrollado los modelos de receptores de alta frecuencia y de simular cada uno de los diseños en el software CST de acuerdo con las especificaciones del capítulo, se procede al análisis de los resultados obtenidos.

4.1 Análisis de los diseños de receptores de alta frecuencia

Con la simulación se obtuvieron resultados que son datos ideales, debido que al construirse siempre existirán imperfecciones que en el programa no se los puede simular, sin embargo, se presentan los datos iniciales de la radiación de las antenas receptoras tipo parche con tecnología microstrip de los diez diseños planteados en esta investigación. En el diagrama de radiación, se analiza si es directiva la antena debido a que es una de las características de los parches de microcinta, por lo que se puede buscar una ganancia por encima de 5 dBi de acuerdo a los datos investigados. Los diseños se analizan con una banda de reflexión menor a los -10 dB con un parámetro S11 de acople de la frecuencia en el rango de 37 GHz a 39 GHz.

4.1.1 Resultados de la simulación de la antena receptora tipo parche rectangular

La geometría del parche es de forma rectangular, con bordes más pronunciados por las variaciones de perfil de sus vértices como se observa en la figura 1-4.

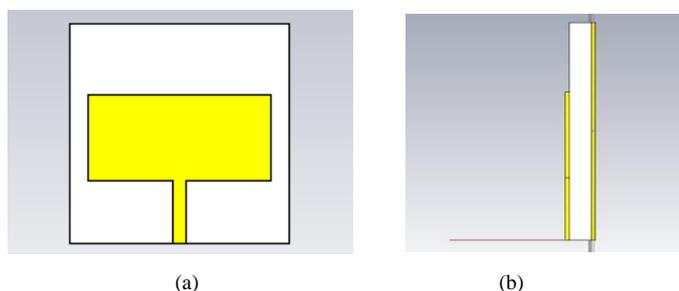


Figura 1-4. Antena receptora tipo parche rectangular con tecnología microcinta vista frontal (a), vista lateral (b)

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

Con los valores iniciales de la tabla 4-5 se analizan los resultados, los cuales se obtuvieron con el método línea de transmisión. En la figura 2-4 se observa el parámetro S11 que determina el nivel de acople de impedancia en un rango de frecuencias de 37 a 39 GHz, como se observa los resultados obtenidos para las especificaciones establecidas no son admisibles.

La frecuencia con mayor resonancia se encuentra en 38.4 y 38.7 GHz donde el parámetro S11 tiene un valor de -5.6 dB, mientras que a los 37 GHz tiene un valor de -4.53 dB a los 38 GHz tiene un valor de -5.46 dB y a los 39 GHz un valor de -5.5 dB, lo que significa que la mayor parte de la señal es reflejada y se debe buscar un mejor nivel de acople.

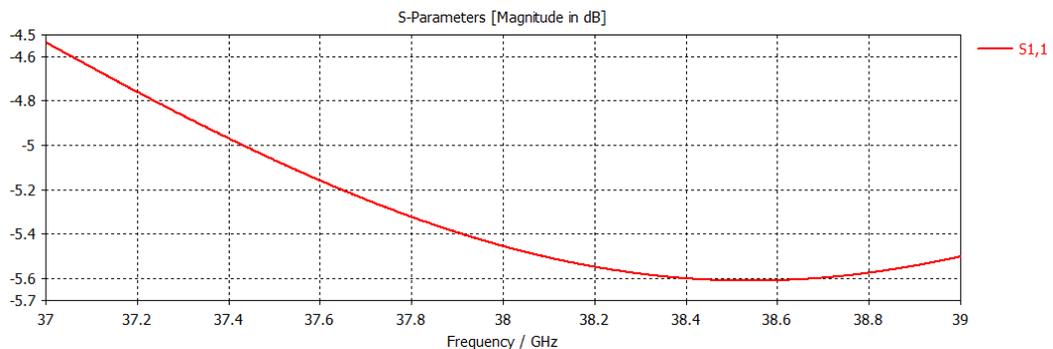


Figura 2-4. Coeficiente de reflexión S11 del elemento radiante unitario tipo parche rectangular

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

En la figura 3-4 se observa la eficiencia del diseño inicial, por lo que si el parámetro S11 no presentó un buen acople la eficiencia en este caso no es aceptable, ya que depende del nivel de acople. En la gráfica se puede apreciar que casi la mitad de potencia se pierde por la baja eficiencia de la antena, demostrando que los parámetros iniciales deben ser mejorados.

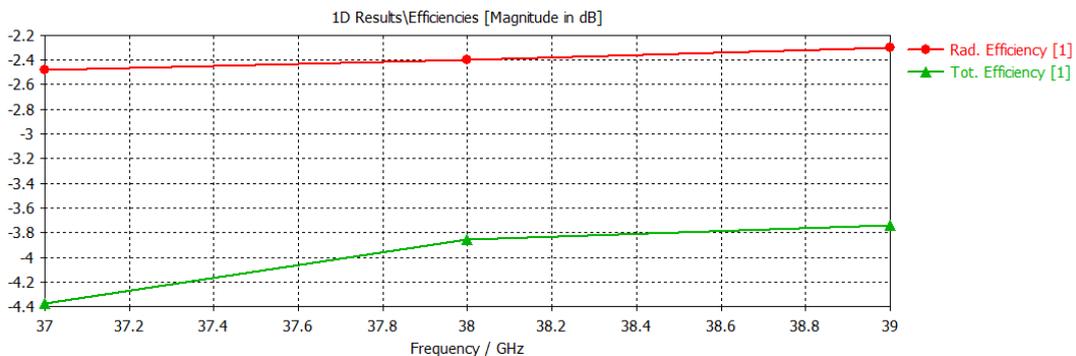


Figura 3-4. Eficiencia del elemento radiante unitario tipo parche rectangular

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

La razón de voltaje de onda estacionaria es errónea debido al parámetro S11. En la figura 4-4 se observa que el valor mínimo VSWR es de 3.2 para 38.5 GHz, para 37 GHz tiene un valor de 3.91, para 38 GHz tiene un valor de 3.3 y para 39 GHz tiene un valor de 3.26 que tampoco es aceptable.

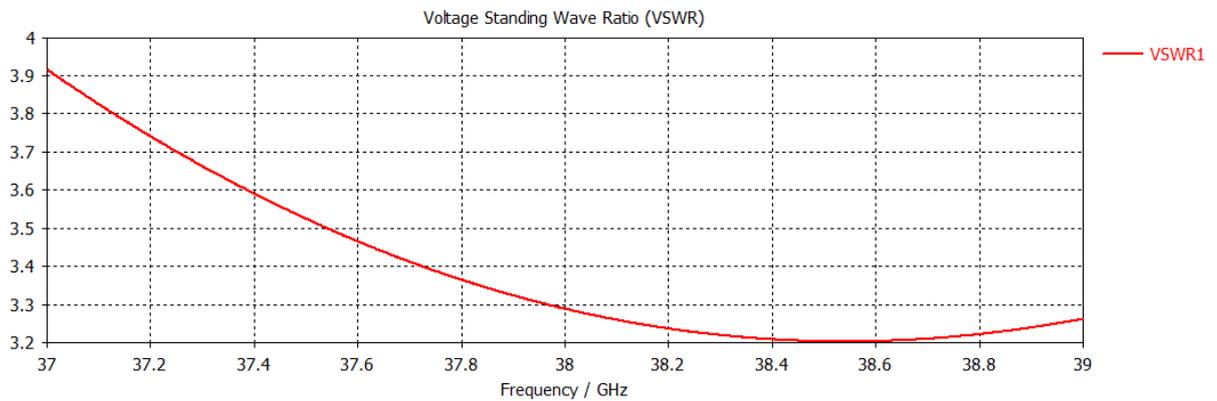


Figura 4-4. Razón de voltaje de onda estacionaria del elemento radiante unitario tipo parche rectangular

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

Al conocer la frecuencia de resonancia del parche rectangular y para observar la directividad de la antena se define un monitor de campo lejano a esa misma frecuencia y se obtiene la figura 5-4 donde se observa el patrón de radiación en tres dimensiones, la ganancia en varias direcciones y la conformación del entorno sin lóbulos laterales que presenta una ganancia de 6.7 dBi que se encuentra dentro del rango común de las antenas de parche.

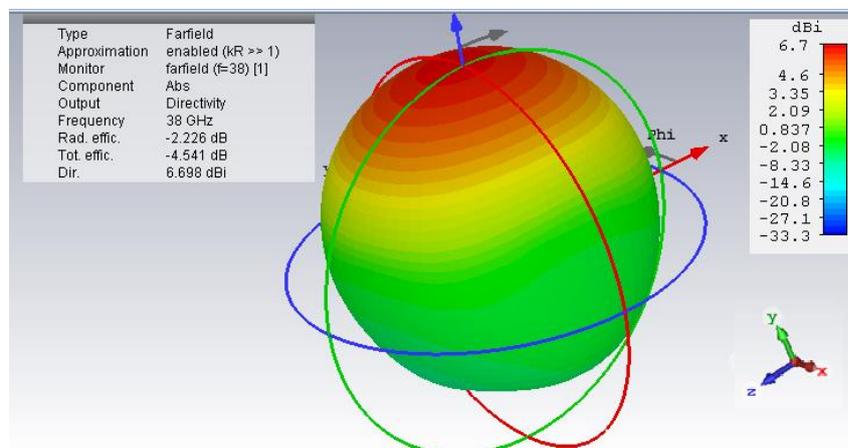


Figura 5-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario tipo parche rectangular en 3D

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

Con los valores iniciales de la tabla 5-5 se analizan los resultados obtenidos, en la figura 8-4 donde se observa que el parámetro S11 no cumple con las especificaciones de acople de impedancia en el rango de frecuencias de 37 a 39 GHz.

La frecuencia con mayor resonancia se encuentra en 37 GHz donde el parámetro S11 tiene un valor de -17.61 dB, mientras que a los 38 GHz tiene un valor de -17.25 dB y a los 39 GHz un valor de -16.88 dB, lo que significa que la mayor parte de la señal es reflejada y se debe buscar un mejor nivel de acople.

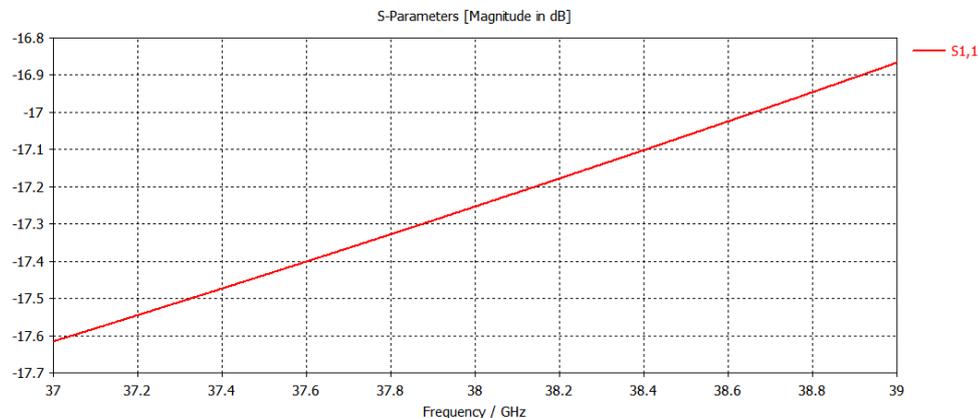


Figura 8-4. Coeficiente de reflexión S11 del elemento radiante unitario tipo parche circular

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

En la figura 9-4 se observa la eficiencia del diseño inicial, por lo que si el parámetro S11 no presentó un buen acople la eficiencia en este caso tampoco es aceptable. En la gráfica se puede apreciar que casi la mitad de potencia se pierde por la baja eficiencia de la antena, demostrando que los parámetros iniciales deben ser mejorados.

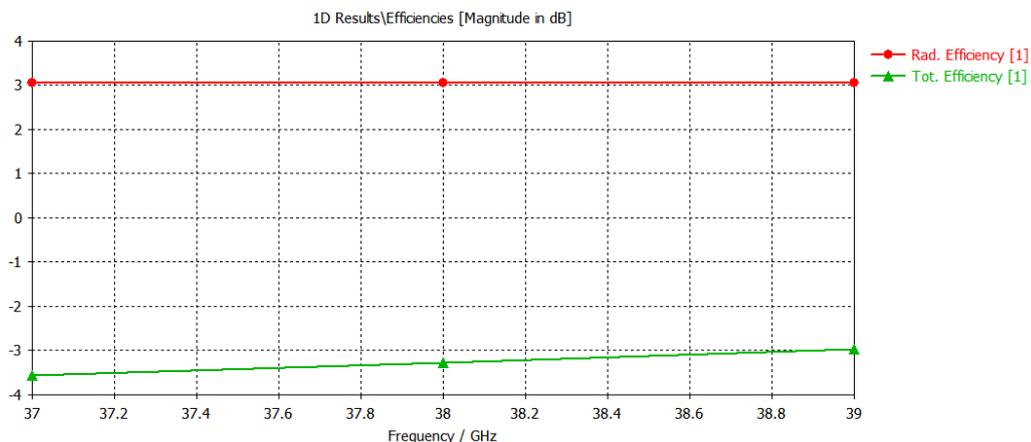


Figura 9-4. Eficiencia del elemento radiante unitario tipo parche circular

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

La razón de voltaje de onda estacionaria es errónea debido al parámetro S11. En la figura 10-4 se observa que el valor mínimo VSWR es de 1.303 para 37 GHz, para 38 GHz tiene un valor de 1.318 y para 39 GHz tiene un valor de 1.335 que tampoco es aceptable.

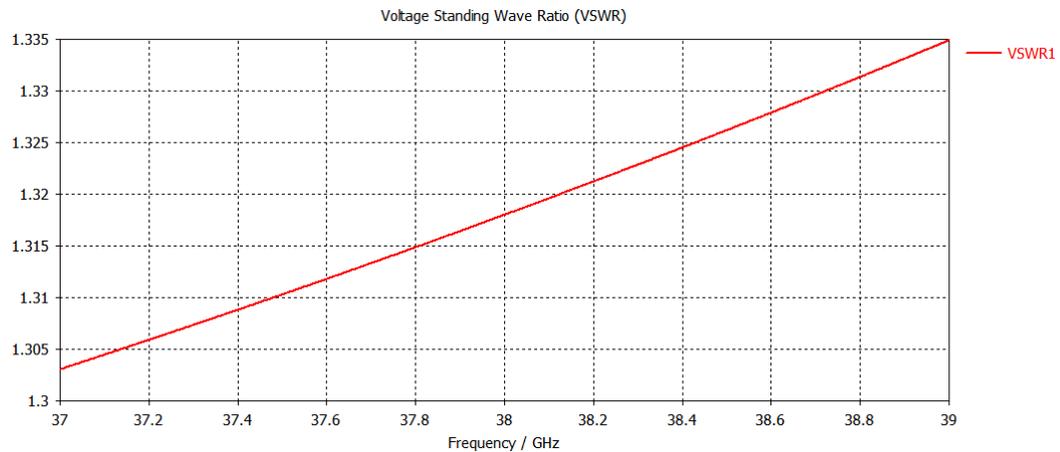


Figura 10-4. Razón de voltaje de onda estacionaria del elemento radiante unitario tipo parche circular

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

Al conocer la frecuencia de resonancia del parche circular se obtiene la figura 11-4 donde se observa el patrón de radiación en tres dimensiones, la ganancia en varias direcciones y la conformación del entorno que presenta una ganancia de 6.09 dBi que se encuentra dentro del rango común de las antenas de parche.

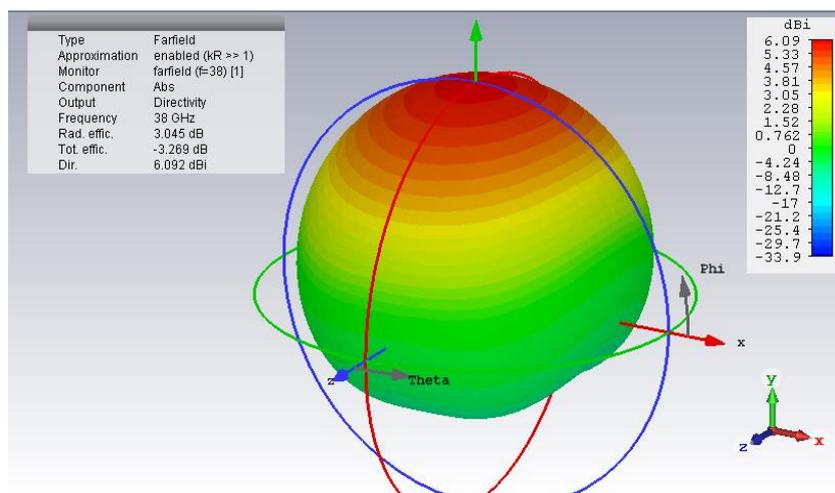


Figura 11-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario tipo parche circular en 3D

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

En la figura 12-4 se muestra el mismo patrón pero en coordenadas polares, observando que hay una buena conformación del patrón de radiación, el ángulo de mitad de potencia es de 107 grados y la dirección de mayor ganancia se encuentra a 90 grados.

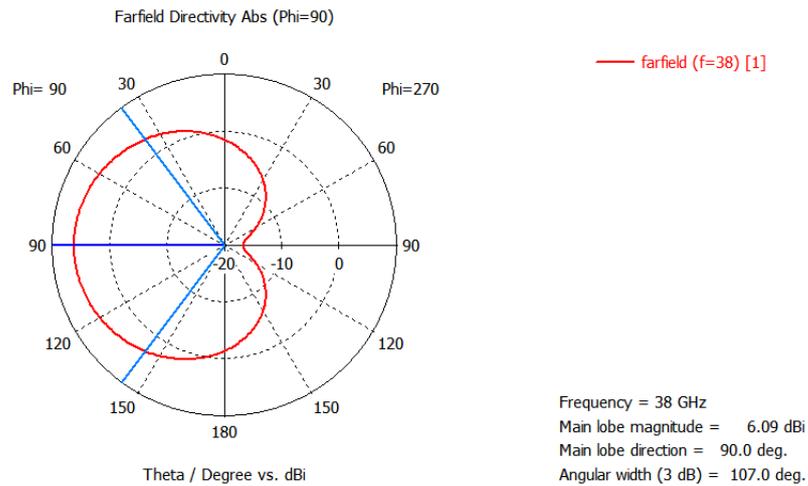


Figura 12-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario tipo parche circular en coordenadas polares

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

Del diseño inicial de la antena tipo parche circular se observa que no presenta un buen factor S11, siendo un diseño no aceptable por su bajo desempeño y necesita ser optimizado.

4.1.3 Resultados de la simulación de la antena receptora tipo parche clover

La geometría del parche es de forma de trébol, con bordes más pronunciados como se observa en la figura 13-4.

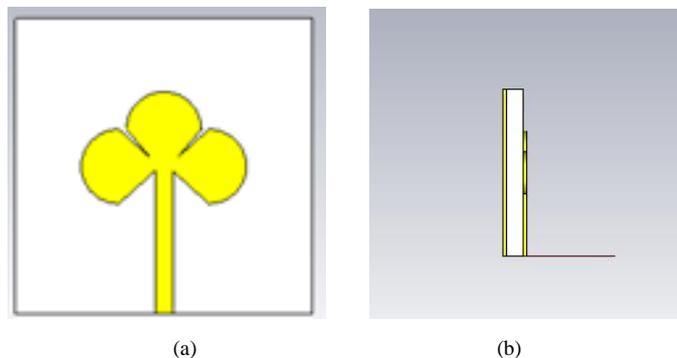


Figura 13-4. Antena receptora tipo parche clover con tecnología microcinta vista frontal (a), vista lateral (b)

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

Con los valores iniciales de la tabla 6-5 se analizan los resultados obtenidos, en la figura 14-4 donde se observa que el parámetro S11 no cumple con las especificaciones de acople de impedancia en el rango de frecuencias de 37 a 39 GHz. La frecuencia con mayor resonancia se encuentra en 37 GHz donde el parámetro S11 tiene un valor de -18.82 dB, mientras que a los 38 GHz tiene un valor de -18.42 dB y a los 39 GHz un valor de -18.02 dB, lo que significa que la mayor parte de la señal es reflejada y se debe buscar un mejor nivel de acople.

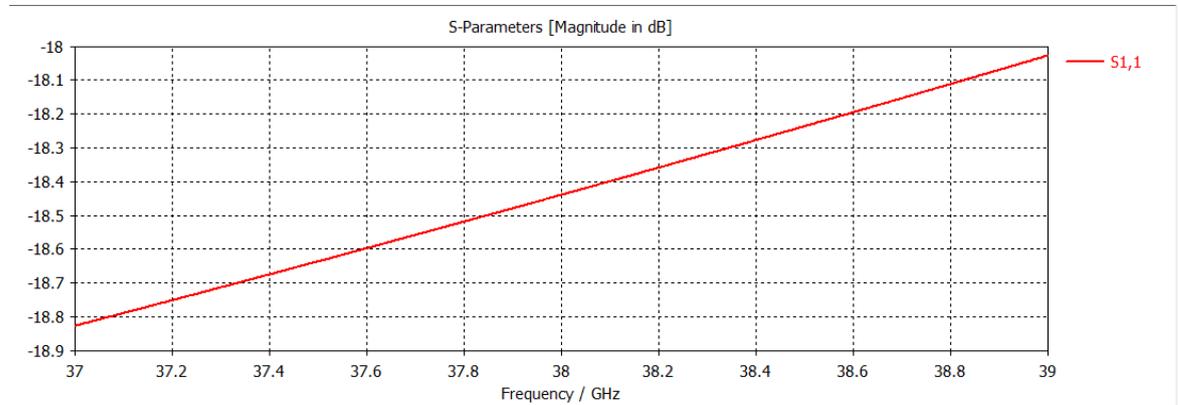


Figura 14-4. Coeficiente de reflexión S11 del elemento radiante unitario tipo parche clover

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

En la figura 15-4 se observa la eficiencia del diseño inicial, por lo que si el parámetro S11 no presentó un buen acople la eficiencia en este caso tampoco es aceptable. En la gráfica se puede apreciar que casi la mitad de potencia se pierde por la baja eficiencia de la antena, demostrando que los parámetros iniciales deben ser mejorados.

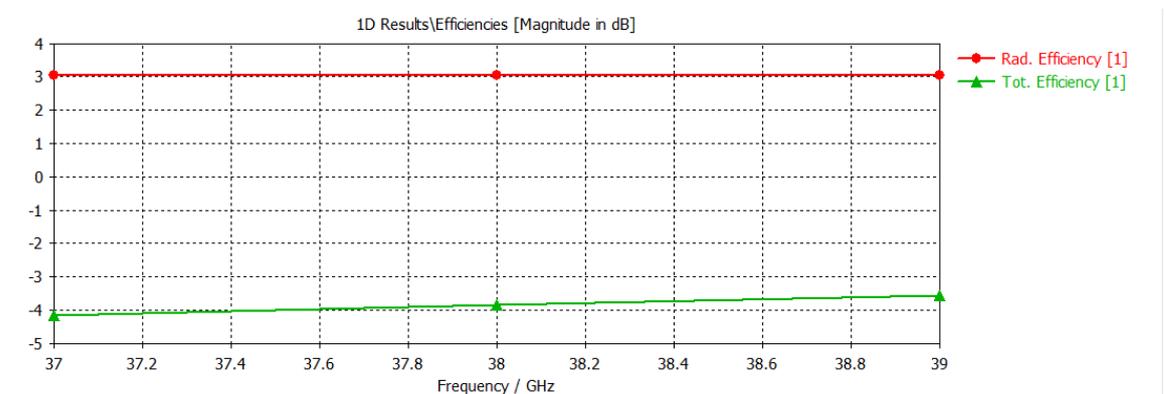


Figura 15-4. Eficiencia del elemento radiante unitario tipo parche clover

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

La razón de voltaje de onda estacionaria es errónea debido al parámetro S11. En la figura 16-4 se observa que el valor mínimo VSWR es de 1.258 para 37 GHz, para 38 GHz tiene un valor de 1.272 y para 39 GHz tiene un valor de 1.287 que tampoco es aceptable.

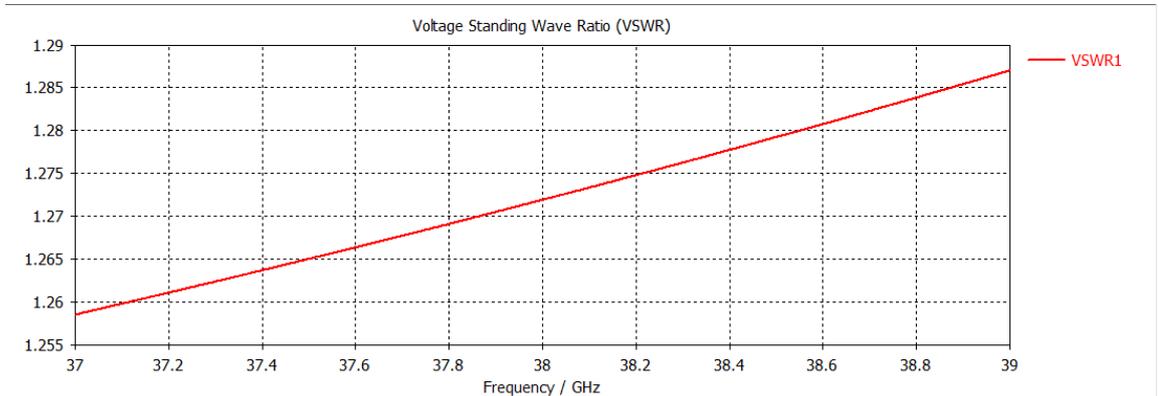


Figura 16-4. Razón de voltaje de onda estacionaria del elemento radiante unitario tipo parche clover

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

Al conocer la frecuencia de resonancia del parche clover se obtiene la figura 17-4 donde se observa el patrón de radiación en tres dimensiones, la ganancia en varias direcciones y la conformación del entorno que presenta una ganancia de 6.03 dBi que se encuentra dentro del rango común de las antenas de parche.

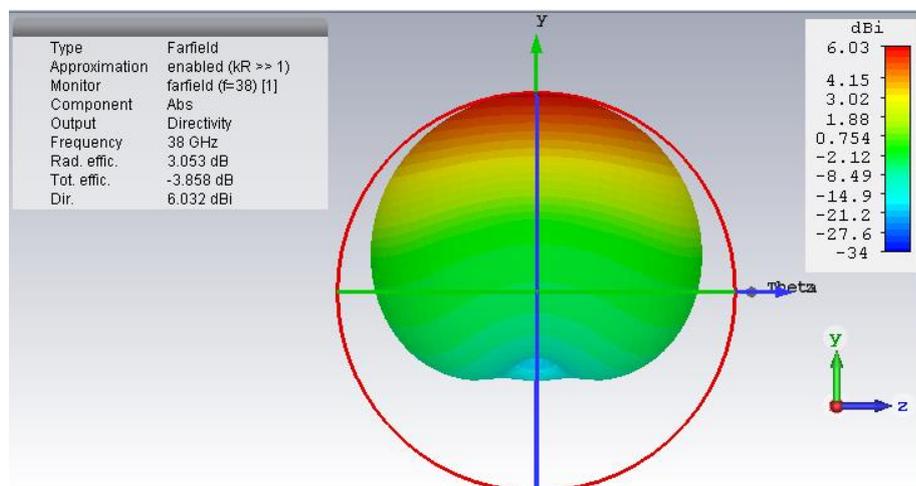


Figura 17-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario tipo parche circular en 3D

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

En la figura 18-4 se muestra el mismo patrón pero en coordenadas polares, observando que hay una buena conformación del patrón de radiación, el ángulo de mitad de potencia es de 107.3 grados y la dirección de mayor ganancia se encuentra a 90 grados.

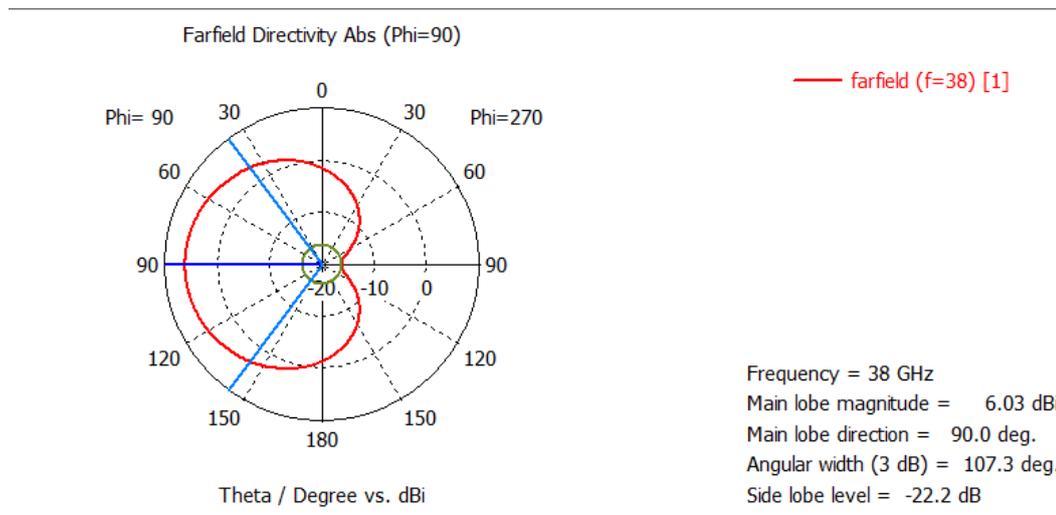


Figura 18-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario tipo parche circular en coordenadas polares

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

Del diseño inicial de la antena tipo parche clover se observa que no presenta un buen factor S11, siendo un diseño no aceptable por su bajo desempeño y necesita ser optimizado.

4.1.4 Resultados de la simulación de la antena receptora antena tipo parche labyrinth

La geometría del parche labyrinth, con bordes más pronunciados por las variaciones de perfil de sus vértices como se observa en la figura 19-4.

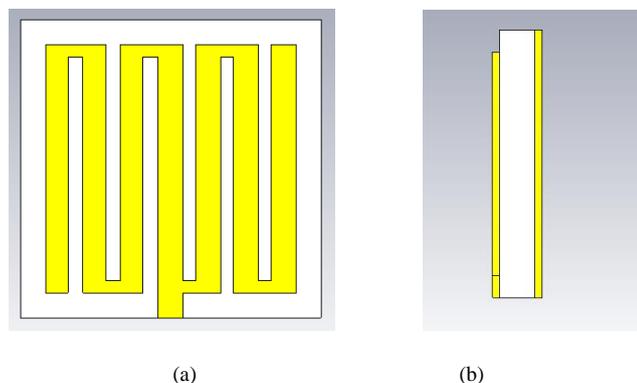


Figura 19-4. Antena receptora tipo parche labyrinth con tecnología microcinta vista frontal (a), vista lateral (b)

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

Con los valores iniciales de la tabla 7-5 se analizan los resultados y se observa en la figura 20-4 que el parámetro S11 no tiene un buen nivel de acople de impedancia. La frecuencia con mayor resonancia se encuentra en 37 GHz que tiene un valor de -10.53 dB, a los 38 GHz tiene un valor de -10.35 dB y a 39 GHz tiene un valor de -10.16 dB lo que significa que la mayor parte de la señal es reflejada y se debe buscar un mejor nivel de acople.

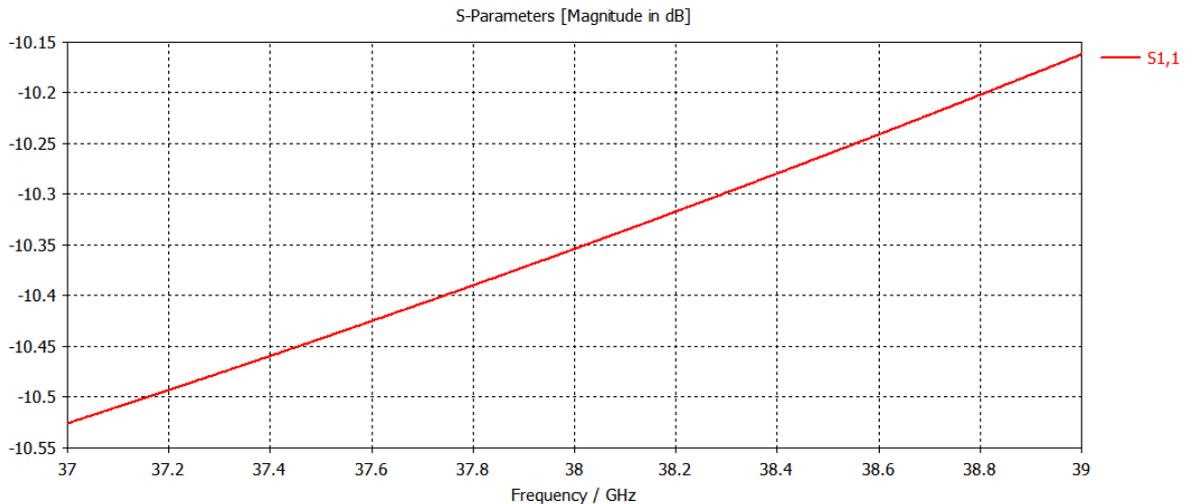


Figura 20-4. Coeficiente de reflexión S11 del elemento radiante unitario tipo parche labyrinth

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

En la figura 21-4 se observa la eficiencia del diseño inicial, por lo que si el parámetro S11 no presentó un buen acople la eficiencia en este caso no es aceptable.

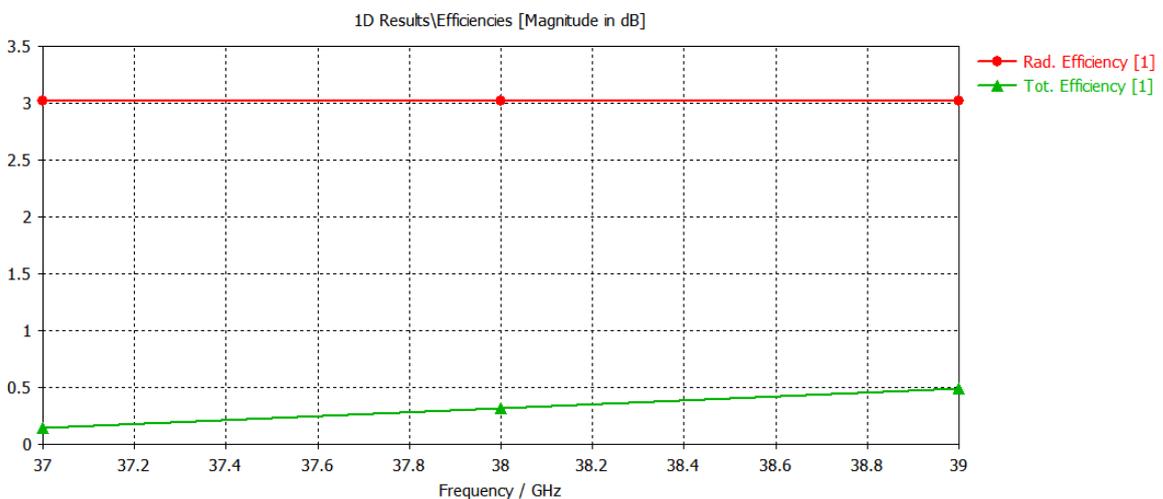


Figura 21-4. Eficiencia del elemento radiante unitario tipo parche labyrinth

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

La razón de voltaje de onda estacionaria es errónea debido al parámetro S11. En la figura 22-4 se observa que el valor mínimo VSWR es de 1.848 para 37 GHz, para 38 GHz tiene un valor de 1.872 y para 39 GHz tiene un valor de 1.9 que tampoco es aceptable.

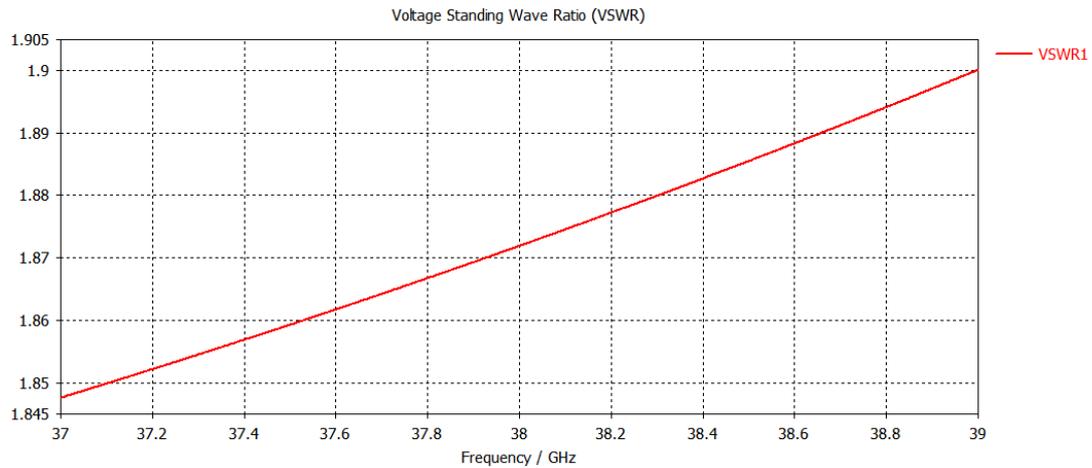


Figura 22-4. Razón de voltaje de onda estacionaria del elemento radiante unitario tipo parche labyrinth

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

En la figura 23-4 se observa el patrón de radiación en tres dimensiones, la ganancia en varias direcciones que presenta una ganancia de 6.27 dBi que se encuentra dentro del rango común de las antenas de parche.

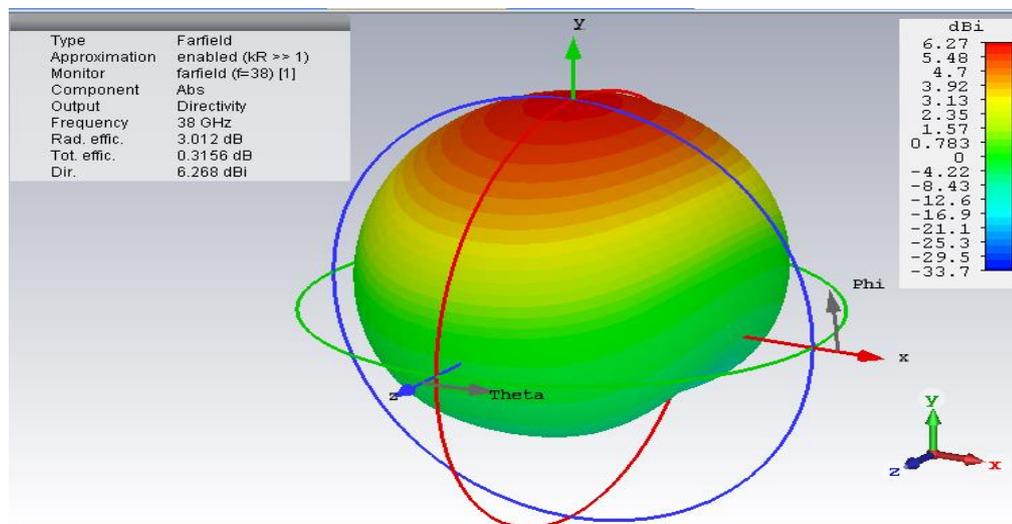


Figura 23-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario tipo parche labyrinth en 3D

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

En la figura 24-4 se muestra el mismo patrón pero en coordenadas polares, el ángulo de mitad de potencia es de 107.2 grados y la dirección de mayor ganancia se encuentra a 90 grados.

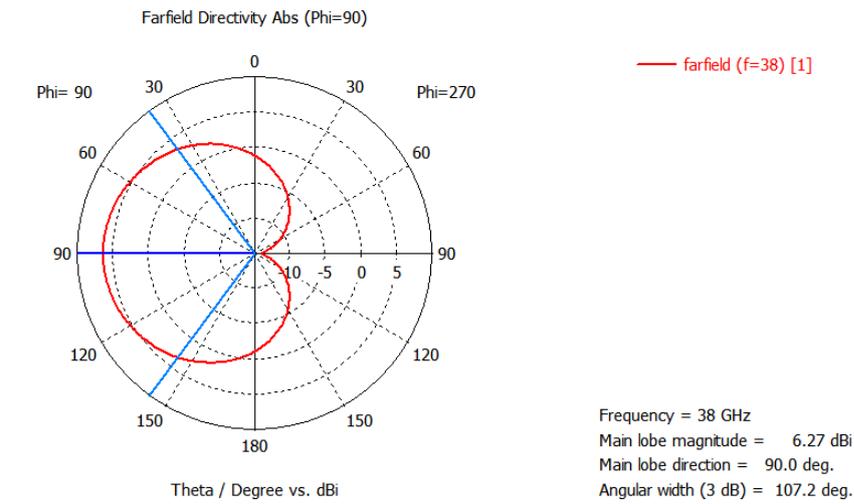


Figura 24-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario tipo parche labyrinth en coordenadas polares

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

Del diseño inicial de la antena tipo parche labyrinth se observa que no presenta un buen factor S11, siendo un diseño no aceptable por su bajo desempeño y necesita ser optimizado.

4.1.5 Resultados de la simulación de la antena receptora tipo parche tree

La geometría del parche es en forma de árbol, con bordes más pronunciados por las variaciones de perfil de sus vértices como se observa en la figura 25-4.

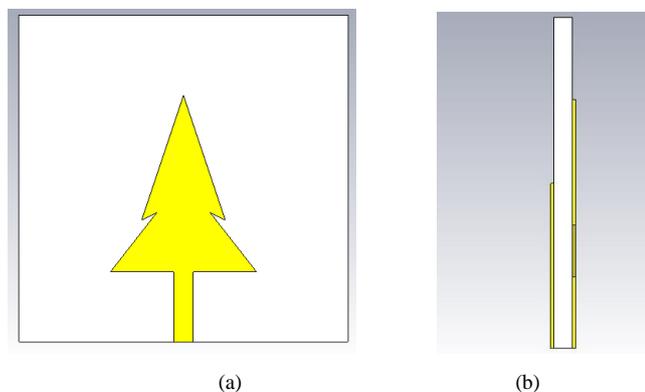


Figura 25-4. Antena receptora tipo parche tree con tecnología microcinta vista frontal (a), vista lateral (b)

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

Con los valores iniciales de la tabla 8-5 se analizan los resultados, los cuales se obtuvieron con el método línea de transmisión. En la figura 26-4 se observa el parámetro S11 que no determina un buen nivel de acople de impedancia. La frecuencia con mayor resonancia se encuentra en 37 GHz donde el parámetro S11 tiene un valor de -23.08 dB, a los 38 GHz tiene un valor de -22.72 dB y a los 39 GHz tiene un valor de -22.39 lo que significa que la mayor parte de la señal es reflejado y se debe buscar un mejor nivel de acople.

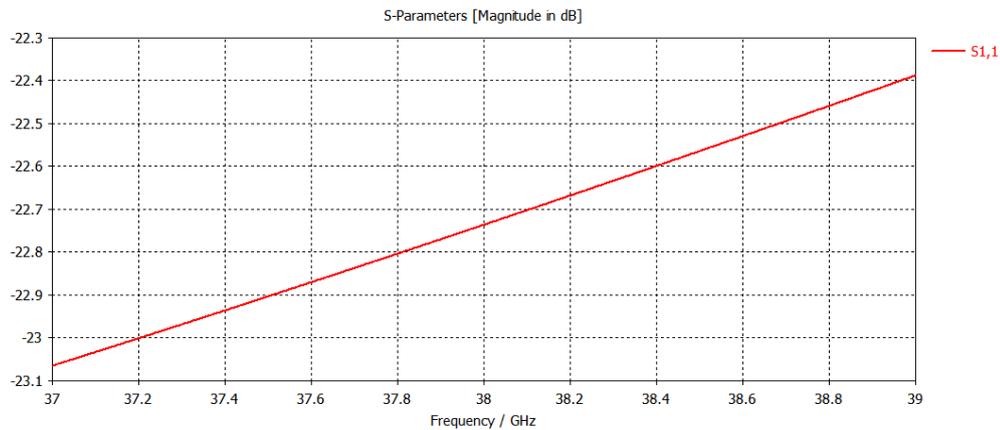


Figura 26-4. Coeficiente de reflexión S11 del elemento radiante unitario tipo parche tree

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

En la figura 27-4 se observa la eficiencia del diseño inicial, por lo que si el parámetro S11 no presentó un buen acople la eficiencia en este caso no es aceptable, ya que depende del nivel de acople. En la gráfica se puede apreciar que casi la mitad de potencia se pierde por la baja eficiencia de la antena, demostrando que los parámetros iniciales deben ser mejorados.

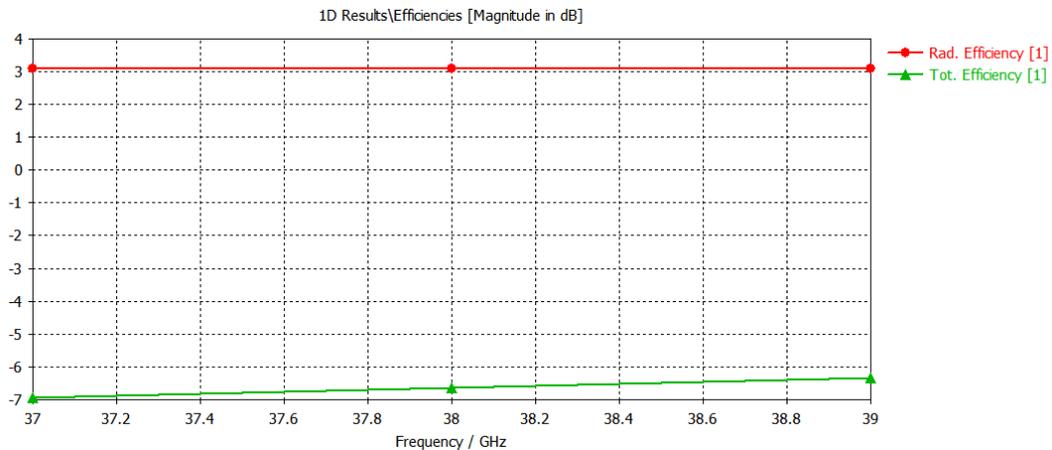


Figura 27-4. Eficiencia del elemento radiante unitario tipo parche tree

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

La razón de voltaje de onda estacionaria es errónea debido al parámetro S11. En la figura 28-4 se observa que el valor mínimo VSWR es de 1.151 para 37 GHz, para 38 GHz tiene un valor de 1.1565 y para 39 GHz tiene un valor de 1.1642 que tampoco es aceptable.

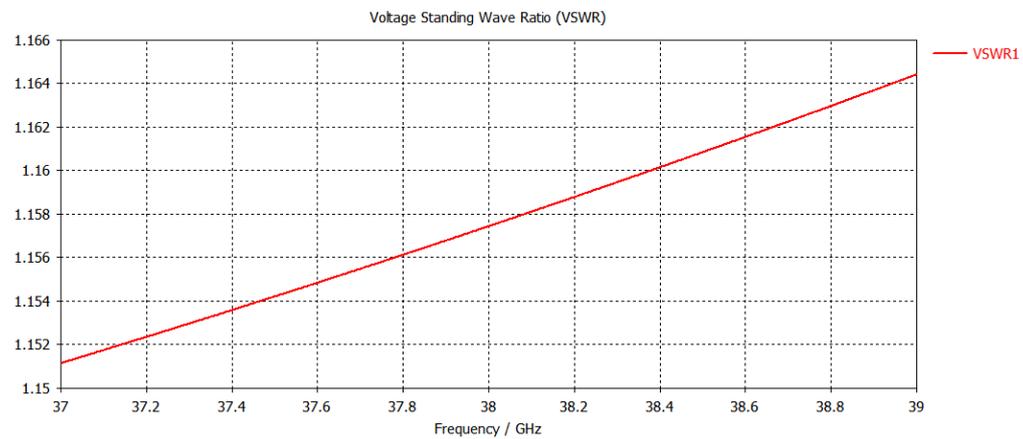


Figura 28-4. Razón de voltaje de onda estacionaria del elemento radiante unitario tipo parche tree

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

En la figura 29-4 se observa el patrón de radiación en tres dimensiones, la ganancia en varias direcciones, que presenta una ganancia de 5.78 dBi.

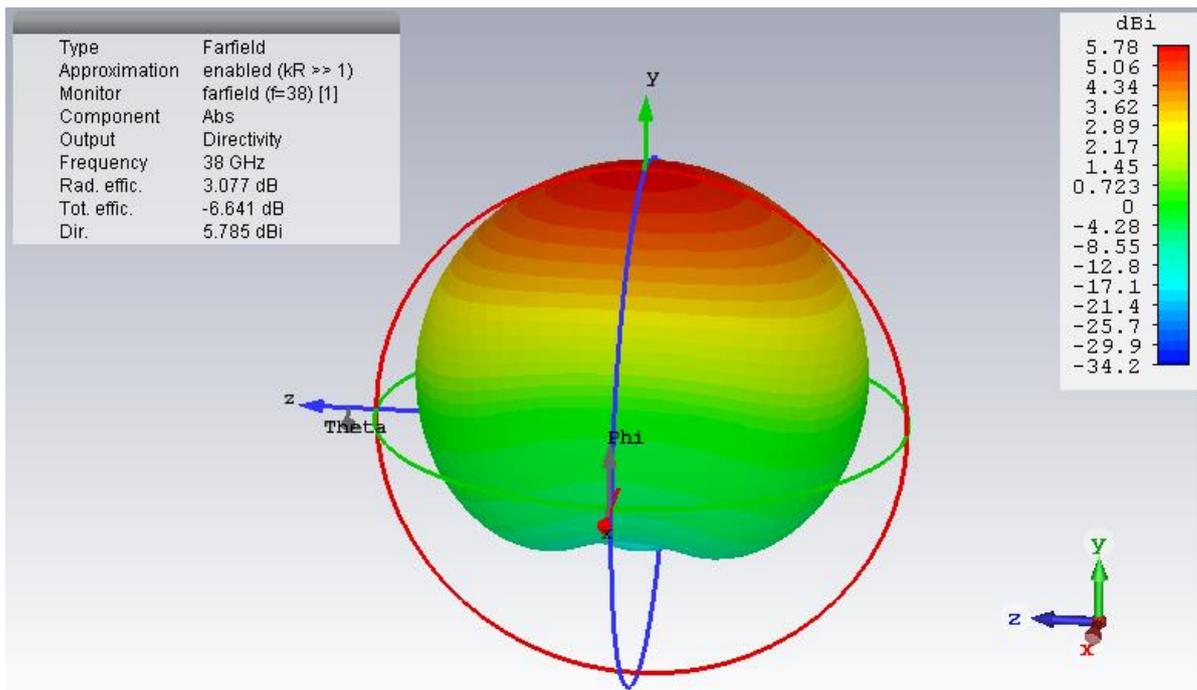


Figura 29-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario tipo parche tree en 3D

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

En la figura 30-4 se muestra el mismo patrón pero en coordenadas polares, el ángulo de mitad de potencia es de 115.7 grados y la dirección de mayor ganancia se encuentra a 90 grados.

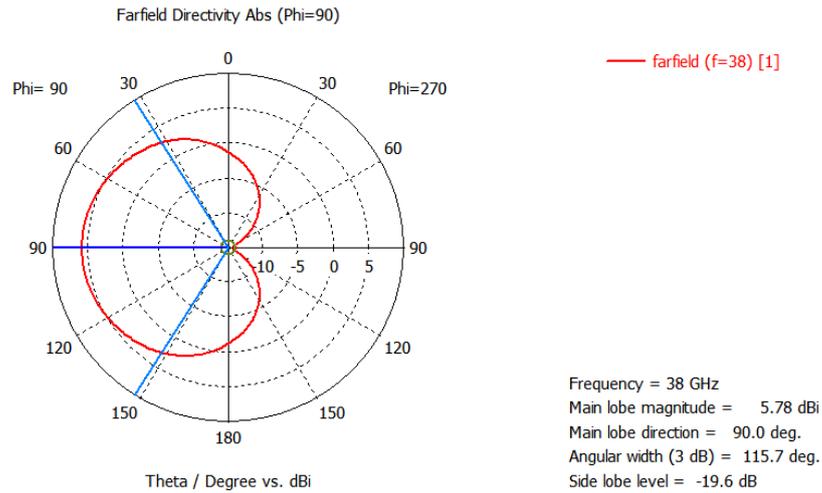


Figura 30-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario tipo parche en coordenadas polares

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

Del diseño inicial de la antena tipo parche tree se observa que no presenta un buen factor S11, siendo un diseño no aceptable por su bajo desempeño y necesita ser optimizado.

4.1.6 Resultados de la simulación de la antena receptora tipo parche empty space tree

La geometría del parche es en forma de árbol con espacios en el centro, además de bordes más pronunciados como se observa en la figura 31-4.

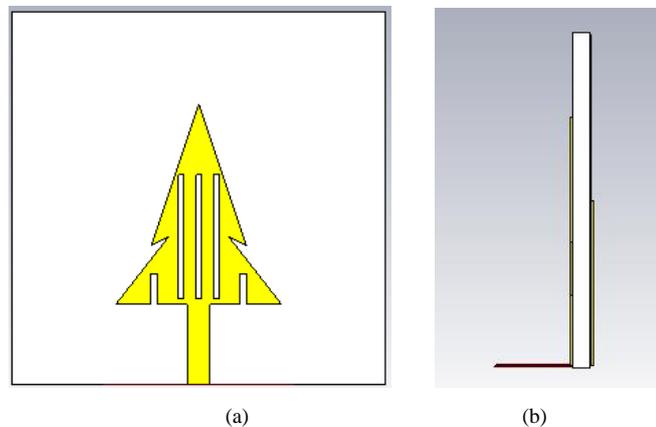


Figura 31-4. Antena receptora tipo parche empty space tree con tecnología microcinta vista frontal (a), vista lateral (b)

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

Con los valores iniciales de la tabla 9-5 se analizan los resultados obtenidos, en la figura 32-4 donde se observa que el parámetro S11 no cumple con las especificaciones de acople de impedancia en el rango de frecuencias de 37 a 39 GHz. La frecuencia con mayor resonancia se encuentra en 37 GHz donde el parámetro S11 tiene un valor de -23.06 dB, mientras que a los 38 GHz tiene un valor de -28.75 dB y a los 39 GHz un valor de -22.4 dB, lo que significa que la mayor parte de la señal es reflejada y se debe buscar un mejor nivel de acople.

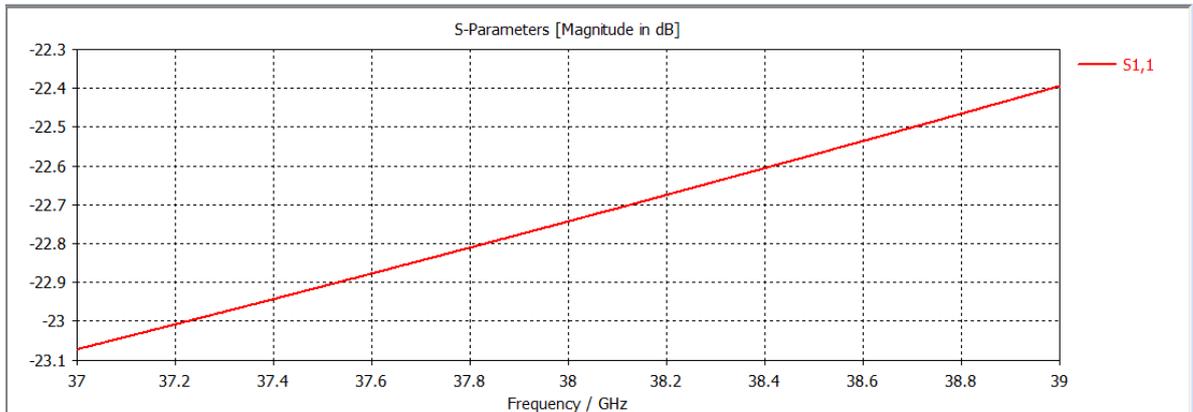


Figura 32-4. Coeficiente de reflexión S11 del elemento radiante unitario tipo parche empty space tree

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

En la figura 33-4 se observa la eficiencia del diseño inicial, por lo que si el parámetro S11 no presentó un buen acople la eficiencia en este caso tampoco es aceptable. En la gráfica se puede apreciar que casi la mitad de potencia se pierde por la baja eficiencia de la antena, demostrando que los parámetros iniciales deben ser mejorados.

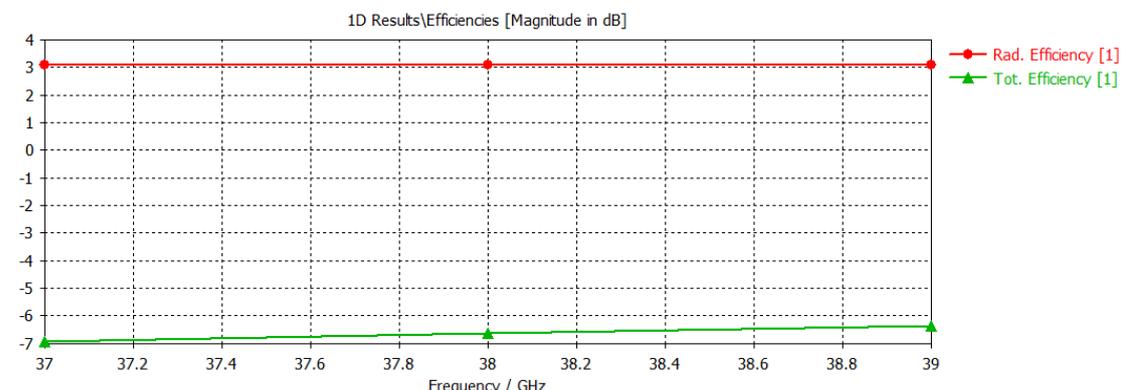


Figura 33-4. Eficiencia del elemento radiante unitario tipo parche empty space tree

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

La razón de voltaje de onda estacionaria es errónea debido al parámetro S11. En la figura 34-4 se observa que el valor mínimo VSWR es de 1.151 para 37 GHz, para 38 GHz tiene un valor de 1.1575 y para 39 GHz tiene un valor de 1.1641 que tampoco es aceptable.

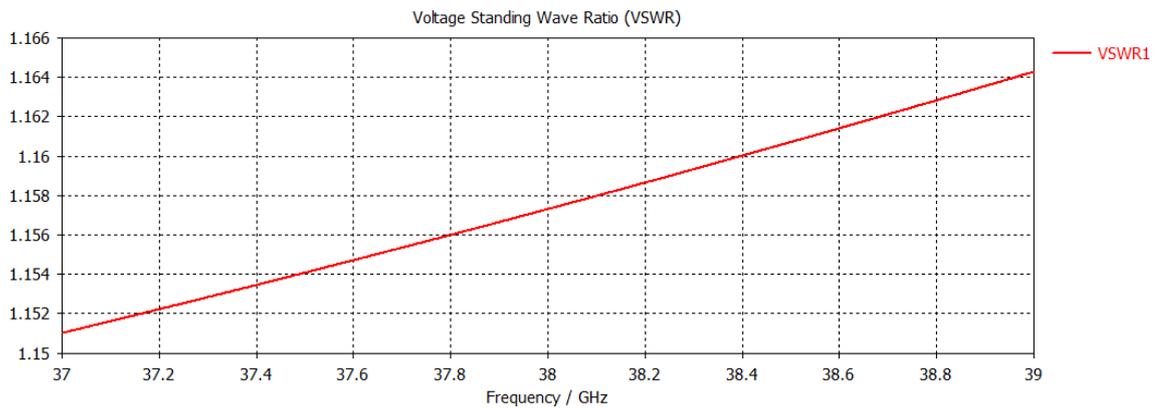


Figura 34-4. Razón de voltaje de onda estacionaria del elemento radiante unitario tipo parche empty space tree

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

Al conocer la frecuencia de resonancia del parche empty space tree se obtiene la figura 35-4 donde se observa el patrón de radiación en tres dimensiones, la ganancia en varias direcciones y la conformación del entorno que presenta una ganancia de 5.79 dBi que se encuentra dentro del rango común de las antenas de parche.

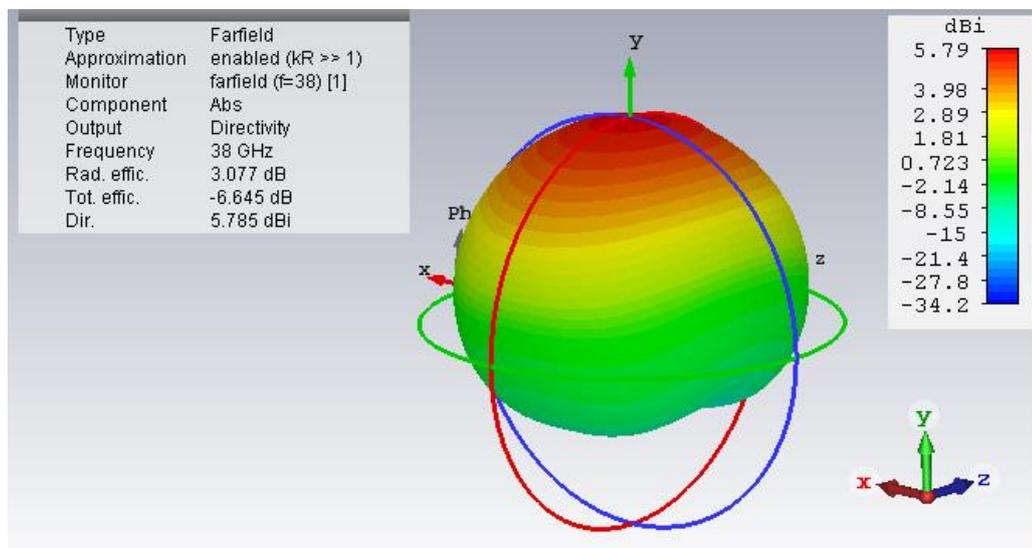


Figura 35-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario tipo parche empty space tree en 3D

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

En la figura 36-4 se muestra el mismo patrón pero en coordenadas polares, observando que hay una buena conformación del patrón de radiación, el ángulo de mitad de potencia es de 115.7 grados y la dirección de mayor ganancia se encuentra a 90 grados.

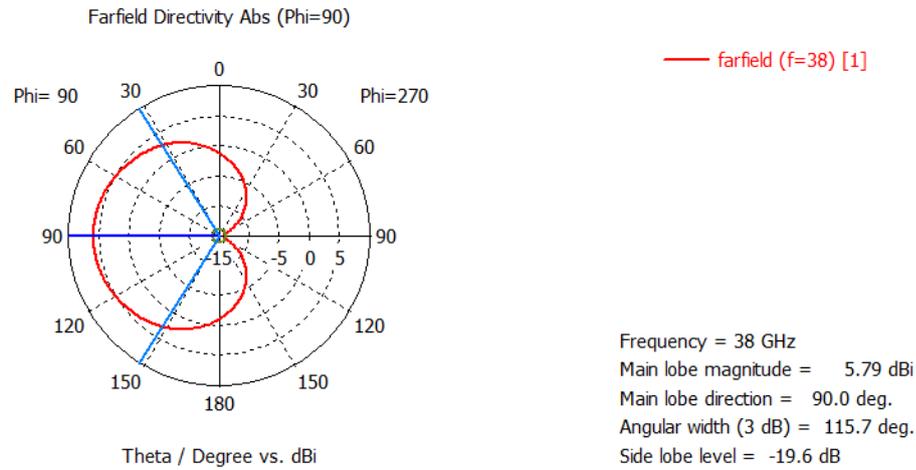


Figura 36-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario tipo parche empty space tree en coordenadas polares

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

Del diseño inicial de la antena tipo parche empty space tree se observa que no presenta un buen factor S11, siendo un diseño no aceptable por su bajo desempeño y necesita ser optimizado.

4.1.7 Resultados de la simulación de la antena receptora tipo parche línea espiral

La geometría del parche es de forma espiral con una línea de transmisión hasta el centro, con bordes más pronunciados por las variaciones de perfil se observa en la figura 37-4.

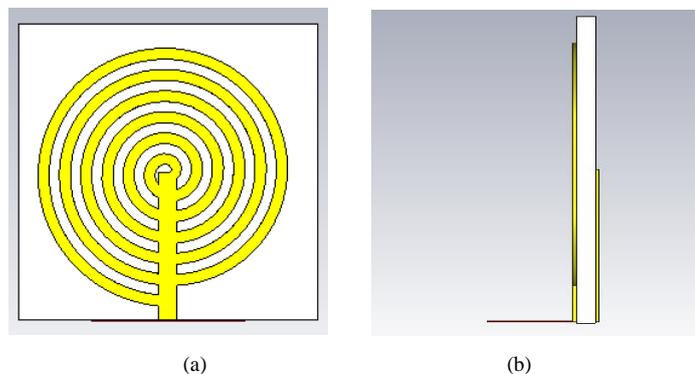


Figura 37-4. Antena receptora tipo parche línea espiral con tecnología microcinta vista frontal (a), vista lateral (b)

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

Con los valores iniciales de la tabla 10-5 se analizan los resultados de la figura 38-4 se observa el parámetro S11 que no determina un buen nivel de acople de impedancia. La frecuencia con mayor resonancia se encuentra en 37 GHz donde el parámetro S11 tiene un valor de -14.69 dB, a los 38 GHz tiene un valor de -14.52 dB y a 39 GHz tiene un valor de -14.33 dB.

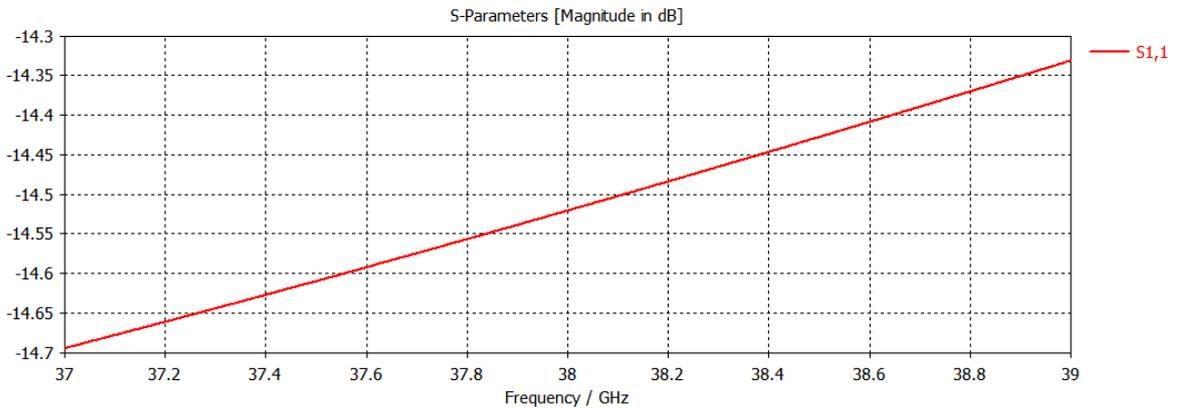


Figura 38-4. Coeficiente de reflexión S11 del elemento radiante unitario tipo parche línea espiral

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

En la figura 39-4 se observa la eficiencia del diseño inicial, por lo que si el parámetro S11 no presentó un buen acople la eficiencia en este caso no es aceptable.

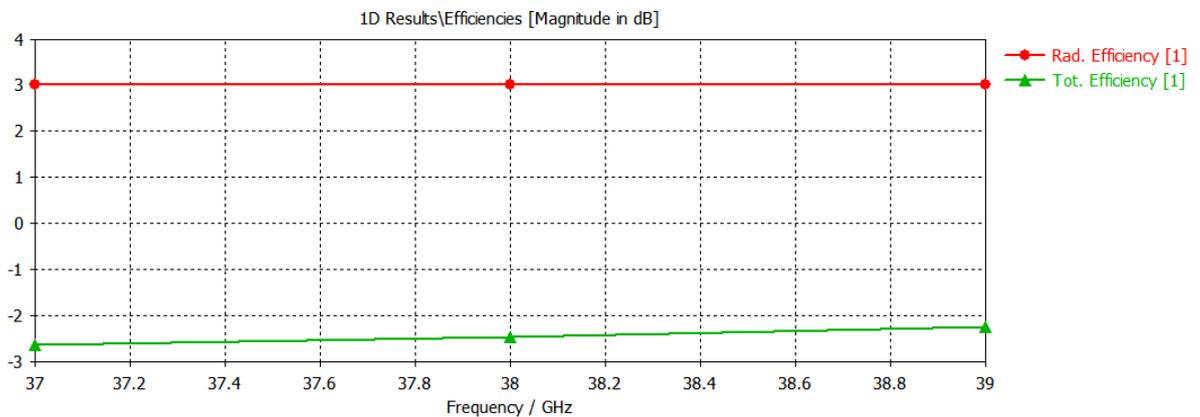


Figura 39-4. Eficiencia del elemento radiante unitario tipo parche línea espiral

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

La razón de voltaje de onda estacionaria es errónea debido al parámetro S11. En la figura 40-4 se observa que el valor mínimo VSWR es de 1.452 para 37 GHz, para 38 GHz tiene un valor de 1.463 y para 39 GHz tiene un valor de 1.475 que tampoco es aceptable.

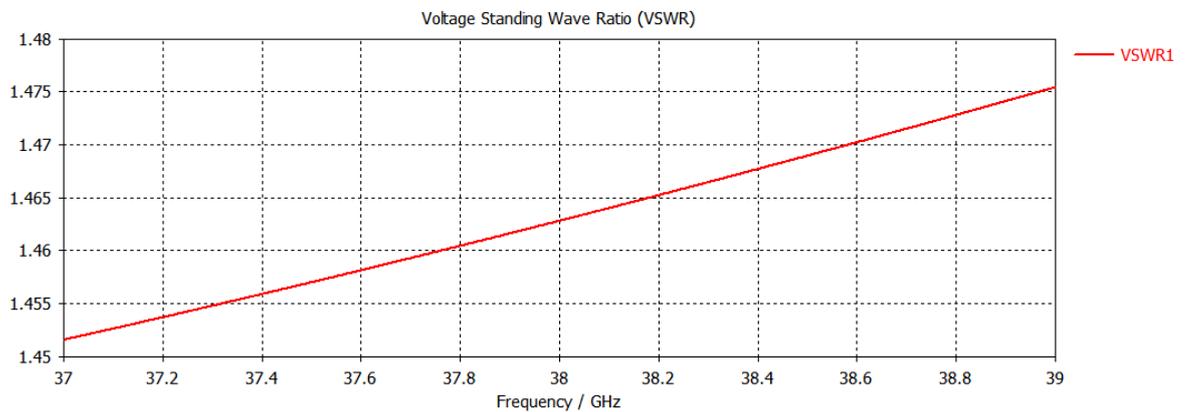


Figura 40-4. Razón de voltaje de onda estacionaria del elemento radiante unitario tipo parche línea espiral

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

En la figura 41-4 se observa el patrón de radiación en tres dimensiones, la ganancia en varias direcciones y la conformación del entorno que presenta una ganancia de 6.07 dBi.

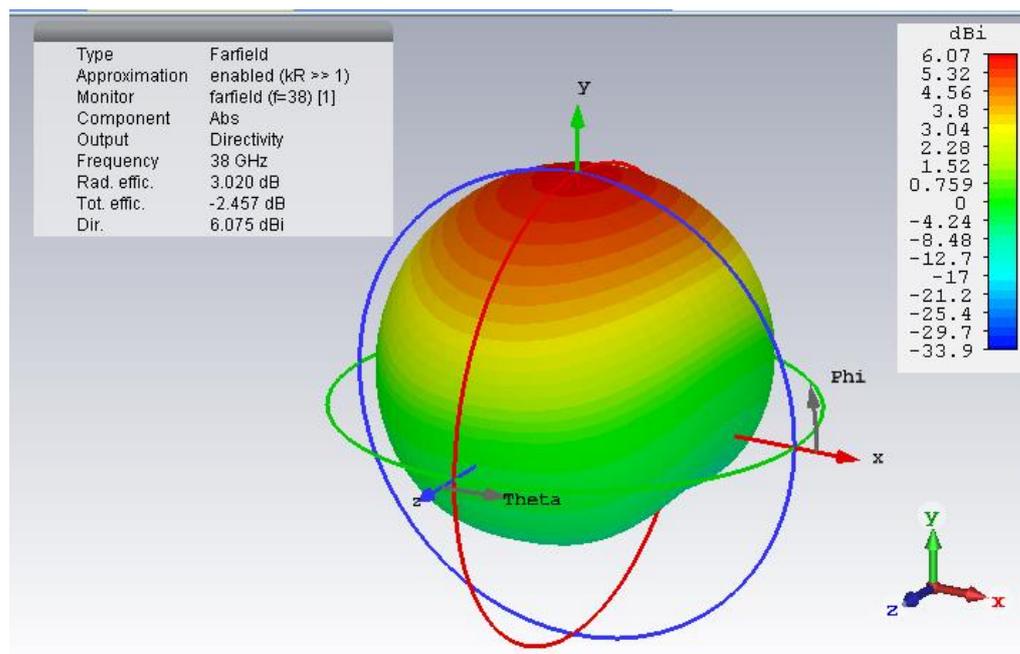


Figura 41-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario tipo parche línea espiral en 3D

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

En la figura 42-4 se muestra el mismo patrón pero en coordenadas polares, el ángulo de mitad de potencia es de 114.1 grados y la dirección de mayor ganancia se encuentra a 90 grados.

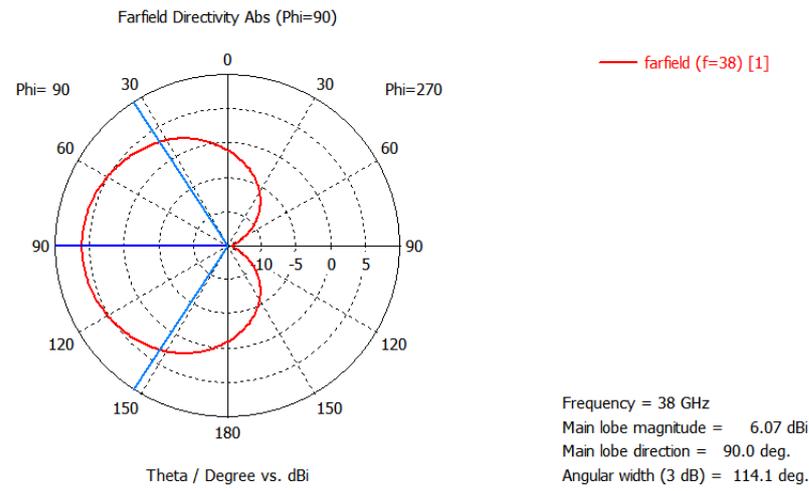


Figura 42-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario tipo parche línea espiral en coordenadas polares

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

Del diseño inicial de la antena tipo parche línea espiral se observa que no presenta un buen factor S11, siendo un diseño no aceptable por su bajo desempeño y necesita ser optimizado.

4.1.8 Resultados de la simulación de la antena receptora tipo parche espiral

La geometría del parche es de forma espiral, con bordes más pronunciados por las variaciones de perfil se observa en la figura 43-4.

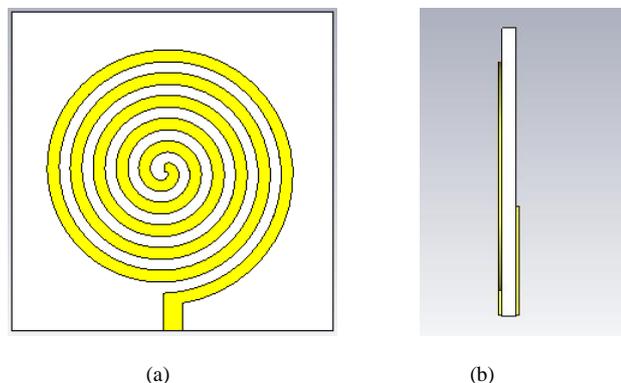


Figura 43-4. Antena receptora tipo parche espiral con tecnología microcinta vista frontal (a), vista lateral (b)

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

Con los valores iniciales de la tabla 11-5 se analizan los resultados de la figura 44-4 se observa el parámetro S11 que no determina un buen nivel de acople de impedancia. La frecuencia con mayor resonancia se encuentra en 37 GHz donde el parámetro S11 tiene un valor de -17.07 dB, a los 38 GHz tiene un valor de -16.86 dB y a 39 GHz tiene un valor de -16.63 dB.

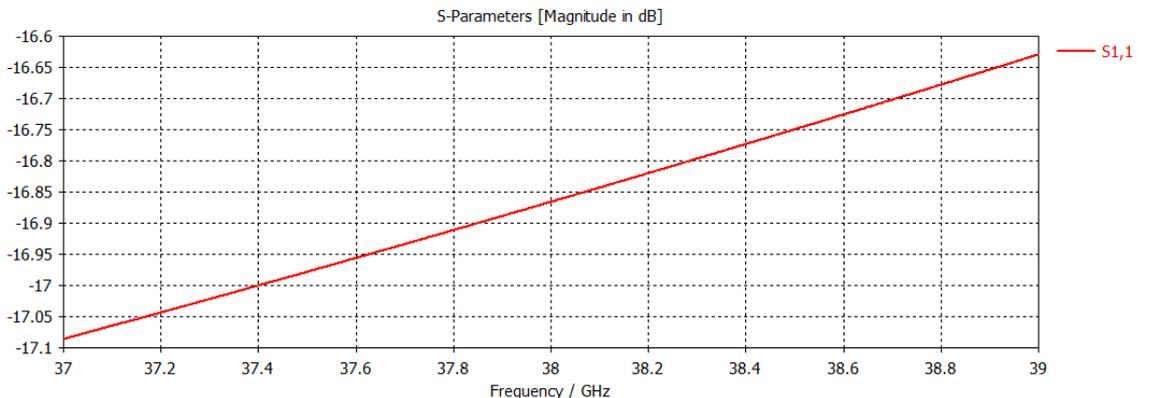


Figura 44-4. Coeficiente de reflexión S11 del elemento radiante unitario tipo parche espiral

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

En la figura 45-4 se observa la eficiencia del diseño inicial, por lo que si el parámetro S11 no presentó un buen acople la eficiencia en este caso no es aceptable.

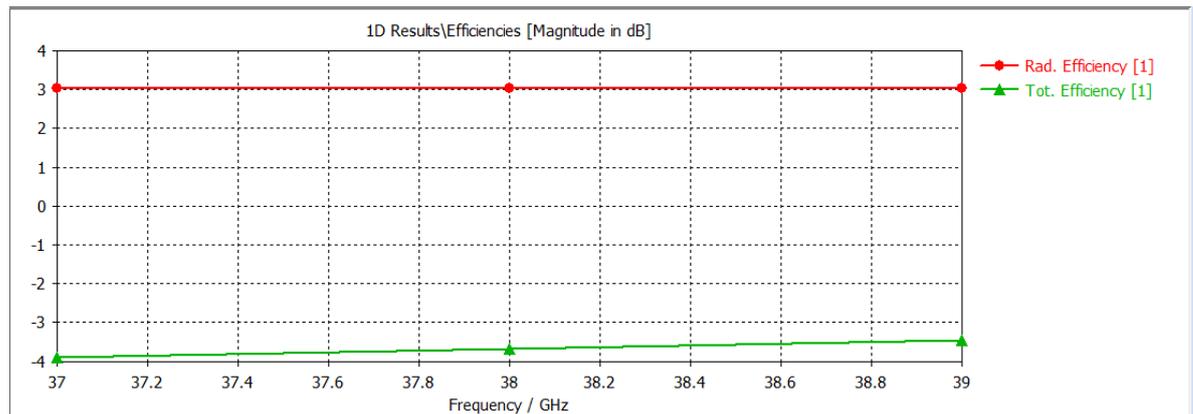


Figura 45-4. Eficiencia del elemento radiante unitario tipo parche espiral

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

La razón de voltaje de onda estacionaria es errónea debido al parámetro S11. En la figura 46-4 se observa que el valor mínimo VSWR es de 1.325 para 37 GHz, para 38 GHz tiene un valor de 1.335 y para 39 GHz tiene un valor de 1.346 que tampoco es aceptable.

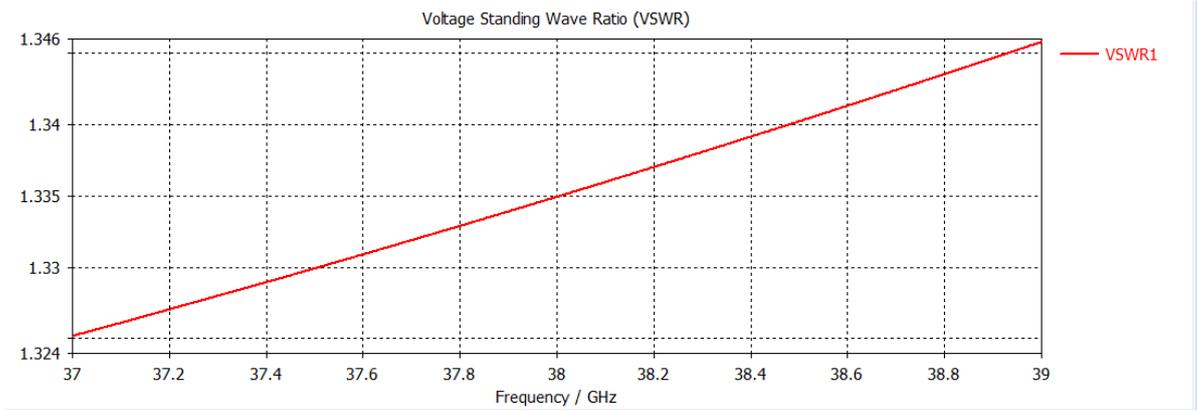


Figura 46-4. Razón de voltaje de onda estacionaria del elemento radiante unitario tipo parche espiral

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

Al conocer la frecuencia de resonancia del parche espiral se obtiene la figura 47-4 donde se observa el patrón de radiación en tres dimensiones, la ganancia en varias direcciones y la conformación del entorno que presenta una ganancia de 6.03 dBi que se encuentra dentro del rango común de las antenas de parche.

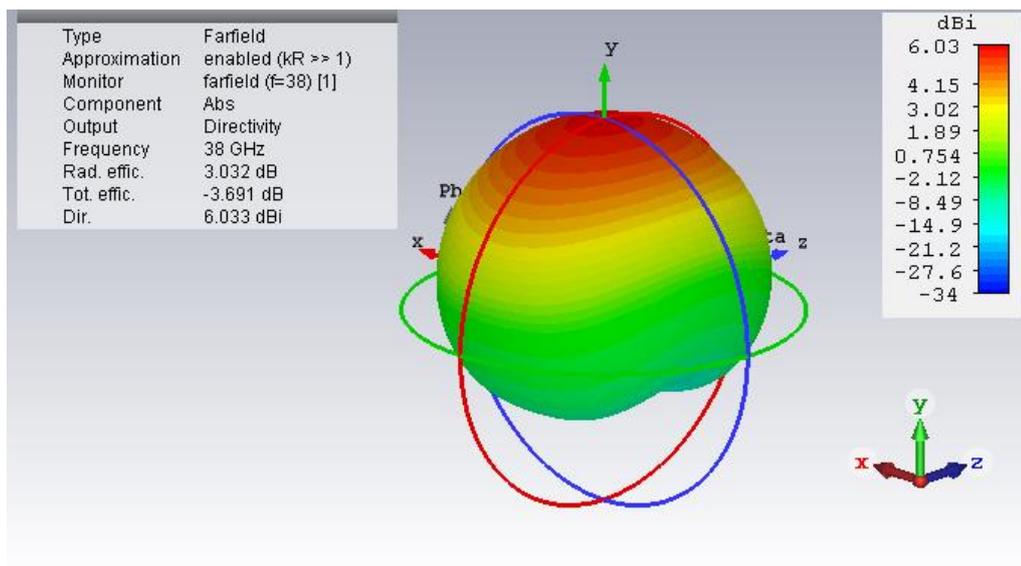


Figura 47-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario tipo parche espiral en 3D

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

En la figura 48-4 se muestra el mismo patrón pero en coordenadas polares, observando que hay una buena conformación del patrón de radiación, el ángulo de mitad de potencia es de 113.8 grados y la dirección de mayor ganancia se encuentra a 90 grados.

resonancia que se encuentra en 37 GHz con un valor de -22.79 dB, en 38 GHz tiene un valor de -22.46 dB y a 39 GHz tiene un valor de -22.11 dB lo que significa que la mayor parte de la señal es reflejado y se debe buscar un mejor nivel de acople.

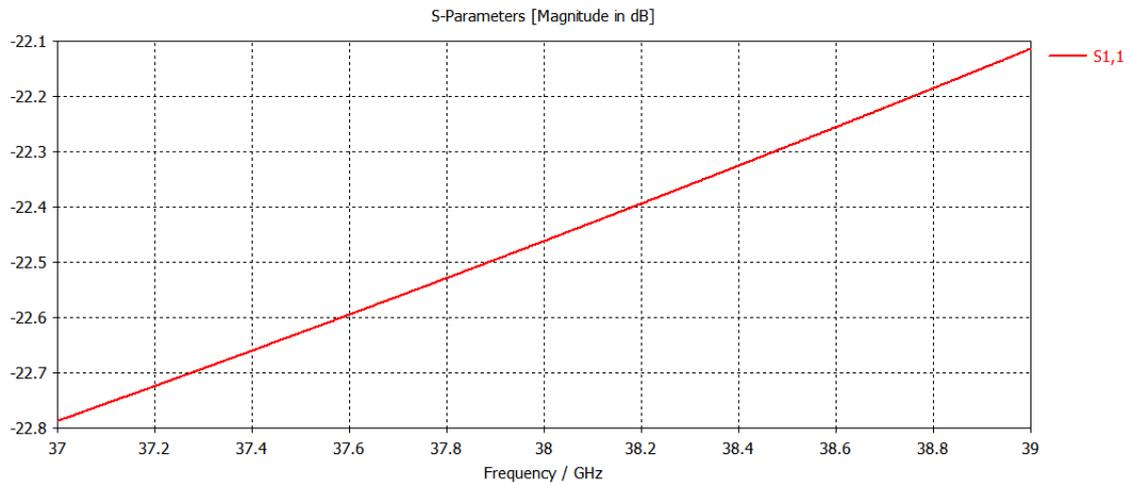


Figura 50-4. Coeficiente de reflexión S11 del elemento radiante unitario tipo parche star

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

En la figura 51-4 se observa la eficiencia del diseño inicial, por lo que si el parámetro S11 no presentó un buen acople la eficiencia en este caso no es aceptable.

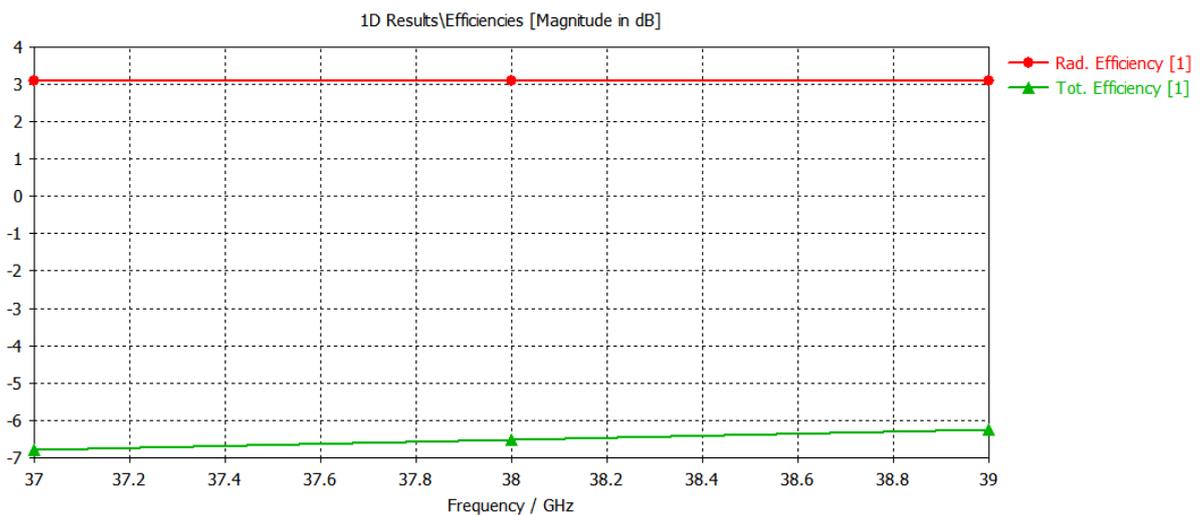


Figura 51-4. Eficiencia del elemento radiante unitario tipo parche star

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

La razón de voltaje de onda estacionaria es errónea debido al parámetro S11. En la figura 52-4 se observa que el valor mínimo VSWR es de 1.1562 para 37 GHz, para 38 GHz tiene un valor de 1.163 y para 39 GHz tiene un valor de 1.17 que tampoco es aceptable.

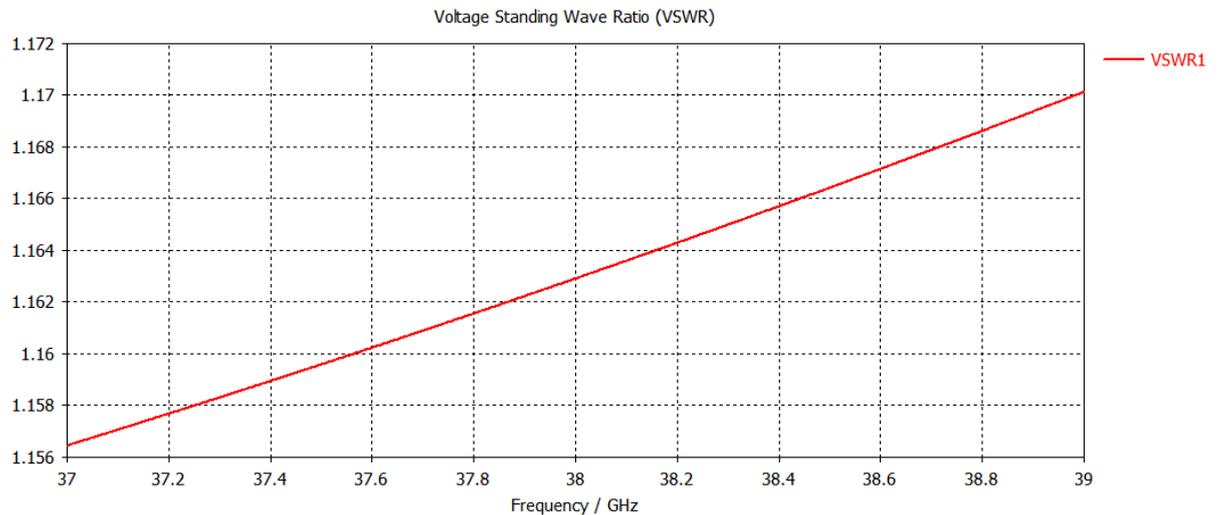


Figura 52-4. Razón de voltaje de onda estacionaria del elemento radiante unitario tipo parche star

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

La frecuencia de resonancia del parche star y la directividad de la antenna observada se define un monitor de campo lejano a esa misma frecuencia y se obtiene la figura 53-4 donde se observa el patrón de radiación en tres dimensiones con una ganancia de 5.8 dBi.

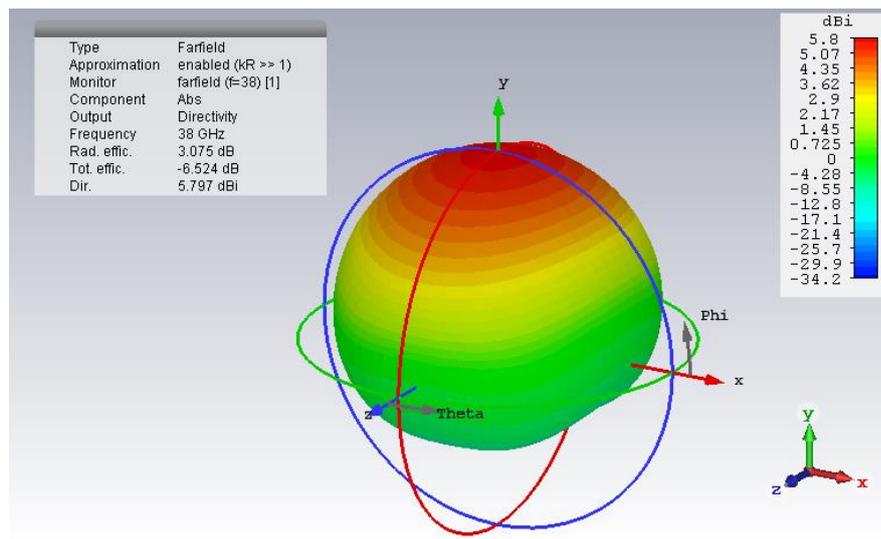


Figura 53-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario tipo parche star en 3D

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

En la figura 54-4 se muestra el mismo patrón pero en coordenadas polares, la conformación del patrón de radiación, el ángulo de mitad de potencia es de 116.1 grados y la dirección de mayor ganancia se encuentra a 90 grados.

frecuencia con mayor resonancia se encuentra en 37 GHz con un valor de -22.78 dB, en 38 GHz tiene un valor de -22.45 dB y a 39 GHz tiene un valor de -22.1 dB.

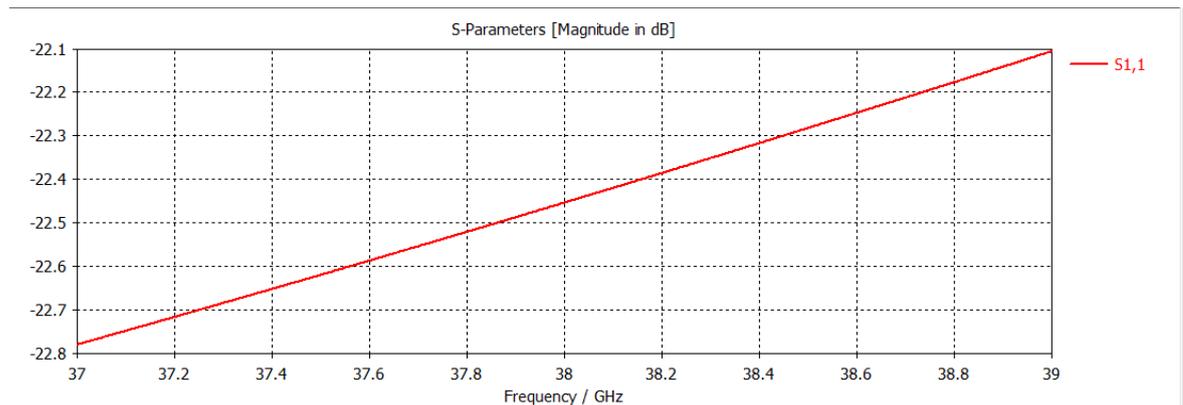


Figura 56-4. Coeficiente de reflexión S11 del elemento radiante unitario tipo parche double star

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

En la figura 57-4 se observa la eficiencia del diseño inicial, por lo que si el parámetro S11 no presentó un buen acople la eficiencia en este caso no es aceptable.

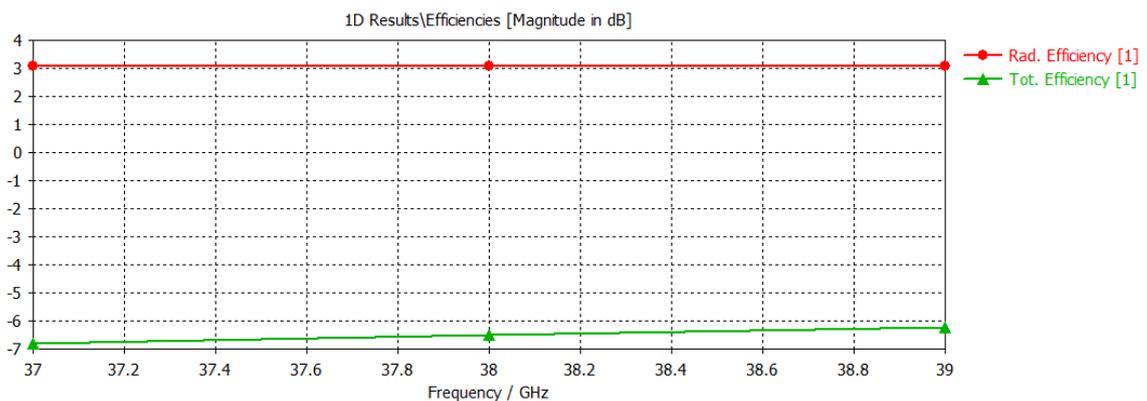


Figura 57-4. Eficiencia del elemento radiante unitario tipo parche double star

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

La razón de voltaje de onda estacionaria es errónea debido al parámetro S11. En la figura 58-4 se observa que el valor mínimo VSWR es de 1.1569 para 37 GHz, para 38 GHz tiene un valor de 1.163 y para 39 GHz tiene un valor de 1.1705 que tampoco es aceptable.

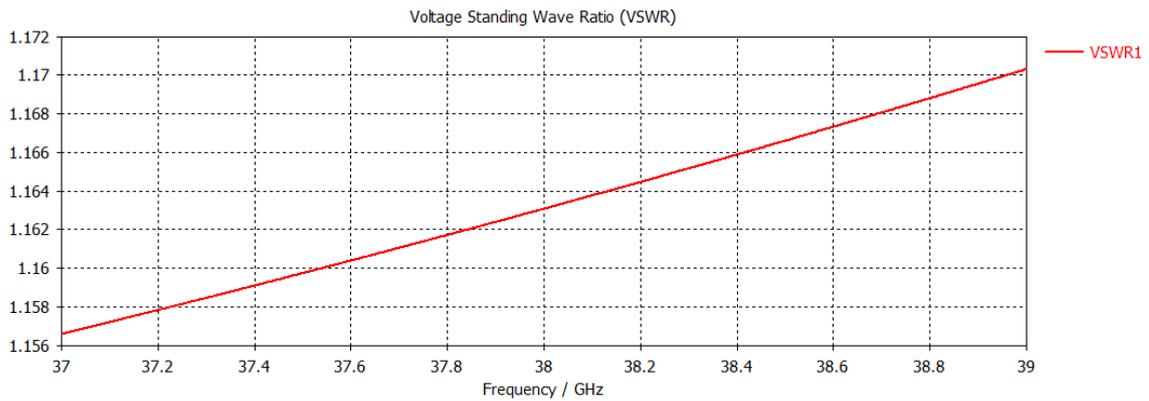


Figura 58-4. Razón de voltaje de onda estacionaria del elemento radiante unitario tipo parche double star

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

En la figura 59-4 se observa el patrón de radiación en tres dimensiones, la ganancia en varias direcciones y la conformación de los del entorno que presenta una ganancia de 5.8 dBi.

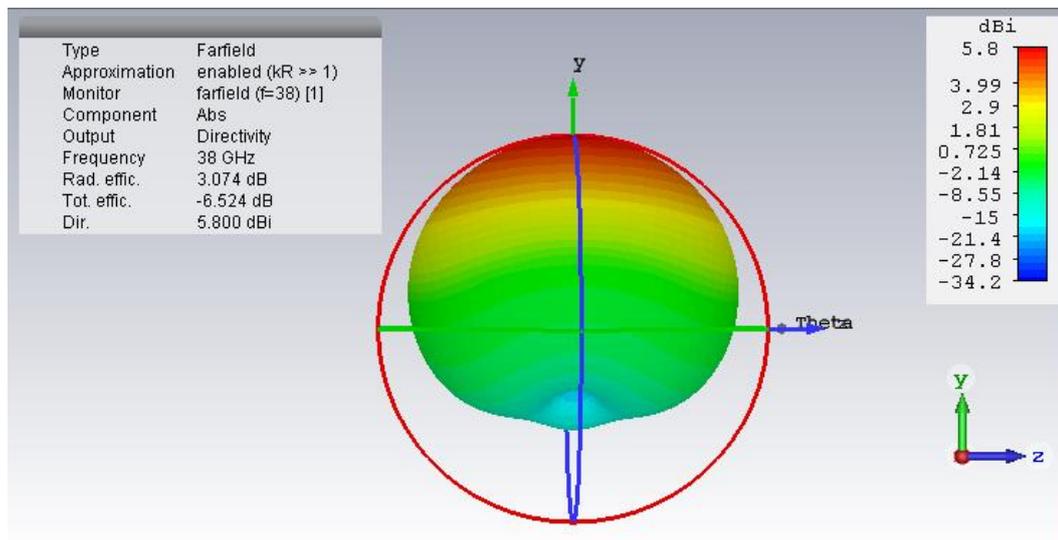


Figura 59-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario tipo parche double star en 3D

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

En la figura 60-4 se muestra el mismo patrón pero en coordenadas polares, observando que no hay una buena conformación del patrón de radiación, dividido en dos lóbulos, el ángulo de mitad de potencia es de 116.0 grados y la dirección de mayor ganancia se encuentra a 90 grados.

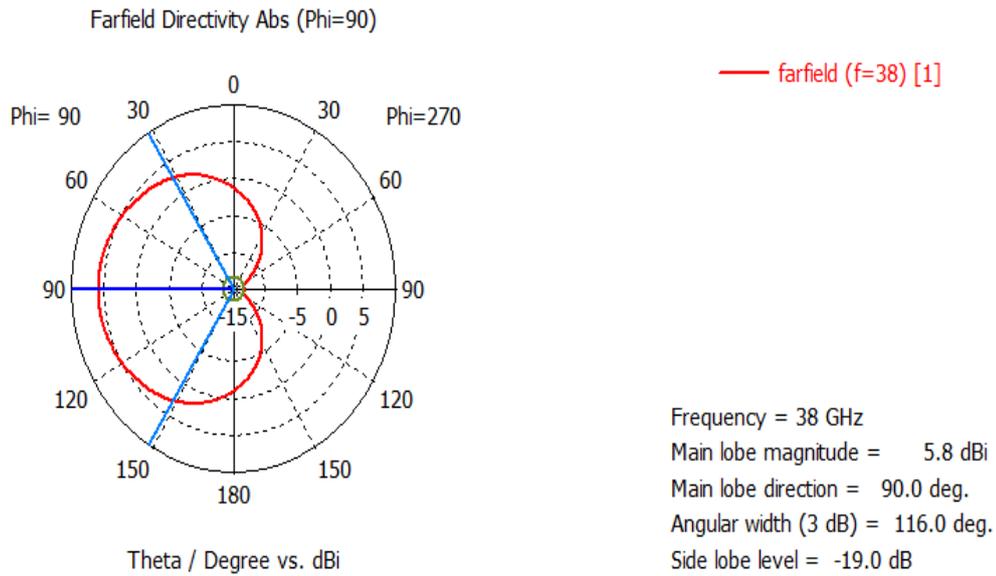


Figura 60-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario tipo parche double star en coordenadas polares

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

Del diseño inicial de la antena tipo parche double star se observa que no presenta un buen factor S11, siendo un diseño no aceptable por su bajo desempeño y necesita ser optimizado. De los resultados obtenidos en la simulación se generan dos tablas resumen, tabla 1-4 y 2-4.

Tabla 1-4. Parámetros S11 de las antenas analizadas con los valores iniciales de los diseños.

Antena	FRECUENCIA		
	37 GHz	38 GHz	39 GHz
Rectangular	-4.53 dB	-5.6 dB	-5.46 dB
Circular	-17.61 dB	-17.25 dB	-16.88 dB
Clover	-18.82 dB	-18.42 dB	-18.02 dB
Labyrinth	-10.53 dB	-10.35 dB	-10.16 dB
Tree	-23.08 dB	-22.72 dB	-22.39 dB
Empty space tree	-23.06 dB	-28.75 dB	-22.4 dB
Línea espiral	-14.69 dB	-14.52 dB	-14.33 dB
Espiral	-17.07 dB	-16.86 dB	-16.63 dB
Star	-22.79 dB	-22.46 dB	-22.11 dB
Double star	-22.78 dB	-22.45 dB	-22.1 dB

Realizado por: (Balseca, 2018)

Tabla 2-4. Parámetros de radiación de las antenas analizadas con los valores iniciales de los diseños.

Antena	Lóbulo principal	Dirección del lóbulo	Ancho Angular
Rectangular	6.7 dBi	4°	78.8°
Circular	6.09 dBi	90°	107°
Clover	6.03 dBi	90°	107.3°
Labyrinth	6.27 dBi	90°	107.2°
Tree	5.78 dBi	90°	115.7°
Empty space tree	5.79 dBi	90°	115.7°
Línea espiral	6.07 dBi	90°	114.1°
Espiral	6.03 dBi	90°	113.8°
Star	5.8 dBi	90°	116.1°
Double star	5.8 dBi	90°	116°

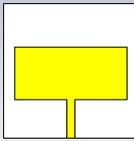
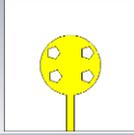
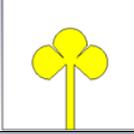
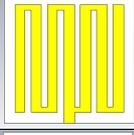
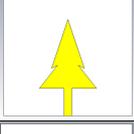
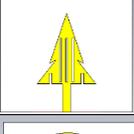
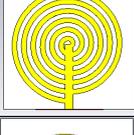
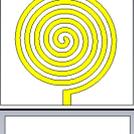
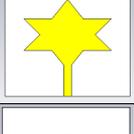
Realizado por: (Balseca, 2018)

De los diez diseños iniciales se observa en las respectivas figuras y en la tabla 1-4 el resumen de los parámetros S11 de cada una de las antenas donde se determina que no hay un buen nivel de acople en un rango de frecuencias de 37 a 39 GHz, además que si el parámetro S11 no es aceptable el resto de datos no se los puede considerar, por lo que se debe tratar de optimizar cada uno de los diseños hasta conseguir un parámetro S11 aceptable que resuene en el rango de dichas frecuencias.

4.2 Optimización de los datos del elemento radiante unitario

Los diseños propuestos de antenas receptoras de la tabla 3-4, han sido realizados con parámetros para trabajar en altas frecuencias en el rango de 37 GHz a 39 GHz y como se analizó las antenas microstrip pueden tomar cualquier forma en el diseño de la lámina conductora de cobre con su línea de transmisión, las dimensiones del sustrato son las mismas en largo y ancho para todos los diseños planteados, además que a altas frecuencias las antenas deben ser de menor tamaño por lo que si se trabaja con ondas milimétricas las antenas deben estar en el orden de los milímetros tal como se ha planteado en estos diseños.

Tabla 3-4. Parámetros analizados con los valores iniciales de los diseños de las antenas receptoras de alta frecuencia tipo parche con tecnología microstrip.

	FORMA	COEFICIENTE DE REFLEXIÓN S11	RAZÓN DE VOLTAJE DE ONDA ESTACIONARIA	PATRÓN DE RADIACIÓN EN 3D	PATRÓN DE RADIACIÓN EN COORDENADAS POLARES	OBSERVACIÓN
RECTANGULAR		(38.4 a 38.7) GHz -5.6dB	38.5 GHz 3.2	6.7 dBi	78.8°	OPTIMIZAR
CIRCULAR		37 GHz -17.62 dB	37 GHz 1.303	6.09 dBi	107°	OPTIMIZAR
CLOVER		37 GHz -18.82 dB	37 GHz 1.257	6.03 dBi	107.3°	OPTIMIZAR
LABYRINTH		37 GHz -10.53 dB	37 GHz 1.848	6.27 dBi	107.2°	OPTIMIZAR
TREE		37 GHz -23.08 dB	37 GHz 1.151	5.78 dBi	115.7°	OPTIMIZAR
EMPTY SPACE TREE		37 GHz -23.06 dB	37 GHz 1.151	5.79 dBi	115.7°	OPTIMIZAR
LÍNEA ESPIRAL		37 GHz -14.69 dB	37 GHz 1.452	6.07 dBi	114.1°	OPTIMIZAR
ESPIRAL		37 GHz -17.07 dB	37 GHz 1.325	6.03 dBi	113.8°	OPTIMIZAR
STAR		37 GHz -22.8 dB	37 GHz 1.1562	5.8 dBi	116.1°	OPTIMIZAR
DOUBLE STAR		37 GHz -22.78 dB	37 GHz 1.1565	5.8 dBi	116°	OPTIMIZAR

Realizado por: (Balseca, 2018)

Al analizar las primeras simulaciones de los diez diseños propuestos se determina que se debe centrar a la frecuencia de trabajo de 37 GHz a 39 GHz, por lo que a partir de los datos iniciales de los diseños planteados se utiliza la herramienta de optimización del software CST para mejorar el nivel de acople de la señal, hasta conseguir los resultados esperados para las antenas microstrip.

4.2.1 Resultados de la optimización de la antena receptora tipo parche rectangular

El objetivo de la optimización es que las antenas recepten en el rango de 37 a 39 GHz y lograr un diseño aceptable por lo que se realiza el análisis electromagnético de la antena tipo parche con las dimensiones calculadas, a través del programa CST STUDIO SUITE, al cual se han ajustado algunos datos para obtener resultados de alta precisión. En la optimización se varía el largo y ancho del parche rectangular y se mantienen las dimensiones anteriores de los otros elementos, buscando que el parámetro S11 se acople al rango de frecuencias del diseño de 37 GHz a 39 GHz. Tras realizar los ajustes en las dimensiones del modelo, se obtiene una simulación satisfactoria para la antena tipo parche rectangular, logrando centrar en el rango de frecuencia establecido. Se obtiene como resultados del proceso de optimización los datos de la tabla 4-4:

Tabla 4-4. Características de la antena tipo parche rectangular optimizada

DIMENSIONES	ELEMENTO	MEDIDA (mm)
Largo (Lp)	Parche rectangular	1.5529
Ancho (Wp)	Parche rectangular	3.2916

Realizado por: (Balseca, 2018)

Con la modificación de estos valores, el parámetro S11 tiene el mínimo valor que es -60 dB para 38.87 GHz, en la figura 61-4 se puede observar la señal que es reflejada. En 37 y 39 GHz que son las frecuencias extremas tienen -8 dB y -34 dB respectivamente mientras que en 38 GHz tiene -14 dB. Muestra la adaptación de acople de la antena tipo parche rectangular a 38.87 GHz.

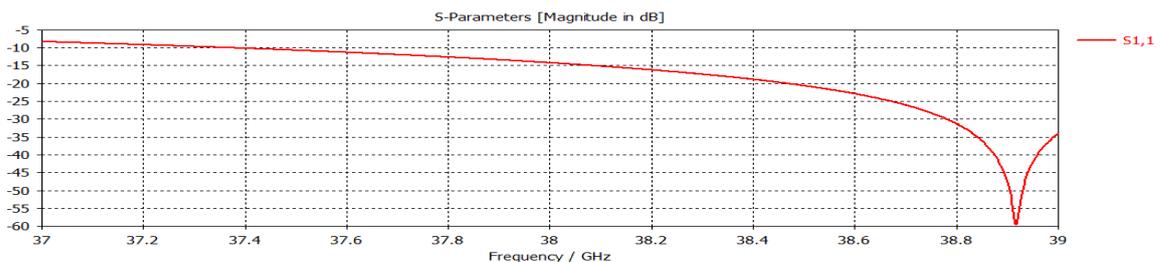


Figura 61-4. Coeficiente de reflexión S11 del elemento radiante unitario optimizado tipo parche rectangular.

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

La eficiencia mejora como se puede observar en la figura 62-4.

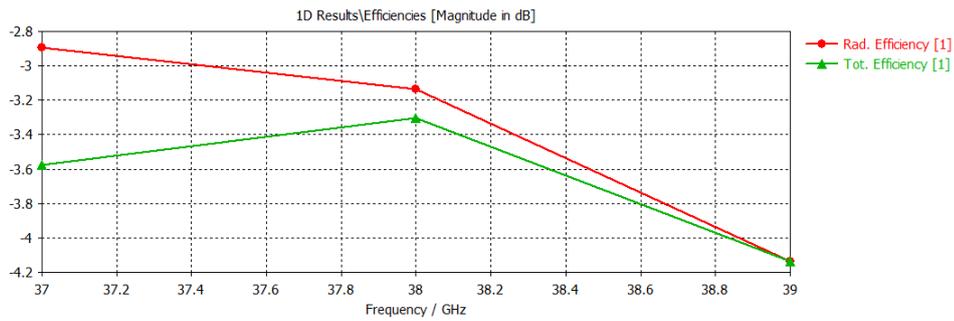


Figura 62-4. Eficiencia del elemento radiante unitario optimizado tipo parche rectangular

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

En la figura 63-4 se observa que la ganancia se mantiene en el rango para las antenas de parche de 6.06 dBi, el patrón de radiación presenta una buena conformación formando un campo aceptable.

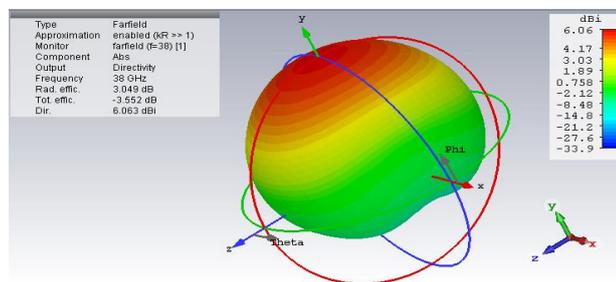


Figura 63-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario en 3D optimizado tipo parche rectangular

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

En la figura 64-4 se muestra el patrón de radiación que es directivo vista en coordenadas polares con un ángulo de 107 grados y la dirección máxima de ganancia en 90 grados.

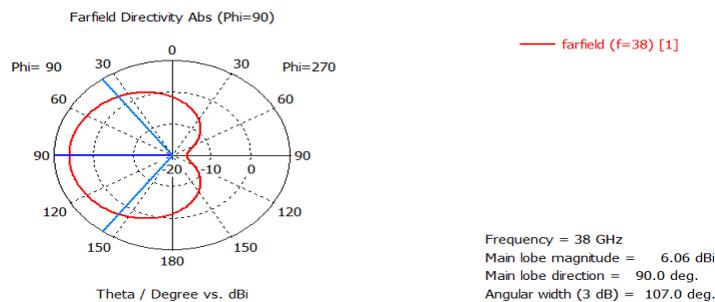


Figura 64-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario en coordenadas polares optimizado tipo parche rectangular.

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

4.2.2 Resultados de la optimización de la antena receptora tipo parche circular

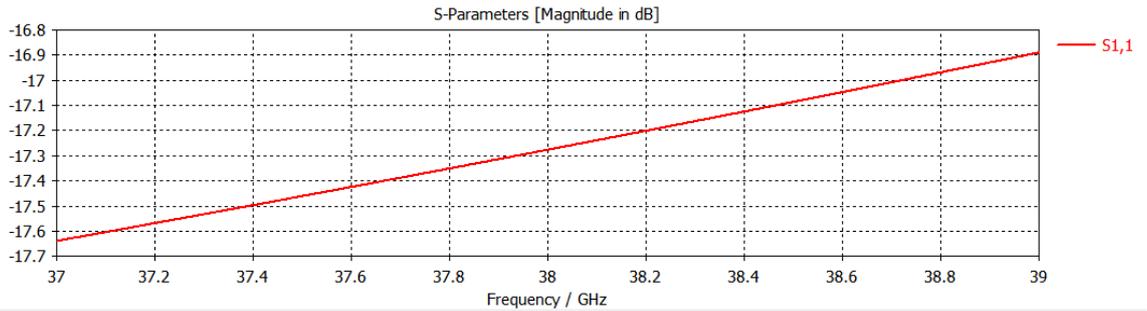


Figura 65-4. Coeficiente de reflexión S11 del elemento radiante unitario optimizado tipo parche circular.

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

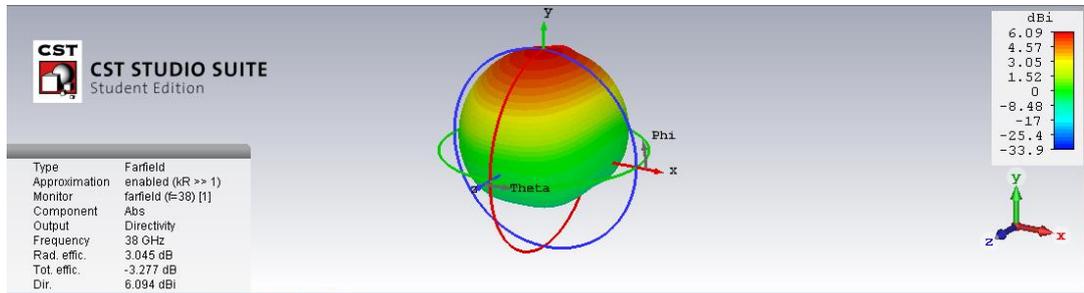


Figura 66-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario en 3D optimizado tipo parche circular.

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)



Figura 67-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario en coordenadas polares optimizado tipo parche rectangular.

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

4.2.3 Resultados de la optimización de la antena receptora tipo parche clover

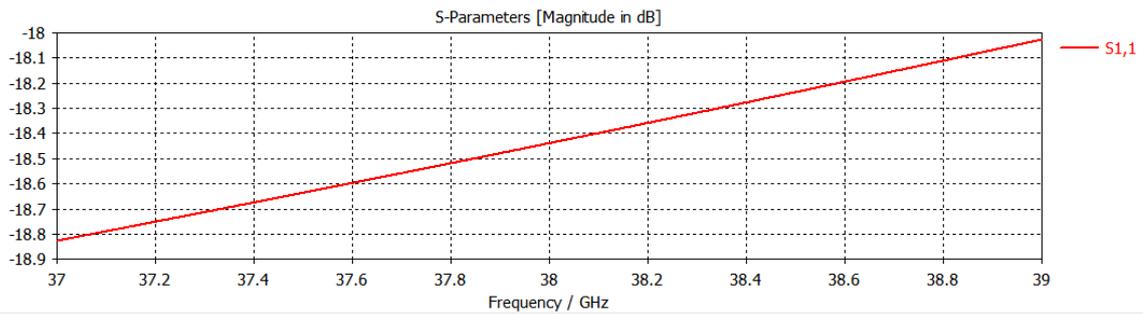


Figura 68-4. Coeficiente de reflexión S11 del elemento radiante unitario optimizado tipo parche clover.

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

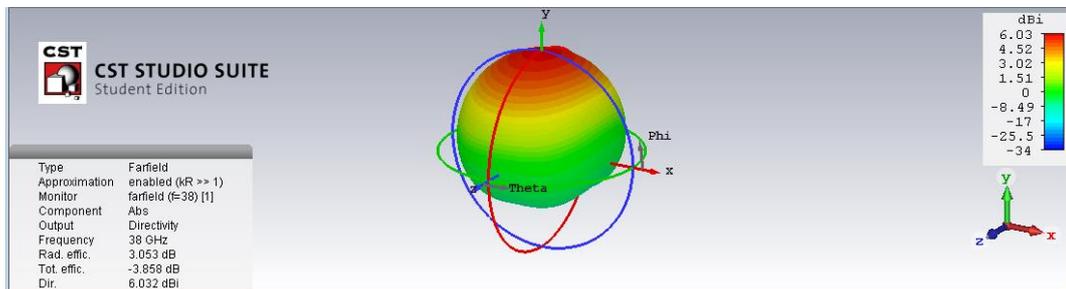


Figura 69-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario en 3D optimizado tipo parche clover.

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)



Figura 70-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario en coordenadas polares optimizado tipo parche clover.

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

4.2.4 Resultados de la optimización de la antena receptora tipo parche labyrinth

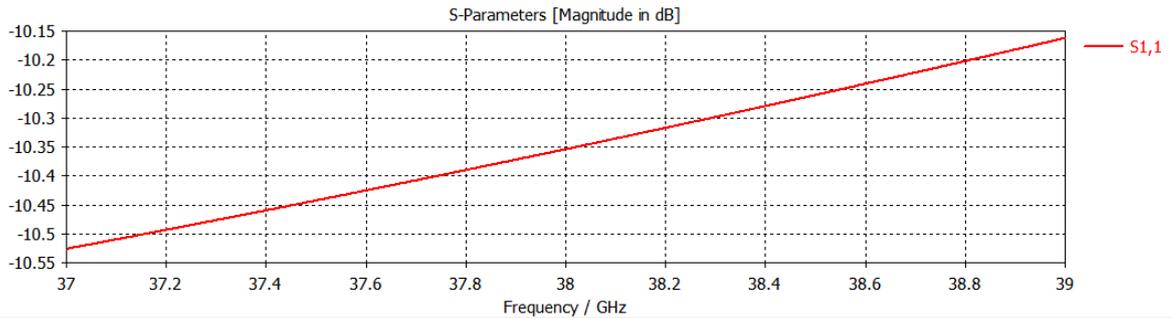


Figura 71-4. Coeficiente de reflexión S11 del elemento radiante unitario optimizado tipo parche labyrinth.

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

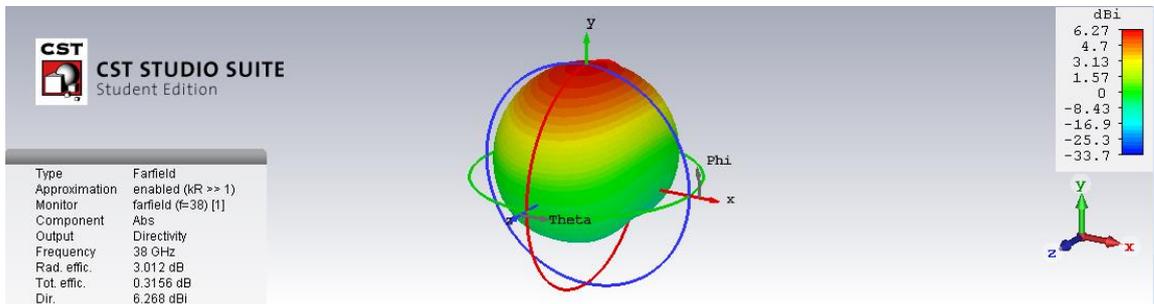


Figura 72-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario en 3D optimizado tipo parche labyrinth.

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

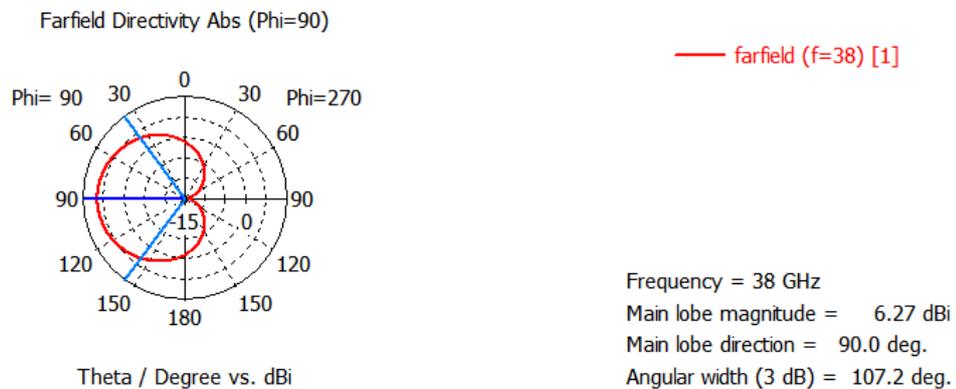


Figura 73-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario en coordenadas polares optimizado tipo parche labyrinth.

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

4.2.5 Resultados de la optimización de la antena receptora tipo parche tree

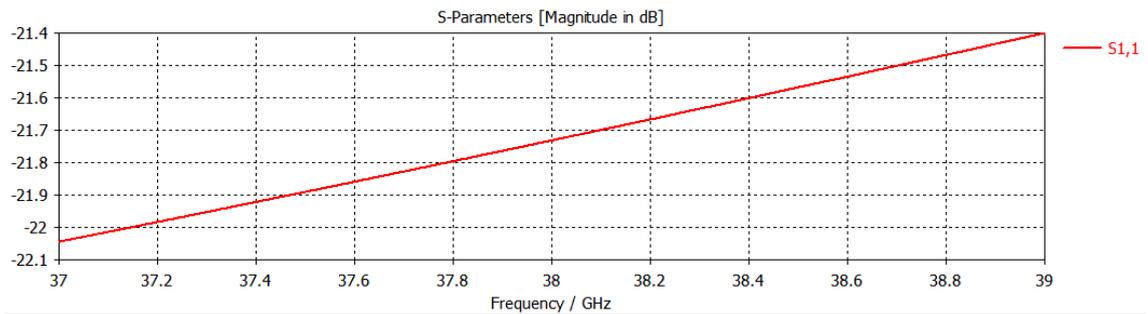


Figura 74-4. Coeficiente de reflexión S11 del elemento radiante unitario optimizado tipo parche tree.

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

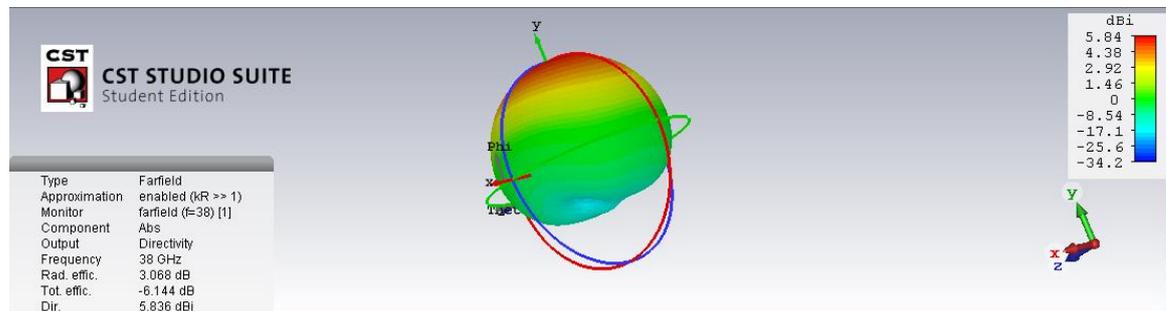


Figura 75-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario en 3D optimizado tipo parche tree.

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)



Figura 76-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario en coordenadas polares optimizado tipo parche tree.

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

4.2.6 Resultados de la optimización de la antena receptora tipo parche empty space tree

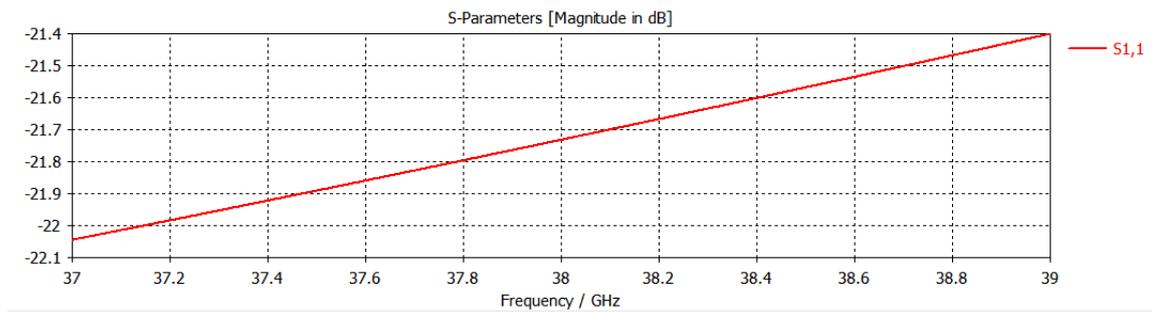


Figura 77-4. Coeficiente de reflexión S11 del elemento radiante unitario optimizado empty space tree.

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

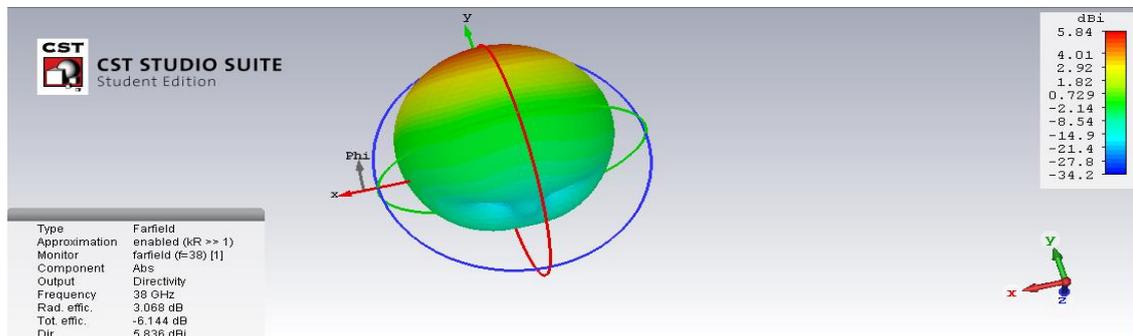


Figura 78-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario en 3D optimizado tipo parche empty space tree.

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

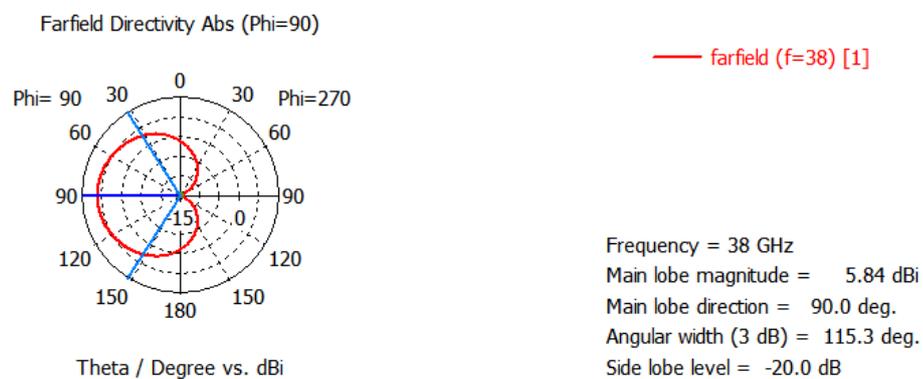


Figura 79-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario en coordenadas polares optimizado tipo parche empty space tree.

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

4.2.7 Resultados de la optimización de la antena receptora tipo parche línea espiral

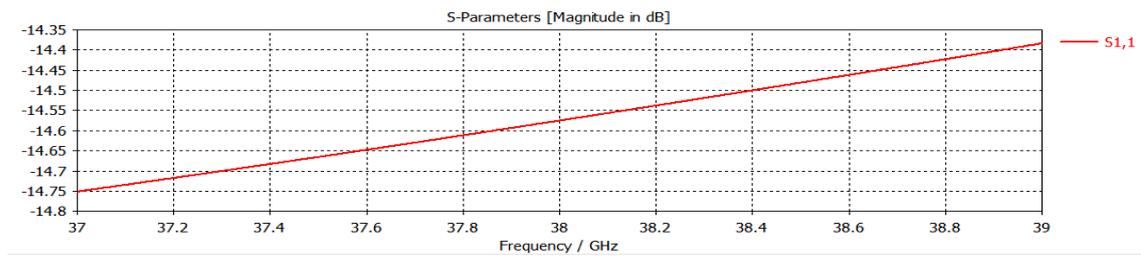


Figura 80-4. Coeficiente de reflexión S11 del elemento radiante unitario optimizado tipo parche línea espiral.

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

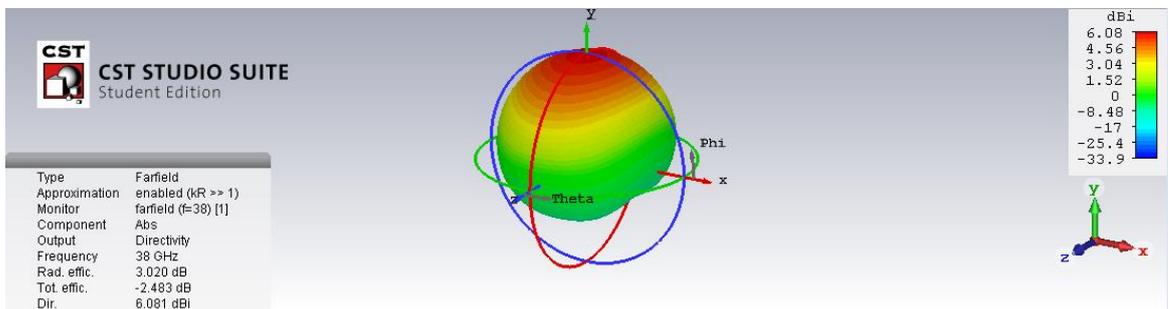


Figura 81-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario en 3D optimizado tipo parche empty línea espiral.

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

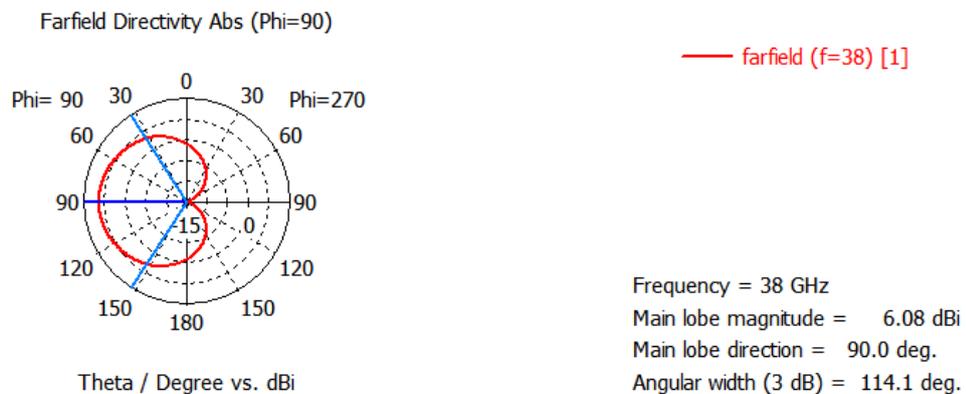


Figura 82-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario en coordenadas polares optimizado línea espiral.

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

4.2.8 Resultados de la optimización de la antena receptora tipo parche espiral

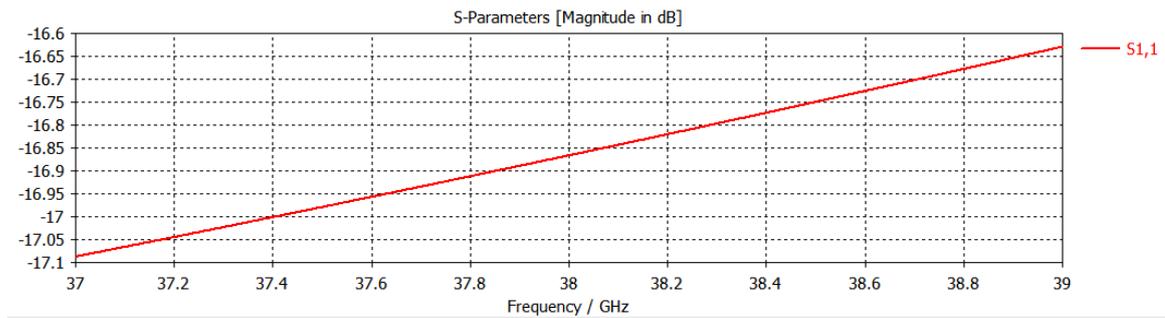


Figura 83-4. Coeficiente de reflexión S11 del elemento radiante unitario optimizado tipo parche espiral.

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

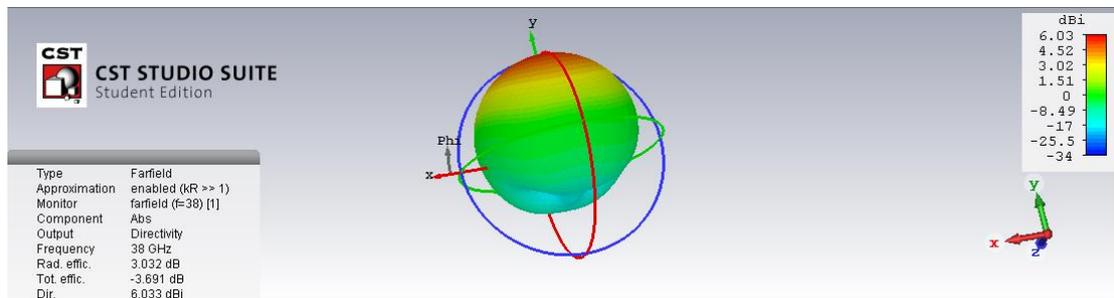


Figura 84-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario en 3D optimizado tipo parche espiral.

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)



Figura 85-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario en coordenadas polares optimizado tipo parche espiral.

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

4.2.9 Resultados de la optimización de la antena receptora tipo parche star

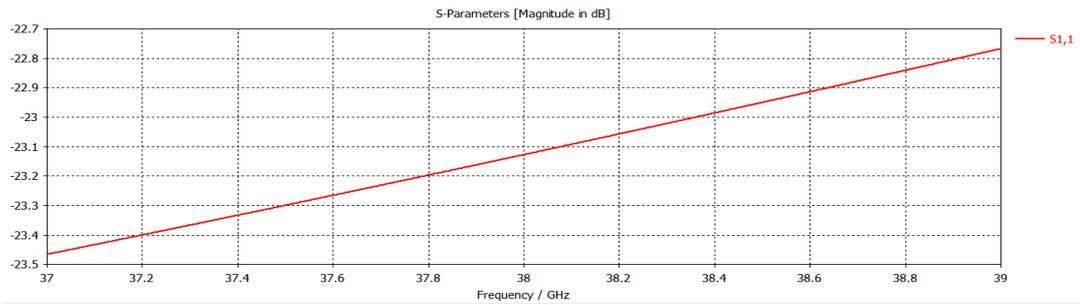


Figura 86-4. Coeficiente de reflexión S11 del elemento radiante unitario optimizado tipo parche star.

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

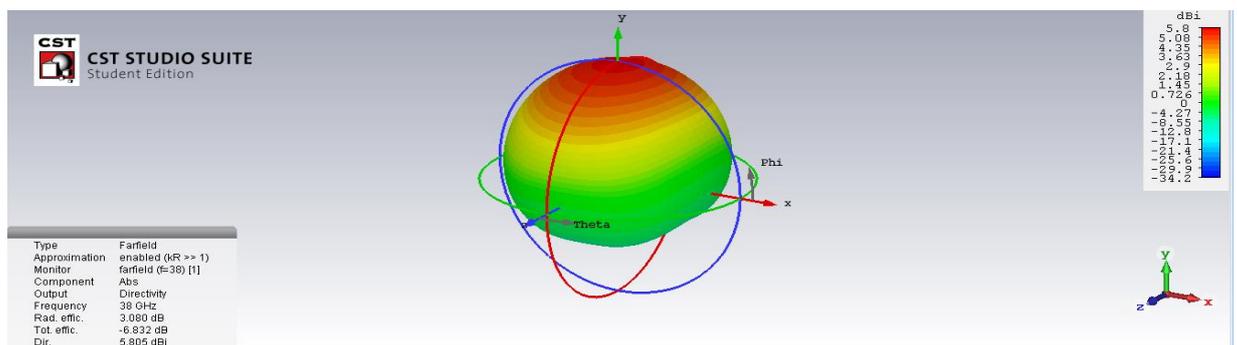


Figura 87-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario en 3D optimizado tipo parche star.

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

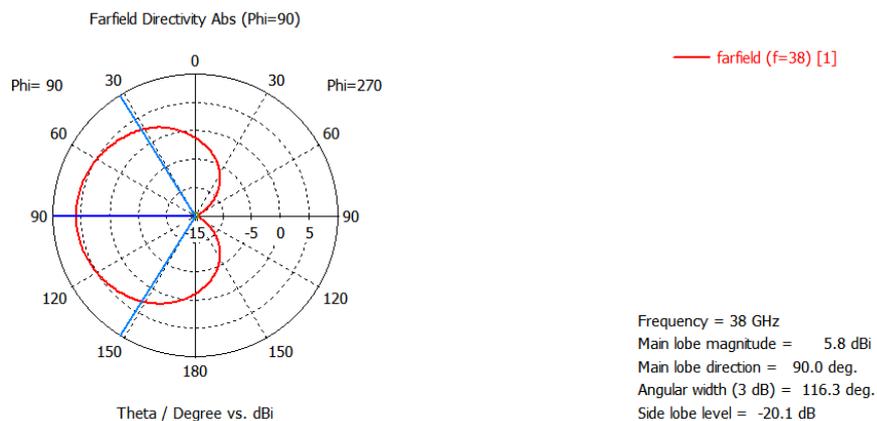


Figura 88-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario en coordenadas polares optimizado tipo parche star.

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

4.2.10 Resultados de la optimización de la antena receptora tipo parche double star

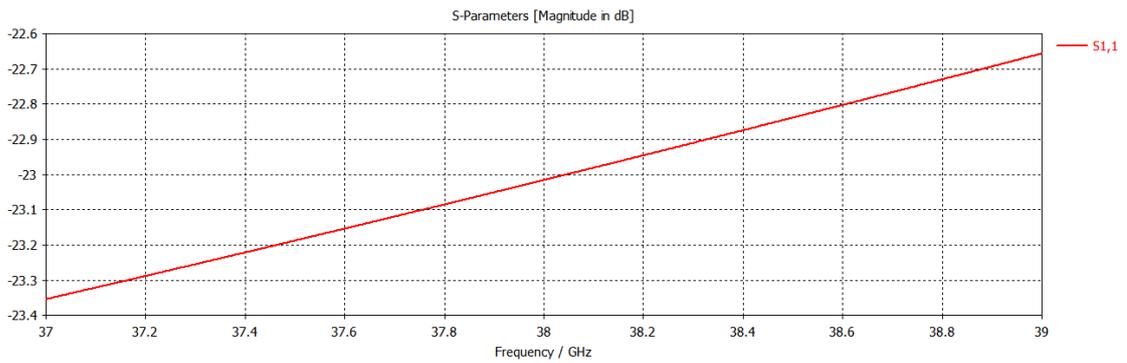


Figura 89-4. Coeficiente de reflexión S11 del elemento radiante unitario optimizado tipo parche double star.

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

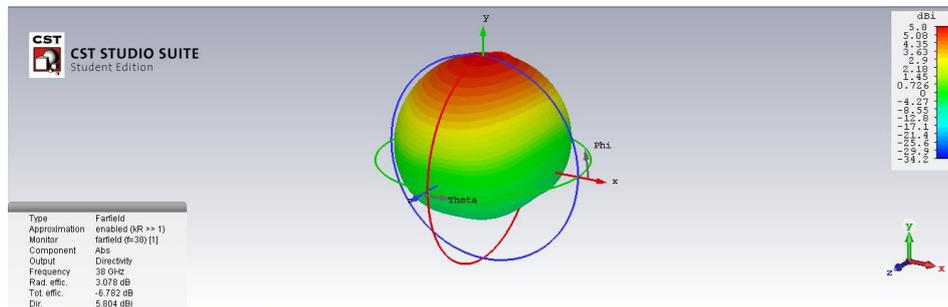


Figura 90-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario en 3D optimizado tipo parche double star.

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

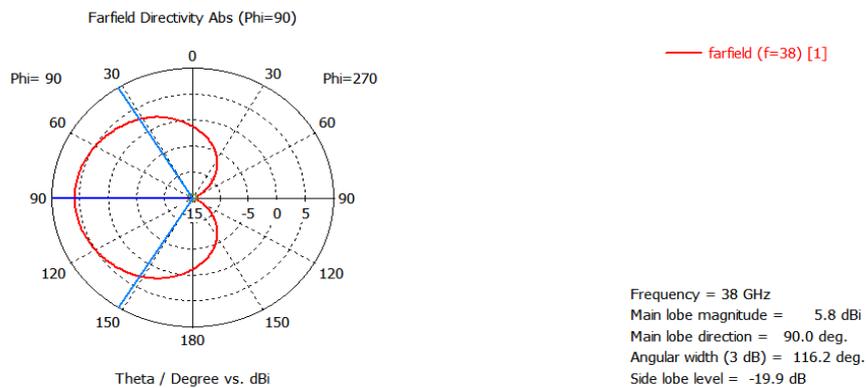


Figura 91-4. Patrón de radiación del elemento radiante unitario en coordenadas polares optimizado tipo parche double star.

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

Tabla 5-4. Parámetros S11 optimizados de las antenas tipo parche microstrip.

Antena	FRECUENCIA			Fr de acople
	37 GHz	38 GHz	39 GHz	
Rectangular	-8 dB	-14 dB	-34 dB	38.87 GHz -60 dB
Circular	-17.64 dB	-17.28 dB	-16.9 dB	
Clover	-18.81 dB	-18.42 dB	-18.01 dB	
Labyrinth	-10.53 dB	-10.35 dB	-10.16 dB	
Tree	-22.05 dB	-21.72 dB	-21.4 dB	
Empty space tree	-22.05 dB	-21.72 dB	-21.4 dB	
Línea espiral	-14.75 dB	-14.58 dB	-14.39 dB	
Espiral	-17.09 dB	-16.86 dB	-16.64 dB	
Star	-23.48 dB	-23.12 dB	-22.78 dB	
Double star	-23.35 dB	-23.01 dB	-22.66 dB	

Realizado por: (Balseca, 2018)

Tabla 6-4. Parámetros de radiación optimizados de las antenas tipo parche microstrip.

Antena	Lóbulo principal	Dirección del lóbulo	Ancho Angular
Rectangular	6.06 dBi	90°	107°
Circular	6.09 dBi	90°	107°
Clover	6.03 dBi	90°	107.3°
Labyrinth	6.27 dBi	90°	107.2
Tree	5.84 dBi	90°	115.3°
Empty space tree	5.84 dBi	90°	115.3°
Línea espiral	6.08 dBi	90°	114.1°
Espiral	6.03 dBi	90°	113.8°
Star	5.8 dBi	90°	116.3°
Double star	5.8 dBi	90°	116.2°

Realizado por: (Balseca, 2018)

Se realizaron varias pruebas optimizando el parche conductor sin conseguir cambios significativos en los diseños de las antenas receptoras tipo parche circular, clover, labyrinth, tree, empty space tree, línea espiral, espiral, star y double star como se puede observar en los resultados obtenidos de la simulación y tablas 5-4 y 6-4, excepto para la antena tipo parche rectangular a la cual se han ajustado los datos del parche rectangular y se ha logrado que la antena resuene en el rango de frecuencias de 37 a 39 GHz consiguiendo un modelo aceptable.

CAPÍTULO V

5 DESARROLLO DE LA PROPUESTA

5.1 Modelado de antenas tipo parche con tecnología microstrip para 5G

El objetivo principal de la investigación es analizar y evaluar una antena receptora de alta frecuencia para su utilización en redes integradas de Quinta Generación (5G), lo que significa que deberá trabajar en las frecuencias para 5G.

Para el diseño de la antena receptora se revisó las características de las antenas que constan en el marco teórico del capítulo II y las frecuencias a las que trabajan. Los últimos estudios de las operadoras de telecomunicaciones están basados en las altas frecuencias del espectro radioeléctrico que se centran en el rango de 30 GHz a 300 GHz para investigaciones de telecomunicaciones. Las antenas tipo parche o microstrip es una de las más utilizadas para altas frecuencias debido a sus características y aplicaciones por lo que es la que se estudia en este proyecto. Esta antena está constituida a partir de una línea de transmisión, conformada por dos láminas conductoras entre las que se encuentra un material dieléctrico, por lo que para la construcción de esta antena, una de las láminas conductoras será como el plano de tierra y la otra será el parche rectangular radiador como se observa en la figura 1-5, presenta características que pueden trabajar a altas frecuencias, facilidad de diseño, alta directividad y satisfactorias características de radiación.

Con el simulador de alta frecuencia se puede realizar distintas formas y variar las dimensiones de los diseños para adecuarlos a los esquemas propuestos en este documento, por lo que se presentan en esta investigación diez modelados de antenas tipo parche con tecnología microstrip, que deben cumplir con las características de la tabla 1-5.

Tabla 1-5. Características de la antena

PARÁMETRO	VALOR
Rango de frecuencias	37 a 39 GHz
Patrón de radiación	Direccional
Tamaño	Pequeña, planar y compacta

Realizado por: (Balseca, 2018)

Las investigaciones de Telecomunicaciones se basan en las frecuencias de 28 GHz, 38 GHz y 73 GHz, por estas razones, se realizó el diseño de una antena receptora trabajando en el rango de frecuencias de 37 a 39 GHz en el rango de ondas milimétricas.

La relación para el tamaño de la antena se debe a que hay una relación con la frecuencia y depende de la longitud de onda, que determina el tamaño de la antena, a mayor frecuencia tenemos longitud de onda menor y por lo tanto una antena más pequeña por lo que se aplica la tecnología tipo parche o microstrip que son antenas para altas frecuencias basada en el modelo de línea de transmisión, por su alta directividad, pequeño tamaño, además de que las antenas pueden variar dependiendo de las aplicaciones o el empleo que se les va a dar, tabla 1-5. Las ventajas de las antenas de microcinta son numerosas, tal como bajo perfil y peso, volumen reducido, bajo costo, facilidad de fabricación utilizando la tecnología de circuitos impresos, dando lugar al diseño de varias configuraciones para diferentes aplicaciones. Las antenas de microcinta pueden ser de diferentes geometrías en su presentación consta de dos películas conductoras separados por un sustrato dieléctrico, en donde una es la lámina conductora y la otra es tierra.

5.1.1 *Diseño de las antenas tipo parche con tecnología microstrip de 37 a 39 GHz*

Como consecuencia de los trabajos analizados en esta investigación, se resaltan varios puntos: la variedad en herramientas de diseño y simulación de antenas como CST STUDIO SUITE, ANSOFT ANSYS HFSS y FDTD.

Tabla 2-5. Características de los simuladores para antenas de alta frecuencia

SOFTWARES	SIMULADOR DE FRECUENCIAS	MÉTODO	SIMULACIÓN	DETALLES EN LA GEOMETRÍA DE LA ESTRUCTURA SIMULADA
CST STUDIO SUITE	Altas	Dominio de la frecuencia y discretización numérica	Electromagnética en 3D	Finos
ANSOFT ANSYS HFSS	Altas	Elementos finitos	Electromagnética en 3D	No muy finos
FDTD	Medias y Altas	Dominio del tiempo	Electrodinámica	Solo formas regulares

Realizado por: (Balseca, 2018)

CST es la mejor opción por los diferentes factores condicionantes presentes al momento de realizar simulaciones electromagnéticas en 3D, tabla 2-5, principalmente porque trabaja con el método de la discretización numérica utilizada para la simulación de campos que sirve para un

análisis y síntesis minucioso de los diseños, los detalle en la geometría de la estructura simulada que puede tener rasgos finos, regulares e irregulares es decir parámetros específicos de acuerdo al diseño, siendo la herramienta de simulación más destacada. Por lo que para esta investigación se ha empleado el módulo CST STUDIO SUITE 2018 (Student Edition), que se lo utiliza para el análisis electromagnético y el diseño de la gama de altas frecuencias, adecuado para este proyecto. Facilita en el proceso de creación de la estructura mediante un modelo asistido por computadora, es un software adecuado para un eficiente análisis de antenas de alta frecuencia, muy versátil que se adapta a las necesidades de la aplicación. Esta herramienta ayuda a diseñar y simular en 3D elementos de alta frecuencia, se puede visualizar el comportamiento electromagnético de los diseños gracias a las aplicaciones y flexibilidad del software.

Para diseñar estas antenas, se extraen los parámetros necesarios para la simulación además que deben cumplir con las características ya señaladas en la tabla 1-5. Primero procedemos al desarrollo de los modelos en un rango de frecuencia de 37 a 39 GHz que son frecuencias que se puede utilizar en redes integradas de quinta generación, la antena debe receptar en el rango de frecuencias mencionado.

El tipo de material que se utilizará para la simulación, las características del dieléctrico de estas antenas deben tener pocas pérdidas, alta eficiencia para las altas frecuencias de ondas milimétricas, debe cumplir con los requisitos de la tabla 1-5. La selección del material es muy importante puesto que de ello dependerá el tamaño del parche, el ancho de banda y las pérdidas de inserción, por lo que a frecuencias de 30 GHz se debe escoger un material de bajas pérdidas.

Los materiales utilizados para la simulación de las antenas receptoras son:

- Cobre de $\sigma=5.96 \times 10^7$ S/m de conductividad.
- Sustrato de Taconic RF-45 de $\epsilon=4.5$ de permitividad eléctrica.

Las antenas microstrip utilizan parches que son láminas conductoras en este caso de cobre, sustentado sobre una lámina de sustrato dieléctrico Taconic RF-45.

Tabla 3-5. Características de los materiales.

	Materiales	Características	Valor
Sustrato	Taconic RF-45	Permitividad relativa	4.5
		Grosor	0.3945 mm
Conductor eléctrico	Cobre	Conductividad	$\sigma=5.96 \times 10^7$ S/m
		Grosor	0.0789 mm

Realizado por: (Balseca, 2018)

Por el rango de frecuencia que se va a trabajar para la operación de la antena receptora de alta frecuencia, se requiere de un sustrato con permitividad relativa entre los 2 y 5, ya que de acuerdo a las antenas realizadas por otros autores, manejan un rango de 4.5 entre los más comunes equivalente al sustrato FR. El sustrato que se eligió fue Taconic RF-45 de $\epsilon=4.5$ de permitividad eléctrica que se encuentra dentro del rango de permitividad recomendado y según las investigaciones ya realizadas es uno de los sustratos que más se utiliza para la realización de antenas de alta frecuencia. En las antenas de alta frecuencia para que no exista considerables pérdidas por disipación, el material utilizado debe ser un buen conductor eléctrico por lo que de acuerdo a los datos bibliográficos se utiliza el cobre como conductor eléctrico, tabla 3-5.

5.2 Diseño de antenas receptoras de alta frecuencia en CST STUDIO SUITE

Para iniciar el diseño de la antena microstrip que opere en la frecuencia de 37 GHz a 38 GHz se realizaron diez tipos de antenas tipo parche y su línea microstrip que trabajen en ese rango de frecuencias, a partir de los primeros diseños y haciendo uso del software CST STUDIO SUITE que permite trabajar y realizar los modelos propios de antenas, se definen los parámetros de los elementos, además de seleccionar los materiales de las librerías propias del sistema, anexos C y D. Se realiza el dimensionamiento del diseño de las antenas utilizando los parámetros descritos en las tablas 2-5, 3-5, 4-5, 5-5, 6-5, 7-5, 8-5, 9-5, 10-5 y 11-5, para los diseños de las diez antenas tipo parche de alta frecuencia, además que se trabaja con el modelo de línea de transmisión con el mismo conductor de cobre y el sustrato dieléctrico Taconic RF-45, al igual que las mismas dimensiones del ancho W_s y largo L_s del sustrato con un grosor de 0.3945 mm y su conductor dieléctrico con un grosor de 0.0789 mm, como se visualiza en cada una de las figuras 1-5, 6-5, 11-5, 16-5, 21-5, 26-5, 31-5, 36-5, 41-5 y 46-5.

Al tener la estructura con sus parámetros y dimensiones se definen las unidades en las que se va a trabajar en este caso mm para las dimensiones, GHz para la frecuencia, como se visualiza en los anexos A y B.

5.2.1 Antena Tipo Parche Rectangular

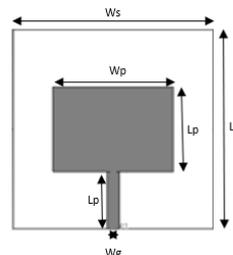


Figura 1-5. Dimensiones de la antena tipo parche rectangular

Realizado por: (Balseca, 2018)

Calculando el ancho del parche:

$$Wp = \frac{c}{2f_r \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}}}$$

Dónde:

c es la velocidad de la luz $3 \cdot 10^8$ m/s

f_r es la frecuencia portadora de 38 GHz

ϵ_r es la constante dieléctrica de 4.5 de permitividad

Se obtiene:

$$Wp = 2,38 \text{ mm}$$

Calculando el largo del parche:

$$Lp = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_r}}$$

Dónde:

c es la velocidad de la luz $3 \cdot 10^8$ m/s

f_r es la frecuencia portadora de 38 GHz

ϵ_r es la constante dieléctrica de 4.5 de permitividad

Se obtiene:

$$Lp = 1,86 \text{ mm}$$

Calculando el largo de la línea de transmisión:

$$Lg = \frac{6h}{2}$$

Dónde:

h es el grosor del sustrato $0,3945 \cdot 10^{-3}$ mm

Se obtiene:

$$Lg = 1,1835 \text{ mm}$$

Calculando el largo de la línea de transmisión:

$$Wg = \frac{Wp}{10}$$

Dónde:

Wp es el ancho del parche 2,38 mm

Se obtiene:

$$Wg = 0.2380 \text{ mm}$$

Calculando el largo y ancho del sustrato:

$$L_s = 6h + L_p$$

Dónde:

h es el grosor del sustrato $0,3945 \cdot 10^{-3}$ mm

Lp es el largo del parche 1,86 mm

Se obtiene:

$$L_s = W_s = 4,2270 \text{ mm}$$

Tabla 4-5. Medidas de la antena tipo parche rectangular

DIMENSIONES	ELEMENTO	MEDIDA (mm)
Largo (Ls)	Plano de masa Plano de sustrato	4.2270
Ancho (Ws)	Plano de masa Plano de sustrato	4.2270
Grosor (hs)	Sustrato	0.3945
Largo (Lp)	Parche rectangular	1.8600
Ancho (Wp)	Parche rectangular	2.3800
Largo (Lg)	Línea de transmisión	1.1835
Ancho (Wg)	Línea de transmisión	0.2380
Grosor (h)	Plano de masa Parche rectangular Línea de recepción	0.0789

Realizado por: (Balseca, 2018)

En las figuras 2-5 y 3-5 se observa la antena receptora tipo parche rectangular con las dimensiones especificadas de la tabla 4-5. De acuerdo a estos datos y a las ecuaciones desarrolladas se ha considerado para el ancho de la línea de recepción que debe ser 10 veces menor que el ancho del parche.

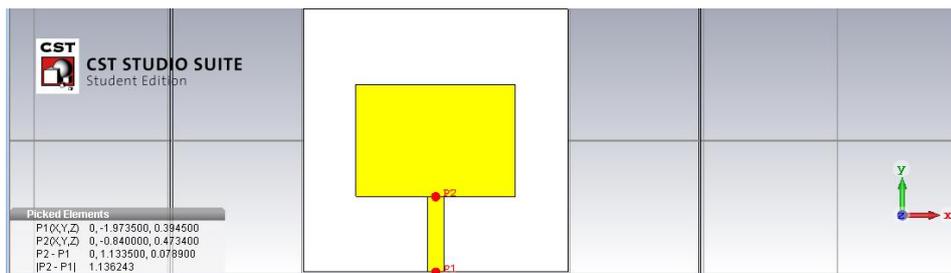


Figura 2-5. Antena tipo parche rectangular vista frontal

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

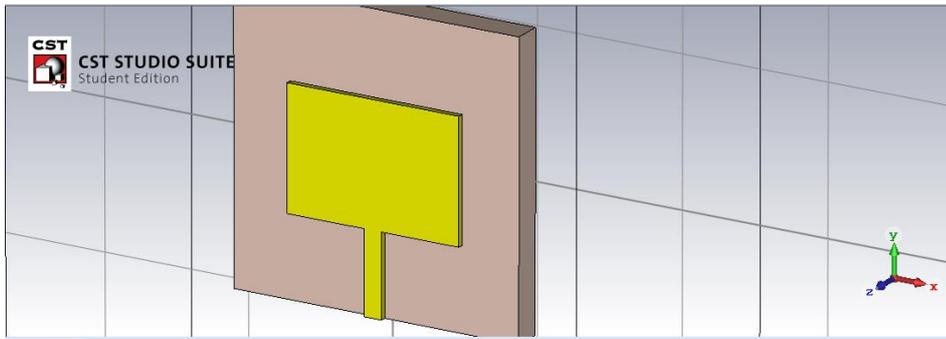


Figura 3-5. Parche rectangular y línea de transmisión unificada

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

En la figura 4-5 se incluye un puerto discreto, que sirve para alimentar la antena, por lo que se selecciona la cara del paralelepípedo de la línea de transmisión y se coloca el puerto cuyas dimensiones las crea el software automáticamente dependiendo de las medidas, dimensiones y ejes de la estructura. Entonces el puerto fijado estimula la antena para la simulación, anexo E.

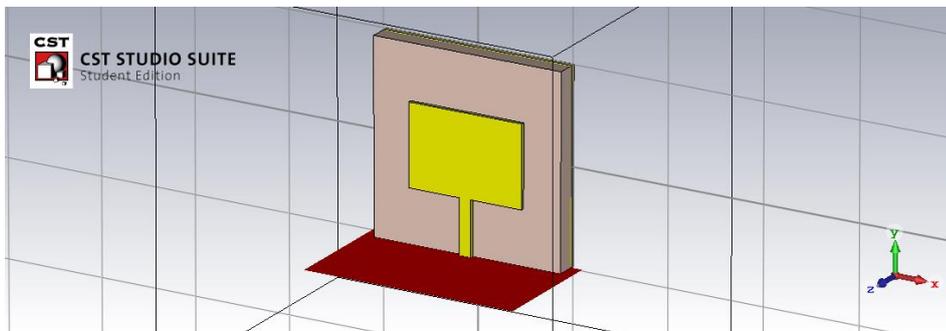


Figura 4-5. Antena tipo parche rectangular con el puerto discreto

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

Las condiciones del contorno seleccionado es el de campo magnético perfecto que opera como el espacio libre donde las ondas pueden pasar el límite con reflexiones mínimas y abiertas con espacio añadido que deja espacios extras para cálculos de campo lejano, figura 5-5.

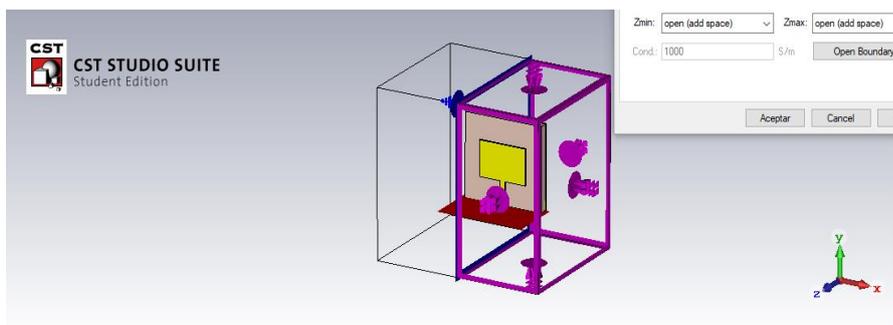


Figura 5-5. Condiciones de contorno conductor magnético perfecto de la antena tipo parche rectangular

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

5.2.2 Antena Tipo Parche Circular

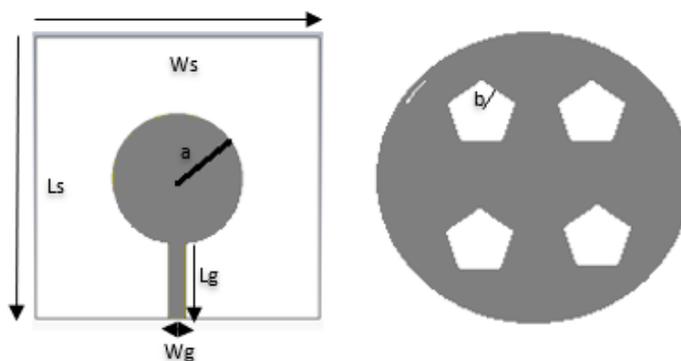


Figura 6-5. Dimensiones de la antena tipo parche circular

Realizado por: (Balseca, 2018)

Tabla 5-5. Medidas de la antena tipo parche circular

DIMENSIONES	ELEMENTO	MEDIDA (mm)
Largo (Ls)	Plano de masa Plano de sustrato	4.2270
Ancho (Ws)	Plano de masa Plano de sustrato	4.2270
Grosor (hs)	Sustrato	0.3945
Radio (a)	Parche circular	3
Radio figura (b)	Parche circular	0.2
Largo (Lg)	Línea de transmisión	1.1335

Ancho (Wg)	Línea de transmisión	0.2380
Grosor (h)	Plano de masa Parche Línea de recepción	0.0789

Realizado por: (Balseca, 2018)

En las figuras 7-5 y 8-5 se observa la antena receptora tipo parche circular con las dimensiones especificadas de la tabla 5-5, el puerto discreto que alimenta a la antena en la figura 9-5 y las condiciones del contorno seleccionado campo magnético en la figura 10-5.

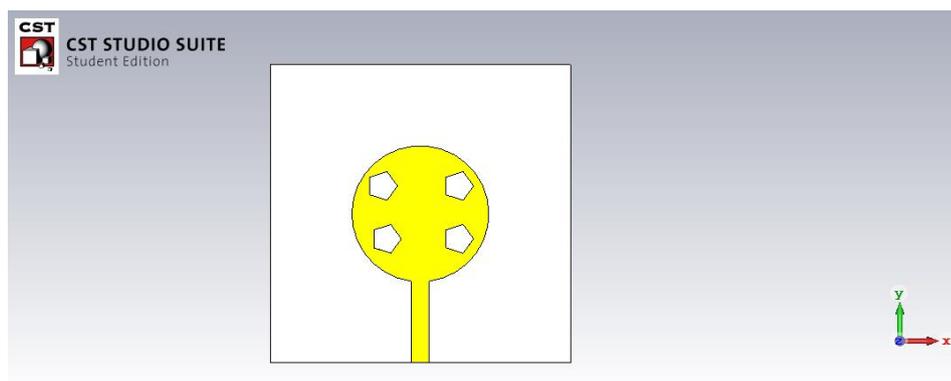


Figura 7-5. Antena tipo parche circular vista frontal

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

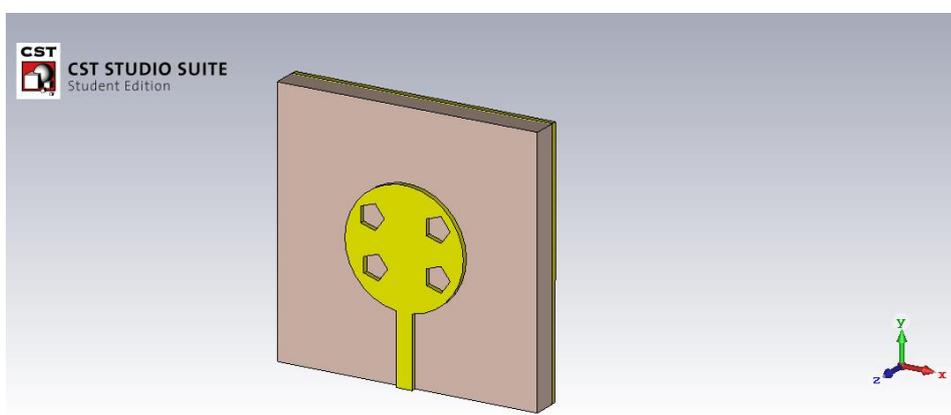


Figura 8-5. Parche circular y línea de transmisión unificada

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

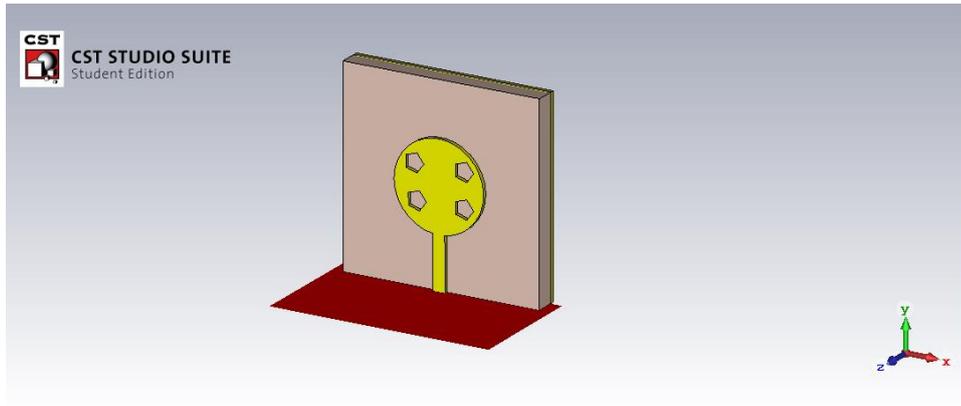


Figura 9-5. Antena tipo parche circular con el puerto discreto

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

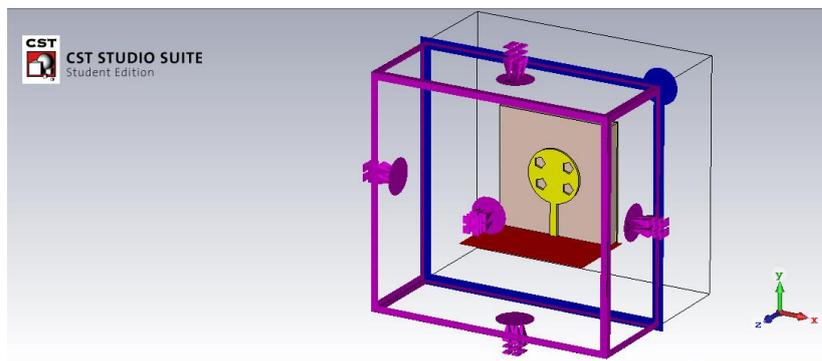


Figura 10-5. Condiciones de contorno conductor magnético perfecto de la antena tipo parche circular

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

5.2.3 Antena Tipo Parche Clover

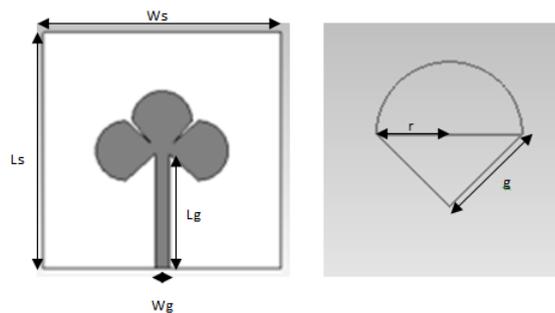


Figura 11 -5. Dimensiones de la antena tipo parche clover

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

Tabla 6-5. Medidas de la antena tipo parche clover

DIMENSIONES	ELEMENTO	MEDIDA (mm)
Largo (Ls)	Plano de masa Plano de sustrato	4.2270
Ancho (Ws)	Plano de masa Plano de sustrato	4.2270
Grosor (hs)	Sustrato	0.3945
Radio (r)	Parche clover	0.5
Lado (g)	Parche clover	0.5
Largo del Factor exponencial (TL)	Parche clover	3
Largo (Lg)	Línea de transmisión	1.9735
Ancho (Wg)	Línea de transmisión	0.2380
Grosor (h)	Plano de masa Parche Línea de recepción	0.0789

Realizado por: (Balseca, 2018)

En las figuras 12-5 y 13-5 se observa la antena receptora tipo parche clover con las dimensiones especificadas de la tabla 6-5, el puerto discreto que alimenta a la antena en la figura 14-5 y las condiciones del contorno seleccionado campo magnético en la figura 15-5.

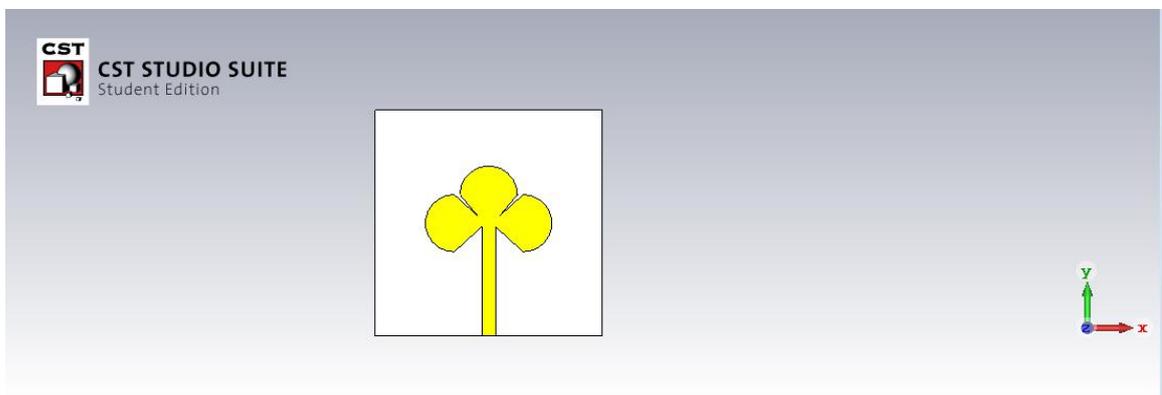


Figura 12 -5. Antena tipo parche clover vista frontal

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

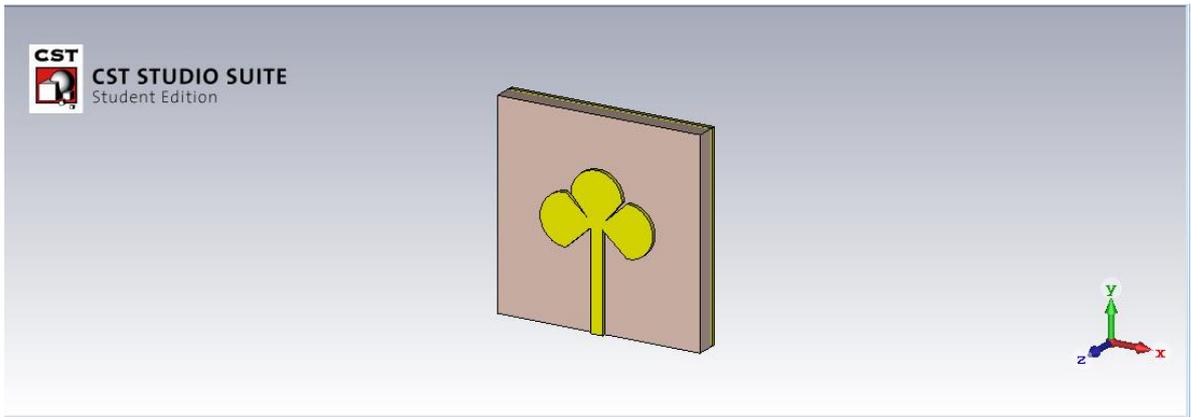


Figura 13 -5. Parche clover y línea de transmisión unificada

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

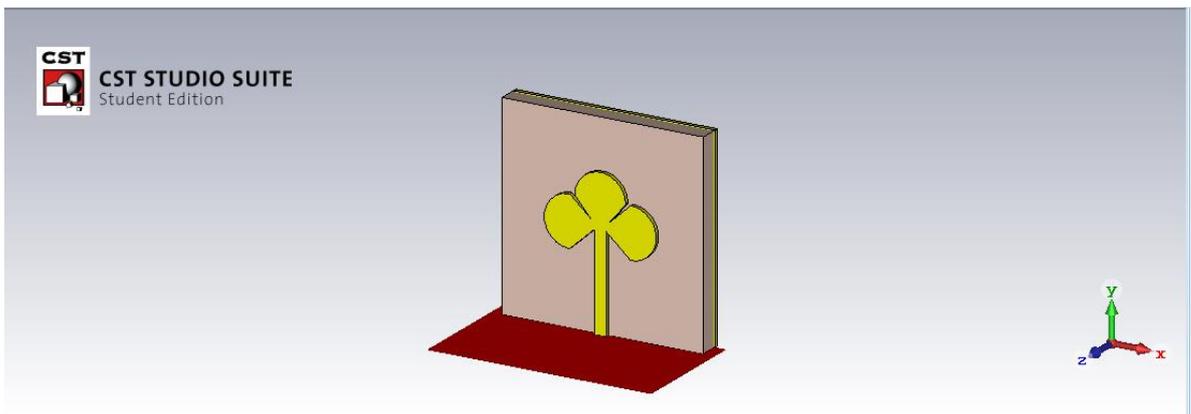


Figura 14 -5. Antena tipo parche clover con el puerto discreto

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

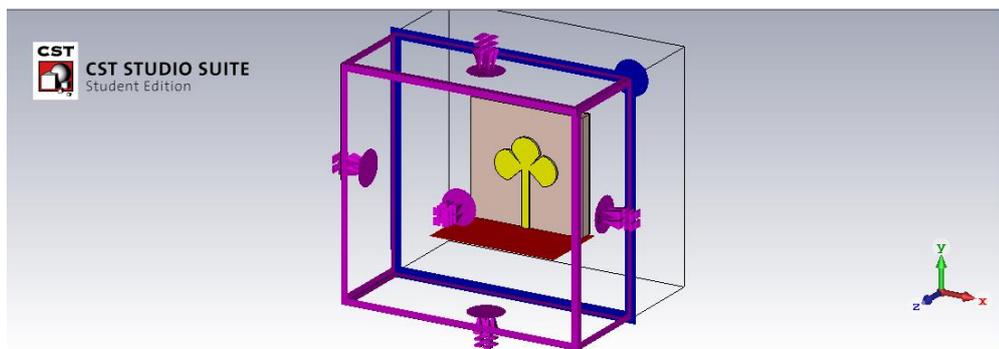


Figura 15 -5. Condiciones de contorno conductor magnético perfecto de la antena tipo parche clover

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

5.2.4 Antena Tipo Parche Labyrinth

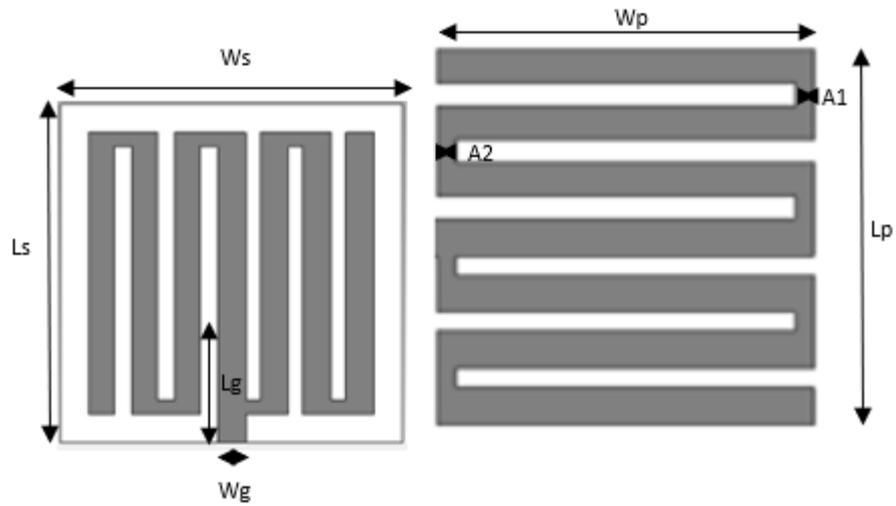


Figura 16-5. Dimensiones de la antena tipo parche labyrinth

Realizado por: (Balseca, 2018)

Tabla 7-5. Medidas de la antena tipo parche labyrinth

DIMENSIONES	ELEMENTO	MEDIDA (mm)
Largo (Ls)	Plano de masa Plano de sustrato	4.2270
Ancho (Ws)	Plano de masa Plano de sustrato	4.2270
Grosor (hs)	Sustrato	0.3945
Ancho del parche (Wp)	Parche labyrinth	3
Largo del parche (Lp)	Parche labyrinth	3
Ancho del elemento (A1)	Parche labyrinth	0.075
Ancho del elemento (A2)	Parche labyrinth	0.125
Largo (Lg)	Línea de transmisión	2.5
Ancho (Wg)	Línea de transmisión	2.5
Grosor (h)	Plano de masa Parche Línea de recepción	0.0789

Realizado por: (Balseca, 2018)

En las figuras 17-5 y 18-5 se observa la antena receptora tipo parche labyrinth con las dimensiones especificadas de la tabla 7-5, el puerto discreto que alimenta a la antena en la figura 19-5 y las condiciones del contorno seleccionado campo magnético en la figura 20-5.

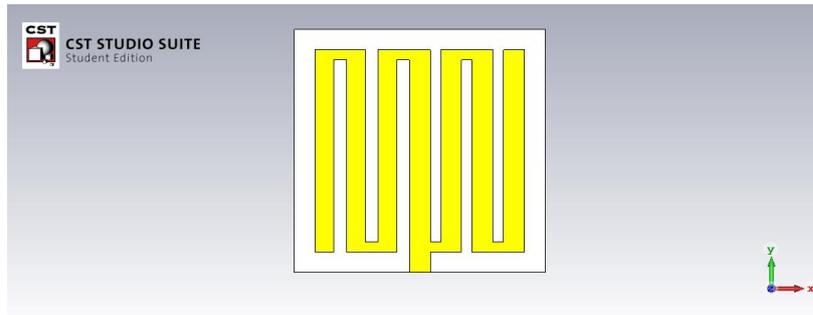


Figura 17-5. Antena tipo parche labyrinth vista frontal

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

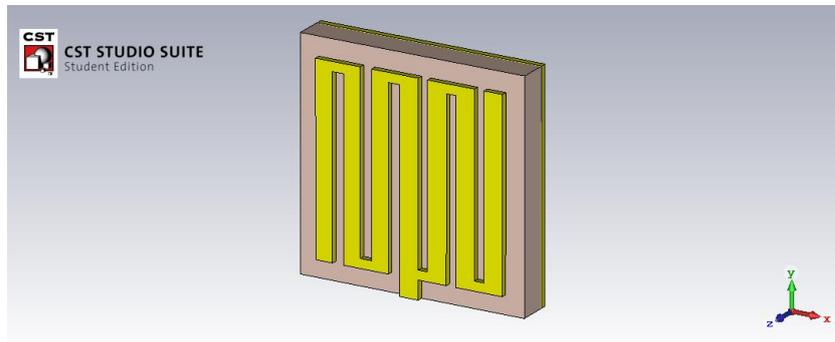


Figura 18-5. Parche labyrinth y línea de transmisión unificada

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

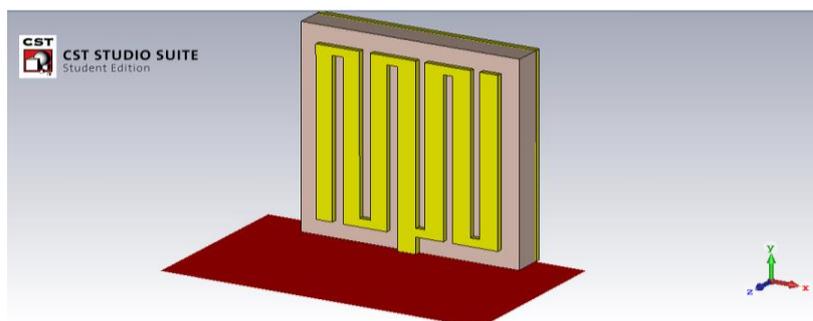


Figura 19-5. Antena tipo parche labyrinth con el puerto discreto

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

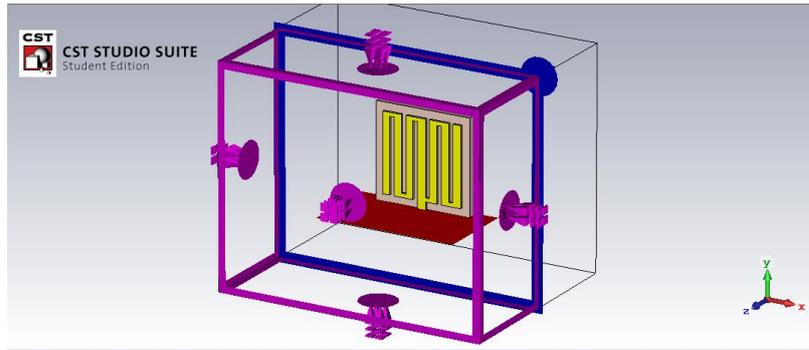


Figura 20-5. Condiciones de contorno conductor magnético perfecto de la antena tipo parche labyrinth

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

5.2.5 Antena Tipo Parche Tree

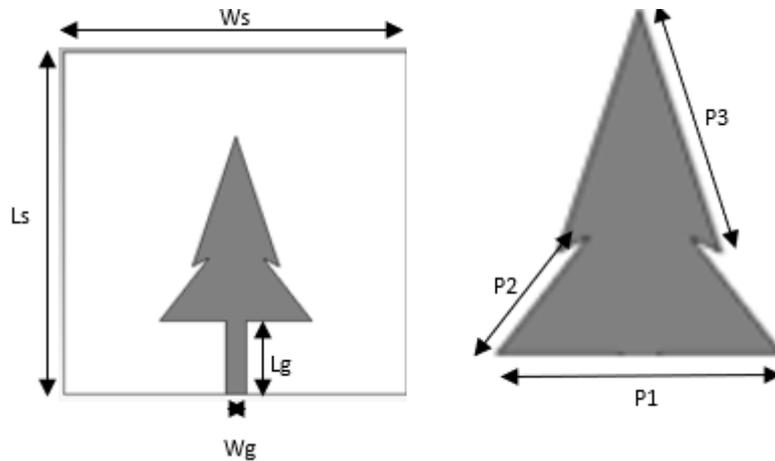


Figura 21-5. Dimensiones de la antena tipo parche tree

Realizado por: (Balseca, 2018)

Tabla 8-5. Medidas de la antena tipo parche tree

DIMENSIONES	ELEMENTO	MEDIDA (mm)
Largo (Ls)	Plano de masa Plano de sustrato	4.2270
Ancho (Ws)	Plano de masa Plano de sustrato	4.2270
Grosor (hs)	Sustrato	0.3945
Ancho (P1)	Parche tree	3
Lado (P2)	Parche tree	1
Lado (P3)	Parche tree	1.5

Largo (Lg)	Línea de transmisión	1.1335
Ancho (Wg)	Línea de transmisión	0.2380
Grosor (h)	Plano de masa Parche Línea de recepción	0.0789

Realizado por: (Balseca, 2018)

En las figuras 22-5 y 23-5 se observa la antena receptora tipo parche tree con las dimensiones especificadas de la tabla 8-5, el puerto discreto que alimenta a la antena en la figura 24-5 y las condiciones del contorno seleccionado campo magnético en la figura 25-5.

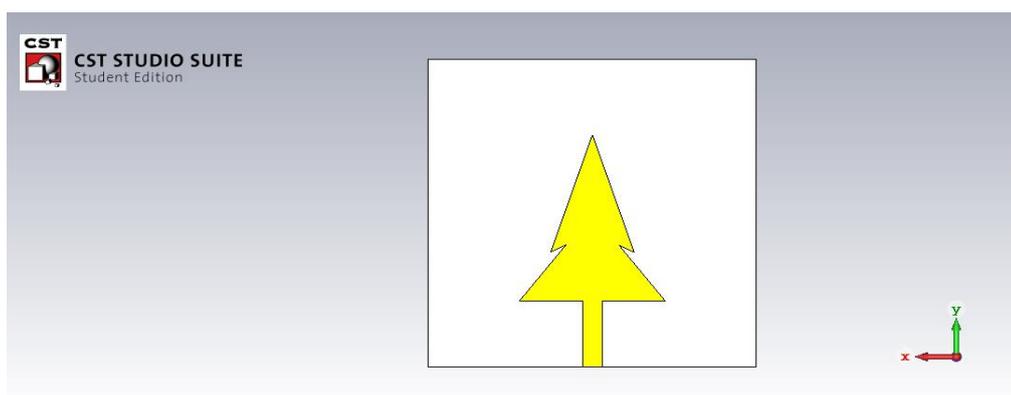


Figura 22-5. Antena tipo parche tree vista frontal

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

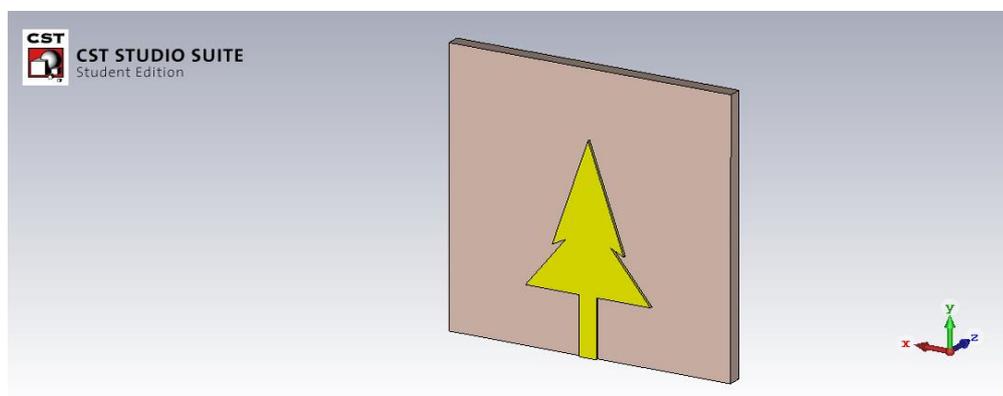


Figura 23-5. Parche tree y línea de transmisión unificada

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

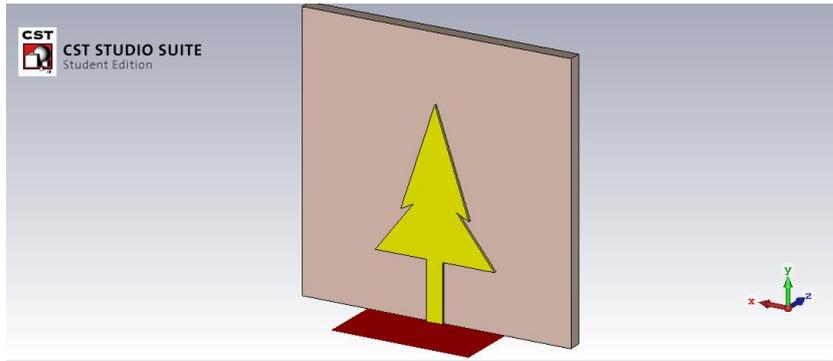


Figura 24-5. Antena tipo parche tree con el puerto discreto

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

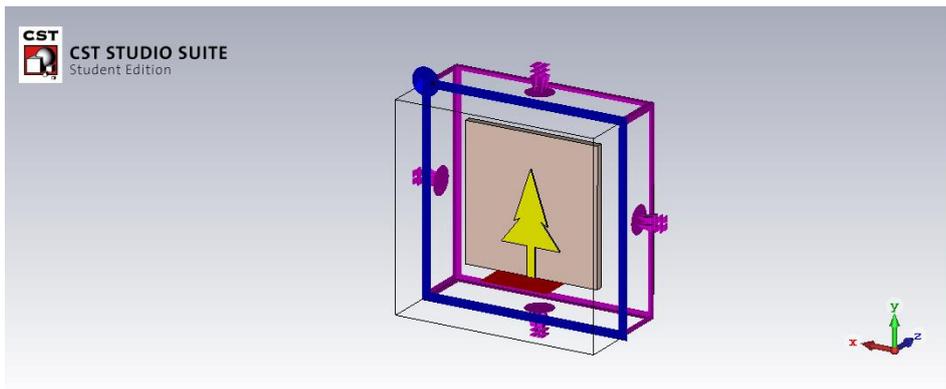


Figura 25-5. Condiciones de contorno conductor magnético perfecto de la antena tipo parche tree

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

5.2.6 Antena Tipo Parche Empty Space Tree

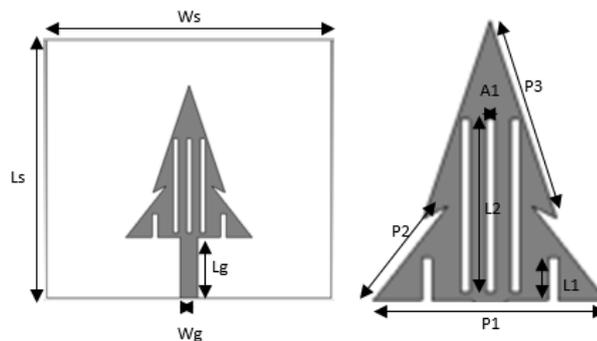


Figura 26 -5. Dimensiones de la antena tipo parche empty space tree

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

Tabla 9-5. Medidas de la antena tipo parche empty space tree

DIMENSIONES	ELEMENTO	MEDIDA (mm)
Largo (Ls)	Plano de masa Plano de sustrato	4.2270
Ancho (Ws)	Plano de masa Plano de sustrato	4.2270
Grosor (hs)	Sustrato	0.3945
Ancho (P1)	Parche empty space tree	3
Lado (P2)	Parche empty space tree	1
Lado (P3)	Parche empty space tree	1.5
Largo de la línea de espacio (L1)	Parche empty space tree	0.5
Largo de la línea de espacio (L2)	Parche empty space tree	2
Ancho de la línea de espacio (A1)	Parche empty space tree	0.055
Largo (Lg)	Línea de transmisión	1.1335
Ancho (Wg)	Línea de transmisión	0.2380
Grosor (h)	Plano de masa Parche Línea de recepción	0.0789

Realizado por: (Balseca, 2018)

En las figuras 27-5 y 28-5 se observa la antena receptora tipo parche empty space tree con las dimensiones especificadas de la tabla 9-5, el puerto discreto que alimenta a la antena en la figura 29-5 y las condiciones del contorno seleccionado campo magnético en la figura 30-5.

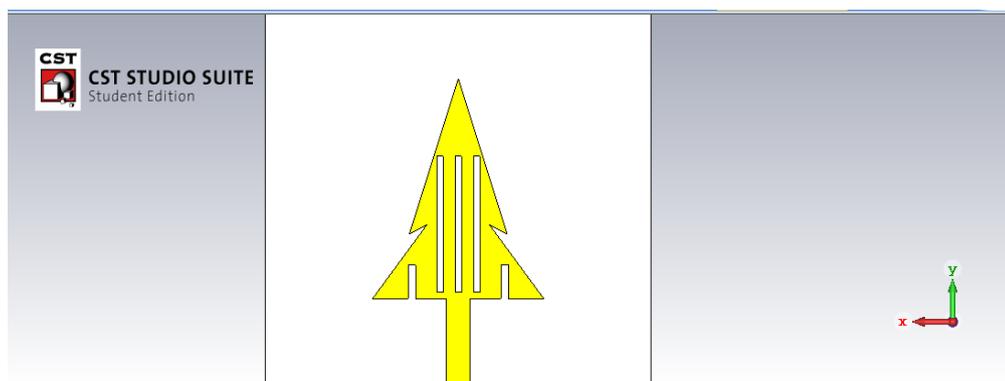


Figura 27 -5. Antena tipo parche empty space tree vista frontal

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

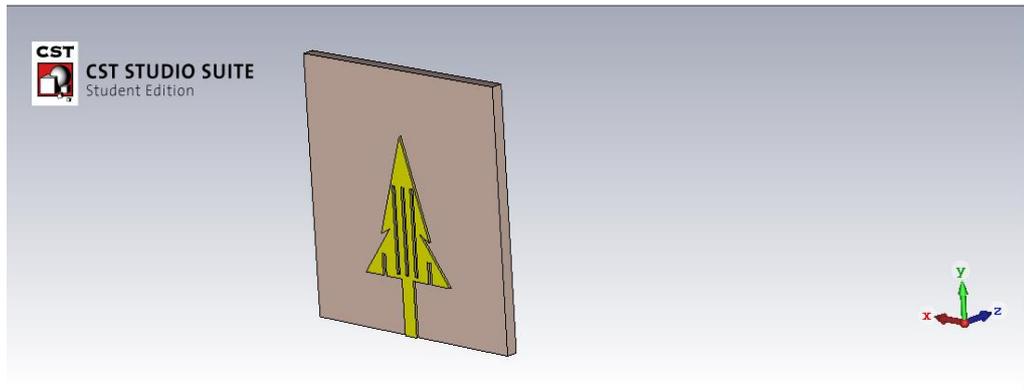


Figura 28 -5. Parche empty space tree y línea de transmisión unificada

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

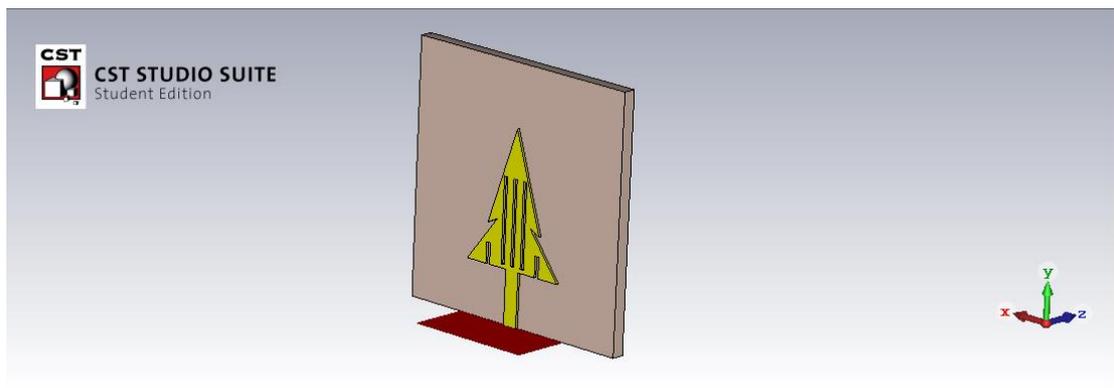


Figura 29 -5. Antena tipo parche empty space tree con el puerto discreto

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

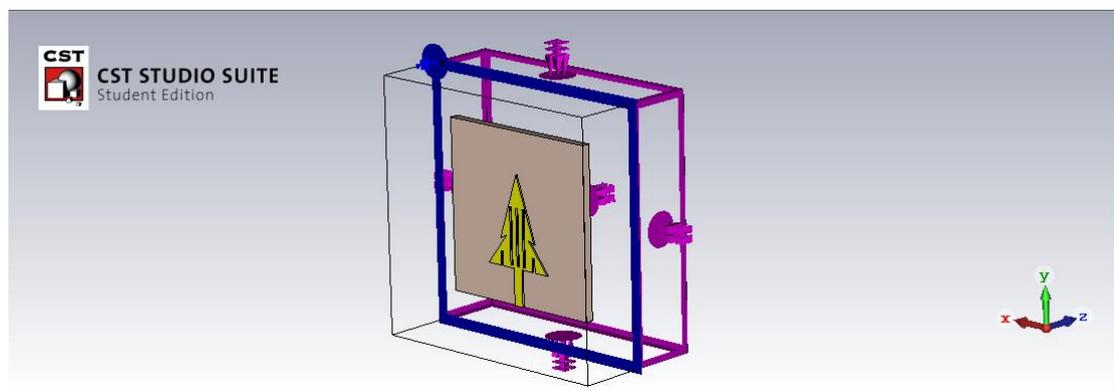


Figura 30 -5. Condiciones de contorno conductor magnético perfecto de la antena tipo parche empty space tree

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

5.2.7 Antena Tipo Parche Línea Espiral

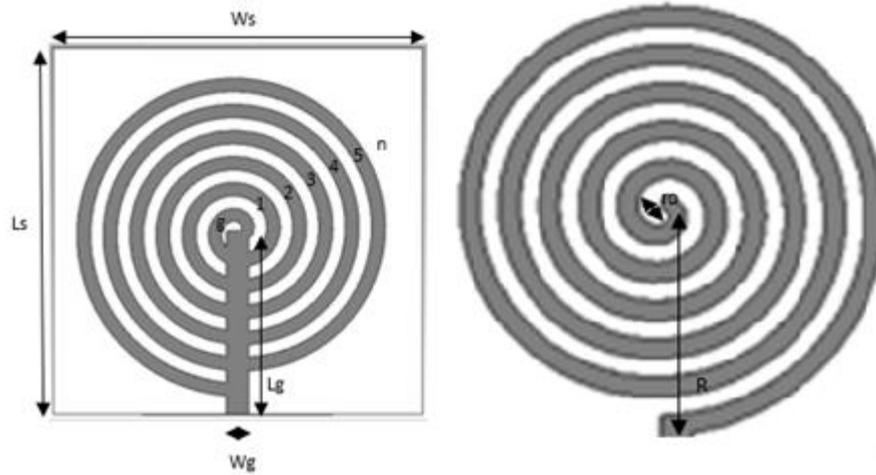


Figura 31-5. Dimensiones de la antena tipo parche línea espiral

Realizado por: (Balseca, 2018)

Tabla 10-5. Medidas de la antena tipo parche línea espiral

DIMENSIONES	ELEMENTO	MEDIDA (mm)
Largo (Ls)	Plano de masa Plano de sustrato	4.2270
Ancho (Ws)	Plano de masa Plano de sustrato	4.2270
Grosor (hs)	Sustrato	0.3945
Radio interior (g)	Parche línea espiral	0.052
Ancho de la espiral (ro)	Parche línea espiral	0.153
Número de vueltas (n)	Parche línea espiral	5
Largo (Lg)	Línea de transmisión	1.9735
Ancho (Wg)	Línea de transmisión	0.2380
Grosor (h)	Plano de masa Parche Línea de recepción	0.0789

Realizado por: (Balseca, 2018)

En las figuras 32-5 y 33-5 se observa la antena receptora tipo parche línea espiral con las dimensiones especificadas de la tabla 10-5, el puerto discreto que alimenta a la antena en la figura 34-5 y las condiciones del contorno seleccionado campo magnético en la figura 35-5.

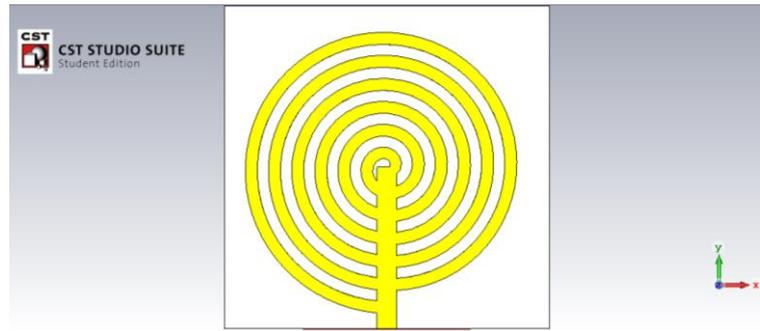


Figura 32-5. Antena tipo parche línea espiral vista frontal

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

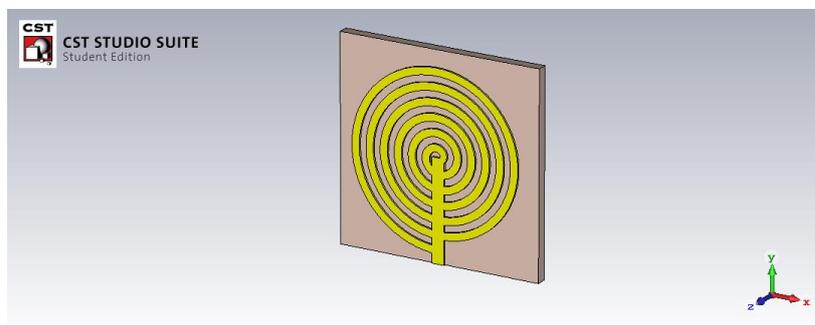


Figura 33-5. Parche línea espiral y línea de transmisión unificada

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

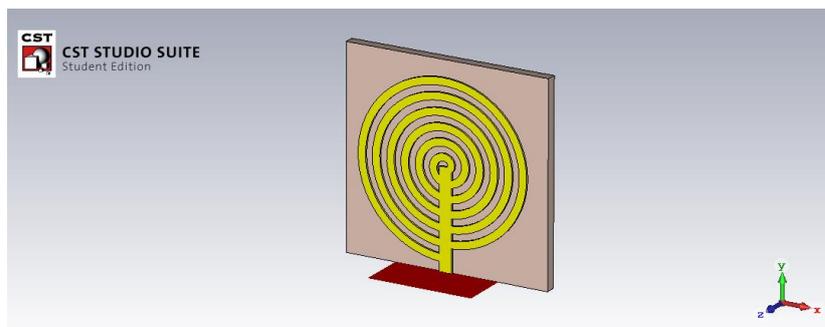


Figura 34-5. Antena tipo parche línea espiral con el puerto discreto

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

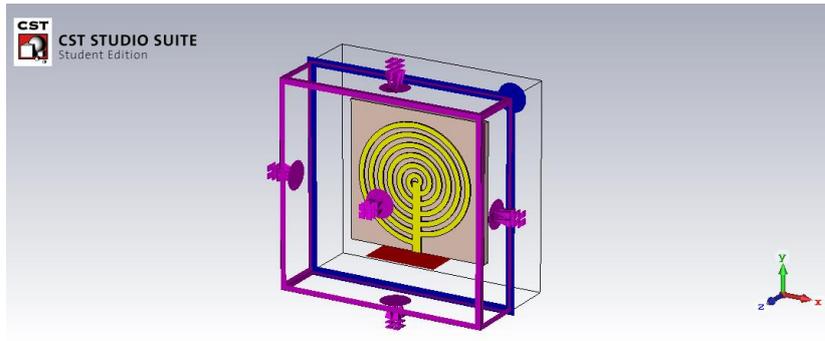


Figura 35-5. Condiciones de contorno conductor magnético perfecto de la antena tipo parche línea espiral

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

5.2.8 Antena Tipo Parche Espiral

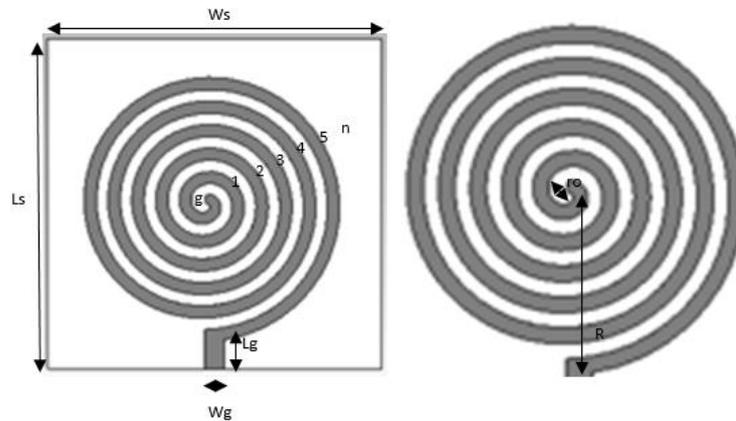


Figura 36 -5. Dimensiones de la antena tipo parche espiral

Realizado por: (Balseca, 2018)

Tabla 11-5. Medidas de la antena tipo parche espiral

DIMENSIONES	ELEMENTO	MEDIDA (mm)
Largo (Ls)	Plano de masa Plano de sustrato	4.2270
Ancho (Ws)	Plano de masa Plano de sustrato	4.2270
Grosor (hs)	Sustrato	0.3945
Radio interior (g)	Parche espiral	0.052
Ancho de la espiral (ro)	Parche espiral	0.153
Número de vueltas (n)	Parche espiral	5

Largo (Lg)	Línea de transmisión	0.4934
Ancho (Wg)	Línea de transmisión	0.2380
Grosor (h)	Plano de masa Parche Línea de recepción	0.0789

Realizado por: (Balseca, 2018)

En las figuras 37-5 y 38-5 se observa la antena receptora tipo parche espiral con las dimensiones especificadas de la tabla 11-5, el puerto discreto que alimenta a la antena en la figura 39-5 y las condiciones del contorno seleccionado campo magnético en la figura 40-5.

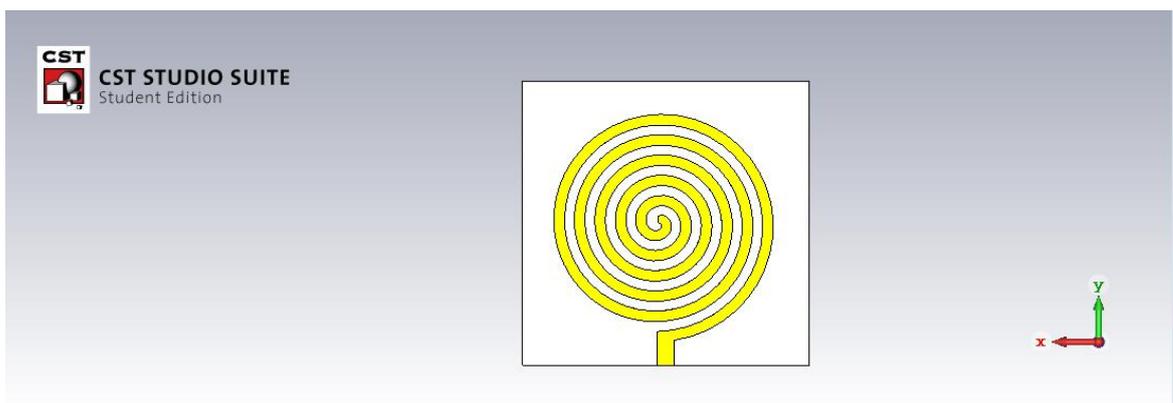


Figura 37 -5. Antena tipo parche espiral vista frontal

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

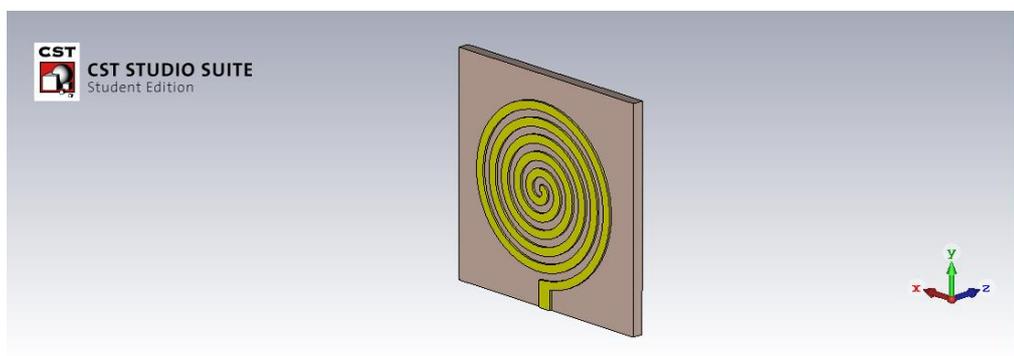


Figura 38 -5. Parche espiral y línea de transmisión unificada

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

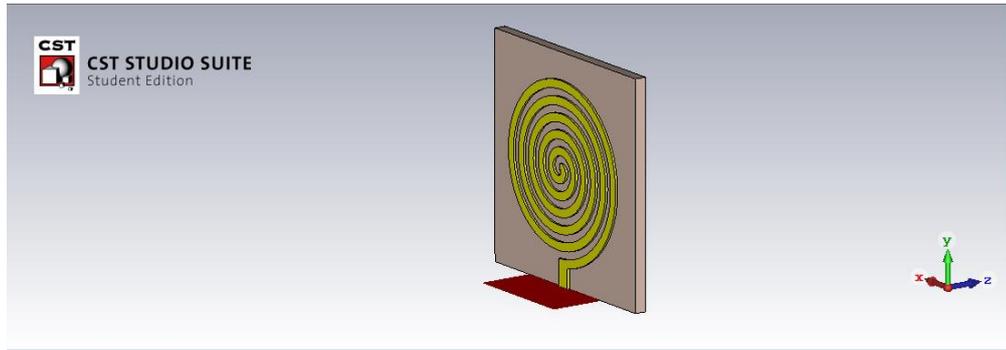


Figura 39 -5. Antena tipo parche espiral con el puerto discreto

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

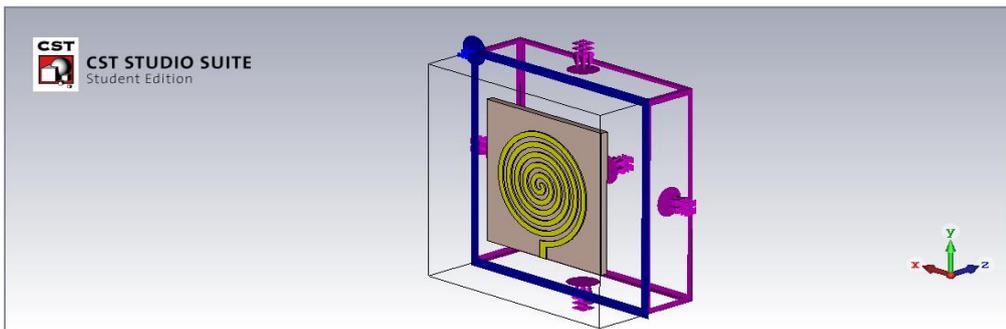


Figura 40 -5. Condiciones de contorno conductor magnético perfecto de la antena tipo parche espiral

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

5.2.9 Antena Tipo Parche Star

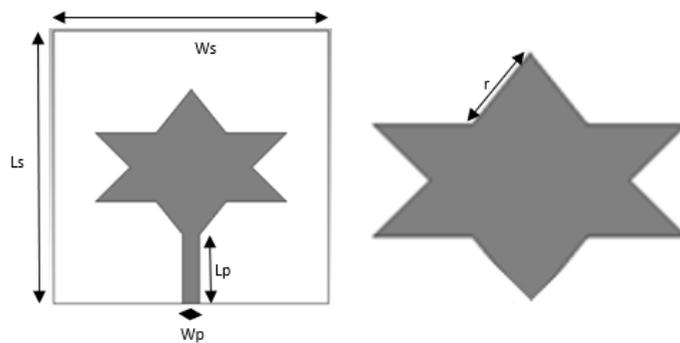


Figura 41-5. Dimensiones de la antena tipo parche star

Realizado por: (Balseca, 2018)

Tabla 12-5. Medidas de la antena tipo parche star

DIMENSIONES	ELEMENTO	MEDIDA (mm)
Largo (Ls)	Plano de masa Plano de sustrato	4.2270
Ancho (Ws)	Plano de masa Plano de sustrato	4.2270
Grosor (hs)	Sustrato	0.3945
Longitud de lados (r)	Parche star	1.75
Largo (Lg)	Línea de transmisión	1.1335
Ancho (Wg)	Línea de transmisión	0.2380
Grosor (h)	Plano de masa Parche Línea de recepción	0.0789

Realizado por: (Balseca, 2018)

En las figuras 42-5 y 43-5 se observa la antena receptora tipo parche star con las dimensiones especificadas de la tabla 12-5, el puerto discreto que alimenta a la antena en la figura 44-5 y las condiciones del contorno seleccionado campo magnético en la figura 45-5.

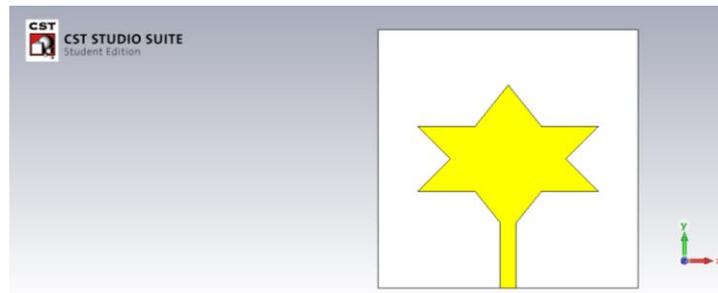


Figura 42-5. Antena tipo parche star vista frontal

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

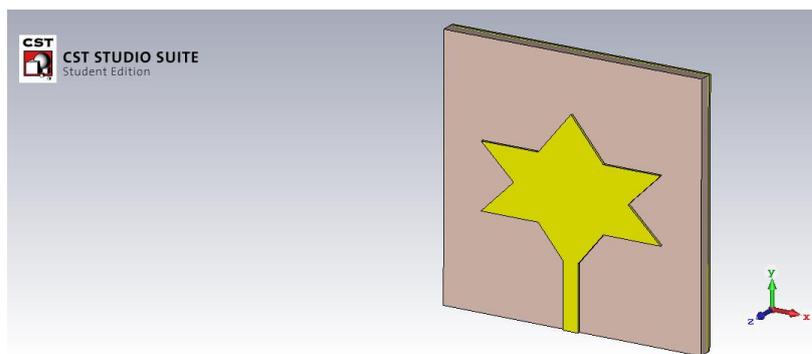


Figura 43-5. Parche star y línea de transmisión unificada

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

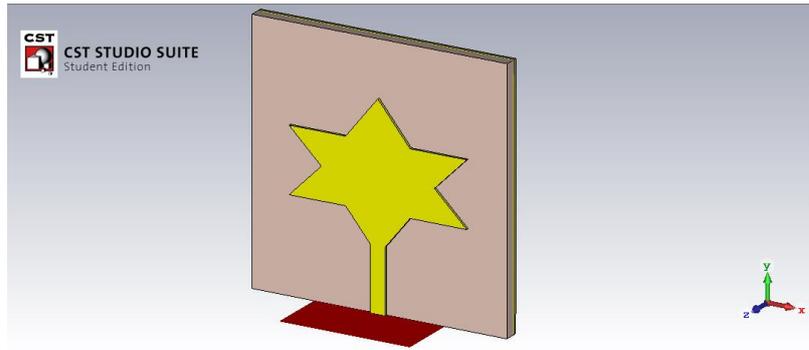


Figura 44-5. Antena tipo parche star con el puerto discreto

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

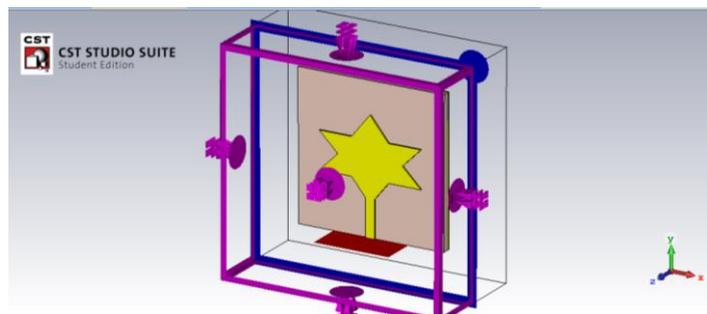


Figura 45-5. Condiciones de contorno conductor magnético perfecto de la antena tipo parche star

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

5.2.10 Antena Tipo Parche Double Star

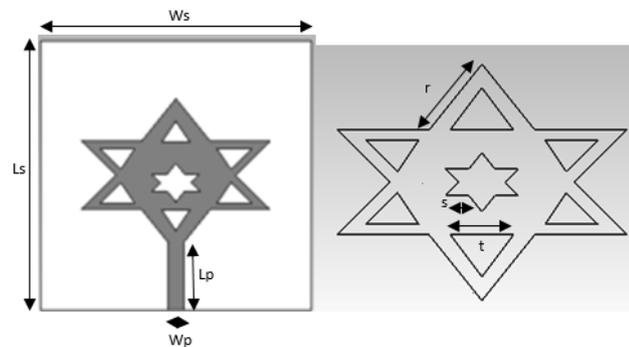


Figura 46-5. Dimensiones de la antena tipo parche double star

Realizado por: (Balseca, 2018)

Tabla 13-5. Medidas de la antena tipo parche double star

DIMENSIONES	ELEMENTO	MEDIDA (mm)
Largo (Ls)	Plano de masa Plano de sustrato	4.2270
Ancho (Ws)	Plano de masa Plano de sustrato	4.2270
Grosor (hs)	Sustrato	0.3945
Longitud de lados star (r)	Parche double star	1.75
Longitud de lados second star(s)	Parche double star	0.5625
Longitud de lados triángulos (t)	Parche double star	1.2
Largo (Lg)	Línea de transmisión	1.1335
Ancho (Wg)	Línea de transmisión	0.2380
Grosor (h)	Plano de masa Parche Línea de recepción	0.0789

Realizado por: (Balseca, 2018)

En las figuras 47-5 y 48-5 se observa la antena receptora tipo parche exponencial con las dimensiones especificadas de la tabla 13-5, el puerto discreto que alimenta a la antena en la figura 49-5 y las condiciones del contorno seleccionado campo magnético en la figura 50-5.

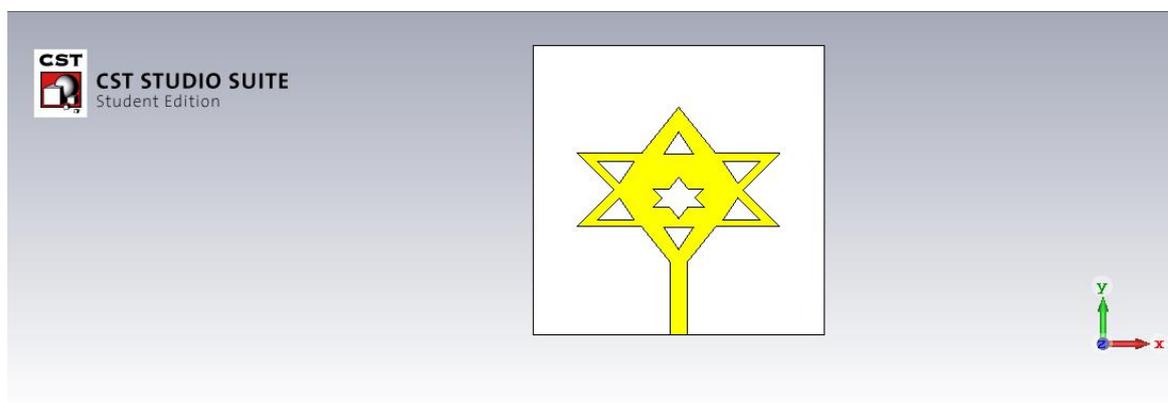


Figura 47-5. Antena tipo parche double star vista frontal

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

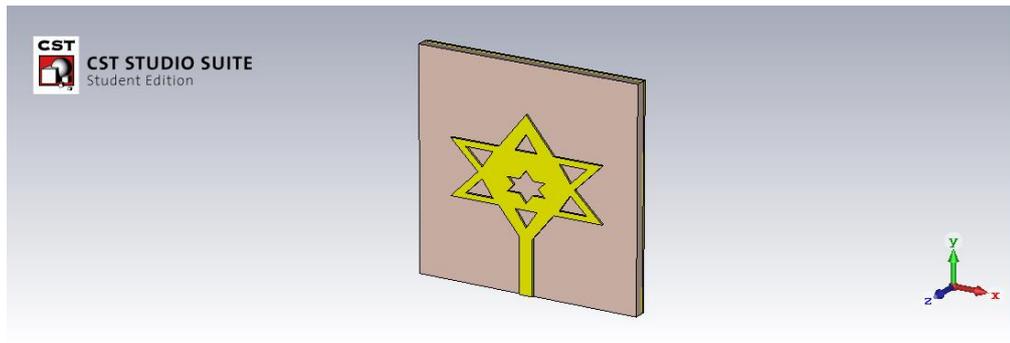


Figura 48-5. Parche double star y línea de transmisión unificada

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

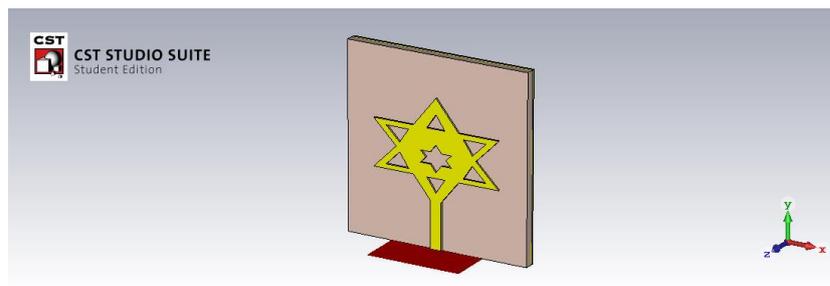


Figura 49-5. Antena tipo parche double star con el puerto discreto

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

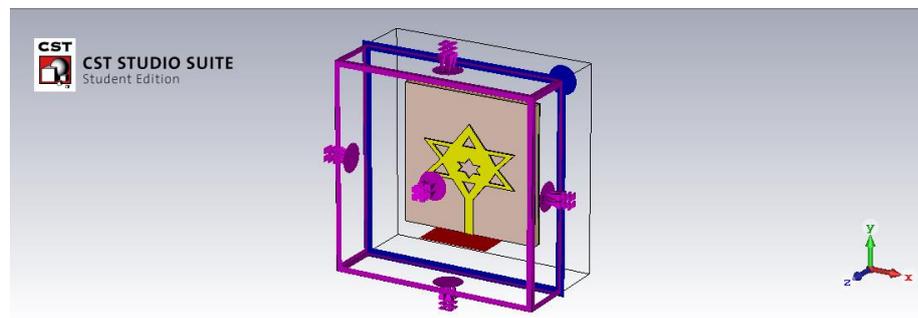


Figura 50-5. Condiciones de contorno conductor magnético perfecto de la antena tipo parche double star

Fuente: (CST STUDIO SUITE, 2018)

Realizado por: (Balseca, 2018)

Luego de haber obtenido las dimensiones se exportó al software CST donde se realizó los diez diseños planteados en esta investigación de cada una de las antenas receptoras de alta frecuencia tipo parche con tecnología microstrip y se crea un fichero .cst que al realizar la simulación el programa genera una carpeta con los resultados de las simulaciones.

CONCLUSIONES

La industria de las telecomunicaciones con la tecnología de Quinta Generación 5G, busca extender los servicios móviles a los rangos de alta frecuencia que se encuentran por encima de los 6 GHz. Las frecuencias bajas tienen mejores características de propagación, mayor cobertura por lo que se encuentran saturadas, pero las frecuencias más altas pueden dar soporte a portadoras de ancho de banda más amplio debido a la potencial disponibilidad de espectro de las bandas de ondas milimétricas para así brindar altas tasas de datos donde las demandas de tráfico son muy altas. En esta investigación se ha utilizado el rango de 37 a 39 GHz, por lo que se ha podido trabajar y demostrar que se puede adaptar las antenas a frecuencias altas, esto ayudará a los sistemas inalámbricos de banda ancha móvil y al crecimiento de la demanda de los usuarios.

Este proyecto analiza y evalúa las antenas tipo parche con tecnología microstrip con algunos diseños que se han podido desarrollar trabajando en la banda milimétrica a altas frecuencias, que son las que se requerirán para la tecnología 5G. Se demostró que para la antena receptora tipo parche rectangular se logra un buen acoplamiento al optimizar el diseño, logrando que el parámetro S_{11} tenga un buen nivel de acoplamiento de frecuencia como se observó en los resultados obtenidos, mejorando el diseño original, a diferencia de los otros diseños que se requieren aún continuar optimizando hasta lograr los resultados deseados.

De acuerdo con el análisis realizado las antenas tipo parche son de tamaño reducido en el orden de los milímetros, trabajan para frecuencias específicas en este caso en frecuencias altas de 37 a 39 GHz, requiere de sustratos dieléctricos de baja potencia y se puede realizar diversos diseños. El acople entre el parche y las líneas de transmisión produce niveles altos de radiación y campos inducidos, la falta de simetría de la antena haría que genere niveles mayores, el parámetro de dispersión S_{11} es la adaptación que da la idea de transferencia de potencia de la línea microstrip de la antena y gracias a la optimización en las dimensiones del parche se logró una mejor adaptación al rango de frecuencias propuesto, directividad y eficiencia de radiación para la antena tipo parche rectangular, los otros diseños no presentaron una resonancia aceptable al momento de optimizar.

El programa CST STUDIO SUITE es una gran herramienta para simular los diseños de antenas de altas frecuencias en 3D, los campos magnéticos permite un análisis rápido y propio de las antenas con estructuras resonantes, pero es necesario previamente definir los parámetros y características del entorno para poder elaborar el diseño, por lo que la elaboración del estado del arte es fundamental para el desarrollo de la investigación.

RECOMENDACIONES

Si las comunicaciones móviles alrededor del mundo se incrementan en base al crecimiento poblacional y a las nuevas tecnologías, se recomienda utilizar frecuencias específicas altas en las bandas de 28 GHz, 38 GHz y 73 GHz para el área de telefonía celular.

Los datos utilizados en cuanto a dimensiones y medidas de las estructuras de las antenas receptoras de alta frecuencia pueden variar y ser optimizados, de acuerdo con los materiales que se utilice, el sustrato de preferencia debe tener menos pérdidas y sería una forma para mejorar el ancho de banda o reducir el tamaño de la antena sin alterar el diseño.

Se recomienda que los resultados se lo puedan aplicar en estudios posteriores donde se pueda proponer realizar la optimización de los diseños propuestos o variar a formas diferentes para comparar los resultados obtenidos en este proyecto o inclusive realizar un arreglo de antenas que podría tener mayor cobertura operando en las frecuencias de 5G.

Se puede utilizar opciones del software CST STUDIO SUITE que ayuden a la aproximación automática para obtener un mejor diseño, por lo tanto, se puede continuar optimizando los diseños propuestos hasta obtener los resultados deseados.

BIBLIOGRAFÍA

- Alejos, A., Sánchez, M., & Cuiñas, I.** (2008). *Measurement and analysis of propagation mechanisms at 40 GHz: Viability of site shielding forced by obstacles.* *IEEE.*
- Andrews, J., Buzzi, S., Choi, W., Hanly, S., Lozano, A., Soong, A., & Zhang, J.** (2014). *What Will 5G Be?* *IEEE.*
- Balanis, A., & Willey, J.** (2005). *Antenna Theory – Analysis and Design.* *IEEE.*
- Büttgenbach, T.** (1993). *An Improved Solution for Integrated Array Optics in Quasi-Optical mm and Submm Receivers: The Hybrid Antenna.* *IEEE.*
- Büttgenbach, T., Miller, R., Wengler, M., Watson, D., & Phillips, P.** (1988). *A Broadband Low Noise SIS Receiver for Submillimeter Astronomy.* *IEEE.*
- Campos, J.** (2014). *Antenas y Compatibilidad Electromagnética.* *IEEE.*
- Castañeda, A., Monier, F., & Giró, F.** (2014). *Design and simulation of microstrip antenna with triangular shape.* *IEEE.*
- Chang, D., & Hu, C.** (2012). *Smart Antennas for Advanced Communications Systems.* *IEEE.*
- CST.** (2018). *CST -Computer Simulation Technology.* Obtenido de www.cst.com
- Elmurtada, A., Awad, Y., & Elnourani, M.** (2012). *Adaptive smart antennas in 3G networks and beyond.* *IEEE.*
- Filipovic, D., Ahmad, W., & Rebeiz, G.** (1992). *Milimeter Wave Double Dipole Antennas for High Gain Integrated Reflector Illumination.* *IEEE.*
- Filipovic, D., Gearhart, S., & Rebeiz, G.** (1993). *Double-Slot Antennas on Extended Hemispherical and Elliptical Silicon Dielectric Lenses.* *IEEE.*
- Gerecht, E., Musante, C., Zhuang, Y., Yngvesson, S., Goyette, T., Dickinson, J., . . . Gershenzon, M.** (1999). *NbN hot electron bolometric mixer—A new technology for low-noise THz receivers.* *IEEE.*
- Gitin, M., Wise, F., Arjavalingham, G., Pastoral, Y., & Compton, C.** (1994). *Broad-band characterization of millimeter-wave log-periodic antennas by photoconductive sampling.* *IEEE.*
- Haraz, O., Ali, M., Alshebeili, S., & Sebak, A.** (2015). *Design of a 28/38 GHz dual-band printed slot antenna for the future 5G mobile communication Networks.* *IEEE.*
- Herrera, A.** (2008). *Fundamentos de Antena de Microcinta.* Veracruz: Universidad Veracruzana.
- Herrera, J.** (2000). *Simulación electromagnética global de circuitos de microondas usando el método FDTD.* Bogotá: Universidad de los Andes.

- HFSS, A.** (2018). *www.ansys.com*.
- Hossain, E., & Hasan, M.** (2015). *5G Cellular: Key Enabling Technologies and Research Challenges*. *IEEE*.
- Huang, K., & Wang, Z.** (2011). *Terahertz Terabit Wireless Communication*. *IEEE*.
- Jiménez, J., Rodríguez, J., & Gonzáles, V.** (2011). *Procedimiento de diseño y realización de Antenas de Parche en Tecnología Microstrip*. *IEEE*.
- Khalid, N., & Akan, O.** (2016). *Wideband THz Communication Channel Measurements for 5G Indoor Wireless Network*. *IEEE*.
- Mushiake, Y.** (1992). *Self-Complementary Antennas*. *IEEE*.
- Naceur, A., Merahi, B., & Abdelmalik, T.** (2014). *A Combined DMI-RLS Algorithm in Adaptive Processing Antenna System*. *IEEE*.
- Pozar, D.** (2000). *Microwave and RF Design of Wireless Systems*. *IEEE*.
- Pozar, D., & Schaubert, D.** (1995). *Microstrip antennas: the analysis and design of microstrip antennas and arrays*. *IEEE*.
- Rappaport, T., Sun, S., Mayzus, R., Zhao, H., Azar, Y., Wang, K., . . . Gutierrez, F.** (2013). *Millimeter Wave Mobile Communications for 5G Cellular: It Will Work!* *IEEE*.
- Rappaport, S., Murdock, J., & Gutierrez, F.** (2011). *State of the Art in 60-GHz Integrated Circuits and Systems for Wireless Communications*. *IEEE*.
- Rawat, A.** (2013). *3D Beamforming: Performance Improvement for Cellular Networks*. *IEEE*.
- Recomendación ITU-R, M.** (2015). *Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond*. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org>
- Redo, A., & Xi-Cheng, Z.** (2008). *Terahertz Science and Technology Trends*. *IEEE*.
- Semenov A., R. H., Hübers, H., Günther, B., Smimov, A., Il'in, K., Siegel, M., & Karamarkovic, J.** (2007). *Terahertz Performance of Integrated Lens Antennas with a Hot-Electron Bolometer*. *IEEE*.
- Semenov, A., Richter, H., Günther, B., Hübers, H., & Karamarkovic, J.** (2005). *Integrated planar log-spiral antenna at terahertz waves*. *IEEE*.
- Suárez, C.** (2017). *Introducción al análisis y diseño de antenas planas y sus aplicaciones*. Bogotá: Ediciones Universidad Distrital.
- Taflove, A.** (1995). *The Finite-Difference Time-Domain*. Norwood: MA: Artech House.
- Taflove, A.** (1998). *Advances in Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time-Domain*. Norwood: MA: Artech House.
- Tani, M., Herrmann, M., Kono, S., & Sakai, K.** (2002). *Generation and Detection of Terahertz Pulsed Radiation with Photoconductive Antennas and Their Application to Imaging*. *IEEE*.

Zhang, W., Gao, J., Hajenius, M., Miao, W., Khosropanah, P., Klapwijk, T., & Shi, S.
(2011). *Twin-slot antenna-coupled NbN hot-electron bolometer mixer at 2.5 THz*. *IEEE*.

Zürcher, J., & Gardiol, F. (2011). *Broadband Patch Antennas*. *IEEE*.

ANEXOS

Anexo A.- Unidades de trabajo de Antena en CST STUDIO SUITE 2018

CST STUDIO SUITE

Create Project Template

MW & RF & OPTICAL | Antennas | Planar (Patch, Slot, etc.) | Solvers | **Units** | Settings | Summary

Please select the units:

Dimensions: mm

Frequency: GHz

Time: ns

Temperature: Kelvin

Voltage: V

Current: A

Resistance: Ohm

Conductance: S

Inductance: nH

Capacitance: pF

< Back Next > Cancel

Anexo B.- Frecuencias de trabajo para la Antena en CST STUDIO SUITE 2018

CST STUDIO SUITE

Create Project Template

MW & RF & OPTICAL | Antennas | Planar (Patch, Slot, etc.) | Solvers | Units | **Settings** | Summary

Please select the Settings

Frequency Min.: 37 GHz

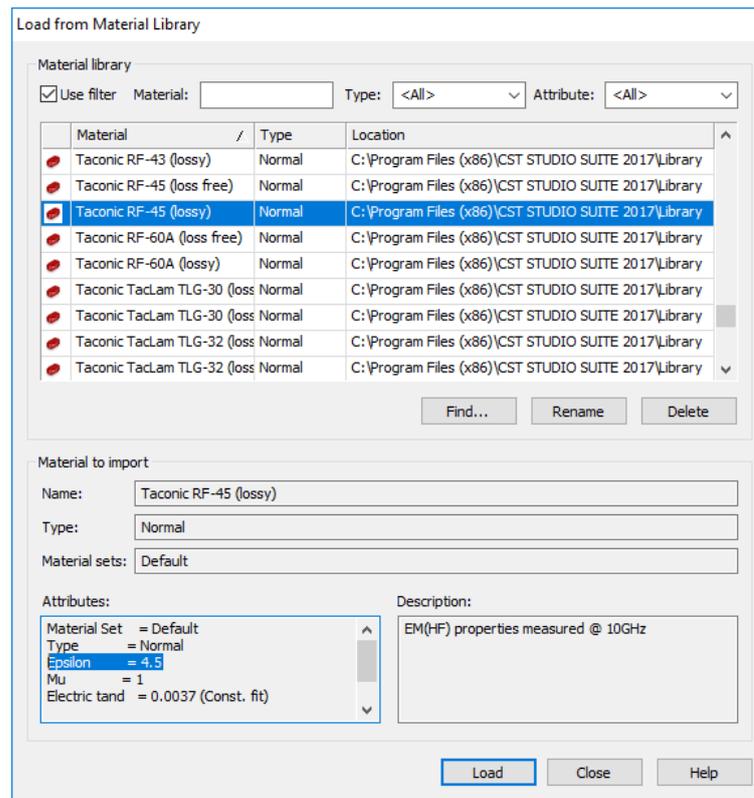
Frequency Max.: 39 GHz

Monitors: E-field H-field Farfield Power flow Power loss

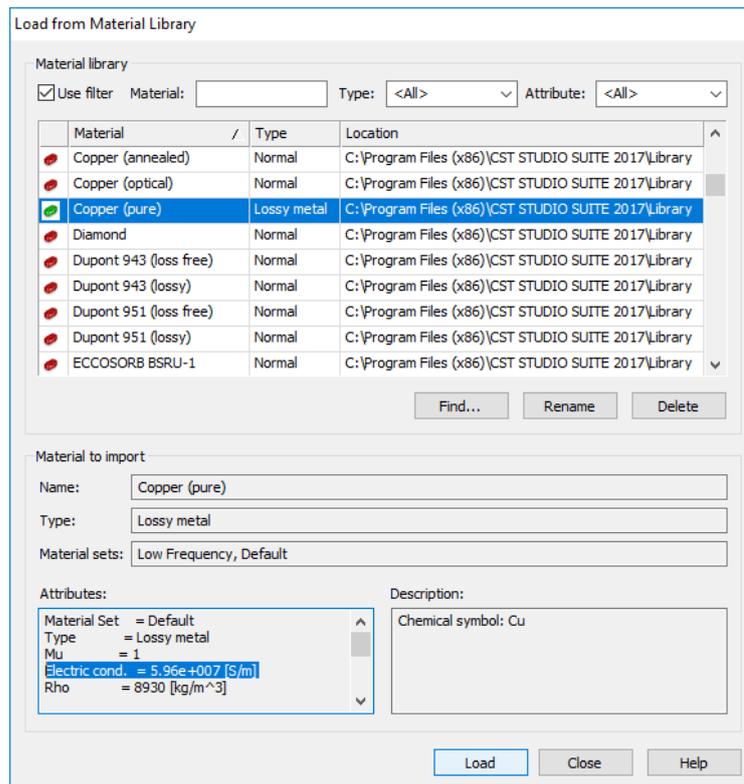
Define at: 37;38;39 GHz
Use semicolon as a separator to specify multiple values.
e.g. 20;30;30.1;30.2;30.3

< Back Next > Cancel

Anexo C.- Tipo de sustrato seleccionado de la librería de CST



Anexo D.- Tipo de conductor para la antena tipo parche seleccionado de la librería de CST



Anexo E.- Construcción del puerto discreto de la antena tipo parche

Calculate port extension coefficient

Type

Microstrip
 Strip Line
 Coplanar waveguide
 Coplanar waveguide with ground

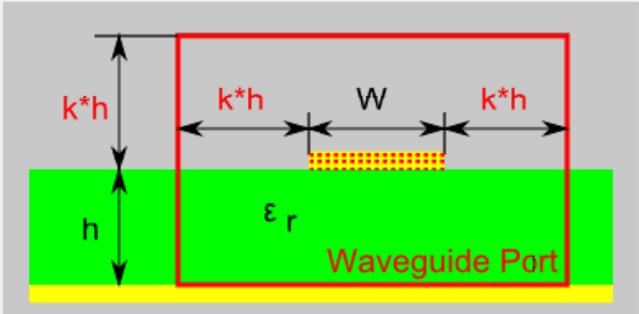
Dimensions

W [mm]
h [mm]
-

Material Properties

Er

Frequency range: 37 to 39 GHz



Please pick the metal face as depicted above before launching the macro!

Macro helps to set up the waveguide port size for planar transmission lines. The size of the port is extended by factor k in order to get line impedance with error smaller than 1%. The extension coefficient can be however adjusted manually.

Extension Coefficient

k = k varies in the range: 5.27 - 5.27

Anexo F.- Configuración de los parámetros de dominio del tiempo

Time Domain Solver Parameters

Solver settings

Mesh type: Accuracy: dB
 Store result data in cache

Stimulation settings

Source type: Inhomogeneous port accuracy enhancement
Mode: Calculate port modes only
 Superimpose plane wave excitation

S-parameter settings

Normalize to fixed impedance S-parameter symmetries
 Ohm

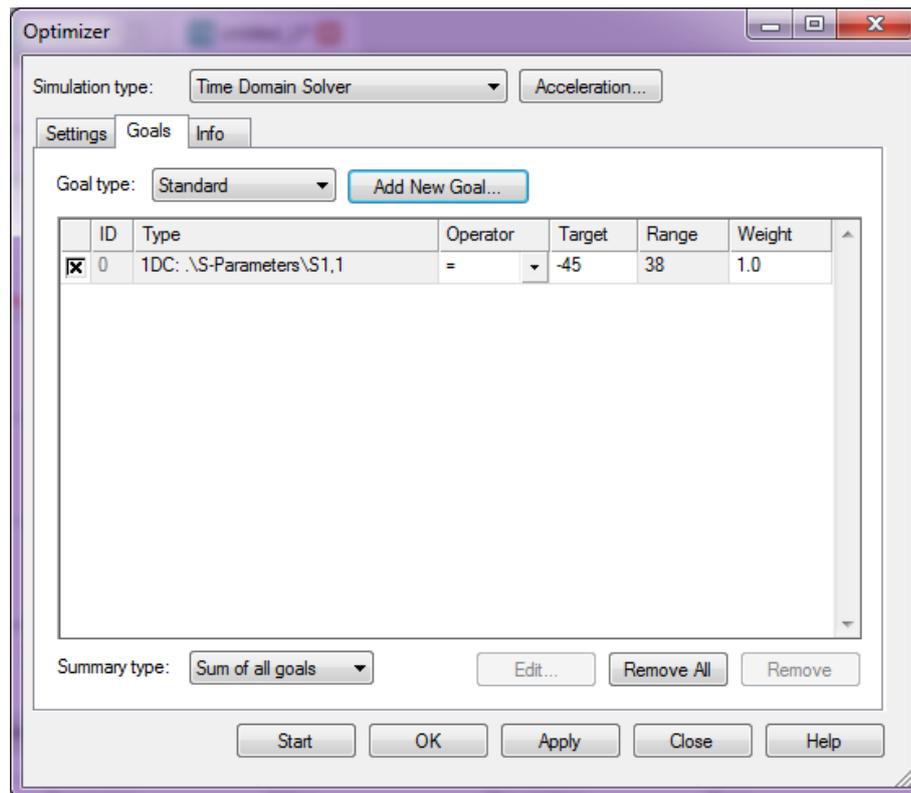
Adaptive mesh refinement

Adaptive mesh refinement

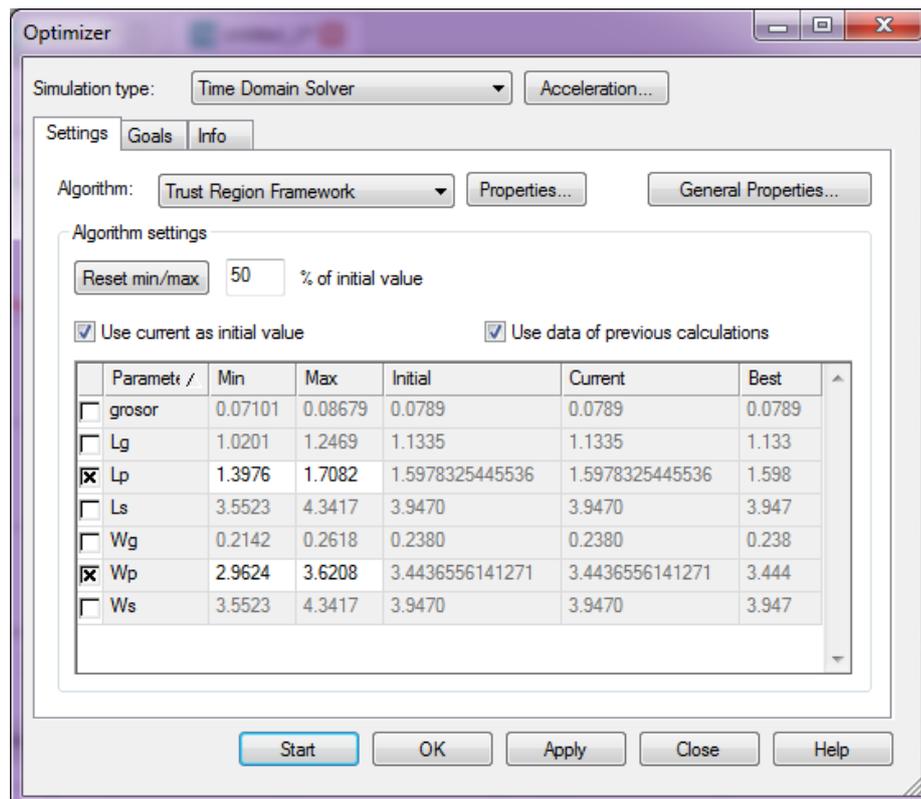
Sensitivity analysis

Use sensitivity analysis

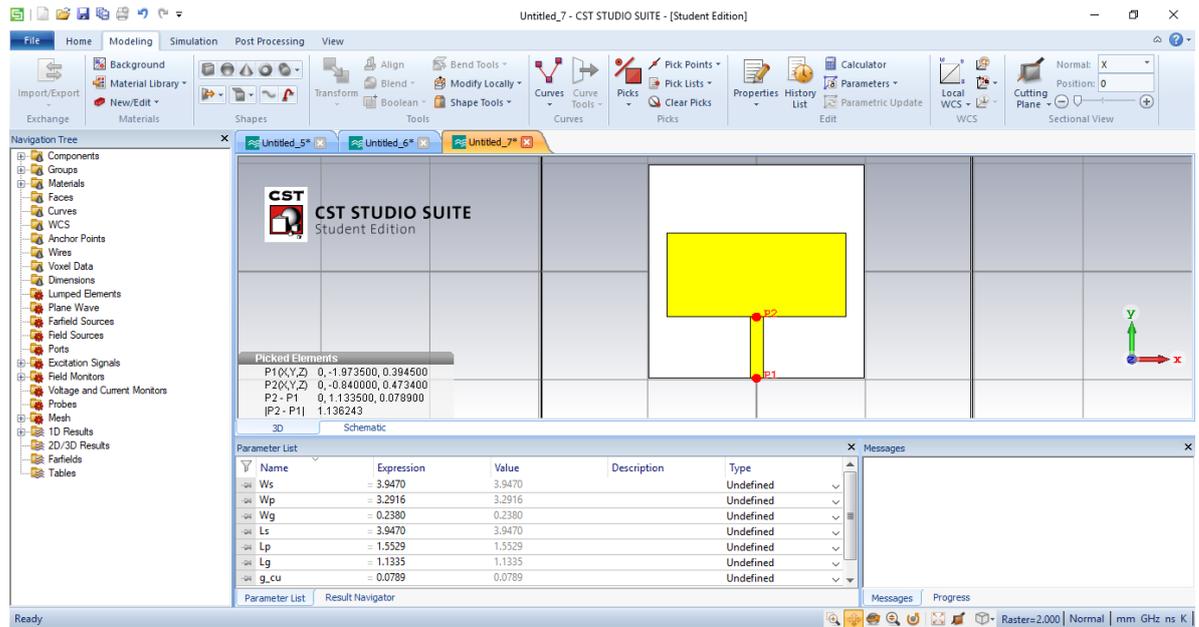
Anexo G.- Herramienta Optimizer para el ajuste de los datos



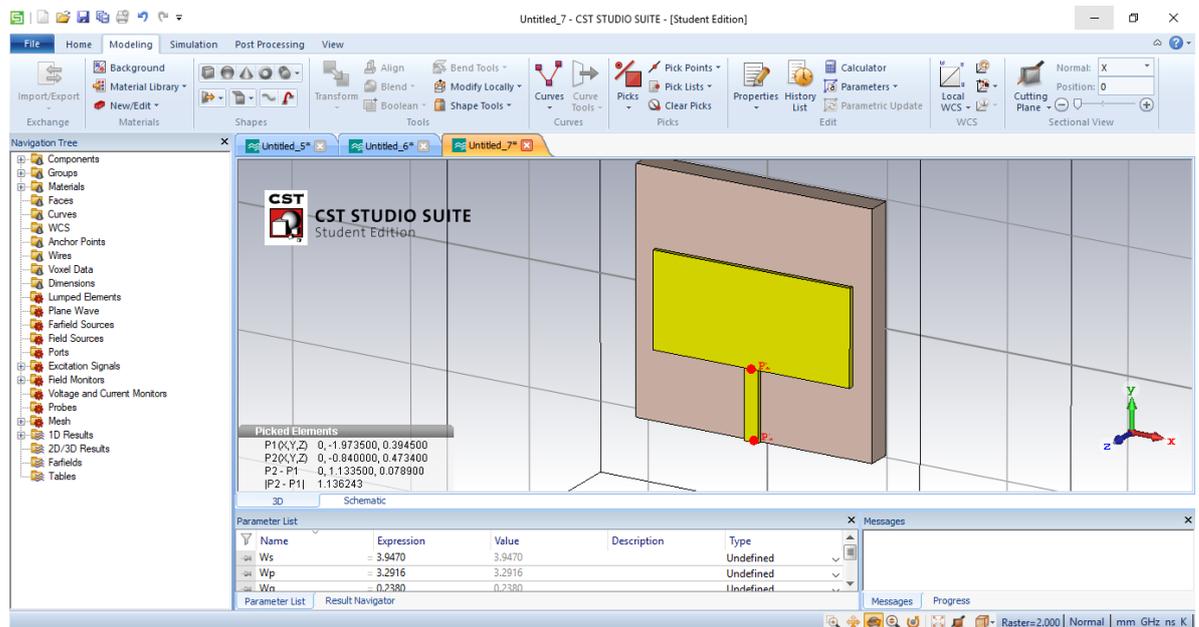
Anexo H.- Ajuste de datos de la antena tipo parche



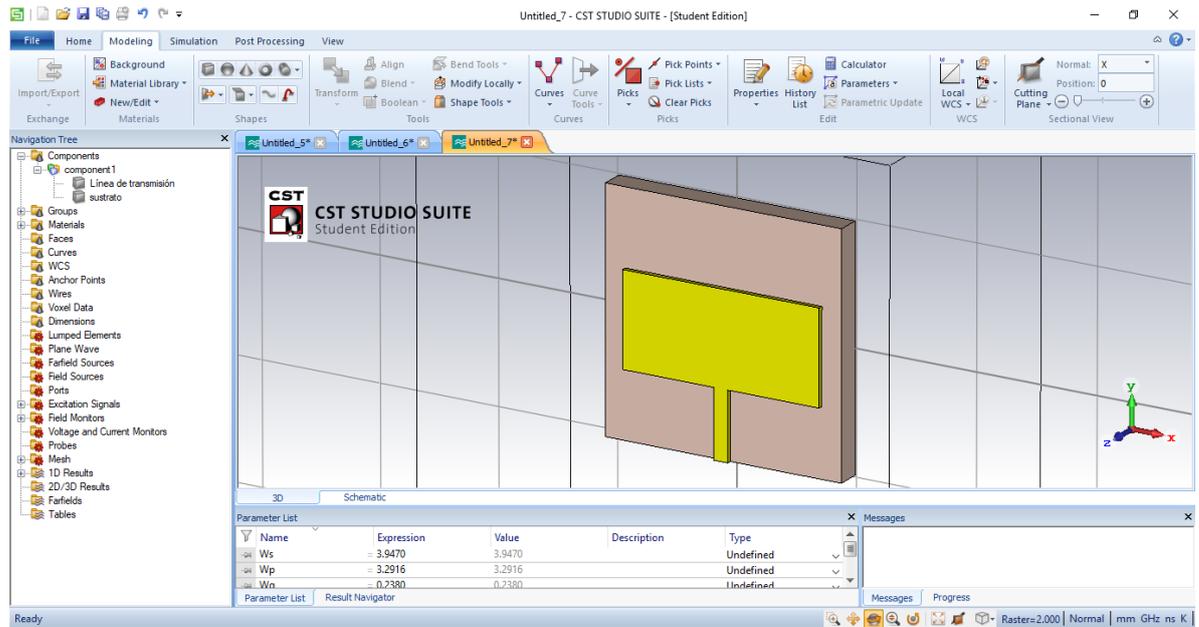
Anexo I.- Parche rectangular de la antena tipo parche optimizado vista frontal



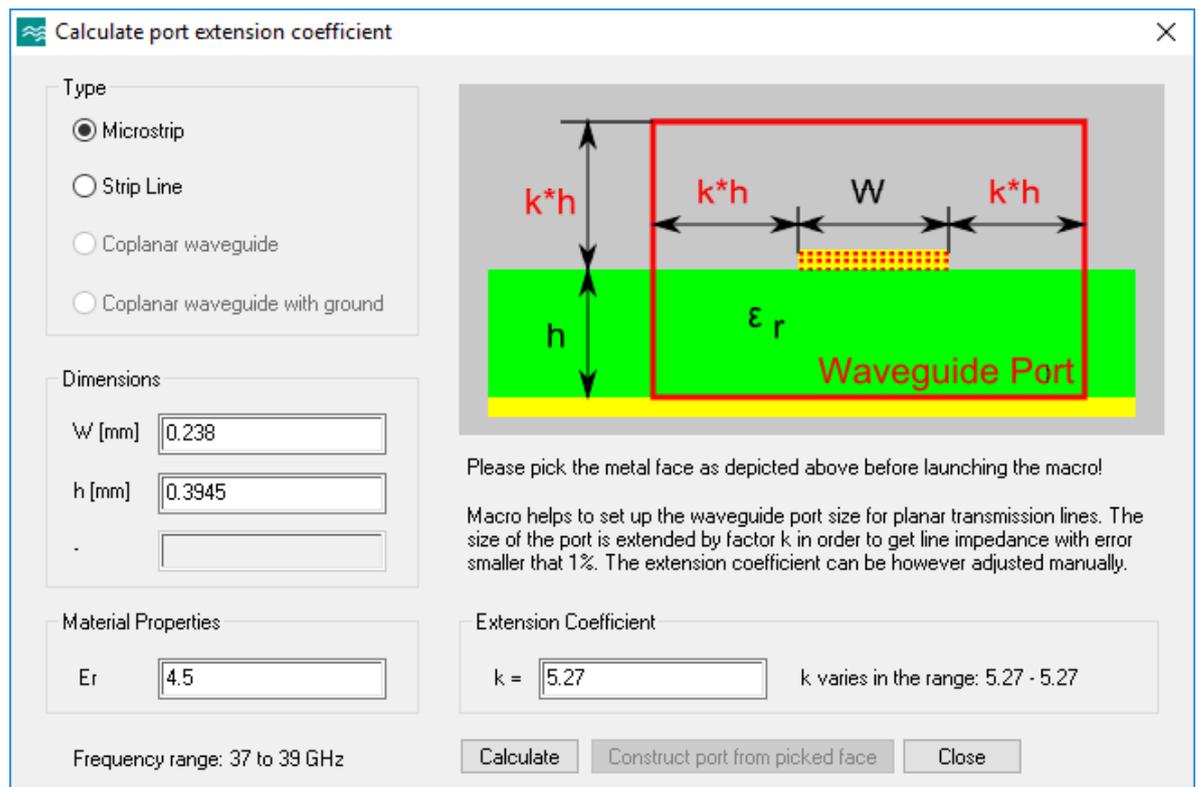
Anexo J.- Parche rectangular de la antena tipo parche optimizado vista lateral



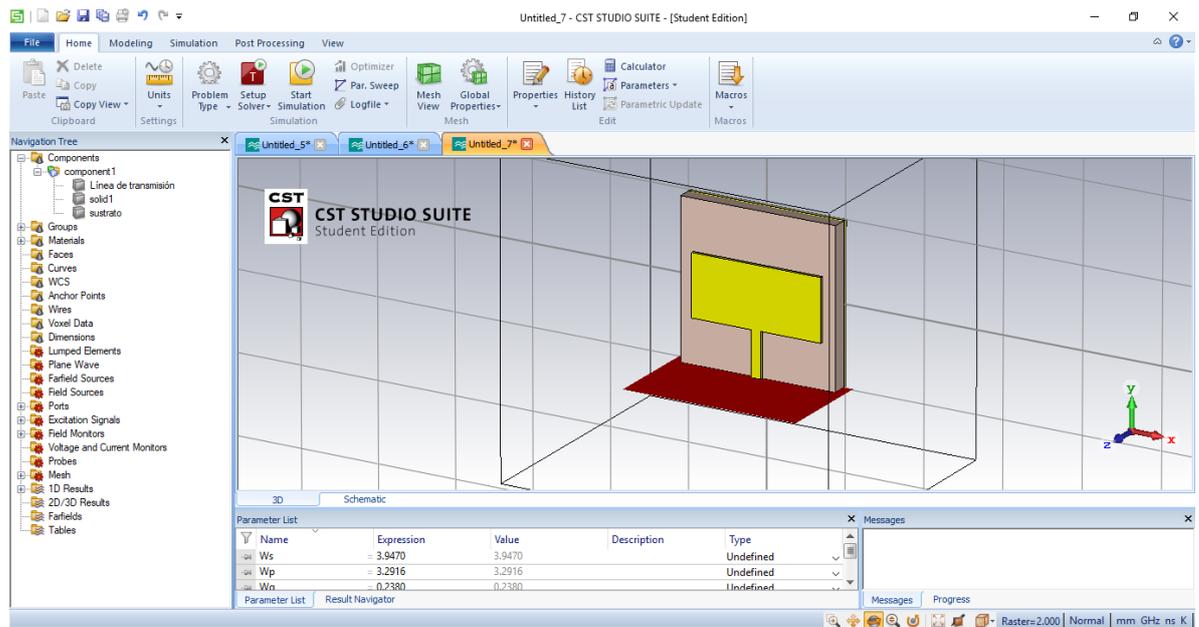
Anexo K.- Parche rectangular y línea de transmisión de la antena tipo parche optimizado unificada



Anexo L.- Construcción del puerto discreto de la antena tipo parche optimizado



Anexo M.- Antena tipo parche optimizado con el puerto discreto



Anexo N.- Finalización de la simulación en dominio del tiempo de la antena tipo parche optimizado

