



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN

TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN

TEMA:

**“DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UNA ANTENA CON TECNOLOGÍA MICROSTRIP
PARA APLICACIONES EN REDES DE ÁREA CORPORALES (WBAN)”**

AUTOR: BÁEZ EGAS RICARDO SEBASTIÁN

DIRECTOR: MSc. DOMÍNGUEZ LIMAICO HERNÁN MAURICIO

IBARRA – ECUADOR

2022



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100394791-6		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Báez Egas Ricardo Sebastián		
DIRECCIÓN:	Carlos Barahona 2-45 y Prof. Alfredo Albuja		
EMAIL:	rsbaeze@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	062615040	TELÉFONO MÓVIL:	0980295800

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“Diseño y fabricación de una antena con tecnología microstrip para aplicaciones en Redes de Área Corporales (WBAN)”
AUTOR (ES):	Báez Egas Ricardo Sebastián
FECHA: DD/MM/AAAA	17/Febrero/2022
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Electrónica y redes de Comunicación
ASESOR /DIRECTOR:	Msc. Domínguez Limaico Hernán Mauricio

CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra, objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 17 días del mes de febrero de 2022

Atentamente, EL AUTOR.



Ricardo Sebastián Báez Egas

C.I.: 100394791-6



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

UNIVERSIDAD ACREDITADA RESOLUCIÓN 002-CONEA-2010-129-DC
Resolución N° 001-073-CEAACES-2013-13



FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES RPC-SO-31-No 573-2016

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN (No vigente, habilitado para registro de títulos)

CERTIFICACIÓN

Ibarra, 14 de enero del 2022

Yo, MSc. Hernán Mauricio Domínguez Limaico, DIRECTOR DEL PRESENTE TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICA:

Que, el presente trabajo de titulación “DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UNA ANTENA CON TECNOLOGÍA MICROSTRIP PARA APLICACIONES EN REDES DE ÁREA CORPORALES (WBAN)”. Ha sido desarrollado por el estudiante Ricardo Sebastián Báez Egas, bajo mi supervisión.

Es todo en cuanto puedo certificar en honor de la verdad.

**Hernán
Mauricio
Domínguez
Limaico**

Firmado digitalmente por Hernán
Mauricio Domínguez-Limaico
DN: cn=Hernán Mauricio
Domínguez-Limaico, gn=Hernán
Mauricio Domínguez-Limaico,
o=EC Ecuador, i=EC Ecuador,
o=UTN ou=CITELO,
e=hmdominguez@utn.edu.ec
Máximo Asentamiento de nota de
grado.
Ubicación: Oficina Virtual
Fecha: 2022.01.14 13:18:05:00

Msc. Hernán Mauricio Domínguez Limaico

DIRECTOR

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios y a mi familia por su apoyo constante a lo largo de mi vida, razón por la cual me esfuerzo cada día para cumplir todas mis metas.

A mis padres y hermanas, por todo el afecto y cariño que me brindan cada día para salir adelante, como un hombre de bien.

A mis abuelitos, quienes con su amor y sabiduría me han brindado buenos consejos, para continuar por el camino del bien, dándome aliento y apoyo para sobrellevar cada circunstancia de la vida.

Al MSc. Mauricio Domínguez, director de mi trabajo de tesis, por su tiempo y buena predisposición en brindarme sus conocimientos para salir adelante con mi investigación.

A los docentes Mgtr. Carlos Andrade y MSc. Vladimir García, por compartirme sus amplios conocimientos, así mismo agradecer su constante apoyo académico brindado, quienes, con su tiempo y sus consejos, me ayudaron a salir adelante con el desarrollo de mi trabajo.

A los docentes PhD. Carlos Peñafiel y PhD. Hernán Barba, por su asesoría en la realización de las mediciones de la antena y por sus conocimientos compartidos.

A mis amigos y compañeros, quienes fueron parte de una etapa en mi vida, con los cuales compartí buenos momentos, llenos de experiencias enriquecedoras dentro de las aulas, siempre con la buena predisposición para salir adelante, mediante el apoyo y consejos compartidos.

Ricardo Sebastián Báez Egas

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a:

Mis padres Hilda y César, por ser los pilares fundamentales en mi formación como persona, que, pese a todas las adversidades, siempre estuvieron ahí apoyándome en todo momento, brindándome su apoyo, cariño y sobre todo su gran amor, de lo cual siempre estaré agradecido; por sus palabras de aliento en cada momento complicado, quienes siempre buscan la forma adecuada para motivarme y salir adelante cada día. Y como no olvidarme de dedicarle mi trabajo con todo el corazón, a mi querido abuelito Adolfo, a quien extraño y extrañare todo los días de mi vida, gracias por los bonitos momentos que compartí contigo, los buenos consejos y enseñanzas que me dejaste, sé que desde el cielo me cuidas y me guías, sintiéndome triste este momento por no contar con tu presencia, para que compartas conmigo esta felicidad al verme culminar una etapa más en mi vida, sin más que decir te doy las gracias por todo y siempre a donde vaya, estarás presente en mi mente y corazón.

Ricardo Sebastián Báez Egas

ÍNDICE DE CONTENIDOS

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN	II
CONSTANCIAS	III
CERTIFICACIÓN	IV
AGRADECIMIENTOS	V
DEDICATORIA	VI
RESUMEN	XII
ABSTRACT.....	XIV
1. CAPÍTULO I: ANTECEDENTES	1
1.1. Introducción	1
1.2. Tema	1
1.3. Problema	1
1.4. Objetivos.....	3
1.4.1. Objetivo General.....	3
1.4.2. Objetivos Específicos.....	3
1.5. Alcance	4
1.6. Justificación	5
2. CAPÍTULO II: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	7
2.1. Redes de Área Corporal (WBAN)	7
2.2. Estándar IEEE 802.15.6.....	8
2.3. Introducción a la tecnología UWB	10
2.3.1. Regulación FCC sobre UWB.....	12
2.3.2. Ventajas y Desventajas tecnología UWB	14
2.4. IEEE/ANSI C63.10-2013	15
2.5. Teoría de antenas	16
2.5.1. Definición de Antena	18
2.5.2. Parámetros de una antena.....	18
2.5.2.1. Impedancia.....	18
2.5.2.2. Intensidad de Radiación.....	19
2.5.2.3. Diagrama de Radiación.....	20
2.5.2.4. Directividad.....	22
2.5.2.5. Ganancia	22
2.5.2.6. Polarización.....	23
2.5.2.7. Eficiencia	25
2.5.2.8. Ancho de banda.....	25
2.5.2.9. Área efectiva	26
2.5.3. Tipos de antenas.....	27
2.5.3.1. Antenas de hilo	28
2.5.3.2. Antenas de apertura.....	28
2.5.3.3. Antenas Microstrip.....	30
2.5.3.4. Arrays.....	30
2.5.3.5. Antenas Inteligentes.....	31

2.6.	Antenas Microstrip.....	31
2.6.1.	Principios de propagación de las antenas microstrip	35
2.6.2.	Métodos de alimentación de antena microstrip	36
2.6.3.	Métodos de análisis para antenas	41
3.	CAPITULO III: DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UNA ANTENA MICROSTRIP	46
3.1.	Selección inicial del sustrato.....	47
3.2.	Principios de diseño y cálculos de la antena.....	53
3.3.	Diseño de la antena	60
3.3.1.	Simulación del diseño de la antena fase 1	61
3.3.2.	Simulación del diseño de la antena fase 2	71
3.3.3.	Simulación del diseño de la antena fase 3	75
3.3.4.	Simulación del diseño de la antena fase 4	82
3.3.5.	Simulación del diseño de la antena fase 5	86
3.3.6.	Simulación del diseño de la antena fase final	90
3.3.6.1.	Parámetros S (Diseño final).....	94
3.3.6.2.	Diagrama de Radiación 2D (Diseño final).....	95
3.3.6.3.	Ganancia (Diseño final)	98
3.3.6.4.	Directividad (Diseño final)	99
3.3.6.5.	Group Delay (Diseño final)	100
3.3.6.6.	Densidad de corrientes superficial (Magnitud) (Diseño final)	101
3.3.6.7.	Densidad de corrientes superficial (Vector) (Diseño final)	102
3.3.6.8.	Tasa de Absorción Específica (SAR)	102
3.4.	Fabricación de la antena microstrip	104
3.4.1.	Sustrato FR-4	104
3.4.2.	Conector SMA	106
3.4.3.	Plantilla diseño final Antena UWB.....	106
3.4.4.	Proceso con insoladora	107
3.4.5.	Proceso de revelado	107
3.4.6.	Antena UWB – Fabricada.....	108
4.	CAPÍTULO IV: PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	109
4.1.	Cronograma de pruebas	109
4.2.	Introducción de la prueba de medición - Antena UWB.....	112
4.3.	§FCC Parte 15.503.....	117
4.4.	§FCC Parte 15.517 (a) (3) y (b).....	122
-	Medición del Diagrama de Radiación.....	126
5.	CAPÍTULO V: CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS 128	
5.1.	CONCLUSIONES	128
5.2.	RECOMENDACIONES.....	129
5.3.	TRABAJOS FUTUROS	130
6.	BIBLIOGRAFÍA	132
7.	ANEXOS	139
7.1.	ANEXO A.....	139
7.2.	ANEXO B.....	141
7.3.	ANEXO C.....	143
7.4.	ANEXO D.....	144

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Bandas de frecuencia para comunicaciones inalámbricas.....	8
Figura 2 IEEE 802.15.6 Physical Layer.....	9
Figura 3 Aplicaciones WBAN (Médicas y no Médicas).....	10
Figura 4 Velocidades de los sistemas inalámbricos (Casagrande Campoverde, 2014).....	11
Figura 5 Diagramas de radiación típicos de una antena.	21
Figura 6 a). Diagrama de radiación en coordenadas polares y b). coordenadas cartesianas.	21
Figura 7 Tipos de polarizaciones.	24
Figura 8 a) Antena con Polarización circular, b) Antena con polarización vertical y c) Antena con polarización horizontal.....	24
Figura 9 Tipos de antenas de hilo.	28
Figura 10 Tipo de antenas de apertura.	29
Figura 11 Estructura de una antena parabólica.	29
Figura 12 Antenas Microstrip.	30
Figura 13 Agrupación de antenas (Array).	31
Figura 14 Antena microstrip rectangular.	32
Figura 15 a). Línea de transmisión microstrip y b). líneas de campo eléctrico y magnético.	33
Figura 16 Geometrías más comunes de antenas microstrip.....	34
Figura 17 Modo de Propagación Transversal Electromagnético.....	35
Figura 18. Modo cuasi-TEM en una línea de transmisión microstrip.	36
Figura 19 Alimentación por sonda coaxial.	37
Figura 20 Alimentación por línea microstrip.....	38
Figura 21 Alimentación por acoplamiento de proximidad.	38
Figura 22 Alimentación por acoplamiento de apertura.....	39
Figura 23 Alimentación por sonda coaxial y ranura en forma de U.....	39
Figura 24 Circuito equivalente de un elemento de parche microstrip.	41
Figura 25 Modelo cavidad multimodo.....	42
Figura 26. Flujograma del proceso de diseño de la antena.....	47
Figura 27 Parámetros de cálculo de la constante dieléctrica.	48
Figura 28 Parámetros S de una antena UWB.....	49
Figura 29 Cálculo del valor de la constante dieléctrica.	50
Figura 30 Variable del ancho del parche (W).....	54
Figura 31 Variable del largo del parche (L).....	56
Figura 32 Variables del ancho del sustrato (Wg) y el largo del sustrato (Lg).	56
Figura 33 Variable de la longitud de la línea de transmisión (Lf).....	57
Figura 34 Variable del ancho de la línea de transmisión (Wf).....	59
Figura 35 Dimensiones de la estructura de la antena WBAN en milímetros.	62
Figura 36 Estructura del diseño (fase 1) de la antena.	63
Figura 37 Asignación de propiedad de conductor al parche.....	63
Figura 38 Asignación de propiedad de conductor al plano de tierra.	64
Figura 39. Asignación de propiedad de conductor a la caja de radiación.....	64
Figura 40 Asignación de propiedad de fuente de alimentación.....	65
Figura 41 Configuración del análisis para la simulación de la antena.....	65

Figura 42 Configuración del tipo barrido	66
Figura 43 Validación de los requerimientos de la antena.	67
Figura 44 Gráfica de los parámetros S.....	68
Figura 45 Pérdida de retorno del diseño (fase 1)	69
Figura 46 Patrón de radiación de la frecuencia 5.49 GHz	70
Figura 47 Patrón de radiación de la frecuencia 8.36 GHz	71
Figura 48 Modificación de la longitud del diseño (fase 2)	72
Figura 49 Herramienta Optimetrics	72
Figura 50 Pérdida de retorno (S11) del diseño (fase 2)	73
Figura 51 Resultado Group Delay	74
Figura 52 Dimensiones de la estructura de la antena fase 2	75
Figura 53 Dimensiones de la estructura de la antena WBAN en milímetros.	76
Figura 54 Parámetros S antena circular.	77
Figura 55 Diseño de la estructura de la antena WBAN (vista diagonal).	78
Figura 56 Parámetros S del diseño (fase 3)	78
Figura 57 Parámetros S del diseño (fase 3)	80
Figura 58 Group Delay (fase 3)	80
Figura 59 Diseño de la estructura fase 3	81
Figura 60 Parámetros S diseño fase 3	82
Figura 61 Parámetros S diseños de fase 3 y fase 4	83
Figura 62 Parámetros S diseño fase 4 (slots internos)	84
Figura 63 Diseño de la estructura fase 4	84
Figura 64 Parámetros S diseño fase 5	87
Figura 65 Parámetros S diseño fase 5	87
Figura 66 Diagrama de radiación de la antena fase 5	88
Figura 67 Diseño estructura fase 5.....	89
Figura 68 Parámetros S diseño final (slot central).....	91
Figura 69 Parámetros S Diseño Final	92
Figura 70 Dimensiones de la estructura de la antena WBAN en milímetros.	93
Figura 71 Parámetros S del diseño (final).....	95
Figura 72 Diagrama de Radiación de la frecuencia 3.50 GHz	96
Figura 73 Diagrama de Radiación de la frecuencia 5.80 GHz	97
Figura 74 Diagrama de Radiación de la frecuencia 12.77 GHz	97
Figura 75 Diagramas de Radiación vista 3D	98
Figura 76 Gráfica Ganancia Simulada.....	99
Figura 77 Valores de ganancia máxima para configuraciones de antenas UWB	99
Figura 78 Parámetro de la directividad del diseño (final) a las frecuencias:	100
Figura 79. Group Delay de la antena	101
Figura 80 Distribución del campo eléctrico del diseño (final)	101
Figura 81 Distribución de corrientes del diseño (final)	102
Figura 82 Medición de la Tasa de Absorción Específica (vista lateral)	103
Figura 83 Medición de la Tasa de Absorción Específica (vista general)	103
Figura 84 Sustrato FR-4 con altura de 1.6 mm.....	105
Figura 85 Dimensiones finales del sustrato para impresión	105
Figura 86 Conector SMA.....	106
Figura 87 Plantilla de impresión antena.....	106

Figura 88 Proceso de Insolación de la plantilla y con la placa FR-4.....	107
Figura 89 Antena impresa en el sustrato FR-4.....	107
Figura 90 Proceso de Revelado.....	108
Figura 91 Antena UWB Final.....	108
Figura 92. Diagrama de calibración.....	115
Figura 93. Diagrama de medición.....	116
Figura 94. Medición Parámetros S - VNA.....	119
Figura 95. Frecuencias de resonancias.....	120
Figura 96. Medición Ancho de Banda – VNA.....	124
Figura 97 Contraste del patrón de radiación (Simulado 3.5 GHz y Medido 3.63 GHz).....	127
Figura 98 Contraste del patrón de radiación (Simulado 3.5 GHz y Medido 3.63 GHz).....	127
Figura 99 Contraste del patrón de radiación (Simulado 3.5 GHz y Medido 3.63 GHz).....	127
Figura 101. DataSheet Placa FR-4.....	139
Figura 102. Datasheet conector SMA.....	140

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Reglamentación realizada por la FCC.	12
Tabla 2. Límites promedio PIRE	14
Tabla 3. Comparación de los métodos de alimentación.	40
Tabla 4. Algunas herramientas utilizadas para la simulación de antenas	45
Tabla 5. Parámetros obtenidos para calcular la altura del sustrato	51
Tabla 6. Características principales de los sustratos más utilizados.	51
Tabla 7. Tipos de alturas del sustrato FR-4	52
Tabla 8. Valores iniciales para el dimensionamiento de la estructura de la antena.	53
Tabla 9. Dimensiones de la línea de transmisión para el acople de 50 Ohms.	59
Tabla 10. Valores referenciales de las dimensiones de la antena.	60
Tabla 11. Requisitos básicos de la antena.....	61
Tabla 12. Dimensiones de la antena fase 4.....	85
Tabla 13. Dimensiones del diseño de la antena fase 5.....	89
Tabla 14. Dimensiones de las variables de la antena.....	93
Tabla 15. Características sustrato FR-4	104
Tabla 16. Cronograma de Pruebas	111
Tabla 17. Descripción del producto	113
Tabla 18. Configuración de la prueba.....	114
Tabla 19. Lista de equipos	115
Tabla 20. Tipo de cable.....	115
Tabla 21. Resumen de los resultados de la prueba	116
Tabla 22. Condiciones Ambientales	118
Tabla 23. Descripción resultados UWB.....	118
Tabla 24. Resumen de la prueba: Parámetros S.....	119
Tabla 25. Resumen de resultados de la prueba: Coeficiente de reflexión	120
Tabla 26. Resultados de la prueba	121
Tabla 27. Condiciones ambientales	123
Tabla 28. Descripción resultados de la prueba	123
Tabla 29. Resumen de la prueba	124
Tabla 30. Frecuencia menor y frecuencia mayor.....	125
Tabla 31. Medición de antena UWB.....	126
Tabla 32. Prueba de medición: Parámetros S	141
Tabla 33. Prueba de medición: ROE.....	142

ÍNDICE DE ECUACIONES

(Ec. 1).....	19
(Ec. 2).....	19
(Ec. 3).....	20
(Ec. 4).....	22
(Ec. 5).....	23
(Ec. 6).....	25
(Ec. 7).....	26
(Ec. 8).....	26
(Ec. 9).....	27
(Ec. 10).....	42
(Ec. 11).....	43
(Ec. 12).....	43
(Ec. 13).....	49
(Ec. 14).....	49
(Ec. 15).....	51
(Ec. 16).....	51
(Ec. 17).....	58

RESUMEN

La constante evolución de las comunicaciones inalámbricas en los últimos años ha generado la posibilidad de adentrarse en el desarrollo y la investigación de otros estándares de conectividad, como es el estándar IEEE 802.15.6 WBAN (Wireless Body Area Network). Uno de los enfoques principales es el área de la salud, mediante sensores utilizados para el monitoreo de signos vitales (Félix & Méndez, 2017). Dentro de este sistema de sensores debe existir el elemento radiador llamado antena, el cual habilita la comunicación inalámbrica mediante ondas electromagnéticas entre los dispositivos, para permitir la transmisión y recepción de datos, es así, que en la presente investigación incluye un estudio, diseño y construcción de una antena microstrip, con características de banda ultra ancha o UWB, la cual es utilizada en ambientes inalámbricos de corto alcance y utiliza gran parte del espectro radioeléctrico para una transmisión de gran velocidad. El diseño de la antena va acorde al ambiente de operación, siendo una antena de bajo perfil, compacta y de bajo costo, las antenas microstrip impresas son consideradas como soluciones factible a la integración dentro de los sistemas de transmisión (Huidobro & Luque, 2014).

En la presente investigación se realizan pruebas en cada etapa del diseño de la antena, para verificar que la antena presente características UWB, como lograr un amplio ancho de banda, que las resonancias estén operando dentro del rango 3.1 GHz a 10.6 GHz y presente un retardo de grupo (group delay) inferior a los 2 [ns]. Por último, se realiza la evaluación con un Analizador de Redes Vectoriales (VNA), el cual permite realizar una medición experimental de los parámetros de la antena (coeficiente de reflexión, ancho de banda y bandas de frecuencias), y con ello validar que la antena cumpla con las características para operar en esta tecnología.



ABSTRACT

The ongoing progress of wireless communications in recent years has opened the door to further research and development of various connectivity standards, such as the IEEE

802.15.6 WBAN (Wireless Body Area Network) standard. The health sector is one of the key areas of concentration, with sensors used to monitor vital signs (Félix & Méndez, 2017). This research includes a study, design, and construction of a microstrip antenna with ultra-wideband or UWB characteristics, which is used in short-range wireless environments and uses much of the radio spectrum for high-speed transmission. And a study, design, and construction of a microstrip antenna with ultra-wideband or UWB characteristics, which is used in short-range wireless environments and uses much of the radio spectrum for high-speed transmission.

The antenna design goes according to the operating environment, being a low profile, compact and low-cost antenna, printed microstrip antennas are considered as feasible solutions to integration within transmission systems (Huidobro & Luque, 2014). In this research, tests are performed at each stage of the antenna design, to verify that the antenna presents UWB characteristics, such as achieving a wide bandwidth, that the resonances are operating within the range 3.1 GHz to 10.6 GHz, and present a group delay of less than 2 [ns]. Finally, the evaluation is performed with a Vector Network Analyzer (VNA), which allows an experimental measurement of the antenna parameters (reflection coefficient, bandwidth, and frequency bands), and thus validates that the antenna meets the characteristics to operate in this technology.

Reviewed by Víctor Raúl Rodríguez Vite

1. CAPÍTULO I: ANTECEDENTES

1.1. Introducción

El presente capítulo abarca la sustentación necesaria para el estudio, diseño y fabricación de una antena con tecnología microstrip con el objetivo de contribuir al desarrollo investigativo de antenas directamente relacionadas con las Redes de Área Corporales (WBAN), reconocer los principales inconvenientes que cuenta los sistemas actuales de monitoreo en el parte de RF y brindar una solución detallada mediante la vinculación de tecnologías nuevas que permitan en un futuro remplazar a las actuales, mejorando aspectos de velocidad y capacidad de transferencia.

1.2.Tema

“Diseño y fabricación de una antena con tecnología microstrip para aplicaciones en redes de área corporales (WBAN)”

1.3. Problema

En la última década la tecnología ha evolucionado de una manera extraordinaria, logrando avances de gran impacto, hasta tal punto que se han convertido en una parte fundamental de las labores cotidianas de las personas, este factor ha generado una gran demanda en el área de la tecnología inalámbrica, debido al surgimiento de nuevas aplicaciones en áreas como es la telefonía, la salud, transporte, entre otros (Sanmartín, Ávila, Vilora, & Jabba, 2016). El nuevo concepto del Internet de las Cosas (IoT) que se basa es la comunicación de dispositivos y objetos de la vida cotidiana a través de la INTERNET, permitiendo la integración de sensores y equipos los cuales se conectan por medio de redes fijas o inalámbricas para su aplicación en diferentes áreas

(Sanmartín et al., 2016). Una de ellas es el área de la salud, donde se han desarrollado sistemas de monitoreo a partir de sensores que son utilizados para medir los parámetros de salud del paciente y posteriormente los datos son enviados a la nube, lo cual ayuda a tener un óptimo monitoreo remoto, mejorando de esta manera la calidad de vida del paciente (Reddy, Marks, Prabaharan, & Muthulakshmi, 2017). Para lograr esto se aplica la tecnología WBAN (Red de Área Corporal Inalámbrica) reguladas por el estándar IEEE 802.15.6, para la comunicación de dispositivos que cuentan con baja potencia, permitiendo que puedan ser colocados en el cuerpo para distintos propósitos, siendo el más utilizado para el monitoreo de signos vitales (Félix & Méndez, 2017).

En este sistema de monitoreo un componente fundamental es la antena, ya que es un elemento esencial en la calidad de un enlace WBAN, el cual debe presentar una gran disponibilidad de ancho de banda (BW) para la correcta transmisión y recepción de los datos provenientes del sistema de sensores, así como la frecuencia de operación en la que trabaja (Rodríguez, Tutora, & Fabrés, 2017). Actualmente en el mercado local existe una variedad de equipos existentes para monitoreo los cuales están limitados a trabajar en frecuencias 2,4 GHz y 5GHz (Welchallyn, 2018) , cuyas frecuencias se encuentran cada vez más congestionadas debido al surgimiento de un sinnúmero de aplicaciones que van creciendo cada día más (Wang, Hassanien, & Amin, 2018).

La inmersión de este tipo de tecnología en la provincia generara un gran impacto en el sector de la salud, sin embargo, en la provincia no existe un instituto público de investigación respecto a las líneas de investigación en el área de antenas, lo que genera que el estado no invierta en este campo, logrando así la mínima explotación científica en esta área, contribuyendo a crear un país dependiente de este tipo de tecnología y provocando altos costos en la importación (Senecyt, 2018).

Con la implementación de sistemas WBAN aplicados a la salud, se mejora la calidad de vida de aquellas personas que enfrenten problemas médicos al mejorar el control de los signos vitales del paciente. Además generando tecnología local se minimizan los costos de importación por lo menos en el área de antenas, logrando así un cambio en las perspectivas tecnológicas de cara a la nueva era del mundo del Internet de las cosas (IoT) (Rodríguez et al., 2017)

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Diseñar una antena con tecnología microstrip para aplicaciones en redes de área corporales (WBAN) en la provincia de Imbabura.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Recopilar información acerca de investigaciones de antenas con tecnología microstrip aplicadas a sistemas WBAN.
- Diseñar la antena con tecnología microstrip mediante un simulador de campos electromagnéticos.
- Fabricar la antena con características apropiadas para que sea utilizada en aplicaciones WBAN.
- Realizar un contraste de los parámetros obtenidos de la antena en la simulación y las mediciones realizadas en laboratorio.

1.5. Alcance

Se identificará la literatura existente referente a antenas que utilizan tecnología microstrip, estructuras, ventajas y desventajas que presentan este tipo de antenas, así como fórmulas matemáticas para la creación de la estructura de la antena basándose en la frecuencia de operación de la antena y su posterior aplicación metodológica de modelación más adecuada para ser aplicada en el diseño. Para el diseño de la antena se realizará en un software de campos electromagnéticos más utilizado para esta área, el cual se ajuste perfectamente a los requerimientos para el diseño de la antena. En el diseño se identificarán los parámetros de la antena como son: diagrama de radiación, ganancia, ancho de banda, eficiencia y directividad, los cuales estarán en relación con la estructura de la antena basada en tecnología microstrip, además el rango de cobertura comprende distancias inferiores a un metro, con un patrón de radiación omnidireccional características importantes para la aplicación en sistemas WBAN.

El presente proyecto constara de un diseño de una antena con tecnología microstrip, la cual será fabricada en el sustrato más apropiado previo a la realización de una tabla comparativa de los sustratos que presenten las mejores características físicas y requerimientos que más se ajusten para el diseño de la antena para que sea utilizada en aplicaciones WBAN. Para la construcción de la antena será impreso por medio de una fresadora CNC en el sustrato seleccionado, con las medidas exactas del diseño realizado en el software de campos electromagnéticos.

Una vez terminado la construcción de la antena se realizará un contraste de resultados obtenidos tanto en la etapa simulación los cuales serán obtenidos en el software de campos electromagnéticos, con los medidos por los equipos electrónicos en el laboratorio, para evaluar el desempeño de la antena respecto a los resultados deseados.

1.6. Justificación

La tecnología se ha vuelto importante para el desempeño en nuestras actividades, y sobre todo en áreas como la salud. En los últimos años la tecnología UWB (Ultra WideBand) ha permitido una mejor capacidad de transferencia y a distancias cortas respecto a tecnologías como: Bluetooth, RFID y zigbee (Sádaba, 2016). UWB brinda la posibilidad de utilizar frecuencias no saturadas que opera en un rango ideal (3.1 GHz hasta 10,6 GHz), además proporcionan resultados prometedores en términos de velocidad de datos y tiempo de respuesta para que pueda ser aplicado en una Red de Área Corporal Inalámbrica (WBAN) que se basa en la utilización de pequeños sensores para el monitoreo de los parámetros vitales (Félix & Méndez, 2017). Este sistema se diferencia del modo tradicional de control, donde el paciente puede ser controlado remotamente desde su casa. Una parte que cuenta el sistema de monitoreo es los elementos radiantes (antenas), tanto para transmisión y recepción, las antenas desempeñan un papel importante en la comunicación inalámbrica para transferir los datos obtenidos por los sensores y a su vez recibirlos para su análisis correspondiente (Rodríguez et al., 2017). Debido a que la frecuencia de trabajo es nueva para su implementación en la nueva era del internet de las cosas (IoT), por lo que las antenas no se consiguen fácilmente en el mercado local en esta frecuencia y su importación presenta un mayor costo.

Por ello se pretende diseñar una antena con tecnología microstrip en la cual se basa la fabricación de este tipo de antenas, ya que desde sus inicios ha generado un alto interés al momento de fabricar antenas más compactas y versátiles, además debido a su bajo costo, gran disponibilidad de ancho de banda y adaptable a cualquier superficie (Ahmed H. Abdelrahman, Fan Yang, Atef Z. Elsherbeni, 2017), características que son adecuadas en la implementación de sistemas con tecnología WBAN. Con ello la fabricación se realiza en el país reduciendo costos de importación,

cuya finalidad de la construcción de la antena se enfoca en generar un aporte investigativo y tecnológico para su aplicación en sistemas de sensores para el monitoreo de signos vitales de pacientes, contribuyendo a que este tipo de tecnología sea parte esencial en el mejoramiento de los procesos tecnológicos de salud en la provincia, donde según el objetivo 1 del plan nacional del buen vivir hace referencia a garantizar una vida digna con iguales oportunidades para todas las personas (SENPLADES, 2017).

2. CAPÍTULO II: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

En el presente capítulo se detalla todo lo concerniente a la fundamentación teórica, la cual es necesaria para el desarrollo del presente proyecto de investigación. Aquí se analizarán definiciones fundamentales referentes a redes de área corporales (WBAN) y su respectivo análisis del estándar IEEE 802.15.6 que lo rige. Además, todo lo pertinente al área de antenas, desde una perspectiva general, hasta llegar al apartado de antenas microstrip que es el principal enfoque y propuesta del trabajo.

2.1. Redes de Área Corporal (WBAN)

Las redes de área corporal WBAN (Wireless Body Area Network) poseen un gran potencial y forman parte de las tecnologías que vienen a revolucionar el futuro en el área de la salud. La tecnología WBAN está inmersa en una serie de aplicaciones médicas y de electrónica de consumo (CE). Por citar un ejemplo; WBAN proporciona monitoreo remoto del estado de salud de un paciente o en sistemas no médicos como la recolección de movimientos en base a diferentes coordenadas del usuario (Fourati et al., 2015).

El estándar IEEE 802.15.6 fue diseñado específicamente como una norma internacional de baja complejidad, bajo costo, bajo consumo de energía, un reducido alcance de cobertura (inferior a los 2 metros) y presenta una extremada confiabilidad para lograr un envío seguro de la información, cuyo principal objetivo de esta norma es dar solución al servicio de transmisión para corto alcance (comunicación entre pequeños dispositivos dentro de un entorno) como áreas del cuerpo humano (Fourati et al., 2015).

2.2. Estándar IEEE 802.15.6

El estándar IEEE 802.15.6 utiliza distintas bandas de frecuencia para la transmisión de datos, tal como se muestra en la Figura 1, incluye bandas desde 400, 800, 900, 2300 y 2400 MHz; las cuales corresponden a la banda NB (Narrow Band); adicionalmente utiliza la banda UWB (UltraWide Band) que comprende el rango de frecuencias desde 3.1 a 10.6 GHz. De acuerdo con (Villacrés, 2006), la finalidad de la tecnología UWB es permitir la integración con otros sistemas dentro del rango de frecuencia habilitado, a esto se suma una inmunidad frente a los efectos de interferencia multi trayecto (multipath), además al operar en esta tecnología se pueden alcanzar velocidades de datos a partir de 10 Mbps en baja potencia

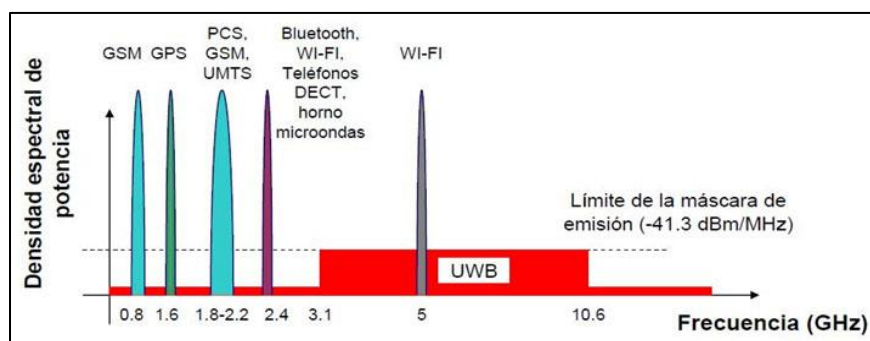


Figura 1 Bandas de frecuencia para comunicaciones inalámbricas.

Fuente: (Barreto, Morales, & Hernández, 2014) .

El estándar IEEE 802.15.6 define un control de acceso al medio (capa MAC) que admite tres capas físicas (PHY) divergentes, es decir, la capa NB (Narrow Band PHY), la capa UWB (UltraWide Band PHY) y la capa HBC (Human Body Communications PHY), tal como se muestra en la Figura 2.

(Meacham, Gioulekas, & Phalp, 2015) afirma que la capa NB PHY presenta un consumo de energía muy bajo y utiliza una modulación DPSK la cual brinda una robustez frente a interferencias; así mismo la capa HBC PHY utiliza la tecnología de comunicación basada en el campo eléctrico y utiliza al cuerpo humano como un medio de propagación para la transmisión de datos. Adicionalmente, la capa UWB PHY se clasifica en dos categorías, la IR-UWB y FM-UWB; la primera basa su transmisión en impulsos de radio, mientras que la segunda categoría opera con una modulación de frecuencia de banda ancha, la cual opera con la modulación GFSK de fase continua (Hernandez & Mucchi, 2014).

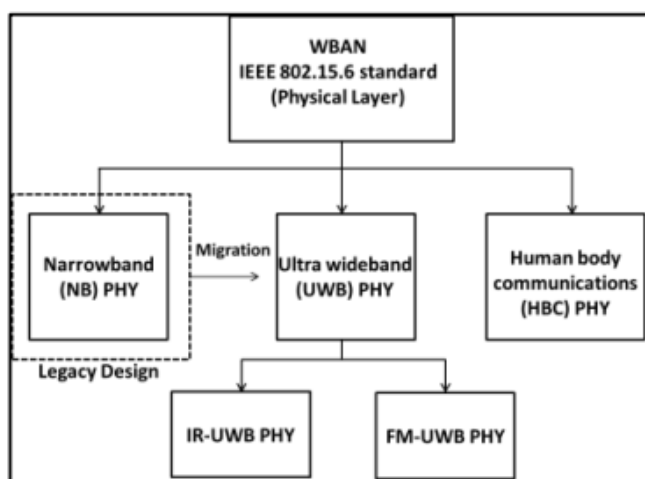


Figura 2 IEEE 802.15.6 Physical Layer

En ese sentido se describen algunas aplicaciones WBAN (Wireless Body Area Network) que son regidas por el estándar IEEE 802.15.6, las cuales se clasifican en aplicaciones médicas y no médicas, como se representa en la Figura 3. Las aplicaciones médicas son aquellas que recopilan información vital de un paciente de forma continua y su respectivo envío a una estación de monitoreo para su análisis, mientras que las aplicaciones no médicas se incluyen aplicaciones como el monitoreo de cosas olvidadas, transferencia de datos de videojuegos y aplicaciones en redes sociales (Negra, Jemili, & Belghith, 2016).

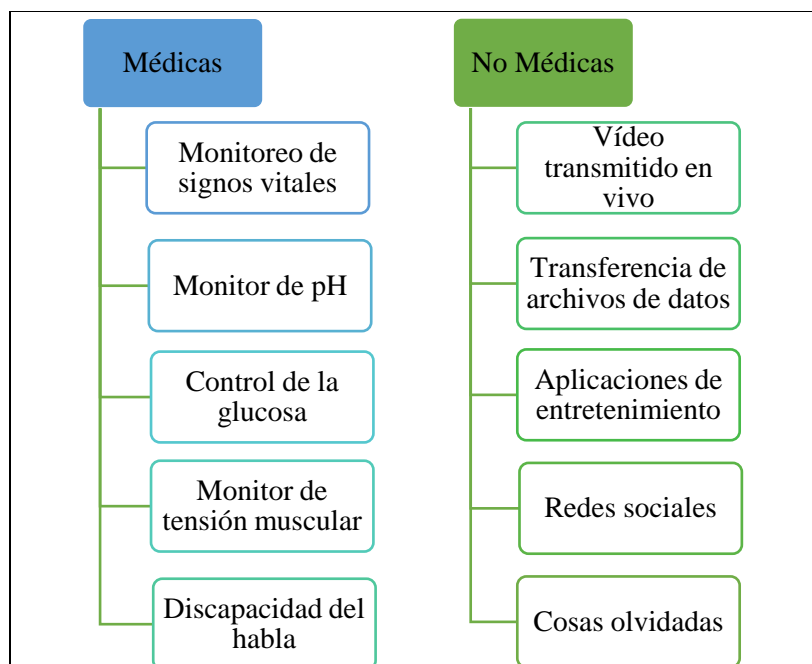


Figura 3 Aplicaciones WBAN (Médicas y no Médicas).

Fuente: (Kwak, Ullah, & Ullah, 2010).

2.3. Introducción a la tecnología UWB

Citando a (Suárez, 2011), UWB (Ultra WideBand): “ es un canal de comunicaciones inalámbrico que tiene un gran ancho de banda, por lo que las tecnologías que usan canales de banda ultra estrecha poseen características diferentes, entre las cuales se encuentra la velocidad de transmisión”

Por consiguiente en los últimos años, las telecomunicaciones han generado una gran expectativa entorno al mundo de las comunicaciones inalámbricas, como es el caso de la tecnología UWB (Ultra WideBand), la cual afronta un gran reto para ser implementada en redes de área corporal, cuya característica principal es brindar una alta tasa de velocidad referente a la transmisión de datos, dicho de otra manera se pueden alcanzar velocidades comprendidas entre 100 Mbps hasta 1 Gbps como se muestra en la Figura 4, además, esta tecnología ha logrado un importante alcance en

soluciones en las áreas de: redes de sensores, radares de alto alcance, sistemas de discretización de imágenes, entre otros (Suárez, 2011).

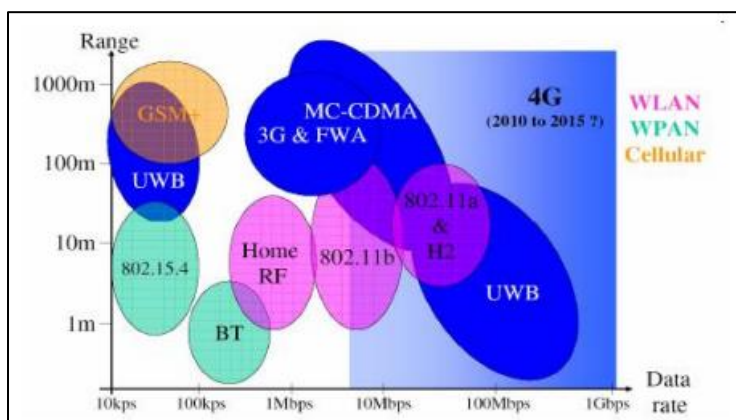


Figura 4 Velocidades de los sistemas inalámbricos (Casagrande Campoverde, 2014)

En el año 2002, la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC), anunció la banda de frecuencias de 3.1 GHz a 10.6 GHz destinada para comunicaciones de radio UWB; esta tecnología acaparado popularidad dentro de aplicaciones donde el inconveniente principal para su funcionamiento es la duración de la batería, en este aspecto UWB brinda la solución debido a su bajo consumo energético para la transmisión de datos. Adicionalmente, la tecnología UWB está presente en investigaciones de radares de impulsos controlados, dispositivos portátiles de imágenes médicas y más reciente en el diseño de áreas corporales inalámbricas (WBAN) (Kang, Li, Wang, & Shi, 2015).

Como señala (Suárez, 2011), la tecnología UWB (Ultra WideBand) se caracteriza básicamente como un canal con prestaciones que utiliza un ancho de banda superior a los 500 MHz, presenta potencias muy bajas (100 a 200 mW), por esta razón es la que se aplica en redes personales; al usar estas potencias no generan ninguna afección al cuerpo humano. Partiendo del reglamento de la FCC se define algunas consideraciones que se muestran en la Tabla 1, las cuales establecen los parámetros de operación de esta tecnología (Suárez, 2011).

Tabla 1. Reglamentación realizada por la FCC.

N°	Parámetro	Característica
1	Rango de operación	3.1 GHz a 10.6 GHz
2	Densidad espectral de potencia máxima	-41.3 dBm/MHz
3	Ancho de Banda mínimo	0.5 GHz
4	Rango de cobertura	Distancias cortas entre (>1m, <3m)

Fuente: (Suárez, 2011)

2.3.1. Regulación FCC sobre UWB

Según la (FCC, 2002) en la parte 15, subparte F y subsección 503 (*FCC Parte 15.503*) proporciona las siguientes definiciones de UWB.

a). **Ancho de banda UWB.** Esta subparte menciona el ancho de banda UWB, es la banda de frecuencia limitada por los puntos que están por debajo de los -10 dB.

b). **Frecuencia central.** La frecuencia central, F_C , es igual a $(F_H + F_L)/2$.

c). **Ancho de banda fraccional.** El fraccionario del ancho de banda es igual a $2(F_H - F_L) / (F_H + F_L)$.

d). **Transmisor de banda ultra ancha (UWB).** Un radiador debe tener un ancho de banda UWB igual o superior a 500 MHz, independiente del ancho de banda fraccionario.

k). **PIRE (Potencia Isotrópica Radiada Equivalente).** Es el producto de la potencia suministrada a la antena en una dirección dada en relación con una antena isotrópica. El PIRE se

refiere a la intensidad de señal más alta, medida en cualquier dirección y en cualquier frecuencia desde el dispositivo UWB.

Para nuestro caso de estudio el valor del PIRE se encuentra en la *FCC Parte 15.517*, donde se menciona los Requisitos técnicos para sistemas UWB in-door.

a). La operación bajo las disposiciones de esta sección se limita a los transmisores UWB empleados únicamente para operación en interiores.

1). Dispositivos UWB para interiores, debe ser capaz de operar solo en interiores. La necesidad de operar con una infraestructura interior fija. Ejemplo: un transmisor que debe estar conectado a las líneas de alimentación de CA, puede considerarse suficiente para demostrar.

2). Las emisiones de los equipos operados bajo esta sección no serán dirigidas intencionalmente fuera del edificio en el que se encuentra el equipo.

3). El uso de antenas montadas al aire libre. Ejemplo: antenas montadas fuera de un edificio o en un teléfono o cualquier otra infraestructura el aire libre está prohibido.

4). Sensores de perturbación de campos deben esta siempre dirigidas hacia el suelo.

5). Un sistema de comunicaciones deberá transmitir solo cuando el radiador está enviando información a un asociado receptor.

b). El ancho de banda UWB debe estar contenido entre 3100 MHz y 10600 MHz.

c). Las emisiones radiadas por encima de 960 MHz desde un dispositivo que funciona bajo las disposiciones de esta sección no deben exceder los siguientes límites promedio cuando se mide usando una resolución de ancho de banda de 1 MHz. Estos valores se especifican en la Tabla 2.

Tabla 2. Límites promedio PIRE

Frecuencia en MHz	PIRE en dBm
960 -1610	-75.3
1610 -1990	-53.3
1990 - 3100	-51.3
3100 - 10600	-41.3
Superior a 10600	-51.3

(FCC, 2002)

2.3.2. Ventajas y Desventajas tecnología UWB

Dentro de esta tecnología se puede listar algunas ventajas y desventajas, las cuales describen elementos que destacan y otros con algunas debilidades respecto a la eficiencia y adaptabilidad en los sistemas inalámbricos. Desde el punto de vista de (Zheng & Zhang, 2018), las ventajas más relevantes de UWB se listan a continuación:

- ***Penetración a través de obstáculos.*** - UWB utiliza pulsos de RF con alta ganancia, esta singularidad permite obtener imágenes de los órganos interiores del cuerpo humano.
- ***Alta precisión a nivel de centímetros.*** - proporciona un alcance efectivo a nivel de centímetros, debido a las características del pulso muy corto.
- ***Baja radiación electromagnética.*** - esta tecnología trabaja con potencias de baja radiación según los estándares, además, presenta potencias inferiores a los -41.3 dBm en comunicaciones inalámbricas interiores.

- ***Bajo consumo de procesamiento.*** - como UWB utiliza pulsos de muy corto tiempo, esto permite que la batería de los dispositivos presente una larga duración, generando una alta eficiencia energética.

A pesar de tener unas ventajas sobresalientes esta tecnología presenta algunas desventajas que se detallan a continuación, una de ellas es las altas pérdidas que se producen en los tejidos humanos al operar en estas frecuencias de ondas milimétricas, específicamente a partir de 6 GHz, generando una inestabilidad en la comunicación entre dispositivos situados dentro del cuerpo humano (Miralles, 2016).

Así mismo, esta tecnología presenta problemas referentes al procesamiento de la señal, debido a que los sistemas deben tener una relación con técnicas de procesamiento de señal más complejas y sofisticadas para lograr la obtención de los datos que se están procesando en un entorno de comunicación inalámbrico. (Zheng & Zhang, 2018). Otro inconveniente que se presenta es el alcance, cuando se aumenta provoca que la tasa de transmisión disminuya considerablemente, este problema se genera a partir de las emisiones de radiación, las cuales operan en bajas potencias (El Bouchti, 2017).

2.4. IEEE/ANSI C63.10-2013

Según (Kesselman, 2013) afirma que: el proyecto fue propuesto en primera instancia el 2006, el objetivo del grupo se trataba en desarrollar un estándar para documentar los procedimientos para probar dispositivos inalámbricos para mostrar el cumplimiento de las reglas de la FCC de manera oportuna. Además de establecer un foro para fabricantes, laboratorios de

pruebas y asignar representantes gubernamentales para discutir pruebas de cumplimiento de dispositivos inalámbricos.

En ese sentido, para diciembre de 2014 según (Wilzeck, Pérez, & Dimitrov) menciona que: se incorpora una referencia a IEEE/ANSI C63.10-2013 en las reglas como los procedimientos de medición para determinar el cumplimiento de los radiadores intencionales sin licencia con las regulaciones de la FCC.

El estándar ANSI C63.10-2013 con respecto a UWB, proporciona métodos de prueba para determinar el cumplimiento de los requisitos reglamentarios para muchos tipos de dispositivos reglamentarios para muchos tipos de dispositivos inalámbricos sin licencia, incluidos dispositivos UWB. En general, el estándar IEEE/ANSI C63.10-2013 reconoce que tanto los analizadores de espectro como los receptores de interferencia electromagnética (EMI) se pueden utilizar para realizar mediciones de emisión (Wilzeck, Pérez, & Dimitrov).

2.5. Teoría de antenas

La mayoría de las aplicaciones que cuentan con tecnología de microonda y radiofrecuencia están ligadas a sistemas de comunicación, sistemas de seguridad inalámbricos, sistemas de radar y sistemas médicos, a su vez cada aplicación está utilizando una parte del espectro electromagnético para su operación y dentro de sus sistemas electrónicos emisores o receptores se encuentra un elemento radiador llamado antena, que dependiendo de su configuración podrá transmitir o recibir las señales electromagnéticas. Por ello es importante comprender la teoría elemental respecto a las antenas como los parámetros de operación, modos de propagación de las

ondas, los diferentes tipos de antenas que existen, así como los simuladores que permiten realizar el diseño de este tipo de antenas.

En ese sentido una vez comprendido de que abarcara el presente apartado es convincente repasar a breves rasgos la historia de cómo nace aquel elemento radiador llamado antena, el cuál junto a la teoría del campo electromagnético supusieron un cambio radical frente a las comunicaciones alámbricas existentes en la época. Las comunicaciones por radio surgieron hace aproximadamente 120 años, a partir de descubrimientos como la electricidad, el telégrafo o el teléfono, permitiendo un rápido avance en esta área. Al físico ruso Alexander Popov se le atribuye la invención de la antena, siendo uno de los pocos ingenieros rusos en el siglo XIX, demostrando su incesante interés por investigaciones como las de James Clerk Maxwell con su teoría acerca de las ondas electromagnéticas, que permitía unir la electricidad y el magnetismo una misma rama, descubriendo que las ondas no necesitaban específicamente un medio físico de propagación. El invento de la antena de Popov descubierto en 1897 permitió a Marconi desarrollar un sistema de radio sin hilos y eliminar los inconvenientes que se presentaban en transmisiones a largas distancias. Los descubrimientos realizados por aquellos científicos de la época establecieron los pilares para las futuras investigaciones, donde se hablaba cada vez más del concepto de radiocomunicación, mediante este invento la humanidad vivió el inicio de una nueva era tecnológica, que le permitía estar comunicada la mayor parte del tiempo, donde aplicaciones como la radio, la televisión, el radar, los sistemas de navegación y la comunicación espacial formaron parte esencial de la evolución de la humanidad (Huidobro & Luque, 2014).

2.5.1. Definición de Antena

Según (Stalling, 2005) se define una antena como: “un conductor eléctrico o un sistema de conductores utilizados para la emisión de energía electromagnética o para la recepción de energía electromagnética”. En contraste (IEEE, 2004) menciona que: “una antena es la parte de un emisor o receptor de un sistema que está diseñado para irradiar o recibir ondas electromagnéticas”

En este sentido, dentro de un sistema de comunicación, la antena cumple la función de convertirla energía eléctrica de radiofrecuencia que viene del transmisor y convertirla en forma de energía electromagnética posteriormente irradiarla al ambiente exterior (atmósfera, espacio libre, agua). Mientras que en el lado de la recepción la antena capta la energía electromagnética proveniente del medio aire y la convierte en energía eléctrica de radiofrecuencia (Stalling, 2005).

2.5.2. Parámetros de una antena

Una antena constituye un elemento esencial dentro de un sistema de radiocomunicación, por lo tanto, caracterizar los parámetros permiten describir y evaluar el desempeño deseado de la antena en el sistema inalámbrico. Dentro de los parámetros más esenciales que presentan las antenas están: impedancia, intensidad de radiación, diagrama de radiación, ganancia, polarización, eficiencia, ancho de banda y área efectiva.

2.5.2.1. Impedancia

(Balanis, 2008) afirma que: “la impedancia presentada por una antena en sus terminales es la relación de la tensión y la corriente en un par de terminales de entrada o la adecuada relación entre las componentes de los campos eléctrico y magnético en un punto”. La relación entre el

voltaje y la corriente en los terminales que no presentan carga se expresa mediante la Ec. 1, por lo tanto, la impedancia se define como:

$$\mathbf{Z}_A = \mathbf{R}_A + \mathbf{jX}_A \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

Z_A = Impedancia de la antena en los terminales (*ohms*)

R_A = Resistencia de la antena en los terminales (*ohms*)

X_A = Reactancia de la antena en los terminales (*ohms*)

La parte resistiva (R_A) de la Ec.1 se calcula mediante la Ec. 2:

$$\mathbf{R}_A = \mathbf{R}_r + \mathbf{R}_L \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

R_r = Resistencia a la radiación de la antena (*ohms*)

R_L = Resistencia a la pérdida de la antena (*ohms*)

2.5.2.2. Intensidad de Radiación

Según (Cardama et al., 2004) la intensidad de radiación“ es la potencia radiada de la antena por unidad de ángulo sólido¹, además es un parámetro de campo lejano que se expresa como el

¹ Ángulo sólido: es el ángulo espacial que permite proyectar la zona del espacio desde un punto de un objeto mediante el flujo de campos vectoriales.

producto de la densidad de radiación por la distancia al cuadrado”. La intensidad de radiación se representa de forma matemática mediante la Ec. 3.

$$U = r^2 P_{rad} \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde:

U = Intensidad de radiación ((W/Unidad de ángulo sólido))

r^2 = Distancia (metros)

P_{rad} = Densidad de radiación (W)

2.5.2.3. Diagrama de Radiación

(Cardama et al., 2004) mencionan que el diagrama de radiación: “es una representación gráfica de las propiedades de radiación de la antena, en función de las distintas direcciones del espacio, a una distancia fija”.

En el estudio de las antenas se puede apreciar antenas con diagrama de radiación isotrópicos, directivos y omnidireccionales como se muestra en la Figura 5, dependiendo e de la forma que irradie las ondas electromagnéticas y su correspondiente distribución hacia el espacio es seleccionado el diagrama. Respecto a la antena isotrópica hace referencia a la radiación uniforme que se transmite a todas las direcciones del espacio, generando un diagrama de radiación de una esfera perfecta, aunque este tipo de radiación es imposible en la práctica, para casos de estudio es usualmente utilizado para realizar un contraste respecto a la forma de radiación y distribución electromagnética que presentan otro tipo de antenas.

Las antenas directivas tienen la característica de emitir o recibir ondas electromagnéticas en determinadas direcciones que otras; en cambio, las antenas que presentan un patrón de radiación omnidireccional presenta una distribución uniforme en todas las direcciones del plano excepto en el lóbulo superior e inferior (Miralles, 2016).

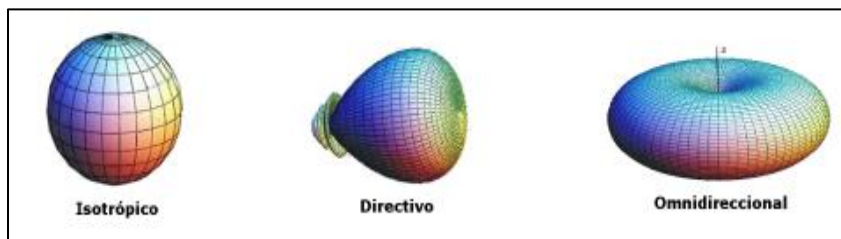


Figura 5 Diagramas de radiación típicos de una antena.

Fuente: (Miralles, 2016).

La representación puede realizarse de forma polar o cartesiana como se visualiza en la Figura 6, ambas representaciones permiten observar a detalle características de la antena, como por ejemplo el diagrama en coordenadas polares representado en la Figura 6 a), la cual permite brindar información más detallada de la distribución de potencia radiada en las distintas direcciones del espacio, mientras que en la Figura 6 b) se aprecia el diagrama en coordenadas cartesianas, la cual hace alusión a una gráfica en 2D (Cardama et al., 2004).

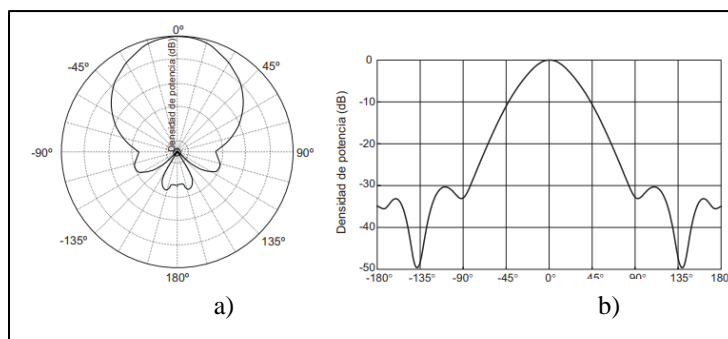


Figura 6 a). Diagrama de radiación en coordenadas polares y b). coordenadas cartesianas.

Fuente: (Cardama et al., 2004)

2.5.2.4.Directividad

De acuerdo con (Cardama et al., 2004) menciona que: “la directividad de una antena se define como, la relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección a una distancia dada, y la densidad de potencia que radiará a esa misma distancia frente a una antena isotrópica”.

La ecuación del parámetro de la directividad se expresa mediante la Ec. (4) cuya forma matemática corresponde a:

$$D = \frac{U}{U_o} = \frac{4\pi U}{P_{rad}} \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde:

D = Directividad (dB)

U = Intensidad de radiación (W /Unidad de ángulo sólido)

U_o = Intensidad de radiación de fuente isotrópica (W /Unidad de ángulo sólido)

P_{rad} = Potencia radiada total (W)

2.5.2.5.Ganancia

Según (Balanis, 2008) manifiesta que la ganancia de una antena se define como: “la relación de la intensidad de radiación, en una dirección dada que se obtendría si la potencia aceptada por la antena radiara isotrópicamente”.

Agregando a lo anterior, (Cardama et al., 2004) manifiesta que : la ganancia toma en cuenta las posibles pérdidas que se presenta en la antena, por este motivo para el cálculo de este parámetro

se toma en cuenta la potencia entregada (P_{in}), a diferencia de la directividad que utiliza la potencia radiada (P_{rad}).” La fórmula de la ganancia se establece en la Ec. 5

$$G = 10 \log \left[\frac{4\pi * U(max)}{P_{in}} \right] \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde:

G = Ganancia (dB)

U = Intensidad de radiación (W/Unidad de ángulo sólido)

P_{in} = Potencia entregada (W)

2.5.2.6. Polarización

Según (Huidobro & Luque, 2014) manifiestan que: “la polarización electromagnética, en una determinada dirección, es la figura geométrica que traza el extremo del vector campo eléctrico a una cierta distancia de la antena, al variar el tiempo”. Mientras (Cardama et al., 2004) afirma que: “la polarización es una indicación de la orientación perteneciente al vector de campo en dicho punto fijo del espacio al transcurrir el tiempo”

En ese sentido, la polarización de una onda hace referencia a la figura trazada geoméricamente, al pasar un tiempo dado, hacia un punto fijo ubicado en el espacio, el cual está ubicado en el plano perpendicular a la dirección de propagación de la onda como se muestra en la Figura 7, además se establece que la polarización de una antena en una dirección corresponde a la onda radiada por ella en esa dirección (Cardama et al., 2004).

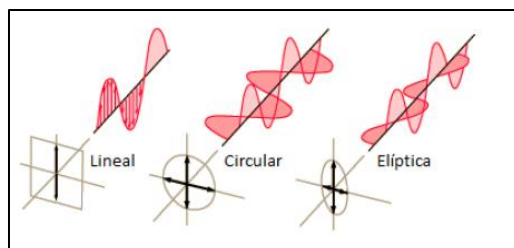


Figura 7 Tipos de polarizaciones.

Fuente: (Miralles, 2016)

Las antenas presentan una polarización lineal vertical, debido a que los electrones se transportan de manera vertical, ya que no existe un espacio para que se desplacen horizontalmente hacia los lados, por lo tanto, el campo eléctrico para este caso siempre es vertical, hacia abajo o también hacia arriba, generando que la energía viaje en una onda con polarización estrictamente lineal; el mismo caso se aplica para la polarización lineal horizontal (ICTP, 2010).

En las antenas cuya aplicación se basa en sistemas Wifi la polarización es lineal, sin embargo, existen antenas con polarización circular como se muestra en la Figura 8; la mayor parte de las antenas omnidireccionales poseen polarización vertical, debido a que la polarización horizontal presenta un índice de pérdidas cuando está operando en grandes distancias (ICTP, 2010).

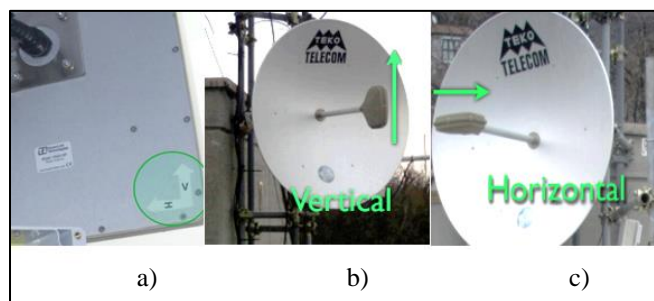


Figura 8 a) Antena con Polarización circular, b) Antena con polarización vertical y c) Antena con polarización horizontal.

Fuente: (ICTP, 2010)

2.5.2.7. Eficiencia

Según (Huidobro & Luque, 2014) “la eficiencia es la relación entre la potencia que es radiada y la potencia entregada a la antena”. Matemáticamente se expresa en la Ec. 6, también puede ser expresada como la relación entre la ganancia y la directividad.

$$e_a = \frac{P_{rad}}{P_{in}} = \frac{G}{D} \quad (\text{Ec. 6})$$

Donde:

e_a = Eficiencia (sin dimensión)

P_{rad} = Potencia radiada (W)

P_{in} = Potencia entregada (W)

G = Ganancia (dB)

D = Directividad (sin dimensión)

2.5.2.8. Ancho de banda

De acuerdo con (Balanis, 2008): “el ancho de banda de una antena es el rango de frecuencias respecto al rendimiento de la antena”. Mientras que (Cardama et al., 2004) mencionan que: “el ancho de banda se puede especificar como la relación entre el margen de frecuencias en que se cumplen las especificaciones y la frecuencia central”. La Ec. 7 permite calcular el ancho de banda expresado en porcentaje según (Balanis, 2008):

$$BW (\%) = \frac{f_{max} - f_{min}}{f_o} * 100\% \quad (\text{Ec. 7})$$

Donde:

BW = Ancho de banda

f_{max} = frecuencia máxima (Hz)

f_{min} = Frecuencia mínima (Hz)

f_o = Frecuencia central (Hz)

2.5.2.9. Área efectiva

Según (Cardama et al., 2004) el área efectiva “es también llamada área de captación de ondas electromagnéticas, está definida como la relación que existe entre la potencia que entrega la antena sobre la densidad de potencia de la onda incidente”. Su expresión matemática corresponde a la Ec. 8:

$$A_{ef} = \frac{P_L}{\wp} \quad (\text{Ec. 8})$$

Donde:

A_{ef} = Área efectiva (m^2)

P_L = Potencia entregada (W)

\wp = Densidad de potencia de la onda incidente (dBW/m^2)

La densidad de potencia (\wp) corresponde a la relación de una potencia P_r correspondiente a una antena transmisora que radiará isotrópicamente (es decir que la antena radiará ondas electromagnéticas en todas las direcciones posibles del espacio, sobre el cuadrado de la distancia (r) a la antena (Cardama et al., 2004). Donde la expresión matemática viene dada por la Ec. 9.

$$\wp = \frac{P_r}{4\pi r^2} \quad (\text{Ec. 9})$$

En este sentido, el área efectiva está definida a partir de magnitudes eléctricas y no coinciden necesariamente con las dimensiones reales de la antena, este parámetro está relacionado con la dirección en la que la antena receptora capta la máxima señal que fue transmitida (Cardama et al., 2004).

2.5.3. Tipos de antenas

Existe una amplia variedad de antenas, dependiendo de la aplicabilidad y las características de funcionamiento que se demande. En algunos casos las antenas deben presentar un patrón omnidireccional, como por ejemplo; para aplicaciones en estaciones de radio o una estación telefónica, en otros casos deben poseer un patrón directivo, en donde se concentre su potencia en un solo punto como para radioenlaces (Cardama et al., 2004). El tamaño de las antenas está directamente relacionado con la longitud de onda (λ), por lo que las antenas que trabajan en frecuencias milimétricas (en la escala de los gigahercios), sus dimensiones por lo general presentan tamaños En el orden de los milímetros:

En este sentido los principales tipos de antenas se clasifican en antenas: tipo hilo, de apertura, microstrip, arrays e inteligentes.

2.5.3.1. Antenas de hilo

Las antenas de hilo básicamente están construidas mediante hilos conductores cuyos diámetros son menores a la longitud de onda ($\ll \lambda$), cuya estructura está formada por hilos rectos como dipolos y rombos, o por hilos espirales o en forma de hélices, como se presenta en la Figura 9 (Huidobro & Luque, 2014).

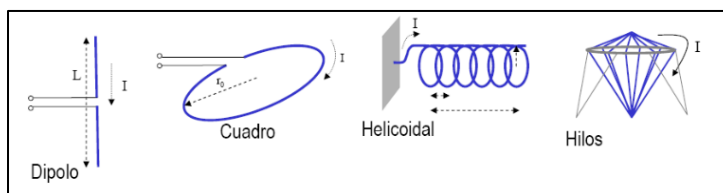


Figura 9 Tipos de antenas de hilo.

Fuente: (Huidobro, 2013)

Dentro de la variedad de antenas de tipo hilo existen las antenas de dipolo, poseen una estructura sencilla, cuya característica principal es contar con un hilo conductor de media longitud de onda, y en la mitad se coloca una línea de transmisión, suelen ser fabricadas en cobre o aluminio; una aplicación de este modelo se encuentra en las antenas Yagi-Uda utilizadas comúnmente para recepción de señales de televisión, en la banda Ultra High Frequency (UHF), debido a que presentan una gran directividad (Huidobro & Luque, 2014).

2.5.3.2. Antenas de apertura

Son antenas de apertura tipo bocina que tienen la forma piramidal o cónicas como se aprecia en la Figura 10, son muy utilizadas en los sistemas microonda, debido a su gran ancho de banda y su facilidad de construcción; las bocinas pueden ser utilizadas de forma individual como en forma grupal, o también pueden trabajar como alimentador de reflectores (lentes), donde se optimiza las características de radiación (Huidobro & Luque, 2014).

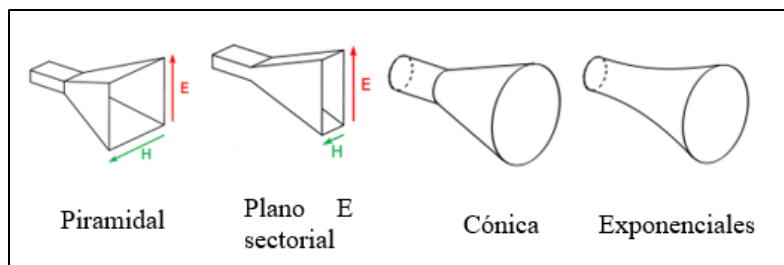


Figura 10 Tipo de antenas de apertura.

Fuente: (UPV, 2016)

Dentro de esta clasificación se encuentran las populares antenas parabólicas y una de las más conocidas y utilizadas en el área satelital, su funcionamiento se basa en la reflexión de las ondas electromagnéticas, donde inciden de forma paralela al eje principal y se dirigen a un punto central llamado “alimentador” como se muestra en la Figura 11, dependiendo de la configuración de la antena, emite o recepta la señal, este tipo de antenas son muy populares para comunicaciones por vía satelital y microondas debido a su alta ganancia (Huidobro & Luque, 2014).

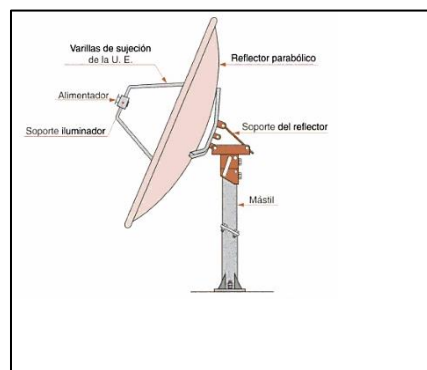


Figura 11 Estructura de una antena parabólica.

Fuente: (Acosta, 2016)

Este tipo de antenas se componen principalmente de un reflector parabólico y un elemento activo (mecanismo de alimentación), el cual irradia las ondas electromagnéticas hacia el reflector. El reflector es un dispositivo pasivo que se encarga de reflejar la energía irradiada (Cardama et al., 2004).

2.5.3.3. Antenas Microstrip

Las antenas de cintas planas o microstrip, están constituidas por un conjunto plano de elementos radiantes (parches) y un circuito, que distribuye la señal entre cada uno de ellos. Su diseño se establece a partir de la forma en la cual, la estructura disipe la potencia radiada. Tanto los parches y el circuito se elaboran a partir de la técnica de fotograbado, que utiliza un sustrato laminado en cobre como se aprecia en la Figura 12; debido a su tecnología planar y tamaño compacto hace factible la integración con un sistema de transmisión o recepción que va en conjunto con la antena microstrip (Huidobro & Luque, 2014).



Figura 12 Antenas Microstrip.

Fuente: (Torrecillas, 2018).

2.5.3.4. Arrays

Un array consiste en un arreglo de varias antenas, que se interconectan para funcionar de manera similar a una sola antena, como se visualiza en la Figura 13, cuya ventaja es que tanto el ancho de haz y el patrón de radiación, pueden combinarse electrónicamente sin la necesidad de mover físicamente las antenas individuales.

El uso de los arrays están principalmente en las aplicaciones como los sistemas de radares; debido a su comportamiento eficiente al momento de ser utilizadas para el seguimiento de objetos en movimiento, además su uso aplica también para la comunicación móvil 3G y 4G (Huidobro & Luque, 2014).



Figura 13 Agrupación de antenas (Array).

Fuente: (UPV, 2016)

2.5.3.5. Antenas Inteligentes

Este tipo de antenas son utilizadas en los servicios de telecomunicaciones, especialmente en la telefonía celular, debido a la ventaja que presentan cuando un usuario se encuentra en desplazamiento y está usando su móvil, el sistema modifica la dirección del lóbulo principal para que se mueva con él, minimizando con esta configuración la interferencia; un caso particular son las antenas inteligentes MIMO (*Multiple-Input Multiple-Output*) cuya finalidad es aprovechar el fenómeno de la multiplicación para conseguir una mayor velocidad de transmisión y un mejor alcance, en comparación con las antenas tradicionales (Huidobro & Luque, 2014).

2.6. Antenas Microstrip

Es evidente que los sistemas de ondas milimétricas desempeñan un rol importante en distintas áreas de operación como la aeronáutica, telefonía, salud, milicia, radares, entre otros. La contribución del diseño de antenas en el marco de la tecnología inalámbrica, es mediante el desarrollo y la utilización de nuevas frecuencias del espectro electromagnético, juntamente como el mejoramiento constante en las técnicas de fabricación, viabilizando que una de las tecnologías presentadas en esta investigación, como es la microstrip vaya aumentando su demanda de manera significativa en los últimos años, debido a las numerosas propiedades que cuenta esta tecnología,

como su peso ligero, tamaño compacto, adaptabilidad a sistemas electrónicos y la factibilidad de la fabricación relacionada con un bajo coste de construcción. Aunque las antenas microstrip presentan una deficiencia de ancho de banda, los avances en los últimos años han posibilitado mejorar el rendimiento en este aspecto, debido al desarrollo de varias técnicas de análisis numérico y herramientas CAD (Computer-Aided Design).

Según (Du Preez & Sinha, 2016) una antena microstrip: “es aquella que comprende en su estructura un parche metálico rectangular sobre un sustrato eléctricamente delgado, la capa inferior del sustrato está cubierta con un plano de tierra y cuenta con una línea microstrip para la alimentación”.

Con relación a lo mencionado anteriormente, se muestra en la Figura 14, una antena microstrip de tipo rectangular y los componentes básicos que forman su estructura.

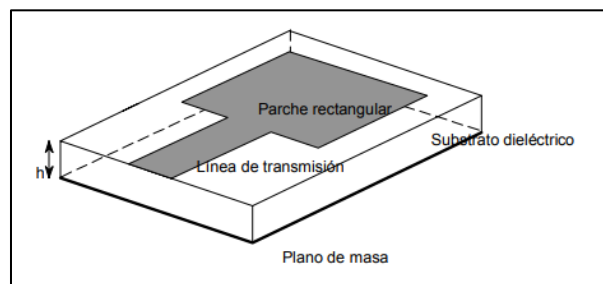


Figura 14 Antena microstrip rectangular.

Fuente: (UPV, 2016)

Así mismo, (Pozar, 2012) afirma que: “la línea microstrip es uno de los tipos más populares de líneas de transmisión planas, porque pueden fabricarse mediante procesos fotolitográficos y se integran fácilmente con dispositivos microonda activos y pasivos”.

Agregando a lo anterior, la línea de transmisión consiste en un conductor de tira plana, como se aprecia en la Figura 15 a), la cual se encuentra sobre un plano de tierra incrustado en un medio homogéneo (sustrato), mientras que en la Figura 15 (b), se muestra el modo de propagación que siguen las líneas de campo eléctrico, las cuales parten de la línea de transmisión hacia el plano de tierra (UPV, 2016).

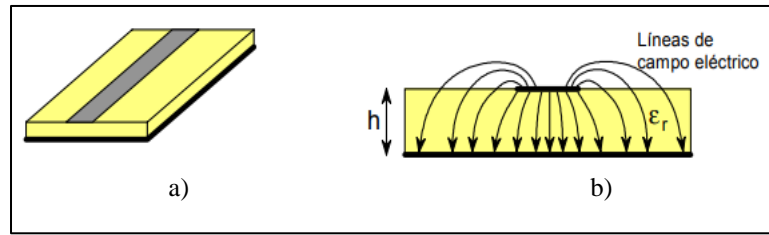


Figura 15 a). Línea de transmisión microstrip y b). líneas de campo eléctrico y magnético.

Fuente: (UPV, 2016)

De acuerdo a (Balanis, 2008) se establece las ventajas más relevantes que se atribuye a las antenas microstrip, las cuales se mencionan a continuación:

- Poseen un perfil extremadamente bajo, es decir este tipo de antenas cuentan con un peso ligero.
- Su estructura posee un volumen muy pequeño, haciendo más factible su acoplamiento en diversas superficies.
- Al fabricar estas antenas en grandes cantidades se logra reducir los costos, debido al proceso de grabado en serie que puede llevarse a cabo.
- Las antenas microstrip tienen la opción de combinarse con la tecnología reflectarray, para lograr una mayor ganancia.

Por otra parte, respecto a las desventajas que cuentan las antenas microstrip, (Balanis, 2008) manifiesta que:

- Este tipo de antenas manejan una potencia RF más baja, debido a la separación mínima que posee entre el parche radiante y el plano de tierra.
- Además, presentan pérdidas electromagnéticas en el sustrato.
- Si se tiene un array de antenas microstrip, generalmente se obtiene una pérdida de inserción óhmica superior, que otro tipo de antenas equivalentes.

Por otra parte, en cuanto a la geometría de las antenas microstrip presentan diseños variados dependiendo de la frecuencia de operación y la aplicación en la cual se va a implementar. Las formas más utilizadas para el diseño de las antenas microstrip son rectangulares, cuadradas y circulares, como se muestra en la Figura 16. Estos diseños por lo general van impresos en una placa comúnmente llamado sustrato dieléctrico en el cual se imprime los tres componentes fundamentales de la antena como es: el plano de tierra, la línea de transmisión y el parche, este último presenta distintas formas que varía dependiendo de la frecuencia (Girish, 2017).

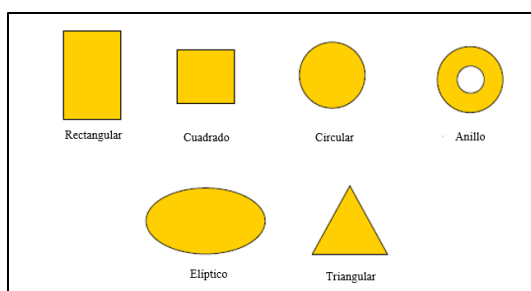


Figura 16 Geometrías más comunes de antenas microstrip.

Fuente: (Girish, 2017).

Las aplicaciones en las cuales son utilizadas las antenas microstrip son sumamente amplias, por citar algunos ejemplos se tienen: comunicaciones por satélite, sistemas de posicionamiento global (GPS), telefonía móvil, altímetros de radar en aviones, telemedicina, aplicadores de calor en medicina (hipertemia), antenas embarcadas en misiles, antenas de exploración en radares satelitales, sistemas RFID, entre otros (Girish, 2017).

2.6.1. Principios de propagación de las antenas microstrip

Existe dos modos de propagación en las antenas en general, el modo TEM y modo Cuasi-TEM. Como expresa (Neri, 2004), el modo TEM (Modo de Propagación Transversal Electromagnético): “ es la forma de transmisión de información electromagnética fundamental, la cual se basa, que tanto el campo eléctrico como el campo magnético de la señal son transversales o perpendiculares a la dirección de propagación”

Este fenómeno de perpendicularidad se presenta en la distribución de las líneas de campo magnético y eléctrico, las cuales son distintas en cada caso de las estructuras de guías de onda, pero en la dirección de propagación a lo largo de una línea, se mantiene la perpendicularidad entre E (campo eléctrico) y H (campo magnético) como se muestra en la Figura 17.

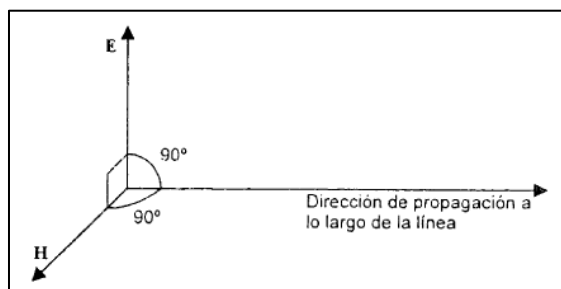


Figura 17 Modo de Propagación Transversal Electromagnético.

Fuente: (Neri, 2004)

Por otra parte, el modo de propagación Cuasi-TEM de acuerdo con (Neri, 2004): “ hace referencia a no lograr en su totalidad el modo TEM, por lo que no satisface las condiciones de los bordes en la interfaz, entre la superficie superior del sustrato y el medio que lo rodea (aire)”

En este sentido, queda claro que tanto las líneas del campo eléctrico (E) y las líneas de campo magnético (H), forman una propagación típica de las antenas microstrip, que es el modo cuasi-TEM; el cual está presente en estas antenas debido a que la propagación de las ondas muestra una distribución en diferentes medios (aire y sustrato), como se muestra en la Figura 18 (Pozar, 2012).

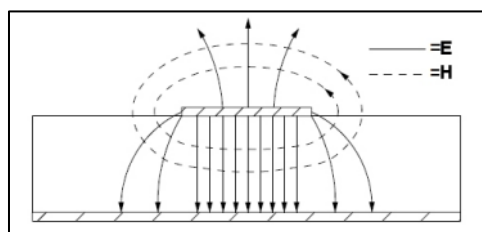


Figura 18. Modo cuasi-TEM en una línea de transmisión microstrip.

Fuente: (Pérez, 2013).

Por lo tanto, al poseer un modo de propagación cuasi-TEM el sustrato de las antenas microstrip deben contar con las siguientes propiedades: una permitividad alta ($3 \leq \epsilon_r \leq 10$), para que las líneas de campo estén dentro del entorno de la línea microstrip; una altura delgada ($0.003\lambda \leq h \leq 0.05\lambda$), esto para evitar fugas de radiación y ondas superficiales (Neri, 2004).

2.6.2. Métodos de alimentación de antena microstrip

La forma de alimentación de este tipo de antenas debe tener una configuración eficiente sino no operan correctamente, impactando en la forma que irradia la antena; este fenómeno puede lograrse a través de diferentes métodos de alimentación, las cuales son: por sonda coaxial, por

línea microstrip, por acoplamiento de proximidad, por acoplamiento de apertura y por sonda coaxial con alimentación de ranura U.

La alimentación por sonda coaxial, según (Balanis, 2008) menciona que: “un parche microstrip puede ser alimentado mediante una sonda coaxial (conductor externo), de alrededor de 50 ohm, la cual presenta una soldadura en el plano de tierra y el pin central (conductor interno)”. Dentro de los tipos de sonda coaxial que son utilizados están: N, TNC y BNC (usado para VHF, UHF o frecuencias microonda), este conector se ubica en la parte posterior del parche, el cual va unido con la sonda coaxial, como se muestra en la Figura 19.

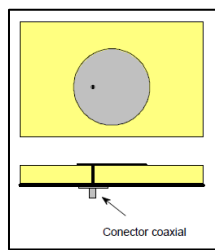


Figura 19 Alimentación por sonda coaxial.

Fuente: (UPV, 2016)

Por otra parte, (Balanis, 2008) afirma que la alimentación por línea microstrip: consiste en conectar directamente una línea de transmisión al parche microstrip, desde el borde inferior del parche hacia el borde del sustrato, generalmente la impedancia es superior a 50 ohms, cuyo valor permite evitar el desajuste de impedancia de los elementos del parche, además esta alimentación puede ser diseñada y grabada químicamente en el mismo sustrato.

De esta manera el diseño completo de la antena microstrip queda impreso en el sustrato, como se muestra en la Figura 20, la línea microstrip está conectada directamente con el parche radiador.

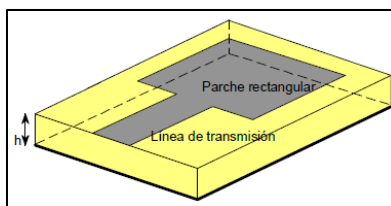


Figura 20 Alimentación por línea microstrip.

Fuente: (UPV, 2016)

Por el contrario, (Balanis, 2008) menciona que la alimentación por acoplamiento de proximidad: consiste en la utilización de una línea microstrip que se encuentre separada del parche radiador, si se utiliza una línea de transmisión de 100 ohm, está debe ser colocada debajo del parche radiador; otro aspecto es la colocación en paralelo de la línea, que debe estar cerca del borde del parche; este método evita la conexión por soldadura. En la Figura 21 se presenta la configuración de alimentación anteriormente mencionada, donde la línea de transmisión no está directamente conectada al parche radiador.

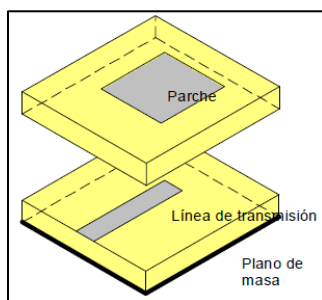


Figura 21 Alimentación por acoplamiento de proximidad.

Fuente: (UPV, 2016)

Por otra parte, (Du Preez & Sinha, 2016) sugiere que: es posible colocar una línea de transmisión microstrip en el plano de tierra para excitar el parche radiador, el cual está situado en el otro extremo del sustrato, esta técnica puede utilizarse para evitar la técnica de soldadura, así como para reducir la fuga de radiación de las líneas (E-H) que interfieran con la radiación del

parche; de esta manera el parche y la línea de transmisión se encuentran separados totalmente, así como se muestra en la Figura 22.

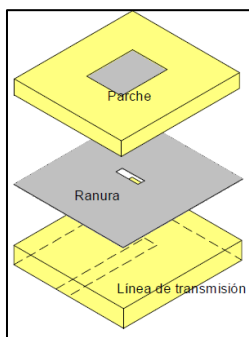


Figura 22 Alimentación por acoplamiento de apertura.

Fuente: (UPV, 2016)

Otra técnica de alimentación utilizada es por medio de la sonda coaxial con una alimentación de ranura-U, que según (Du Preez & Sinha, 2016) afirma que: “es una técnica híbrida entre sonda coaxial y una ranura en forma de U, cuyo fin es lograr un ancho de banda muy amplio (>30%), esta configuración es diseñada para cancelar la inductancia introducida por un sustrato grueso”.

Dicha configuración muestra el parche radiador en cuyo interior se encuentra una ranura en forma de U, como se visualiza en la Figura 21, que, dependiendo de la frecuencia de operación, las dimensiones de la ranura U cambiarán sus valores tanto de alto como de ancho.

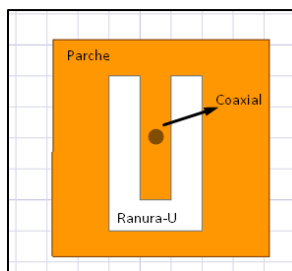


Figura 23 Alimentación por sonda coaxial y ranura en forma de U.

Fuente: (Emagtech, 2018).

Finalmente, de las características analizadas acerca de los métodos de alimentación en los párrafos anteriores, a continuación, se muestra la Tabla 3 que contiene las ventajas y desventajas que presentan cada uno de ellos.

Tabla 3. Comparación de los métodos de alimentación.

Métodos de alimentación	Ventajas	Desventajas
Acoplamiento de proximidad	No hay contacto directo entre la alimentación y el parche Puede tener gran espesor efectivo para el sustrato de parche	Fabricación multicapa compleja
Línea microstrip	Fácil de fabricar Fácil acoplamiento Bajo costo de fabricación	Radiación espuria de la línea de alimentación, especialmente para sustratos gruesos
Alimentación por sonda coaxial	Fácil acoplamiento Baja radiación espuria	Alta inductancia para sustratos gruesos Requiere soldadura
Acoplamiento de apertura	No hay contacto directo entre la alimentación No hay radiación espuria de la línea de alimentación	Fabricación multicapa compleja Alta radiación del lóbulo posterior superior

Fuente: (Fong, Man, & Lai, 2017)

2.6.3. Métodos de análisis para antenas

La razón principal para desarrollar un modelo analítico para las antenas, es proporcionar un medio para la obtención de resultados posterior al diseño de la antena, sin procedimiento tediosos ni costosos, así como mecanismos para la optimización del rendimiento de la antena, es por ello que se presentan algunos métodos de análisis que son utilizados, por ejemplo: método del circuito de línea de transmisión, método de Cavidad Multimodo, método del momento, método de Dominio de Tiempo de Diferencia Finita (FDTD), método de Elementos Finitos (FEM) y el diseño asistido por computadora (CAD).

Según (Balanis, 2008) el método del circuito de línea de transmisión consiste en: una línea de transmisión microstrip, que se representa como una red de un circuito equivalente, como se muestra en la Figura 22, cuya radiación se genera básicamente desde sus bordes con dos ranuras equivalentes a lo largo de la dimensión de resonancia, el radiador microstrip se caracteriza por dos ranuras separadas por una línea de transmisión, cada ranura está representada por un circuito paralelo equivalente de: conductancia (G); la cual está relacionada con la capacidad que ofrece un material para conducir la corriente eléctrica ($G=1/R$), admitancia (Y) de un circuito; es la facilidad que este ofrece al paso de la corriente ($Y=1/Z$) y la susceptancia (B); que es la parte imaginaria de la admitancia.

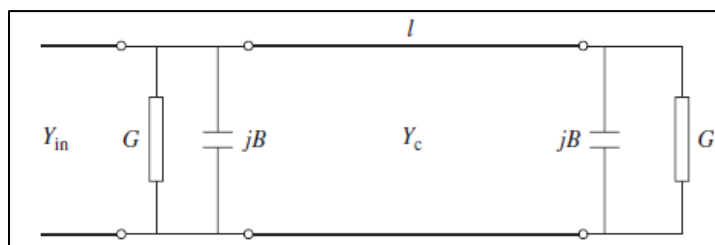


Figura 24 Circuito equivalente de un elemento de parche microstrip.

Fuente: (Balanis, 2008).

Por el contrario, el método de cavidad multimodo es representado como un radiador microstrip, que se puede considerar como una cavidad abierta delimitada por el parche y el plano de tierra, también puede estar representado por la radiación de las paredes magnéticas como se muestra en la Figura 25; para un parche rectangular con una constante dieléctrica (ϵ_r), grosor de sustrato (h) y dimensiones del parche ($L \times W$), el campo eléctrico total en la cavidad es expresado como la suma de los campos asociados que se representan en la Ec. (10):

$$E_z(x, y) = \sum_m \sum_n C_{mn} \cdot \cos\left(\frac{m\pi}{L}\right) x \cdot \cos\left(\frac{n\pi}{W}\right) y \quad (\text{Ec. 10})$$

Donde, C_{mn} es una constante que depende de la ubicación de la alimentación, y sus componentes m y n corresponden a la ubicación tanto en el vector \mathbf{x} y \mathbf{y} , las variables L y W son las dimensiones del parche donde L es el valor del largo del patch y W es el valor del ancho del parche (Balanis, 2008).

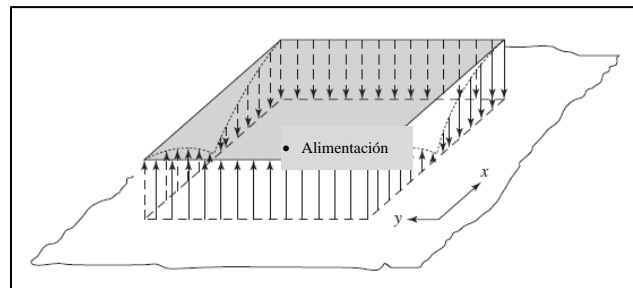


Figura 25 Modelo cavidad multimodo.

Fuente: (Balanis, 2008)

Así mismo (Balanis, 2008) respecto al método del momento afirma que: los campos radiados de una antena microstrip, pueden determinarse mediante la integración de todas las corrientes eléctricas en sus superficies; el método del momento corresponde a una técnica de

integración bidimensional (2D), la cual se considera muy precisa e incluye los efectos de mutuo-acoplamiento entre dos elementos de corriente superficial, así como el efecto de onda de superficie en el dieléctrico: esta técnica computacionalmente consume más tiempo que el método de la línea de transmisión

Por otra parte, (Balanis, 2008) afirma que el FDTD (método de Dominio de Tiempo de Diferencia Finita): es un método que resuelve los campos electromagnéticos en un espacio volumétrico 3D, referente a problemas complejos con las interfaces y conexiones 3D, como estructuras de múltiples capas. Sin embargo, el tiempo de cálculo es demoroso, se necesita mayor procesamiento; este método trabaja discretizando los campos de interés en muchas celdas cúbicas, que se resuelven con las ecuaciones de Maxwell para el campo magnético (Ec. 11) y para el campo eléctrico (Ec. 12).

$$\mu \cdot \frac{\partial H}{\partial t} = -\nabla \times E \quad (\text{Ec. 11})$$

Donde:

μ = Permeabilidad magnética en el vacío

∂H = Derivada del campo magnético

∂t = Derivada del tiempo

$\nabla \times E$ = Rotacional del campo eléctrico

$$\mu \cdot \frac{\partial E}{\partial t} = -\nabla \times H \quad (\text{Ec. 12})$$

Donde:

μ = Permeabilidad magnética en el vacío

∂E = Derivada del campo eléctrico

∂t = Derivada del tiempo

$\nabla \times H$ = Rotacional del campo Magnético

Como plantea (Balanis, 2008), el FEM (método de Elementos Finitos): es también tridimensional (3D), cuyo procedimiento empieza con la definición del problema referente al valor límite electromagnético, posteriormente se obtiene una formulación variable relacionada con la energía, luego se divide las regiones de campo en subregiones discretas (elementos finitos) tales como: triángulos y cuadriláteros, para luego escoger una solución de prueba o aproximada para ser aplicada a cada elemento.

La principal diferencia del método FEM con el FDTD es que el segundo resuelve el problema celda a celda, mientras que FEM utiliza una solución aproximada para cada elemento, logrando así una mayor precisión de resultados; FEM es más sofisticado, más versátil y flexible en el modelado de geometrías complejas.

Para concluir con los métodos de análisis, se muestra, en la Tabla 4, los programas que aplican estos métodos para la solución de resultados en el área de antenas.

Tabla 4. Algunas herramientas utilizadas para la simulación de antenas

Nombre del programa	Método de análisis	Compañía
Ensemble (Designer)	Moment method	Ansoft
IE3D	Moment method	Zeland
Momentum	Moment method	HP
EM	Moment method	Sonnet
PiCasso	Moment method	EMAG
FEKO	Moment method	EMSS
PCAAD	Cavity model	ADA, Inc
Microwave Studio (MAFIA)	FDTD	CST
HFSS	Finite element	Ansoft

Fuente: (Balanis, 2008)

3. CAPITULO III: DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UNA ANTENA MICROSTRIP

En el presente capítulo se establecen una serie de criterios de diseño de la antena, los cuales deben estar acorde al entorno de operación para un sistema WBAN. El diseño de la antena utiliza la tecnología UWB, esto se refiere a que la antena debe operar dentro del rango de frecuencias comprendido entre 3.1 GHz a 10.6 GHz, además debe contar con un amplio ancho de banda, para la transmisión de los datos y un diagrama de radiación omnidireccional, debido a que la antena transmisora debe irradiar de forma uniforme hacia todos los puntos cercanos a la antena receptora, además la antena debe presentar características propias de la tecnología microstrip, por mencionar algunas como: baja complejidad en su estructura, debe ser compacta, plana y de bajo costo. Es necesario recalcar la importancia que requiere el proceso de diseño, lo que conlleva a un estudio previo y su análisis de este tipo de tecnología, así como la documentación necesaria para su fabricación y el posterior estudio de resultados, los cuales establecen la factibilidad y operabilidad de la antena. Cabe mencionar que el proceso tanto de diseño y análisis de parámetros de operación de la antena se ha realizado mediante un simulador de campos electromagnéticos más utilizado para esta área, el cual se ajusta perfectamente a los requerimientos necesarios para el diseño de la antena. Finalmente, el diseño final de la antena pasa a la etapa de fabricación para su posterior medición de resultados mediante un analizador de redes.

Antes de empezar con la explicación del proceso de diseño, en la Figura 26, se detalla un flujograma, el cual describe el proceso de diseño y fabricación que se llevara a cabo, partiendo de la elección del sustrato, cálculos matemáticos para la obtención de las dimensiones de la antena,

además se detallan las fases de diseño hasta obtener una antena final, que cumpla con las características de una antena UWB.

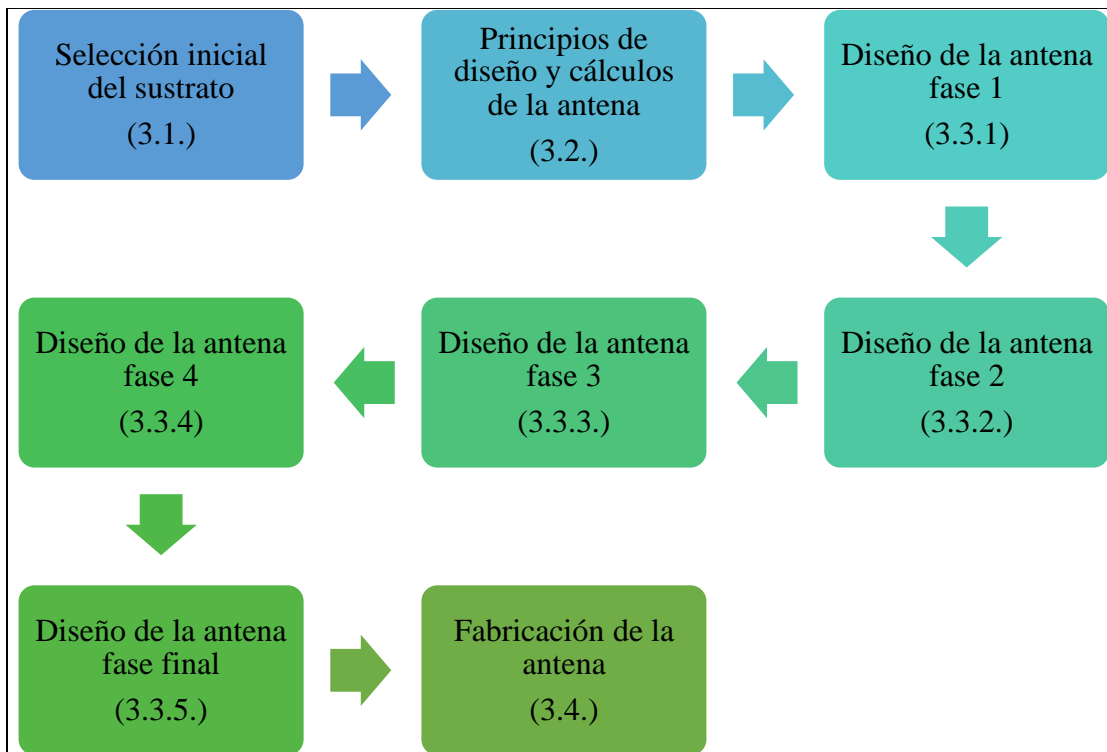


Figura 26. Flujograma del proceso de diseño de la antena

3.1. Selección inicial del sustrato

De acorde al diseño que tendrá la antena, se listarán más adelante diversos sustratos, los cuales tienen distintos valores en relación a la constante dieléctrica (ξ_r) estos sustratos comprenden valores en el rango desde los 2.2 hasta los 10, los cuales se aprecian en la Figura 27, además por medio de esta gráfica, la cual se encuentra en función de los parámetros (eficiencia, altura del sustrato y ancho de banda), se determina el valor de la constante dieléctrica más adecuada que debe contar el sustrato para la fabricación de la antena.

En los diseños de antenas tipo parche se considera un espesor alto y una constante dieléctrica (ξ_r), la cual debe estar en el rango de asignación anteriormente mencionado, debido a que estos dos parámetros están relacionados con la optimización del ancho de banda y muestran un óptimo rendimiento, esto indudablemente afecta a las dimensiones del parche (Balanis, 2008).

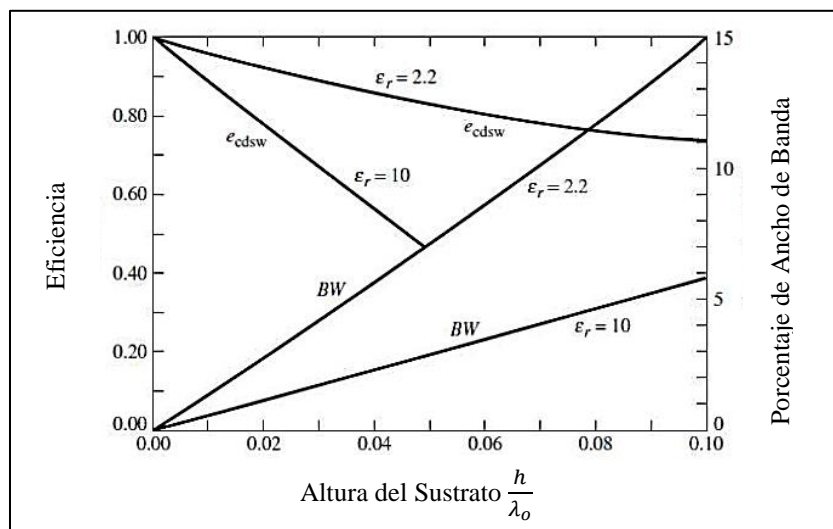


Figura 27 Parámetros de cálculo de la constante dieléctrica.

Fuente: (Zozaya, 2017)

Para determinar el grosor del sustrato de la antena, se requiere identificar la frecuencia de operación; para ello, se selecciona la frecuencia 3.5 GHz, donde (GSMA, 2020) afirma que: “el rango 3,5 GHz es una banda de espectro fundamental para el despliegue de 5G, ya que su enfoque de proporcionar tanto capacidad como cobertura la hace ideal para esta tecnología”.

Además, con base en las investigaciones realizadas por (Khan, 2020) y (Jabber & Thaher, 2020), donde se evalúa los parámetros-S mediante un simulador de ondas electromagnéticas, determinaron que en la frecuencia de 3.5 GHz se obtiene un valor de radiación de 83.29% y un nivel de ganancia de 1.643 dBi, considerándose valores aceptables y referenciales para el presente trabajo, además que la frecuencia de 3.5 GHz corresponde a la primera resonancia de la antena tal como se muestra en la Figura 28.

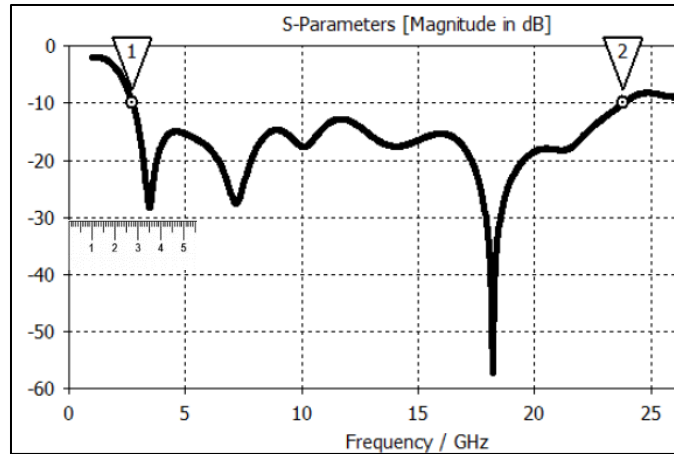


Figura 28 Parámetros S de una antena UWB

Fuente: (Jabber & Thaher, 2020)

Una vez establecida la frecuencia de referencia (f_r) a 3.5 GHz, se calcula la onda de espacio λ_o mediante la Ec.13 dada por (Zozaya, 2017); donde C representa la velocidad de la luz ($C = 3 \times 10^8 \frac{m}{s}$).

$$\lambda_o = \frac{C}{f_r} = 0.085714 \text{ m} = 85.714 \text{ mm} \quad (\text{Ec. 13})$$

A continuación, se calcula el ancho de banda de operación de la antena, para ello se parte del valor mínimo del ancho de banda que corresponde a la tecnología UWB, que corresponde a 500 MHz (0.5 GHz) y la frecuencia de resonancia (f_r) de 3.5 GHz, de acuerdo con (Zozaya, 2017) la Ec.14 permite obtener el porcentaje de ancho de banda, este valor obtenido se utilizará para calcular la altura del sustrato.

$$100\% = \frac{AB \text{ mínimo}}{f_r} = \frac{0.5 \text{ GHz}}{3.5 \text{ GHz}} = 14.285\% \quad (\text{Ec. 14})$$

Usando el valor de 14.285%, se traza una línea entrecortada de color rojo, que parte con un valor de 14.285 ubicado en el eje vertical (Eficiencia) de la Figura 29, está línea interseca a las dos líneas que corresponden a los valores de las constantes dieléctricas $\xi_r = 2,2$ y $\xi_r = 10$ respectivamente.

Al partir de estas intersecciones se traza líneas perpendiculares al eje horizontal (altura del sustrato), al intersecar en el eje horizontal, se obtiene dos variables 0.013 y 0.004, las cuales en el siguiente paso permiten encontrar valores referenciales de la altura del sustrato.

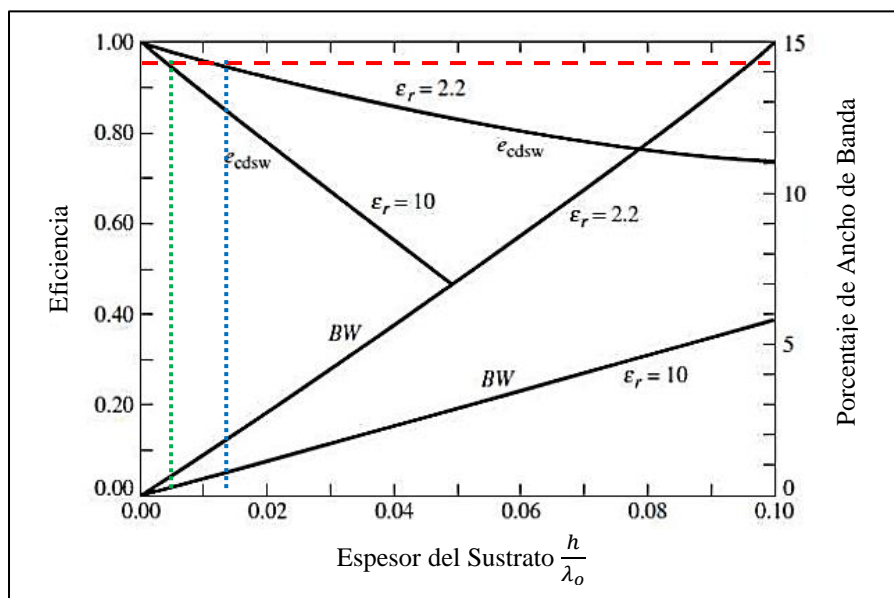


Figura 29 Cálculo del valor de la constante dieléctrica.

Fuente: (Zozaya, 2017)

En este sentido, la Tabla 5 se muestra los valores obtenidos mediante el análisis de la Figura 29, respecto al porcentaje de ancho de banda, eficiencia y espesor del sustrato.

Tabla 5. Parámetros obtenidos para calcular la altura del sustrato

Constante dieléctrica	% de Ancho de banda	Eficiencia	Espesor del sustrato
$\xi_r = 2.2$	13.157 %	0.88	0.013
$\xi_r = 10$	13.157 %	0.88	0.004

A continuación, se calcula la variable **h** (altura del sustrato) mediante la Ec. 15 y Ec. 16 respectivamente, obteniendo las alturas referenciales del sustrato, cuyos valores directamente relacionados con las constantes dieléctricas $\xi_r = 2.2$ y $\xi_r = 10$:

$$\mathbf{h = 0.013 \lambda_o = 1.114 mm} \quad (\text{Ec. 15})$$

$$\mathbf{h = 0.004 \lambda_o = 0.342 mm} \quad (\text{Ec. 16})$$

Los valores $\xi_r = 2.2 ; h = 1.114 mm$ y $\xi_r = 10 ; h = 0.342 mm$, son referenciales, para proceder con la búsqueda de un sustrato, el cual se ajuste perfectamente con los requerimientos de los sistemas WBAN. En la Tabla 6, se muestra una comparación de los sustratos más utilizados para la fabricación de antenas microstrip impresas.

Tabla 6. Características principales de los sustratos más utilizados.

Característica	FR-4	NELTEC	RT Duroid
Constante dieléctrica	4.4	3.2	2.2
Altura de sustrato (mm)	1.6	1.5	1.6
Tangente de pérdidas	0.013	0.003	0.0004
Ganancia (dB)	2.2	5.5	7
Pérdida de retorno (dB)	-17.5	-13.4	-12.9

Fuente: (Daza, 2017)

Luego de listar algunos sustratos y mencionar algunas de las características más importantes de los sustratos usados en trabajos de diseño de antenas, se encontró algunas afirmaciones positivas acerca del sustrato FR-4, una de ellas que corresponde a (Hasan, Islam, Islam, & Hasan, 2015) que afirman que: “ la eficiencia total y la eficiencia de radiación son más altas para el FR-4, así también se observa una mejor pérdida de retorno”, en otra investigación (Ahmed et al., 2019) menciona que: “el sustrato posee un bajo costo para su fabricación”, y por otra parte (Chimborazo, 2017) señala que “el sustrato FR-4 cuenta con buenas características dieléctricas y facilidad para la fabricación en circuitos digitales”

Por lo tanto, con los cálculos realizados anteriormente, considerando las afirmaciones y buenos resultados logrados en investigaciones similares al utilizar el sustrato *epoxy/vidrio (FR-4)*, el cual cuenta con un balance óptimo de sus propiedades electromagnéticas, presentando un bajo costo, siendo uno de los sustratos más comerciales y ampliamente más utilizados en frecuencias superiores a 1 GHz, se escoge para la fabricación del diseño de la antena en el presente trabajo el sustrato *epoxy/vidrio (FR-4)* .

Tabla 7. Tipos de alturas del sustrato FR-4

Laminados revestidos de Cobre	Modelo	Espesor sustrato (mm)	Espesor lámina de cobre (mm)
CCL- EL190T	GEPL-190t	0.06, 0.10, 0.13, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30, 0.40, 0.50, 1.00, 1.20, 1.60	0.03, 0.04, 0.05, 0.06, 0.08, 0.10, 0.15, 0.20

Fuente: (Mitsubishi, 2020)

Una vez establecido el sustrato a utilizar en el presente diseño (en este caso FR-4), se verifica si el valor de la altura de $h=1.114\text{mm}$, se encuentre disponible en el mercado. En la Tabla

7 se muestran algunos sustratos con sus respectivos espesores, el valor más similar al valor calculado es de 1mm, es así que se da paso al proceso de diseño con el valor referencial de la altura ($h=1\text{mm}$).

3.2. Principios de diseño y cálculos de la antena

Para dimensionar la estructura de la antena, es necesario realizar los cálculos respectivos, de los cuales se obtiene los valores referenciales de las dimensiones de la antena, basándose en valores obtenidos en instancias anteriores, como la altura del sustrato FR-4 y la constante dieléctrica, con ello se procede a establecer un modelo base de la antena juntamente con las variables que se consideraron al iniciar con el diseño, como: la frecuencia (f_r) de 3.5 GHz y la velocidad de la luz (C) de $= 3 \times 10^8 \text{ m/s}$. Cada uno de los valores presentados en la Tabla 8 son indispensables para comenzar con el diseño del modelo inicial de la antena.

Tabla 8. Valores iniciales para el dimensionamiento de la estructura de la antena.

Parámetro	Características
Frecuencia	$f_r = 3.5 \text{ GHz}$
Sustrato	FR-4
Constante dieléctrica	$\xi_r = 4.4$
Altura de sustrato	$h = 1 \text{ mm}$
Velocidad de la luz	$C = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$

A continuación, se calcula las dimensiones de la antena, con base en las variables que se presentan a continuación, las cuales están acompañadas cada una de una breve descripción y se incluye una figura dónde se indica la variable que se está calculando.

- **Cálculo del ancho del parche (W)**

El ancho del parche (W), es la dimensión del parche radiante en la coordenada X, su expresión está dada en milímetros, según (Nemai, 2010), el ancho del parche se obtiene mediante la Ec.17, cuyas variables utilizadas son: el valor de la velocidad de la luz (C) de $3 \times 10^8 \text{ m/s}$, la frecuencia (fr) de 3.5 GHz, y el valor de la constante dieléctrica (ϵ_r) de 4.4, en la parte superior de la Figura 30, se indica la variable calculada.

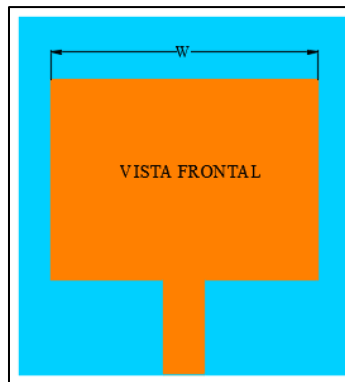


Figura 30 Variable del ancho del parche (W).

$$W = \frac{C}{2 * fr} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} = 0,02608 \text{ m} = 26.082 \text{ mm} \quad (\text{Ec. 17})$$

- **Cálculo del dieléctrico efectivo (ϵ_{reff})**

También llamada constante dieléctrica efectiva (ϵ_{reff}), representa el valor máximo de la constante dieléctrica que puede ser utilizada en la selección del sustrato, sin tener pérdidas considerables, su valor se obtiene a partir de la constante dieléctrica (ξ_r) de valor 4.4 (Tabla 8); además del valor de altura del sustrato (h) de 1 mm y el valor del ancho (W) del parche que fue obtenido en Ec. 17, según (Nemai, 2010) para el cálculo de la variable (ϵ_{reff}) se utiliza la Ec. 18.

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_{r+1}}{2} + \frac{\epsilon_{r-1}}{2} \sqrt{1 + 12 \frac{h}{w}} = 5.316 \quad (\text{Ec. 18})$$

- **Cálculo de la longitud efectiva (L_{eff})**

La longitud efectiva (L_{eff}) representa el máximo valor de la longitud del parche radiante (L) que debe tener sin afectar las propiedades que se busca, esta variable se representa en la coordenada Y. Se calcula mediante la Ec. 19 de acuerdo con (Nemai, 2010), utilizando el valor de la velocidad de la luz (C) de 3×10^8 m/s sobre la frecuencia central (f_r) de 3.5 GHz y la constante dieléctrica (ϵ_r) de 4.4.

$$L_{eff} = \frac{C}{2f_r \sqrt{\epsilon_r}} = 0,02043 \text{ m} = 20,431 \text{ mm} \quad (\text{Ec. 19})$$

- **Cálculo del incremento de la extensión del plano de tierra (ΔL)**

Este valor permite conocer el valor máximo que se puede agregar al plano de tierra de la antena. Según (Nemai, 2010) la variable (ΔL) se obtiene con la Ec.20, donde se utiliza el valor del dieléctrico efectivo (ϵ_{reff}) de 5.316 obtenido en la Ec. 18, la altura del sustrato (h) de 1 mm y el ancho del parche (W) cuya dimensión corresponde a 26.082 mm (Ec. 17).

$$\Delta L = 0,412h \frac{(\epsilon_{reff} + 0,3) \left(\frac{W}{h} + 0,264\right)}{(\epsilon_{reff} - 0,258) \left(\frac{W}{h} + 0,8\right)} = 0,448 \text{ mm} \quad (\text{Ec. 20})$$

- **Cálculo de la longitud del parche (L)**

La longitud del parche (L) representa el valor en la coordenada Y, que juntamente con el ancho del parche (W) forman la estructura rectangular del parche. Se calcula mediante la diferencia

entre la longitud efectiva (L_{eff}) y dos veces el incremento de la extensión del panel (ΔL); de acuerdo con (Nemai, 2010) la Ec. 21 permite obtener el valor (L). La Figura 31 muestra la variable L que corresponde al largo del parche.

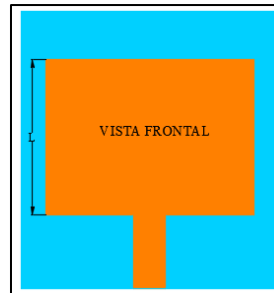


Figura 31 Variable del largo del parche (L)

$$L = L_{eff} - 2\Delta L = 19,535 \text{ mm} \quad (\text{Ec. 21})$$

- **Cálculo del plano de tierra de la antena**

Para obtener las dimensiones tanto del largo del plano de tierra (L_g) y ancho del plano de tierra (W_g), es necesario la utilización de la longitud del parche (L) y el ancho del parche (W), dichos valores son sumados con el séxtuple del valor de la altura del sustrato (h) respectivamente; además cada valor obtenido viene dado en milímetros. En la Figura 32 se muestra el ancho del sustrato (W_g) y el largo del sustrato (L_g) que según (Nasimuddin, 2011) se calculan con las ecuaciones Ec. 22 y Ec. 23 respectivamente.

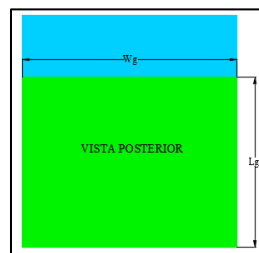


Figura 32 Variables del ancho del sustrato (W_g) y el largo del sustrato (L_g).

(Ec. 22)

$$L_g = 6h + L = 25.535 \text{ mm}$$

(Ec. 23)

$$W_g = 6h + W = 32.082 \text{ mm}$$

- **Cálculo de la longitud de onda guiada (λ_g)**

La Ec. 24 permite calcular la longitud de onda guiada (λ_g), la cual según (Balanis, 2008), se divide el valor de la longitud de onda ($\lambda = 85.714 \text{ mm}$) sobre la raíz cuadrada del dieléctrico efectivo ($\epsilon_{\text{reff}} = 5.316$).

$$\lambda_g = \frac{\lambda}{\sqrt{\epsilon_{\text{reff}}}} = 37.175 \text{ mm}$$

(Ec. 24)

- **Cálculo de la longitud de la línea de transmisión (L_f)**

La longitud de la línea de transmisión (L_f) representa el valor en la coordenada “Y”, la cual está dada en milímetros y se calcula mediante la relación entre la longitud de onda guiada (λ_g) y una constante cuyo valor es 4, este valor es la dimensión lineal de la línea de transmisión desde el origen (que para el caso de estudio es la fuente de alimentación) hasta el destino, en la parte inferior de la Figura 31 se muestra la variable (L_f) que se va a calcular de acuerdo con (Balanis, 2008) en la Ec. 17.

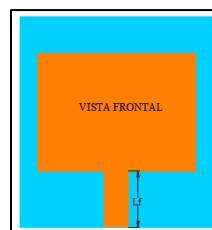


Figura 33 Variable de la longitud de la línea de transmisión (L_f)

$$L_f = \frac{\lambda_g}{4} = 0.08892m = 9.294 \text{ mm} \quad (\text{Ec. 17})$$

- **Cálculo del ancho de la línea de transmisión (W_f)**

Para poder acoplar la antena a la fuente de alimentación, el ancho de la línea microstrip debe contar con un valor adecuado para evitar posibles desacoples de la antena respecto a una impedancia de 50 ohms. (Hernán & Gilma, 2012), establece una tabla que permite encontrar un valor para el ancho de la línea de transmisión (W_f), en la Figura 34 se muestra la variable W_f calculada.

El valor de la longitud de la línea de transmisión ($L_f = 9.294 \text{ mm}$) calculado en Ec. 17, se utiliza en la Tabla 9 con el fin de relacionar con W_f ; esta relación utiliza el método de aproximación al límite inferior.

Según la Tabla 9 los valores de L_f comprendidos entre 12 mm y 8 mm, tienen una relación con los valores de W_f de 6 mm a 4 mm, para el diseño propuesto se tiene un valor calculado de $L_f = 9.294 \text{ mm}$, por lo que, al no tener este valor exacto en la Tabla 9, se selecciona el valor dentro del rango de 12 y 8, escogiendo el valor inferior de $W_f = 4\text{mm}$, cuyo valor tiene relación con $L_f = 8 \text{ mm}$. Este valor está sujeto a posteriores modificaciones dependientemente de los resultados que se vayan logrando en los análisis de la antena.

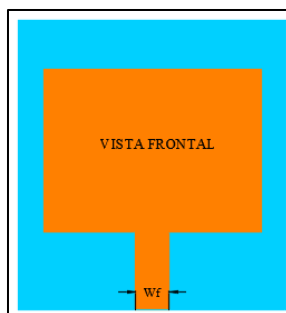


Figura 34 Variable del ancho de la línea de transmisión (W_f).

Tabla 9. Dimensiones de la línea de transmisión para el acople de 50 Ohms.

$L_f(\text{mm})$	$W_f(\text{mm})$	$(Z_o(\text{Ohms}))$
14	6.2	50.99
13	5.8	50.89
12	5.6	50.27
12	5	51.80
12	6	49.31
8	4	49.31
7	3.2	50.56
6	2.8	50.27

Fuente: (Hernán & Gilma, 2012)

Una vez obtenido los valores correspondientes a las dimensiones de la antena, se utiliza un simulador de campos electromagnéticos, tanto para el diseño de la estructura, su respectiva optimización y obtención de cada uno de los parámetros (frecuencia, ancho de banda, coeficiente de reflexión y diagrama de radiación), los cuales se analizan en el apartado 3.3. del presente capítulo. En la Tabla 10 se resume los valores obtenidos de las dimensiones de la antena, cada uno de estos elementos constituirán la base de la primera estructura de la antena, la cual será el modelo inicial de futuras mejoras hasta obtener un diseño final que cumpla los requerimientos para su aplicación en sistemas WBAN.

Tabla 10. Valores referenciales de las dimensiones de la antena.

Nombre	Símbolo	Dimensión (mm)
Ancho del parche	W	26.082
Longitud del parche	L	19.535
Dieléctrico efectivo	ϵ_{reff}	5.316
Dieléctrico FR-4	ξ_r	4,4
Ancho del plano de tierra	W_g	32,082
Largo del plano de tierra	L_g	25.535
Longitud de la línea de transmisión	L_f	9.294
Ancho de la línea de transmisión	W_f	4
Altura del sustrato FR-4	h	1

3.3. Diseño de la antena

De los métodos de alimentación posibles descritos en el apartado 2.6.2, se ha escogido el método de alimentación por línea microstrip a través de conexión directa de la línea de transmisión microstrip al parche de la antena, ya que este método permite una baja complejidad en su fabricación, presenta un acoplamiento simple y un bajo índice de radiación, y por ende su fácil manipulación en ambientes WBAN; además el uso de conectores SMA hembra que proveen un acoplamiento sencillo y fácil remplazo del cable coaxial en caso que sufriera daños, al contrario de la alimentación por sonda coaxial, método por el cual la sonda coaxial esta soldada directamente al parche.

La metodología del diseño de la antena se ha dividido en 4 fases. Las 3 primeras fases consisten en la modificación del parche y la línea de alimentación de la antena conjuntamente con sus respectivos resultados, gráficas y conclusiones. En la fase 4, correspondiente al diseño final, abarca un análisis más completo de la antena incluyendo gráficas más explicativas de cómo operan este tipo de antenas mediante una visualización de la distribución de campos eléctricos y magnéticos, así como de corrientes, además se realiza un análisis del retardo de grupo y finalmente se procede a realizar una simulación ON-BODY; esto se refiere a que se coloca la antena en un brazo humano (3D) y se mide cual es el nivel de radiación que absorbe el tejido humano.

3.3.1. Simulación del diseño de la antena fase 1

La fase 1 menciona los requisitos básicos que debe considerar una antena microstrip para operar en ambientes WBAN, los cuales se muestran en la Tabla 11. Como la banda de operación UWB empieza en la frecuencia 3.1 GHz y finaliza en 10.6 GHz, la antena a diseñarse debe operar dentro de este rango, por lo que para los cálculos del diseño fase 1 de la estructura, se establece en una frecuencia de 3.5 GHz.

Tabla 11. Requisitos básicos de la antena

Parámetro	Valor
Rango de frecuencias (UWB)	3.1 GHz a 10.6 GHz
Coefficiente de reflexión	Superior a -10 dB
Patrón de radiación	Omnidireccional
Impedancia de entrada (Z_{in})	50 Ohms
Tamaño	Pequeña, compacta y plana

Mediante un software de campos electromagnéticos se realiza el diseño de la antena, el cual permite simular estructuras resonantes, para ello se procede a la realización del diseño en base a los valores referenciales que se muestran en la Tabla 10. Por otra parte, en la Figura 35, se muestra la estructura del diseño fase 1 de la antena, el cual se realizó mediante un software de diseño de estructuras, mientras que el diseño en 3D de la estructura de la antena, se utilizó un simulador de campos electromagnéticos, con las respectivas dimensiones de la Tabla 10, que se obtuvieron previamente.

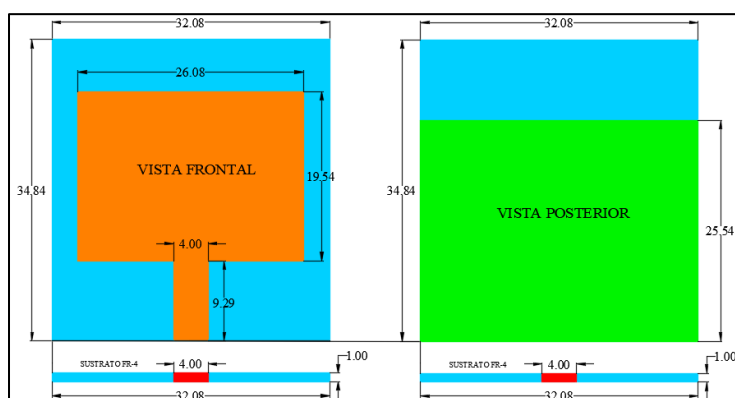


Figura 35 Dimensiones de la estructura de la antena WBAN en milímetros.

a). Vista frontal del diseño (fase 1) b). Vista posterior del diseño (fase 1)

Una vez culminado el diseño de la antena fase 1, se asigna las propiedades a cada componente de la antena, los cuales consisten en: sustrato, parche, plano de tierra, fuente de alimentación y caja de radiación, así como la configuración de los parámetros electromagnéticos en el simulador, y realizar un adecuado análisis de los resultados de la antena.

En la Figura 36 se observa la estructura terminada del diseño fase 1 de la antena, la cual fue diseñada en el simulador de ondas electromagnéticas, además, se aprecia en la imagen los componentes básicos de las antenas tipo parche, cuyos componentes se mencionó anteriormente.

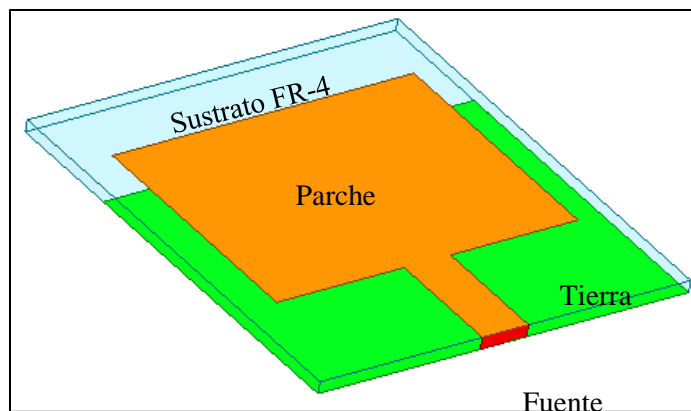


Figura 36 Estructura del diseño (fase 1) de la antena.

Posterior al diseño de la estructura de la antena efectuada en el simulador, se establecen las propiedades que pertenecen a cada componente de la antena, para el caso del parche que se muestra en la Figura 37 y el plano de tierra que se aprecia en la Figura 38, las dos componentes mencionadas se establecen con la propiedad de *conductor*, con el fin de que el simulador determine a que componentes se da el permiso para efectuar la emisión y recepción las ondas electromagnéticas.

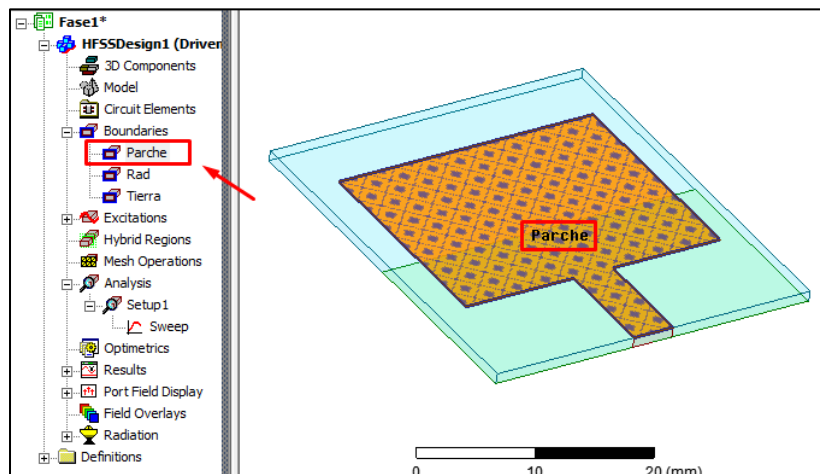


Figura 37 Asignación de propiedad de conductor al parche.

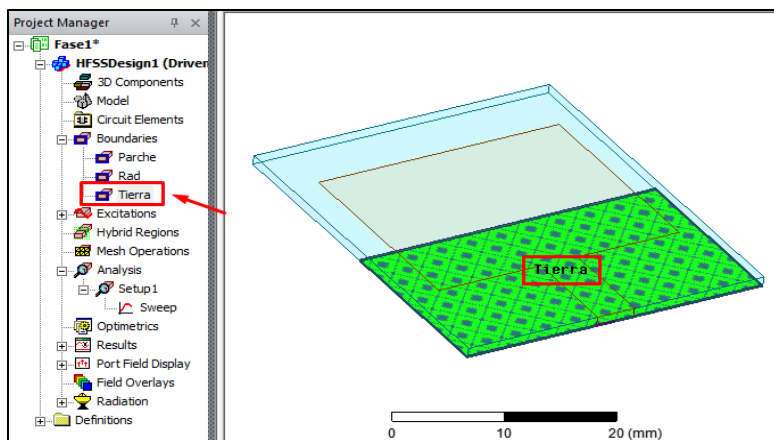


Figura 38 Asignación de propiedad de conductor al plano de tierra.

Además, se diseña una caja de radiación, la cual consiste en crear una estructura que cubra completamente la antena en todos sus lados como se muestra en la Figura 39 y cuyos lados se encuentren separados de la antena (la caja de radiación hace la función de una cámara anecoica² en un ambiente de simulación real), posterior a finalizar la estructura, se le asigna la propiedad de radiación (*Radiation*).

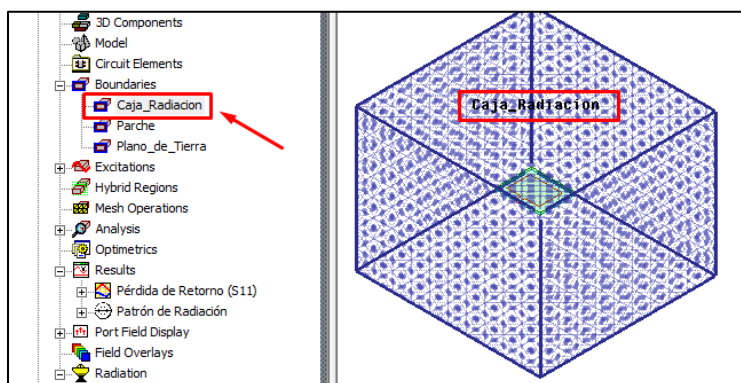


Figura 39. Asignación de propiedad de conductor a la caja de radiación.

Finalmente, y no menos importante, se asigna la propiedad de fuente de alimentación al puerto (P1), como se muestra en la Figura 40, cuya función del puerto es generar las ondas

² Es una sala que tiene por objetivo absorber las reflexiones producidas por ondas electromagnéticas, con un porcentaje de absorción del 95%. Esta sala se encuentra aislada de cualquier ruido o influencia del exterior.

electromagnéticas, las cuales atraviesan la línea de transmisión hasta llegar al parche y dar paso al proceso de propagación de las ondas a través de un medio no guiado como es el aire.

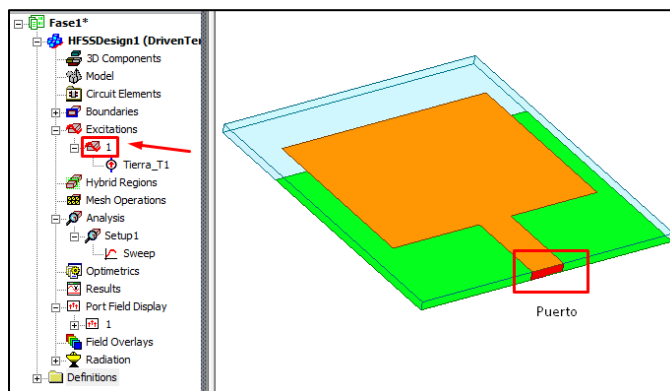


Figura 40 Asignación de propiedad de fuente de alimentación.

A continuación, se inicia la configuración del tipo de análisis que se procede a realizar en el simulador, en esta parte se establece parámetros como: frecuencia, número máximo de pases y Delta máximos S (proceso de solución más precisa), como se muestra en la Figura 41, los cuales permiten al simulador tener una referencia del rango de frecuencias en la cual va a operar, esto con el fin de evaluar en un determinado sector del amplio espectro radioeléctrico, a la vez que no sobrecargamos al ordenador, de esta manera se optimiza tiempo y recursos.

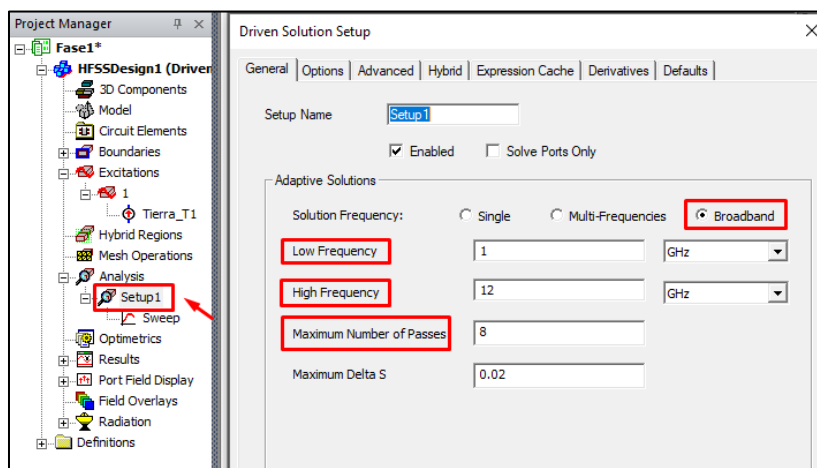


Figura 41 Configuración del análisis para la simulación de la antena.

Luego a la configuración del tipo de análisis, se procede a configurar el tipo de barrido (*sweep*) como se muestra en la Figura 42. Cabe mencionar, que, para todas las simulaciones del presente trabajo, se realizan con un tipo de barrido discreto (discrete), este método es más preciso que el método FAST e INTERPOLATING³. Sin embargo, todo dependerá de la fase que se encuentre el diseño de la antena, no es recomendable realizar un análisis tipo fast a un diseño final, ya que los resultados más cercanos a una simulación en un ambiente real se obtienen con el tipo discrete.

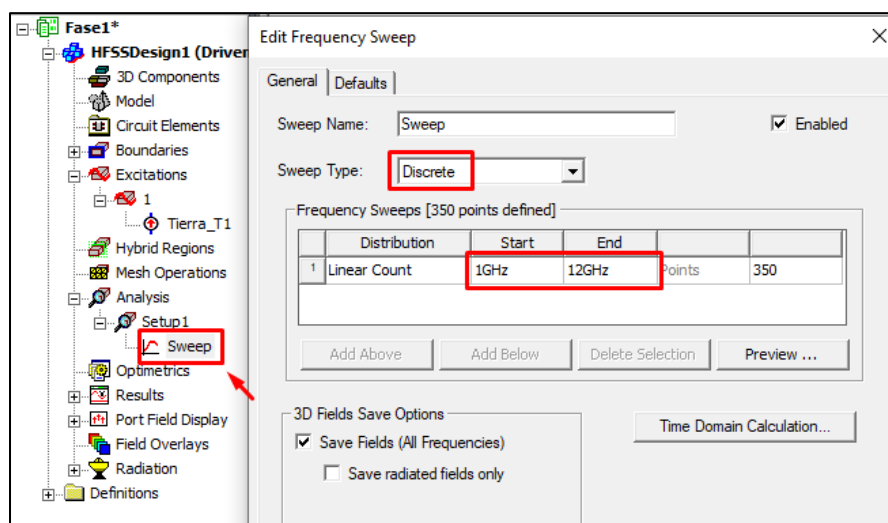


Figura 42 Configuración del tipo barrido

El simulador cuenta con un sistema de validación por etapas, que parte desde el correcto diseño de la estructura de la antena, las adecuadas asignaciones de propiedades de las componentes de la antena, la configuración del análisis de la frecuencia y la configuración de la radiación. Esta

³ Método Fast e Interpolating: para las primeras simulaciones se considera optar por el tipo de barrido rápido (fast), para obtener los resultados de las simulaciones en menos tiempo posible y continuar trabajando en la optimización de la antena.

validación es efectivamente como un checklist tal como se muestra en la Figura 43, en donde se va verificando si cumple o no cumple cada requerimiento.

En caso de no cumplir simplemente la simulación no es realizada, hasta que se verifique y corrija el error indicado. Si todo está correctamente validado, se procede a iniciar con la simulación, el tiempo estimado para esta simulación fue de 2 horas con 25 minutos aproximadamente.

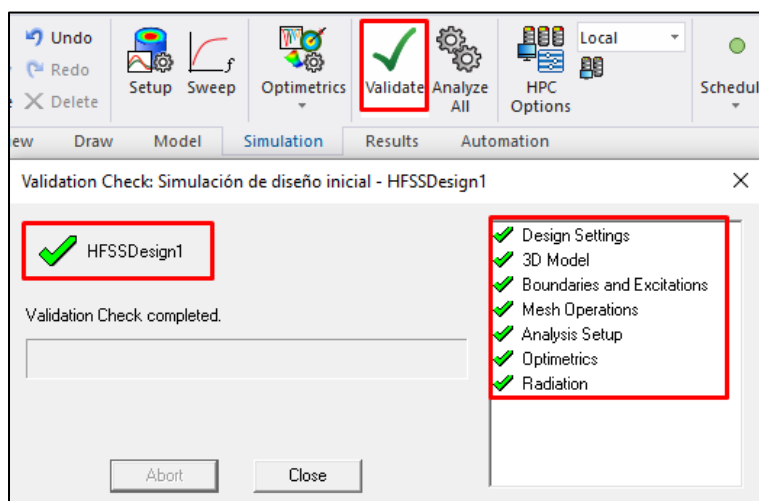


Figura 43 Validación de los requerimientos de la antena.

Al transcurrir el término de la simulación, en la Figura 44 se especifica el tipo de gráfica que se desea obtener y se visualiza el proceso para obtener los resultados respecto a los parámetros S, que comprenden la ganancia, la pérdida de retorno, la frecuencia y el coeficiente de reflexión (Pozar, 2012) ⁴.

⁴ Para la fase 1, fase 2 y fase 3 se presenta solamente la gráfica de pérdida de retorno y el patrón de radiación, las cuales nos muestran los parámetros más esenciales, sin embargo, para el diseño final, se incluirán gráficas que presentan mayor relevancia como la ganancia, distribución de corrientes, distribución del campo eléctrico y la simulación ON-BODY.

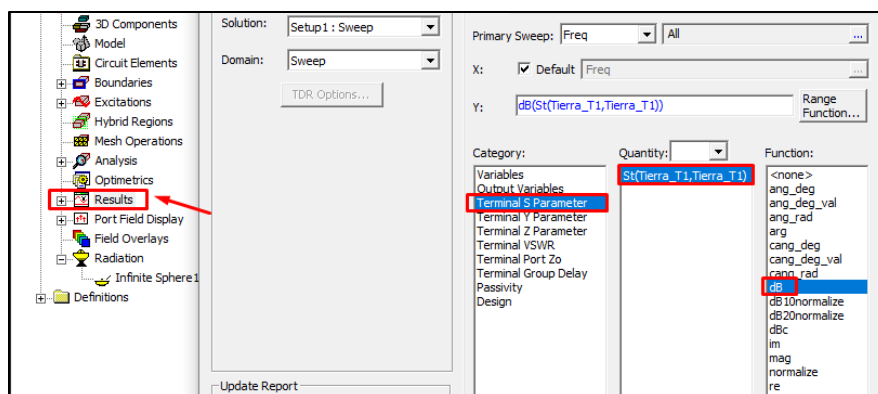


Figura 44 Gráfica de los parámetros S

En la Figura 45 se aprecia la gráfica de los parámetros S, obtenida a partir de la simulación anterior, como primera impresión se observa que la antena está irradiando dentro del rango UWB, pero no está operando debajo de los -10 dB, por ende, no cumple con un ancho de banda igual o superior a 0.5 GHz, por ende, la antena aún no se encuentra apta para el uso en aplicaciones WBAN. Como aspecto positivo de los resultados de la antena se puede mencionar que las frecuencias 5.49 GHz y 8.36 GHz poseen una pérdida de retorno aceptable y se encuentran dentro de las frecuencias 3.10 GHz y 10.6 GHz.

Al ser un modelo base que está sujeto a modificaciones, aún queda por realizar algunos cambios que permitan una mejora en el rendimiento de la antena. Sin embargo, se ha establecido un modelo inicial, que será el punto de partida para el diseño final de la antena.

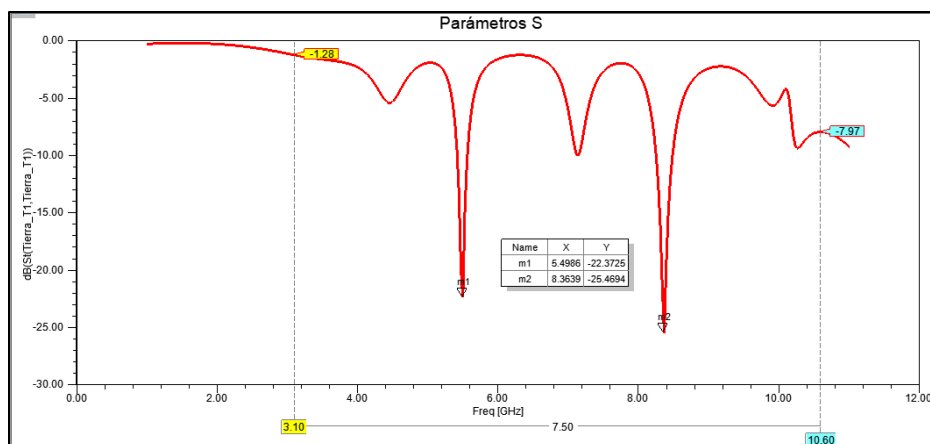


Figura 45 Pérdida de retorno del diseño (fase 1)

Dentro del análisis respecto a la Figura 46, se encuentra el patrón de radiación, que es una medida del campo de visión de una antena, cuya ilustración muestra la distribución espacial de la energía radiada o recibida (Schantz, 2015), donde se aprecia claramente que la antena presenta una gráfica que se inclina a un patrón omnidireccional, es decir proporciona cobertura en todos los ángulos en un plano particular. Para una antena con polarización lineal se debe verificar los patrones de los planos E y H, por consiguiente el plano E contiene el vector del campo Eléctrico y sus respectivas direcciones de máxima radiación, mientras que el plano H contiene el vector de campo Magnético y la dirección de radiación máxima que se logra (Schantz, 2015).

Para obtener las gráficas del patrón de radiación tanto del plano E y H y proceder con el análisis es conveniente mencionar que se obtienen de las frecuencias que se encuentren dentro de la banda de paso (-10 dB) las cuales se utilizan para la radiación de la señal (R. H. Thayer and S. N. Alsaidy, 2015).

Una vez aclarado este aspecto se procede a dar un criterio de diseño, estas frecuencias que se encuentran dentro de la banda de paso, las cuales se pueden apreciar en la Figura 45, donde la frecuencia 5.49 GHz y 8.36 GHz se encuentran en un límite medio, así se evaluará el patrón de

radiación en estas dos frecuencias. En la Figura 46 a) se observa el patrón en el plano E para la frecuencia 5.49 GHz, la cual muestra un patrón omnidireccional en los valores ϕ (0° y 45°) su gráfica presenta una distribución de radiación a la mayoría de los puntos del espacio mientras que para el valor ϕ de 90° se ilustra un patrón tipo bidireccional con dos grandes lóbulos opuestos, este tipo de patrones no es el que se busca, así que se debe mejorar notablemente los lóbulos, el objetivo que interesa es que la antena mantenga un patrón omnidireccional debido a que la antena transmite o recibe las señales en un entorno uniforme en casi todas sus direcciones del espacio, por ende se debe modificar la estructura del parche para conseguir lo anteriormente mencionado. En la Figura 46 b), se visualiza el diagrama de radiación en el plano H para la frecuencia 5.49 GHz, los valores θ (0° , 45° y 90°) muestran un diagrama omnidireccional similar a una dona, aspecto típico de este tipo de patrones por lo tanto en el plano H muestra un vector de campo magnético adecuado y las direcciones de radiaciones máximas se distribuyen hacia la mayoría de los puntos de espacio.

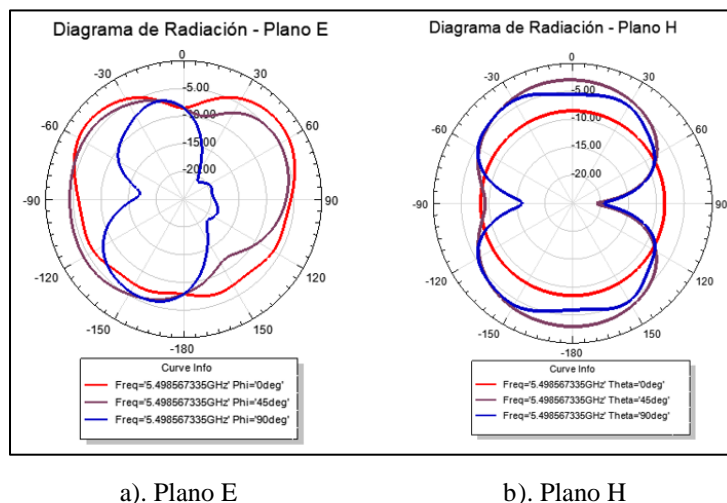
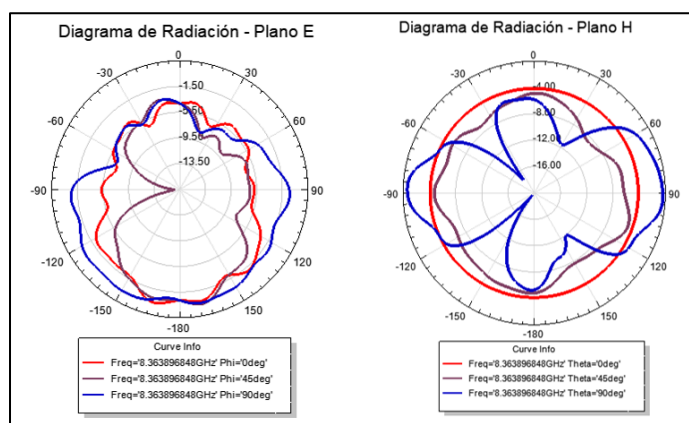


Figura 46 Patrón de radiación de la frecuencia 5.49 GHz

Por otra parte, en la Figura 47 a) se muestra el patrón en el plano E para la frecuencia 8.36 GHz, logrando un patrón casi omnidireccional en los valores ϕ (0° , 45° y 90°) la energía tiene una

mayor concentración de radiación para la dirección -180° , este fenómeno se deberá corregir mediante una modificación a la simetría del parche. En la Figura 47 b), se visualiza el diagrama de radiación en el plano H para la frecuencia 8.36 GHz, el valor $\theta = 0^\circ$ muestra un patrón omnidireccional ideal, sin embargo, este fenómeno es muy improbable que suceda en un ambiente real debido al sinnúmero de efectos que están expuestas las antenas en el medio ambiente. Para el valor de $\theta = 45^\circ$ se visualiza un diagrama omnidireccional adecuado el cual está distribuyendo la radiación hacia todos ángulos del espacio y por último tenemos el valor $\theta = 90^\circ$ la cual cuenta con múltiples lóbulos, que de igual manera presenta un patrón omnidireccional, este fenómeno generalmente sucede cuando se realiza la evaluación a la frecuencia más alta de la banda (Faria, 2015).



a). Plano E

b). Plano H

Figura 47 Patrón de radiación de la frecuencia 8.36 GHz

3.3.2. Simulación del diseño de la antena fase 2

Una vez simulado el diseño base de la antena, y conseguido un patrón de radiación omnidireccional necesario para cumplir con el requerimiento de los sistemas WBAN, se procede a realizar la primera modificación al plano de tierra ($L_g = 25.535$), por medio de una herramienta que cuenta el simulador llamada *Optimetric* se generas una variable para asignar valores

comprendidos entre 25.535mm hasta 8mm y un salto de 2mm, entonces el simulador evaluará la antena en los 10 valores L_g , esto permite observar el comportamiento de la antena con un plano de tierra de diferentes dimensiones y escoger el que mejor se adapte al objetivo planteado, en la Figura 48, se muestra específicamente la parte de la antena que se está modificando.

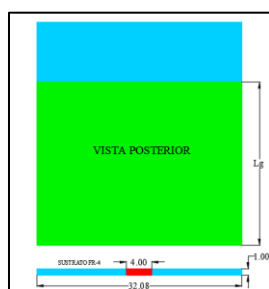


Figura 48 Modificación de la longitud del diseño (fase 2)

A continuación, en la Figura 49 se muestra el proceso de asignación del rango de análisis para la longitud del plano de tierra, una herramienta que facilita el proceso de diseño de la estructura de la antena, cuyo fin es generar varias gráficas del parámetro S en un solo análisis.

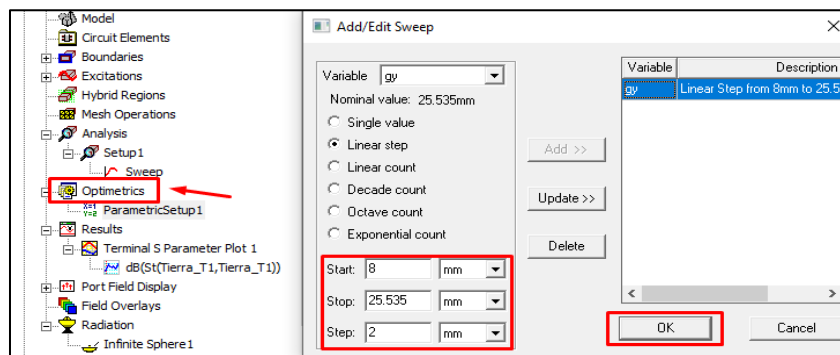


Figura 49 Herramienta Optimetrics

- **Parámetros S ($L_g = 25.535\text{mm}$ hasta $L_g = 2\text{mm}$)**

Los resultados logrados a partir de un análisis simultáneo de los valores correspondiente a la longitud del plano de tierra (L_g), se muestran en la Figura 50, en donde se aprecia que un

resultado específico logra cumplir dos requisitos que se necesita, una de ellas es la dimensión que pertenece a $L_g = 8mm$, cuyo valor del coeficiente de reflexión está por debajo de los -10 dB y se logra establecer la primera frecuencia de resonancia 3.03 GHz, logrando así establecer el punto de inicio del ancho de banda requerido para UWB recordando que inicia desde 3.1 GHz hasta 10.6 GHz. Sin embargo, aún se presenta un ancho de banda (AB) estrecho, de alrededor de 1.23 GHz insuficiente para la tecnología que puede operar en un ancho de banda amplio. Hasta el momento la antena no es adecuada para ser utilizada en sistemas UWB, sin embargo, se consiguieron ciertos resultados favorables en la presente fase de diseño.

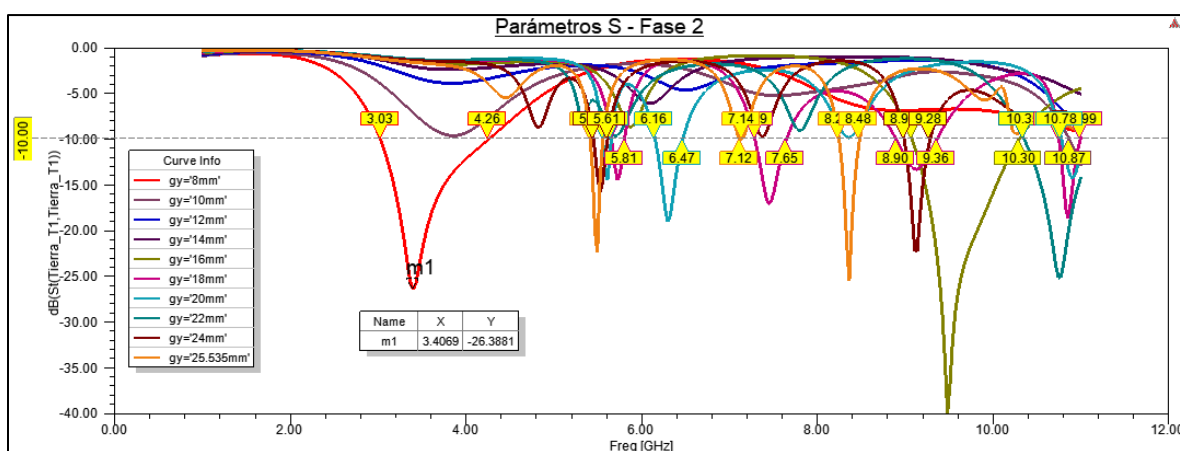


Figura 50 Pérdida de retorno (S11) del diseño (fase 2)

- **Parámetros S ($L_g = 10mm$ hasta $L_g = 8mm$)**

En la Figura 50 se mostró que los resultados obtenidos entre 8mm y 10mm presentan características UWB, por lo tanto, ahora se procede a realizar un análisis en este intervalo, utilizando de igual forma la herramienta *optimetrics*. Una vez realizada la simulación de la antena con estos valores se verifica que con valores entre 8mm y 10mm se logra un GROUP DELAY⁵

⁵ Es una característica que muestra que la antena propuesta posee una excelente linealidad de fase, el group delay debe permanecer inferior a 1[ns], si es superior a este valor conducirá a una distorsión del pulso/distorsión de la señal (Ain & Chatteraj, 2018).

bajo, inferior a 1 nano segundo ($1 < [\text{ns}]$), este parámetro está ligado con la calidad de la señal. Según (Ain & Chatteraj, 2018), las antenas UWB para transmitir emplean señales de pulso muy estrechas que son distribuidas en un amplio espectro (varios gigahercios), por lo que la antena debería irradiar un pulso sin ninguna distorsión o a la menor distorsión posible, lo que hace que este parámetro sea importante en el proceso de diseño.

Los resultados obtenidos del Group Delay se muestran en la Figura 51, en donde cabe resaltar que existe en particular el valor $L_g=9.2\text{mm}$ que cuenta con un group delay = 0.795 [ns], valor por debajo de los 1 [ns] requerido; por lo que los demás valores se descartan ya que sobrepasan el límite requerido. En este sentido, el nuevo valor con el que se dimensionará la longitud del plano de tierra (L_g) es de **9.2mm**, de esta manera queda establecido esta dimensión para las siguientes fases de diseño.

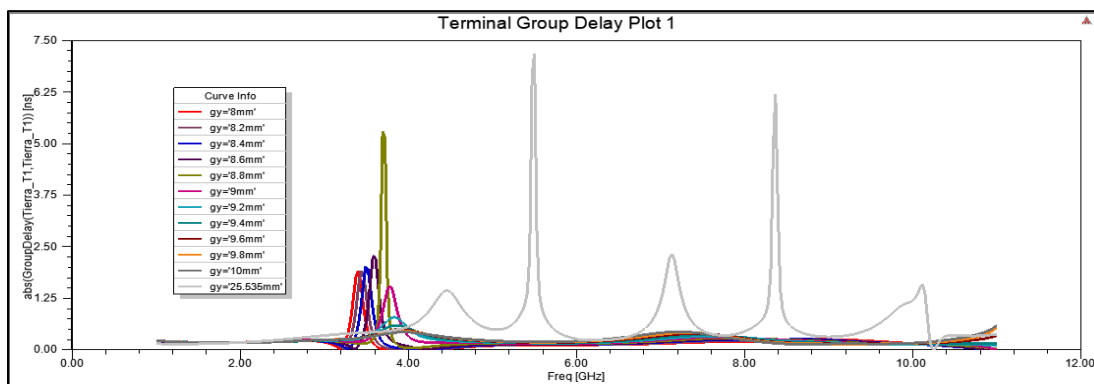
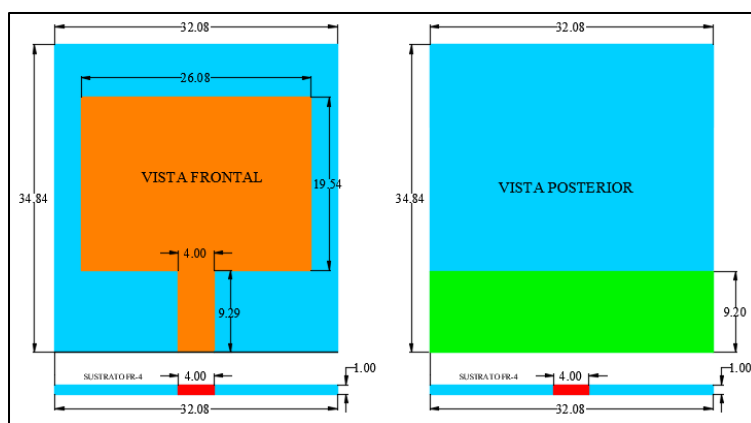


Figura 51 Resultado Group Delay

En resumen, la fase 1 y fase 2 permitieron consolidar la base principal de la estructura, obteniendo una cercanía a la frecuencia deseada, además se dio el enfoque hacia un patrón de radiación omnidireccional que será mejorado en las próximas fases y por último se obtuvo un group delay deseado inferior a 1[ns]. A continuación, en las fases posteriores, el diseño sufrirá

algunas modificaciones que permitirán mejorar el diseño tanto de optimización de forma-tamaño como las características de operación para encaminar la investigación hacia el objetivo planteado.

Finalmente, la Figura 52 muestra el diseño de la estructura de la antena realizado hasta el momento en el software de estructuras, cuya antena cuenta con las dimensiones obtenidas hasta la presente fase y cuyo cambio considerable se observó en la longitud del plano de tierra.



a). Vista frontal del diseño (fase 2)

b). Vista posterior del diseño (fase 2)

Figura 52 Dimensiones de la estructura de la antena fase 2

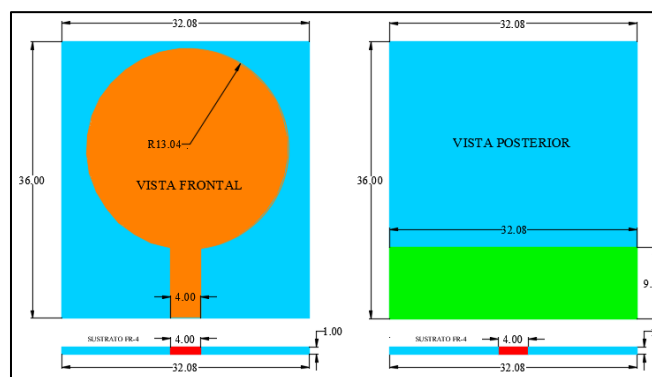
3.3.3. Simulación del diseño de la antena fase 3

Posteriormente al culminar las primeras fases del diseño en base a cálculos, simulaciones y análisis que fomentaron un soporte sólido referente al diseño inicial de la antena, estableciendo las dimensiones de la antena y entendido la conceptualización del funcionamiento de una antena tipo parche conjuntamente con cada componente que la constituye, a continuación, se procede a diseñar la misma antena con un cambio en la forma del parche de rectangular a un parche circular.

Este cambio contribuye en algunos beneficios tanto en tiempo de fabricación y en mejoras en los parámetros electromagnéticos, al respecto (Haraz & Sebak, 2016) expresa que las antenas monopulares de disco impreso (circulares) son consideradas buenas candidatas para aplicaciones

UWB debido a su estructura simple, fácil fabricación, posee características de banda ancha (AB) y logran un patrón de radiación omnidireccional.

En ese sentido, la fase 3 tiene el objetivo de alcanzar algunas optimizaciones en la gráfica de parámetros S, mediante el cambio a un parche circular, donde se realiza el análisis respectivo de los resultados. En la Figura 53 se muestra el valor del radio del círculo, el cual corresponde a la mitad del valor del ancho del parche del diseño inicial, cuyo valor es $W=26.08$ mm y se encuentra en la Tabla 10 del apartado 3.2, en ese sentido el valor del radio es de $R=13.04$ mm.



a). Vista frontal del diseño (fase 3)

b). Vista posterior del diseño (fase 3)

Figura 53 Dimensiones de la estructura de la antena WBAN en milímetros.

- ***Parámetros S de la antena con parche circular***

Los resultados de los parámetros S de la antena con parche circular se muestran en la Figura 54, donde se aprecia una notable variación del ancho de banda, que parte desde la frecuencia 2.39 GHz y cubre hasta la frecuencia 10.6 GHz, resultando un ancho de banda de 8.21 GHz a diferencia del ancho de banda obtenido en la fase 2 correspondiente a 1.23 GHz. Sin embargo, el coeficiente de reflexión de las frecuencias 3.03 GHz, 5.33 GHz y 7.32 GHz presenta en la Figura 54, una reducción del coeficiente de reflexión, teniendo como valor máximo -11.71 dB (recuadro gris) a diferencia del resultado de la fase 2 que se obtuvo un valor de -26.38 dB (cabe resaltar que el

coeficiente de reflexión debe presentar un valor que sobrepase la banda de los -10 dB para lograr una transmisión sin problemas, ya que la energía emitida sea receptada casi en su totalidad en el receptor, teniendo en cuenta los fenómenos de dispersión que pueden existir). Ambos cambios, tanto el aumento del ancho de banda y la reducción del coeficiente de reflexión surgen debido al corte de las cuatro esquinas del parche rectangular y se da paso al parche circular. Además, debido a esta modificación, las corrientes se acoplan a la forma que tenga el parche para realizar el proceso de distribución a lo largo de la antena y su posterior emisión o recepción de las ondas electromagnéticas, lo que provoca un cambio en las impedancias de entrada de la primera frecuencia de resonancia, cuyo valor en la fase 2 fue de 3.40 GHz y en la presente fase se obtiene un valor de 3.03 GHz (una variación correspondiente a 0.37 GHz).

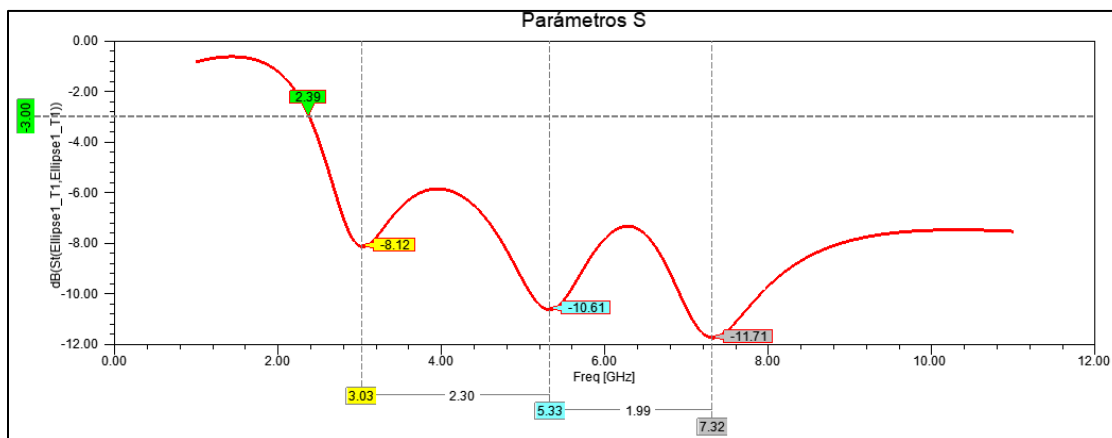


Figura 54 Parámetros S antena circular.

El resultado de mantener un parche circular no es el idóneo, por lo que se mantiene la parte superior del parche en forma rectangular y la parte inferior con dos cortes truncados, y se procede con la simulación manteniendo el tamaño del parche, el tamaño del sustrato, el valor de la línea de transmisión, la altura del sustrato y la longitud del plano de tierra, estos cambios son ejecutados con el fin de aumentar el ancho de banda y lograr una mejor distribución de las corrientes en los bordes del parche.

Por lo tanto, la Figura 55 muestra la estructura de la antena en el software de diseño de estructuras, detallando las dimensiones actuales que cuenta la antena, además la antena presenta una forma de una copa; diseño que fue solventado mediante la unión de los parches de la fase 1 y fase 2.

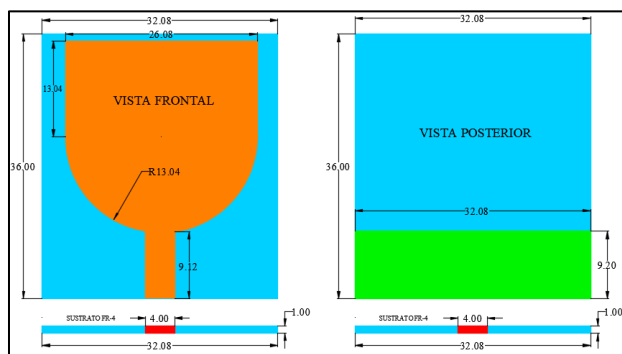


Figura 55 Diseño de la estructura de la antena WBAN (vista diagonal).

- **Parámetros S de la antena tipo copa**

Como paso siguiente se analiza la antena con el diseño tipo copa, cuyos resultados se muestran en la Figura 56, donde se observa que la primera frecuencia de resonancia se sitúa en la frecuencia 2.91 GHz, logrando mantener la frecuencia cerca de la frecuencia inicial de UWB de 3.1 GHz. Un inconveniente sería si la primera frecuencia resonante fuera superior a los 3.1 GHz, ya que no se estaría aprovechando todo el ancho de banda que permite esta tecnología UWB.

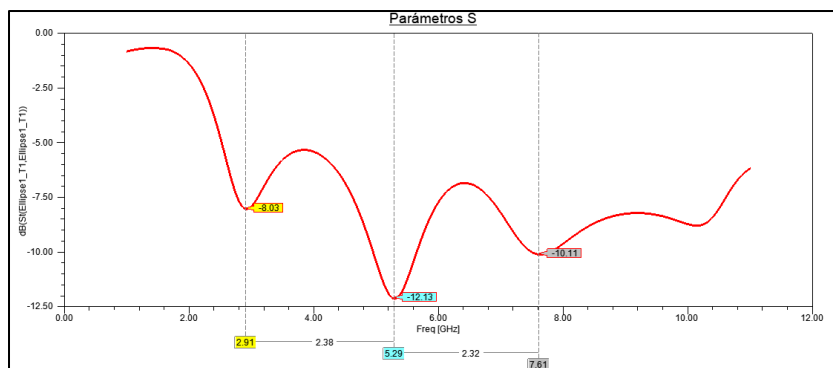


Figura 56 Parámetros S del diseño (fase 3)

En resumen, respecto a las fases que se han venido desarrollando, hasta ahora se presenta un diseño simple y compacto, cuyos resultados presenta una frecuencia cercana a 3.1 GHz, se ha logrado una mejora en el ancho de banda de las frecuencia resonantes, el diagrama de radiación presenta una tendencia omnidireccional, sin embargo, aún existe un coeficiente de reflexión bajo, por lo tanto, ahora el objetivo de diseño comprende en lograr ese aumento del coeficiente para cada frecuencia resonante, este propósito será efectuado mediante un análisis paramétrico de la línea de transmisión y el ancho del parche, con ello serán seleccionadas los valores que muestren un resultado acorde a lo que se busca.

- *Efecto de variar el ancho de la línea de transmisión (W_f)*

El efecto de variar el ancho de la línea de transmisión (W_f) se muestra en la Figura 57, cuya antena fue simulada con las dimensiones de la antena tipo copa, cuyos valores son: $W_f=4\text{mm}$, $L_f=9.293\text{mm}$, $W=26.08\text{mm}$, $h=1\text{mm}$, $R=13.04\text{mm}$. Además, se configuró un análisis paramétrico a la simulación, añadiendo un rango de valores que pertenecen al ancho de la línea de transmisión ($W_f=3.5\text{mm}$ a 4mm), obteniendo como resultado un aumento del coeficiente de reflexión con el valor de $W_f = 3.5\text{mm}$, cuya gráfica representada por el color rojo se aprecia en la Figura 57, obteniendo un coeficiente de reflexión de -16 dB a diferencia de los -12.13 dB de la anterior simulación cuyo valor se muestra en la Figura 56.

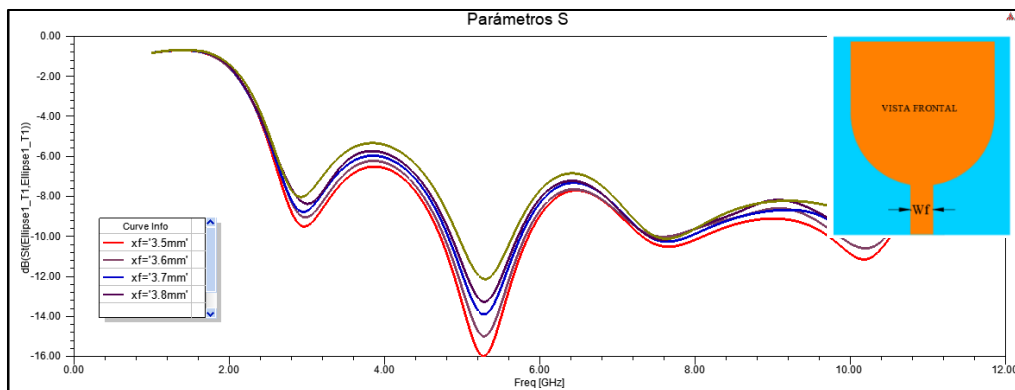


Figura 57 Parámetros S del diseño (fase 3)

- *Efecto de variar el ancho del parche (W)*

Continuando con la optimización de la antena mediante la variación del ancho del parche, cuya simulación fue realizada con los valores $L_f=9.293\text{mm}$, $h=1\text{mm}$, $R=13.04\text{mm}$ y el valor del ancho de línea de transmisión $W_f = 3.5\text{mm}$ obtenido en la última simulación.

En la Figura 58 se muestra el análisis del parámetro group delay y se verifica con que valor del ancho de parche (W) se logra un resultado inferior a 1 [ns], en ese sentido, en la gráfica se aprecia que la curva de color violeta con un valor de 11.8 mm muestra un resultado inferior a los 1 [ns], con un resultado de 0.192 [ns] en la primera frecuencia ($m1 = 3.034\text{ GHz}$) y 0.204 [ns] en la segunda frecuencia ($m2 = 5.584\text{ GHz}$).

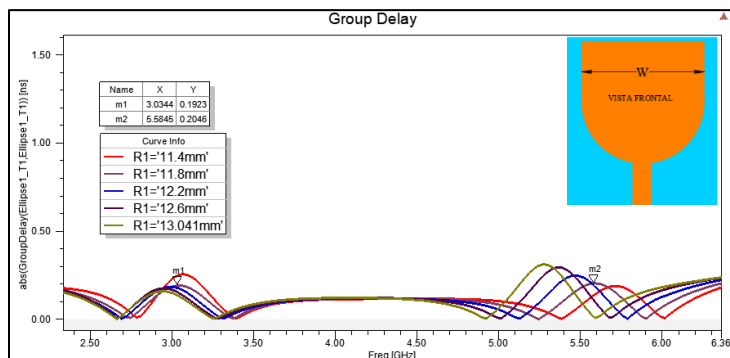


Figura 58 Group Delay (fase 3)

Finalmente, se cuenta con nuevos valores tanto para el ancho de la línea de transmisión y el ancho del parche, con estas modificaciones el coeficiente de reflexión aumento en un -3.87 dB y se estableció un group delay debajo del valor 1 [ns], es así que se presenta en la Figura 59, la antena actual con las dimensiones obtenidas hasta la presente fase de diseño.

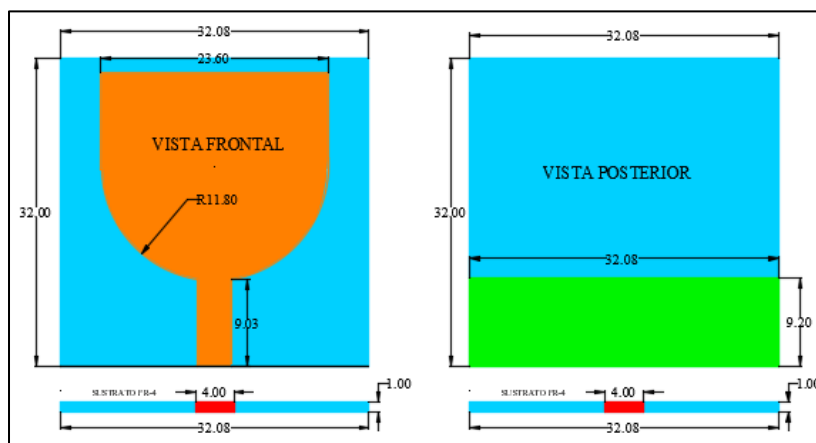


Figura 59 Diseño de la estructura fase 3

- **Parámetros S de la antena fase 3**

En la Figura 60, se visualiza la gráfica de los parámetros S del diseño fase 3 con las dimensiones obtenidas hasta este apartado, además se incluye tanto la gráfica de los resultados de la antena actual (línea roja entrecortada), así como la gráfica de la antena del diseño final (línea azul continua), para tener mejor perspectiva y contraste a cerca de las modificaciones que se van realizando a lo largo del proceso de diseño de la antena y observando como los cambios afectan a la gráfica de los parámetros S, demostrando que cada dimensión de la antena que se vaya modificando genera un comportamiento distinto en ella, provocando una alteración en la gráfica de los parámetros S atribuida a la forma en la que se distribuyen las corrientes en los bordes del parche y la manera de irradiar la antena.

En ese sentido se presenta los resultados de la simulación, donde se obtiene dos frecuencias de resonancia en el rango UWB, cuya primera frecuencia (m1) presenta un valor de 3.19 GHz con un coeficiente de reflexión de -12.31 dB y una segunda frecuencia (m2) a 6.017 GHz con un coeficiente de reflexión de -14.88 dB, en este punto la gráfica presenta un retroceso del coeficiente -1.12 dB del resultado logrado en la Figura 57, además se deberá sintonizar ambas frecuencias sobre los -10 dB para lograr una adaptación de impedancias en el rango habilitado para UWB.

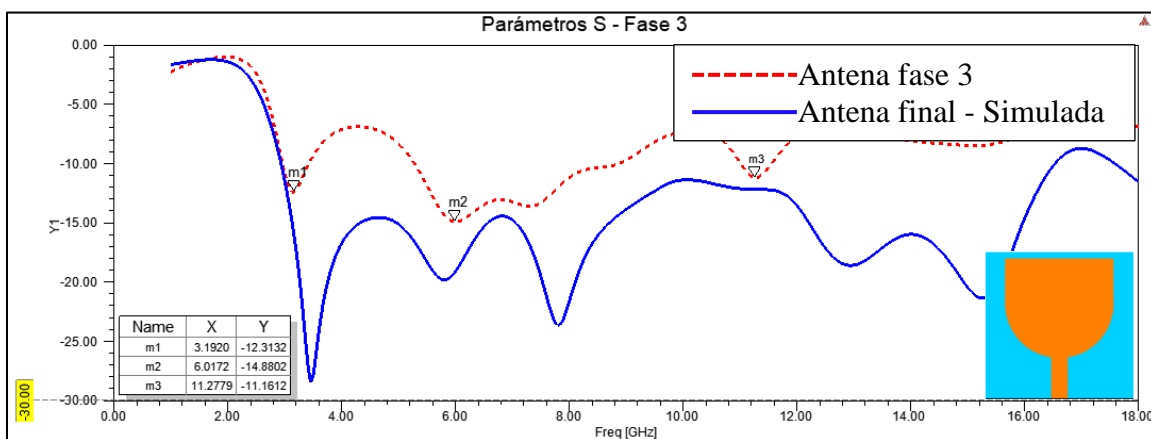


Figura 60 Parámetros S diseño fase 3

3.3.4. Simulación del diseño de la antena fase 4

Ahora se procede en la presente fase a realizar unos cortes (slots) en el parche principal de la antena con el fin de optimizar el espacio ocupado por la antena, a su vez que se mejora el rendimiento de la antena en algunas características electromagnéticas, que según (Awad & Abdelazeez, 2018) menciona que los cortes en el parche contribuyen a sintonizar la parte inductiva de la antena la cual neutraliza el acoplamiento capacitivo entre el plano de tierra y el parche para lograr una impedancia de entrada resistiva pura.

- *Efecto de los cortes en el parche principal (slot circular superior)*

En la Figura 61 se muestra un contraste entre la simulación anterior de la fase 3 (línea roja entrecortada) y los resultados de la simulación de antena de la presente fase 4 con un slot circular en la parte superior del parche (línea negra continua), donde se alcanza una mejor sintonización en las frecuencias 6.26 GHz y 11.32 GHz, en otras palabras se amplía el canal de las frecuencias mencionadas, como resultado los extremos de la curva de la línea negra en la frecuencia 6.26 GHz tiende a los -15 dB y en la frecuencia 11.32 GHz tiende a los -10 dB.

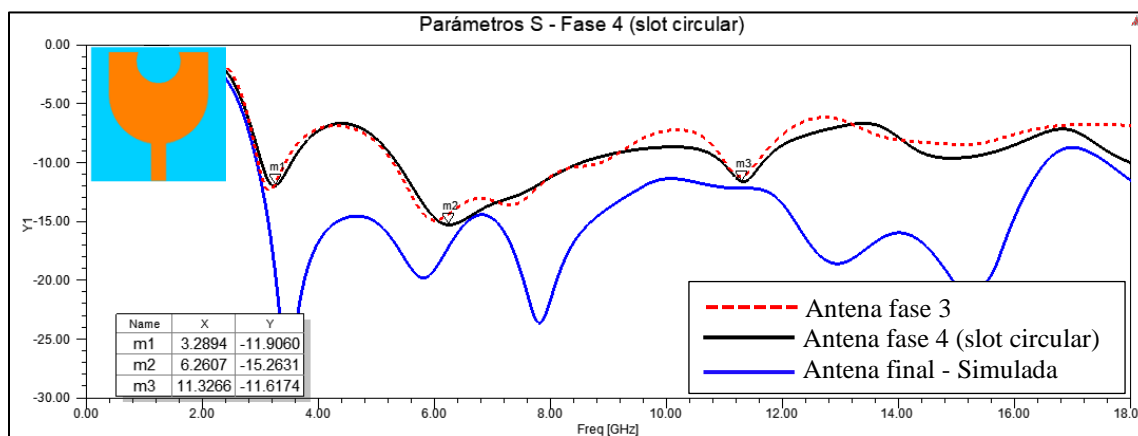


Figura 61 Parámetros S diseños de fase 3 y fase 4

- *Efecto de cortes en el parche principal (slots rectangulares superiores y slot rectangular inferior)*

En la Figura 62 se muestra los resultados de la antena fase 4 que se incluye tres slots rectangulares, la línea negra continua presenta un aumento del coeficiente de reflexión en las frecuencias resonantes 3.28 GHz, 6.06 GHz y 10.74 GHz, presentando una diferencia con los resultados obtenidos en la Figura 61. En ese sentido, se cuenta con un aumento de -3.65 dB para la primera frecuencia (m1), un valor de -4.15 dB para la segunda frecuencia (m2) y -1.33 dB para la tercera frecuencia (m3), logrando mejorar las características de pérdida de retorno en las tres

frecuencias y cuyos valores del coeficiente aumentaron respecto a la banda de los -10 dB, de esta manera se mejora la adaptación de impedancias de las frecuencias mencionadas.

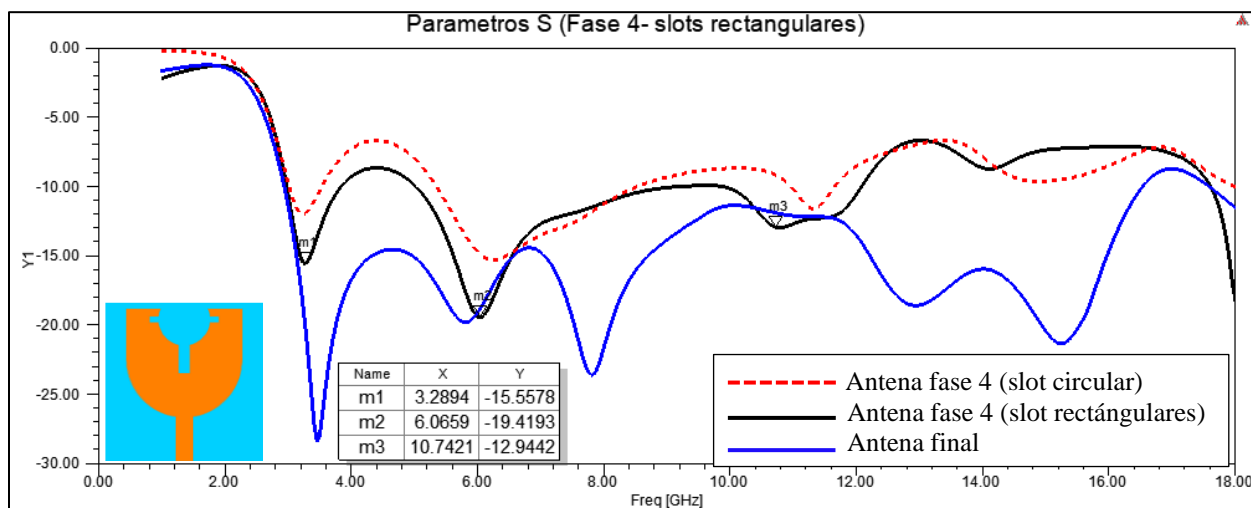


Figura 62 Parámetros S diseño fase 4 (slots internos)

En la Figura 63, se muestra la antena con las dimensiones y cambios alcanzados al culminar la fase 4 del diseño de la antena, además se presenta las vistas tanto frontal como posterior con sus respectivas variables, cuyos valores son detallados en la tabla 12; cabe mencionar que aún se sigue manteniendo algunas dimensiones de la antena inicial, como la altura del sustrato FR-4 de $h=1\text{mm}$ y el ancho del plano de tierra $W_g=32.082\text{mm}$.

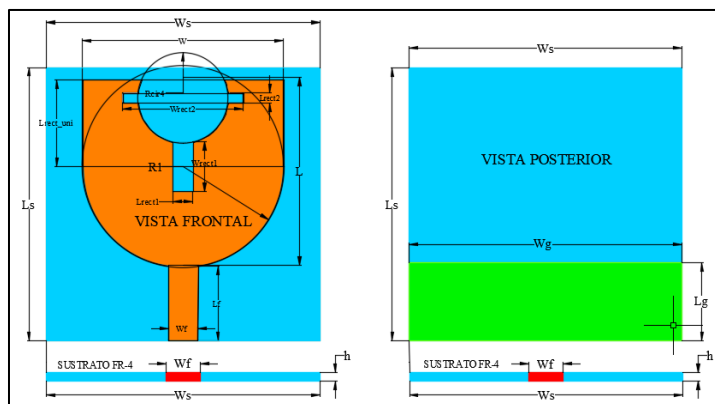


Figura 63 Diseño de la estructura fase 4

La Tabla 12 muestra las dimensiones en milímetros de las variables de la antena de la Figura 63, las dimensiones son las que se ha obtenido hasta la presente fase del diseño, como se ha venido observando a lo largo de las fases de diseño ha existido cambios en la antena, esto con el fin de ir optimizando algunos parámetros de la antena como: el ancho de banda, el coeficiente de reflexión, el diagrama de radiación y la optimización el espacio ocupado por la antena en el parche.

Tabla 12. Dimensiones de la antena fase 4

Nombre	Símbolo	Dimensión (mm)
Ancho del parche	W	26.08
Longitud del parche	L	19.53
Ancho del sustrato	W_s	32.08
Longitud del sustrato	L_s	32.00
Ancho del plano de tierra	W_g	32.08
Largo del plano de tierra	L_g	9.20
Longitud de la línea de transmisión	L_f	9.29
Ancho de la línea de transmisión	W_f	3.50
Altura del sustrato FR-4	h	1.00
Radio círculo Principal	R_1	11.80
Radio círculo secundario mediano	R_{cir4}	5.3
Ancho del rectángulo inferior	W_{rect1}	2.36
Longitud del rectángulo inferior	L_{rect1}	5.75
Ancho del rectángulo superior	W_{rect2}	14.16
Longitud del rectángulo superior	L_{rect2}	1.18

Ancho del rectángulo de unión superior	W_{rect_uni}	23.60
Longitud del rectángulo de unión superior	L_{rect_uni}	10.15

3.3.5. Simulación del diseño de la antena fase 5

Como paso siguiente en la fase 5 de diseño de la antena, se analiza el comportamiento de la antena modificando la altura del sustrato FR-4, además de acuerdo con en el apartado 3.1 para lograr un ancho de banda amplio se debe considerar el sustrato en relación a la constante dieléctrica, así que una vez llegado a esta etapa y en base a la Tabla 7, donde se menciona las alturas del sustrato FR-4, se configura estas alturas en la herramienta optimetrics en un rango desde $h=1\text{mm}$ y a $h=1.6\text{mm}$ (con un intervalo de 2mm).

A continuación, en la Figura 64 se presenta los resultados de los parámetros S , donde se visualiza las 4 gráficas correspondiente a las alturas ($h=1\text{mm}$, $h=1.2\text{mm}$, $h=1.4\text{mm}$ y $h=1.6\text{mm}$), como efecto de aumentar la altura del sustrato, se observa que la curva tiende hacia abajo, en otras palabras el coeficiente de reflexión aumenta en todas las frecuencias de resonancia que se encuentran en el rango UWB, el valor perteneciente a $h=1.6\text{mm}$ (línea continua violeta) permite alcanzar ese aumento necesario para lograr la adaptación de impedancia en las frecuencias 3.48 GHz y 6.11 GHz, con un valor de coeficiente de reflexión de -20.76 dB y -30.18 dB respectivamente.

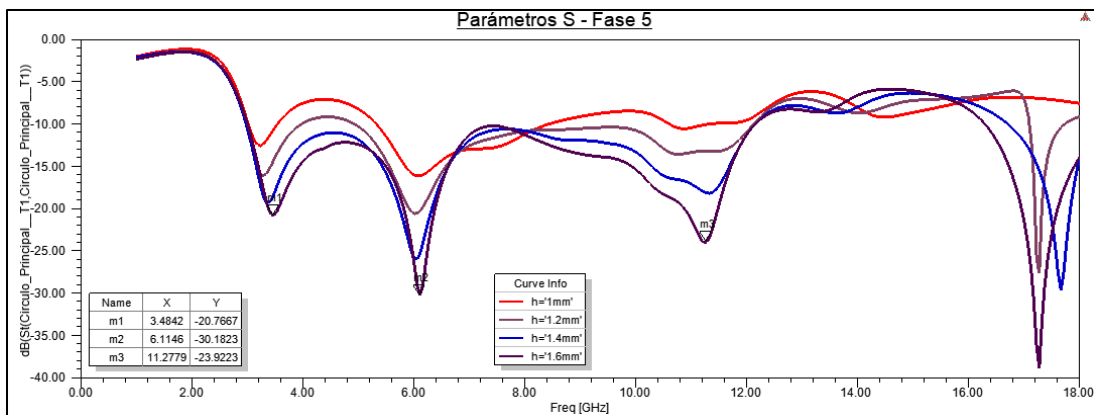


Figura 64 Parámetros S diseño fase 5

Para una mayor apreciación del resultado anterior, se presenta en la Figura 65 únicamente el resultado de la simulación con la altura del sustrato FR-4 seleccionada, cuyo valor es $h=1.6$ mm. Puesto que el objetivo es que las frecuencias ingresen a la banda de paso bajo los -10 dB y las frecuencias se ajusten a la impedancia en el rango UWB, es así que ahora la antena cuenta con un ancho de banda que parte desde 3.01 GHz a 12.15 GHz, prácticamente 9.14 GHz de ancho de banda, de esta manera se logra cumplir con el requisito de la tecnología UWB, que la antena cubra el rango de frecuencias desde 3.1 GHz a 10.6 GHz.

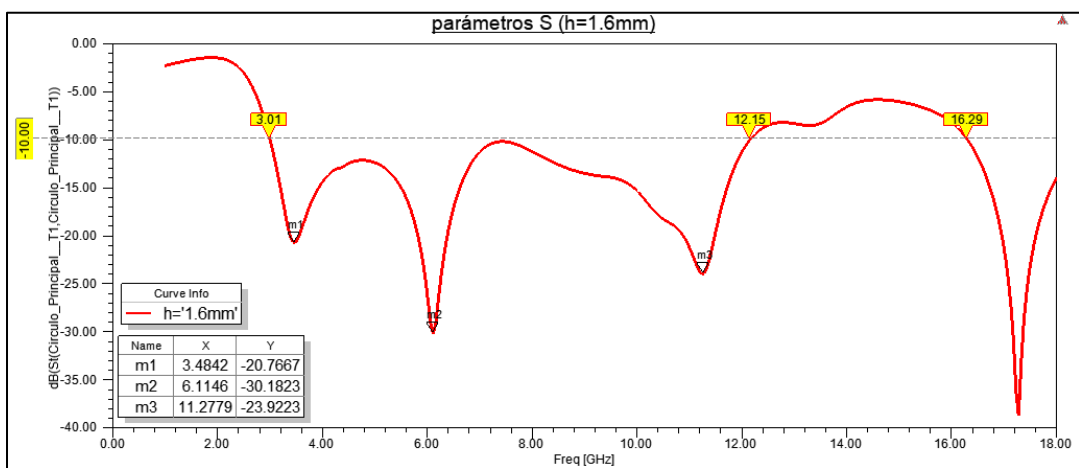
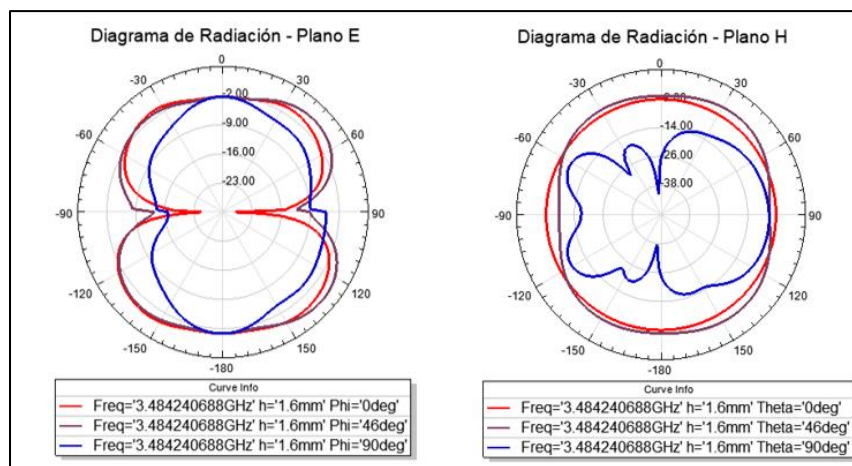


Figura 65 Parámetros S S diseño fase 5

- *Diagrama de radiación de la antena fase 5*

En ese orden, también se analiza el diagrama de radiación para verificar que la antena siga presentando la forma omnidireccional. En la Figura 66 a) se observa el patrón en el plano E de la frecuencia 3.48 GHz, que es la primera frecuencia de resonancia, presentando un diagrama omnidireccional en los valores ϕ (0° , 45° y 90°), su gráfica denota una distribución de la radiación en la mayoría de los puntos del espacio, mientras que en la Figura 66 b) se visualiza el diagrama de radiación en el plano H para la frecuencia 3.48 GHz cuyos valores θ (0° y 45°) muestran un diagrama omnidireccional, por lo tanto, en el plano H muestra un vector de campo magnético omnidireccional y las radiaciones máximas se distribuyen hacia la mayoría de los puntos de espacio aunque para la dirección 90° presenta una disminución en la radiación.



a). Plano E

b). Plano H

Figura 66 Diagrama de radiación de la antena fase 5

En la Figura 67 se muestra la antena diseñada en el software de diseño de estructuras, tanto la vista frontal como posterior, las cuales cuentan con las últimas modificaciones realizadas a la antena, las cuales cuentan con sus respectivas dimensiones, cuyos valores se presentan en la Tabla 13.

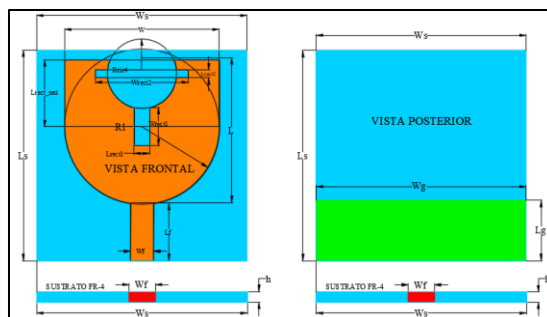


Figura 67 Diseño estructura fase 5

La Tabla 13 muestra las dimensiones una vez concluido el diseño de la antena fase 5, dichos valores se encuentran junto a su respectivo símbolo, los cuales pueden ser contrastados gráficamente en la Figura 67.

Tabla 13. Dimensiones del diseño de la antena fase 5

Nombre	Símbolo	Dimensión (mm)
Ancho del parche	W	26.08
Longitud del parche	L	19.53
Ancho del sustrato	W_s	26.40
Longitud del sustrato	L_s	32.00
Ancho del plano de tierra	W_g	32.00
Largo del plano de tierra	L_g	9.20
Longitud de la línea de transmisión	L_f	9.29
Ancho de la línea de transmisión	W_f	3.50
Altura del sustrato FR-4	h	1.60
Radio circulo Principal	R_1	11.80
Radio circulo secundario mediano	R_{cir4}	5.3

Ancho del rectángulo inferior	W_{rect1}	2.36
Longitud del rectángulo inferior	L_{rect1}	5.75
Ancho del rectángulo superior	W_{rect2}	14.16
Longitud del rectángulo superior	L_{rect2}	1.18
Ancho del rectángulo de unión superior	W_{rect_uni}	23.60
Longitud del rectángulo de unión superior	L_{rect_uni}	10.15

3.3.6. Simulación del diseño de la antena fase final

Para el diseño final se realiza un último ajuste a los resultados de la antena, si bien los resultados en la fase 5 ya cumplen con el objetivo de la investigación, aún se puede realizar una última modificación al plano de tierra para mejorar la coincidencia de impedancia sobre los -10 dB. Como se ha visto desde la fase 1 hasta la fase 5, se ha mantenido un plano de tierra netamente rectangular variando solo en longitud, el cual no presentaba ningún corte ni ranura en su diseño, sin embargo, en esta última fase será modificado, tomando en cuenta una recomendación por parte de (Awad & Abdelazeez, 2018), donde menciona que, una ranura en el plano de tierra neutraliza los efectos capacitivos por medio de la naturaleza inductiva propia que presenta el parche para lograr una impedancia de entrada resistiva casi pura.

De esta manera se logra que los resultados de los parámetros S muestren una mejor coincidencia de impedancia y un ancho de banda que mínimo supere a los 10.6 GHz, dicha frecuencia corresponde al rango final de la tecnología UWB.

- *Efecto de la ranura central triangular en el plano de tierra*

En la Figura 68 se observa mediante la inserción de una ranura central triangular que se amplía el ancho de banda desde la frecuencia 2.95 GHz hasta 16.31 GHz (alrededor de 13.36 GHz de ancho de banda) a diferencia de la fase 5 que se logró un ancho de banda desde 3.01 GHz a 12.15 GHz. Además, se aprecia que toda la banda UWB (3.1 GHz a 10.6 GHz) está cubierta, logrando una coincidencia de impedancia en este rango.

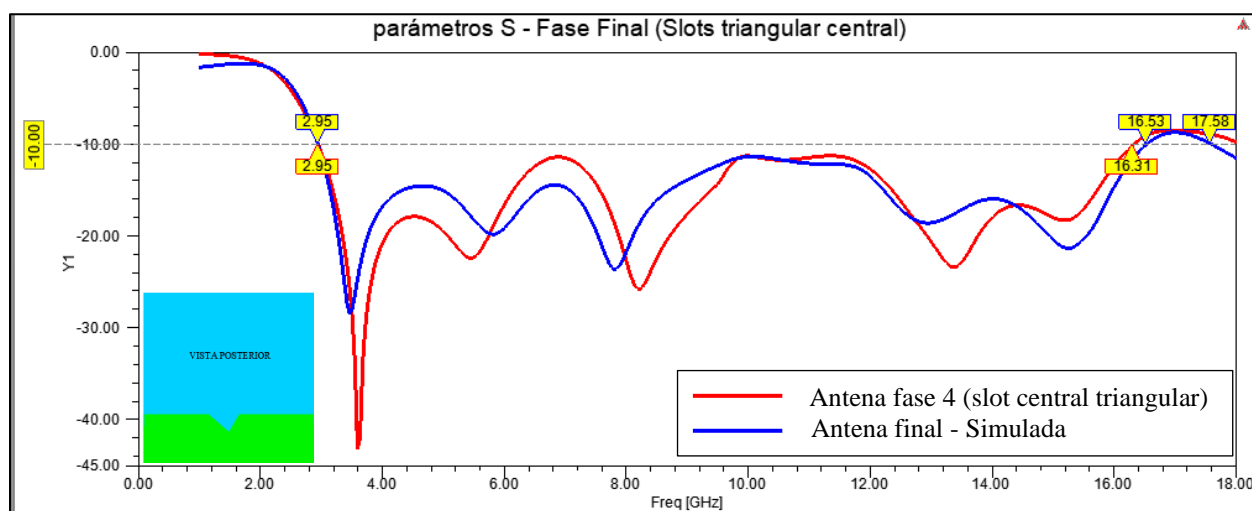


Figura 68 Parámetros S diseño final (slot central)

- *Efecto de las ranuras laterales de forma triangular en el plano de tierra*

En la última fase del diseño, se sintoniza la primera frecuencia a los -10 dB, esto se logra debido a la inmersión de dos slots triangulares en las partes laterales del plano de tierra, logrando mejorar la coincidencia de impedancia de la primera resonancia de la antena y logrando una frecuencia inicial de 2.95 GHz a los -10 dB y una frecuencia final de 16.53 GHz, este rango de frecuencias como apreciamos en la Figura 69 se encuentran situadas dentro de la curva que

describe la línea azul cumpliendo con el objetivo en lo que respecta al coeficiente de reflexión de las tres frecuencias resonantes que cuenta la antena, el ancho de banda presenta un valor de 13.58 GHz, ancho de banda suficiente para cubrir el rango de operación de una antena UWB.

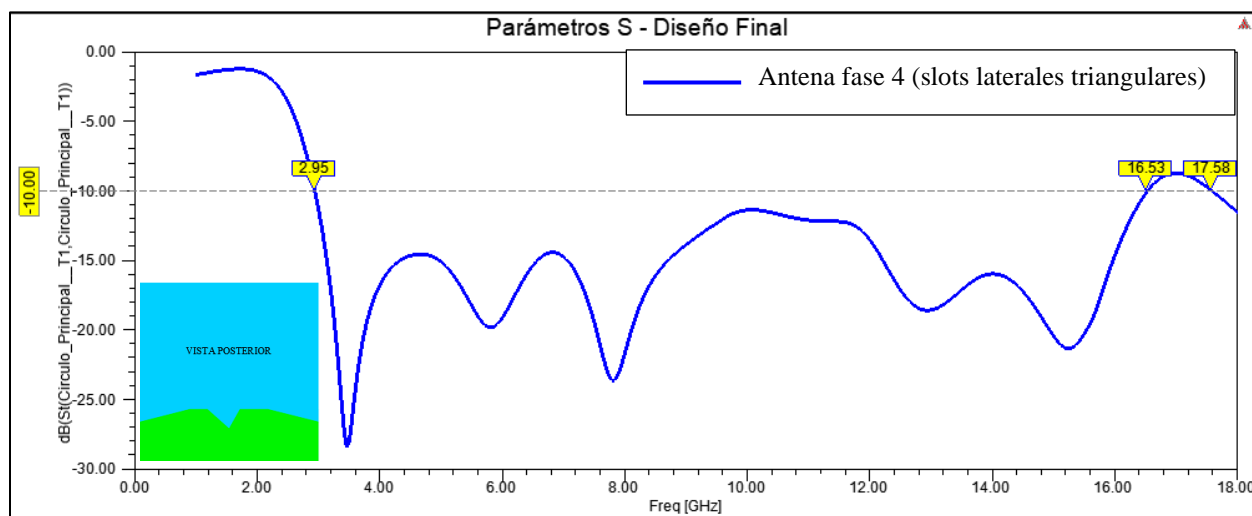


Figura 69 Parámetros S Diseño Final

A continuación, se realiza un análisis de varios parámetros, como se mencionó al inicio del capítulo 3 se tendrá resultados más detallados en este apartado final, incluyendo las gráficas del: diagrama de radiación, ganancia, directividad, distribución de corrientes y distribución de campo eléctrico, los cuales determinarán si la antena presenta parámetros idóneos para ser utilizada en aplicaciones de redes inalámbricas de área corporal. En primera instancia, como se ha visto en todas las fases del diseño de la antena, se presenta la estructura del diseño final en la Figura 70, cuya gráfica representa el diseño final de la antena en formato 2D, la cual es diseñada mediante el software de diseño de estructuras, para lograr una primera perspectiva antes de dar paso al diseño la antena en el simulador de ondas electromagnéticas, además se especifica cada una de las variables para ser identificada con respectivo su valor en la Tabla 14.

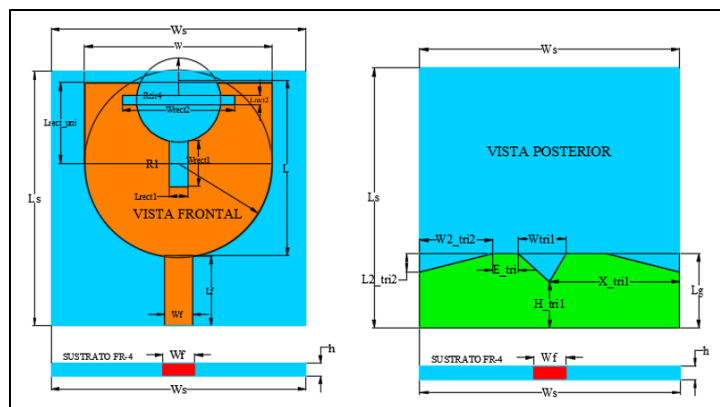


Figura 70 Dimensiones de la estructura de la antena WBAN en milímetros.

En la Tabla 14 se detalla los valores en milímetros de las variables de la Figura 70, que pertenece al diseño de la antena final, cuyas dimensiones pertenecen a el parche, el plano de tierra, la fuente de alimentación y la altura final del sustrato FR-4.

Tabla 14. Dimensiones de las variables de la antena

Nombre	Símbolo	Dimensión (mm)
Ancho del parche	W	26.08
Longitud del parche	L	19.53
Ancho del sustrato	W_s	26.40
Longitud del sustrato	L_s	32.00
Ancho del plano de tierra	W_g	26.40
Largo del plano de tierra	L_g	9.20
Longitud de la línea de transmisión	L_f	9.29
Ancho de la línea de transmisión	W_f	3.50
Altura del sustrato FR-4	h	1.60
Radio círculo Principal	R_1	11.80
Radio círculo secundario mediano	R_{cir4}	5.3

Ancho del rectángulo inferior	W_{rect1}	2.36
Longitud del rectángulo inferior	L_{rect1}	5.75
Ancho del rectángulo superior	W_{rect2}	14.16
Longitud del rectángulo superior	L_{rect2}	1.18
Ancho del rectángulo de unión superior	W_{rect_uni}	23.60
Longitud del rectángulo de unión superior	L_{rect_uni}	10.15
Altura desde la base del slot central triangular	H_{-tri1}	5.32
Ancho del slot central triangular	W_{tri1}	5.90
Distancia lateral del slot central triangular	X_{-tri1}	16.00
Longitud del slot lateral triangular	$L2_{-tri2}$	2.26
Ancho del slot lateral triangular	$W2_{-tri2}$	9.00
Espacio entre triángulos	E_{-tri}	3.10

3.3.6.1. Parámetros S (Diseño final)

A lo largo de las 4 fases del diseño se ha venido obteniendo resultados importantes, lo que suponen las diferentes modificaciones que fueron realizadas como han sido: la línea de transmisión, la longitud de largo y el ancho del parche, además se efectuó una variación en la estructura del parche, así como la variación de la longitud del plano de tierra y la inserción de slots en su estructura, para llegar al objetivo.

En la Figura 71, se muestra los parámetros S, donde se evidencia que el coeficiente de reflexión obtenido muestra un correcto acoplamiento de la antena (inferior a los -10 dB), logrando un valor de -27.99 dB a la frecuencia superior de 3.50 GHz y un ancho de banda bastante amplio desde 2.95 GHz a 16.53 GHz cubriendo el rango necesario, lo cual cumple con las especificaciones UWB.

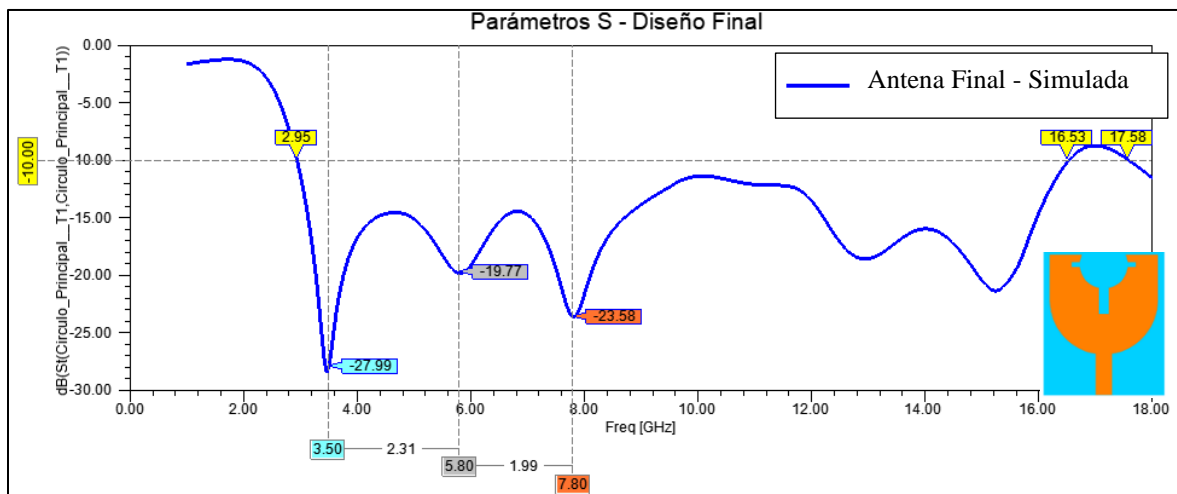
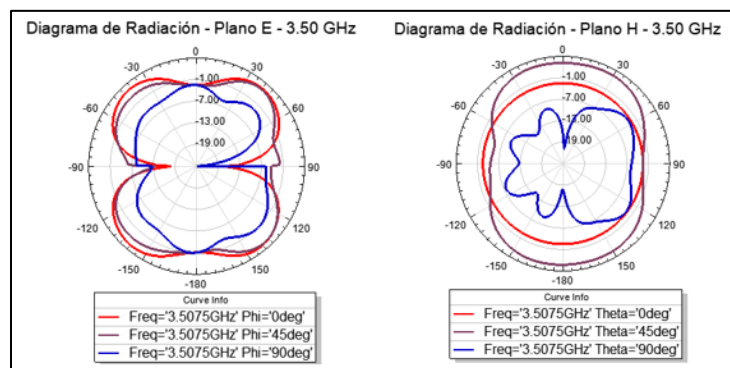


Figura 71 Parámetros S del diseño (final)

3.3.6.2. Diagrama de Radiación 2D (Diseño final)

Para obtener las gráficas del diagrama de radiación tanto del plano E y H y proceder con el análisis es conveniente mencionar que se obtienen de las frecuencias que se encuentran dentro de la banda de paso (-10 dB) y posean un coeficiente de reflexión mayor las cuales se utilizan para la radiación de la señal (R. H. Thaher and S. N. Alsaidy, 2015). Las frecuencias que se encuentran dentro de la banda de paso que se aprecia en la Figura 72, donde la frecuencia 3.50 GHz, 5.80 GHz y 7.80 GHz se encuentran en un límite medio, así se evaluará el patrón de radiación en estas tres frecuencias. En la Figura 72 a) se observa una mejora en el patrón del plano E para la frecuencia 3.59 GHz, aumentando la ganancia y un crecimiento en los lóbulos principales, dando como

resultado un patrón omnidireccional en los valores ϕ (0° , 45° y 90°). De igual manera, en la Figura 72 b), se visualiza el diagrama de radiación en el plano H para la frecuencia 3.50 GHz, los valores θ (0° , 45°) muestran un diagrama omnidireccional ideal, mientras que para el valor $\phi = 90^\circ$ se mantiene en un diagrama omnidireccional, logrando una disminución en la potencia radiada en la dirección -90° .

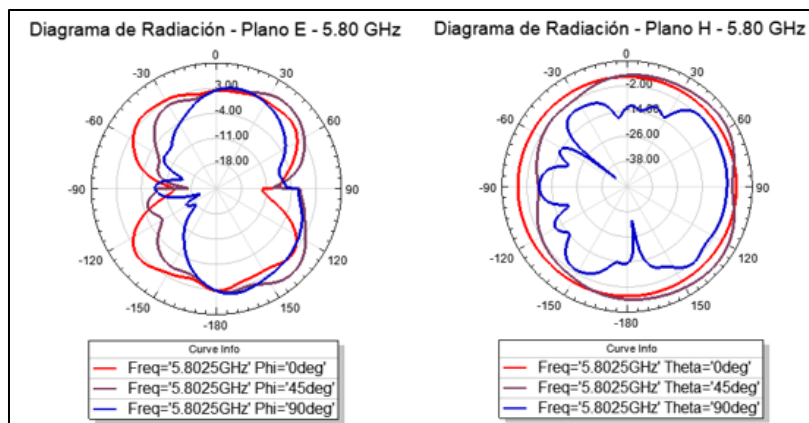


a). Plano E

b). Plano H

Figura 72 Diagrama de Radiación de la frecuencia 3.50 GHz

Por otra parte, en la Figura 73 a) se muestra el patrón en el plano E para la frecuencia 5.80 GHz, logrando un patrón omnidireccional en los valores ϕ (0° y 45°), la energía se distribuye a todas las direcciones del espacio no se concentra en una sola dirección, mientras que para el valor 90° presenta un patrón omnidireccional con una disminución de radiación en los lóbulos principales. En la Figura 73 b), se visualiza el diagrama de radiación en el plano H para la frecuencia 5.80 GHz, el valor $\theta = 0^\circ$ y 45° muestran un patrón omnidireccional ideal, sin embargo, este fenómeno es muy improbable que suceda en un ambiente real, debido al sinnúmero de efectos que están expuestas las antenas en el medio ambiente. Para el valor de $\theta = 90^\circ$ se visualiza un diagrama omnidireccional, cuya radiación presenta ciertas disminuciones en determinadas direcciones.

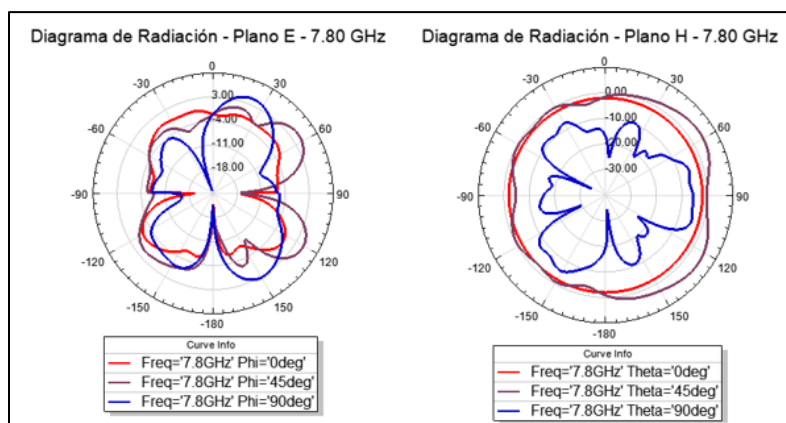


a). Plano E

b). Plano H

Figura 73 Diagrama de Radiación de la frecuencia 5.80 GHz

Finalmente, en la figura 74 se presenta el diagrama de radiación de la tercera frecuencia resonante correspondiente a 7.80 GHz, donde se muestra el patrón en el plano E, logrando un patrón omnidireccional en los valores ϕ (0° , 45° y 90°), la energía radiada presenta una distribución estable en el espacio. Así mismo, en la Figura 74 b) se visualiza el diagrama de radiación en el plano H para la frecuencia 7.80 GHz, el valor $\theta = 0^\circ$ y 45° muestran un patrón omnidireccional con una distribución de la energía radiada en todas las direcciones del espacio, mientras que para $\theta = 90^\circ$ existe una disminución en la radiación.



a). Plano E

b). Plano H

Figura 74 Diagrama de Radiación de la frecuencia 12.77 GHz

A continuación, se presenta en la Figura 75 los diagramas de radiación de las tres frecuencias de resonancia, en los diagramas 3D se puede apreciar de forma explícita la forma de propagación de la radiación hacia el espacio y en qué puntos la radiación presenta mayor y menor intensidad de acuerdo a la escala de colores (rojo: mayor concentración de radiación y azul: menor concentración de radiación).

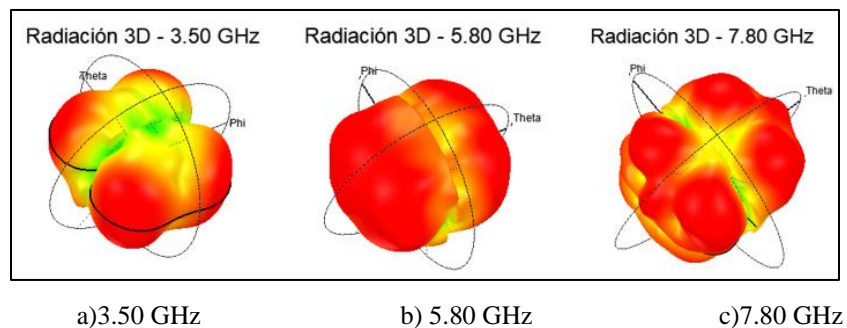


Figura 75 Diagramas de Radiación vista 3D

3.3.6.3. Ganancia (Diseño final)

Dentro del resultado logrado respecto a la ganancia de la antena, en la Figura 76 se muestra el rendimiento de la ganancia de la antena monopolo UWB, el resultado de la ganancia es de -0.21 dBi para la primera frecuencia resonante de 3.50 GHz, para la segunda frecuencia resonante de 5.80 GHz se alcanza una ganancia un valor de 4.54 dBi. Para el resultado de la tercera frecuencia de resonancia correspondiente a 7.80 GHz se obtiene un valor de 0.06 dBi.

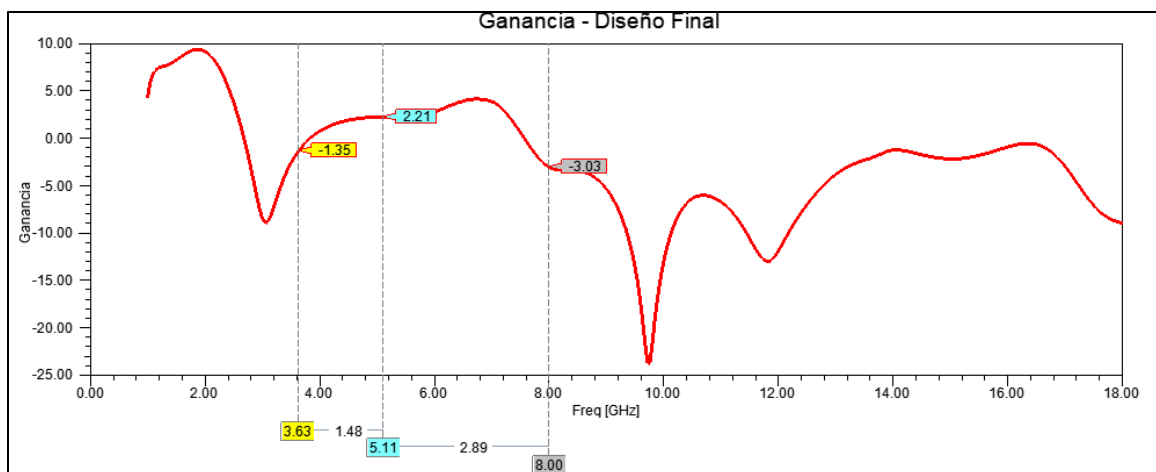


Figura 76 Gráfica Ganancia Simulada

Los resultados conseguidos muestran una ganancia máxima de 4.13 dB (6.28 dBi), dicho valor se encuentra dentro del valor promedio que se alcanza en el diseño de este tipo de antenas monopolo cuadrado impreso (PRMA), cuyo valor de ganancia es de 5.76 dBi como se muestra en la Figura 77.

Configuración	Ganancia máxima (dBi)		Referencias
	Rango	Promedio	
PCMA	2,10-9,70	5,31	[64, 65, 67, 68, 69], [71]–[81], [83]
PHMA	5,98-6,40	6,19	[112, 113]
PPMA	6,00-6,98	6,49	[119, 120]
PRMA	2,00-12,50	5,76	[30, 33, 35, 37, 38, 39, 41, 42, 46, 48, 49, 51, 52, 53], [55]–[63]
PSMA	1,10-6,70	2,79	[88, 89, 90, 92, 93, 94, 96, 97]
PTMA	5,50-6,80	6,15	[107, 108]
PTrMA	2,98-5,00	3,99	[114, 116]
Vivaldi	11,50-18,00	14,85	[98, 99, 100], [103]–[106]
Otras	1,30-6,07	3,69	[121, 124]

Figura 77 Valores de ganancia máxima para configuraciones de antenas UWB

Fuente: (Contreras, 2018)

3.3.6.4. Directividad (Diseño final)

En la Figura 78, se muestra la gráfica de la directividad en formato 2D, cuyos resultados pertenecen a las tres frecuencias de resonancia. En primera instancia se observa la directividad

máxima para la frecuencia 3.50 GHz, obteniendo como resultado 4.14 dB (6.29 dBi), para la frecuencia 5.80 GHz se observa una directividad de 4.04 dB (6.19 dBi) y para la frecuencia de 7.80 GHz una directividad máxima de 6.08 dB (8.23 dBi). Sin embargo, este valor puede cambiar debido a que el cuerpo humano dispersa gran cantidad de energía a frecuencias altas lo que genera modificaciones en la directividad y la corriente en la antena (Haque, Mahmuda, & Ahmed, 2017).

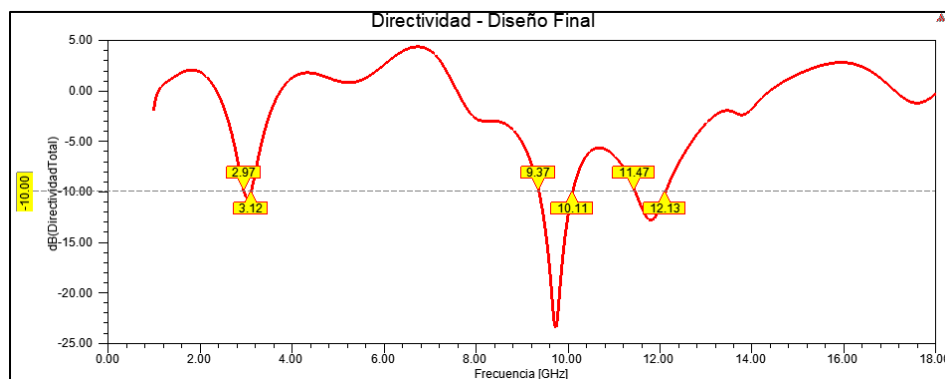


Figura 78 Parámetro de la directividad del diseño (final) a las frecuencias:

a) 3.50 GHz, b) 5.80 GHz y c) 7.80 GHz

3.3.6.5. Group Delay (Diseño final)

El retraso de grupo o group delay es un factor muy importante que se debe tomar en cuenta al momento de diseñar una antena de banda ancha (broadband), este factor permite evaluar el rendimiento de la antena UWB. La antena en operación debe transmitir el pulso eléctrico con mínima distorsión (Hasan et al., 2015). El resultado del group delay de la antena propuesta se muestra en la Figura 79, siendo la variación en el rango de 3.1 GHz a 10.6 GHz inferior a 1 [ns] en la banda de frecuencia UWB, por lo que la antena muestra una distorsión de baja impedancia y es adecuada para aplicaciones UWB.

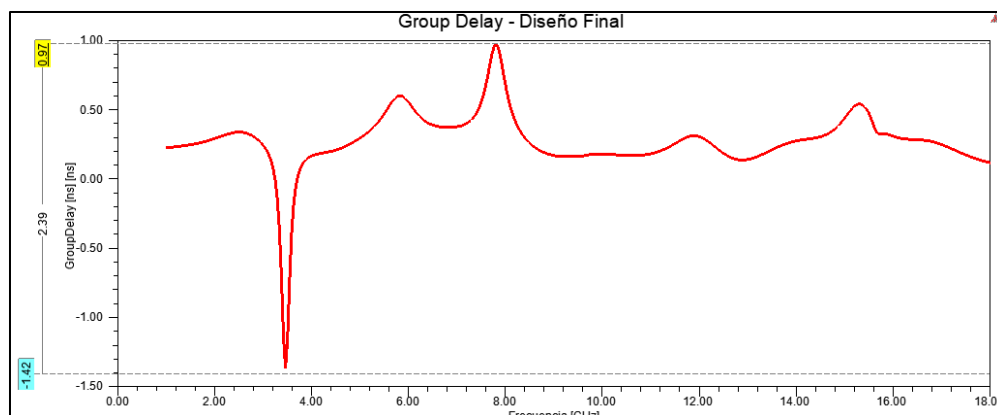
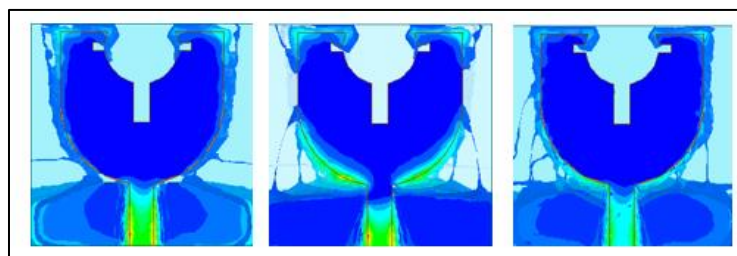


Figura 79. Group Delay de la antena

3.3.6.6. Densidad de corrientes superficial (Magnitud) (Diseño final)

Las antenas tipo parche caracterizadas mediante muescas slots puede ser analizadas mediante la gráfica de la densidad de corrientes superficial. En la Figura 80 a) 80 b) y 80 c) se puede ver como las corrientes se distribuyen tanto a lo largo de la línea de transmisión como por el borde inferior y bordes laterales del parche, por lo tanto, el comportamiento de las distribuciones de corriente en estas frecuencias conduce a contrarrestar la radiación de campo cercano, dando como resultado que la línea de transmisión refleja efectivamente una alta energía en el puerto de alimentación y en las muescas como se aprecia en el plano de tierra (*esto se nota debido al cambio de color – a mayor radiación que se concentre observamos un tono rojo seguido por un anaranjado y azul que sería el nivel más bajo de radiación*).



a) 3.50 GHz

b) 5.80 GHz

c) 7.80 GHz

Figura 80 Distribución del campo eléctrico del diseño (final)

3.3.6.7. Densidad de corrientes superficial (Vector) (Diseño final)

En la Figura 81 a), 81 b) y 81 c) se muestra la discontinuidad que sufren las corrientes, las cuales tienen su trayecto desde la fuente de alimentación hacia el parche y al encontrarse con las ranuras provoca que la antena genere la radiación (Miralles, 2016). Las ranuras normalmente tienden a interrumpir el paso de las corrientes siendo el acoplamiento entre la guía (en este caso la línea de transmisión microstrip) y la ranura (Ferrando & Valero, 2005). Además, se nota una mayor concentración de energía en la línea de alimentación, en los bordes del parche y en los bordes superiores del plano de tierra.

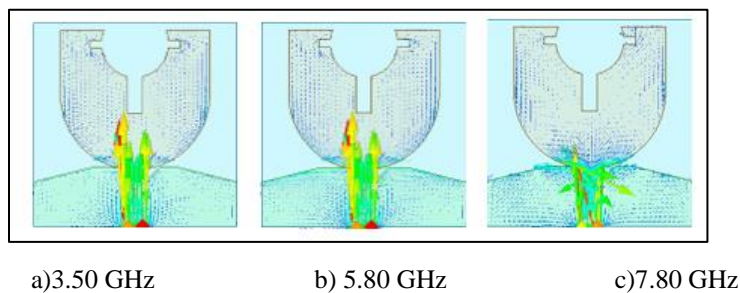


Figura 81 Distribución de corrientes del diseño (final)

3.3.6.8. Tasa de Absorción Específica (SAR)

En el diseño de antenas que están serán expuestas directamente con el cuerpo humano, es indispensable la seguridad en lo que respecta a la emisión de radiación, por ello se debe cumplir los valores establecidos de la Tasa de Absorción Específica (SAR), los cuales deben ser inferiores a 2 W/kg, valor límite máximo impuesto por el estándar IEEE C95.1-2005 (IEEE, 2006). En la Figura 82, se visualiza la simulación correspondiente a la evaluación SAR en la frecuencia de 3.59 GHz con valores comprendidos entre 0.99 W/Kg y 0.12 W/Kg, lo que indica que esta antena cumple con los valores permitidos por el estándar en un entorno de simulación experimental, los

cuales para exposición al público es de 2 W/kg y para exposiciones en ambientes controlados es de 10 W/kg (IEEE, 2006).

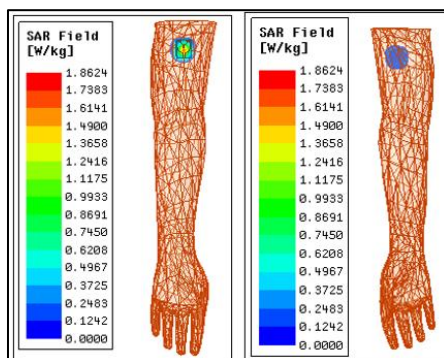


Figura 82 Medición de la Tasa de Absorción Específica (vista lateral)

En la Figura 83 a) y 83 b) se observa una vista lateral de la antena colocada en un brazo 3D, donde se nota claramente la concentración de la radiación en la parte externa de la antena y como las ondas electromagnéticas con menor intensidad de radiación ingresan en el interior del tejido, así mismo su ingreso al músculo del brazo para la respectiva toma de información requerida dependiendo del dispositivo o sensor que se utilice.

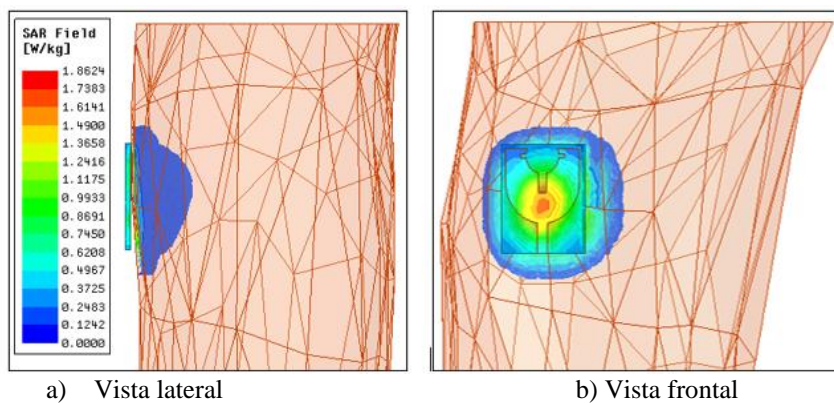


Figura 83 Medición de la Tasa de Absorción Específica (vista general)

3.4. Fabricación de la antena microstrip

Para el presente proyecto se tiene como enfoque principal fabricar una antena con un costo bajo, una antena de bajo perfil y un diseño simple y compacto que permita la adaptabilidad a sistemas WBAN los cuales operan mediante placas electrónicas en espacios reducidos y sobre una antena que cumpla con los objetivos para la cual fue planteada. Es por ello que a lo largo del capítulo 3 se establece previamente un sustrato justificado de forma gráfica y matemática en base a la frecuencia de referencia y realiza un estudio paramétrico de las variantes que se presentan en cada mejora del diseño teniendo en cuenta en que parámetro se ve afectado el cambio. Por lo que se parte de una antena base y posterior a los estudios y simulaciones necesarias se procede a conseguir un prototipo final, cuyas prestaciones cumplen con los objetivos planteados inicialmente. Teniendo presente todo lo anterior mencionado se procede con la etapa de fabricación y de esta manera obtener un prototipo final de la antena en base a este presente trabajo de investigación.

3.4.1. Sustrato FR-4

El sustrato FR-4 conocido también como hoja laminada Epoxi reforzada con vidrio es ampliamente utilizado para la fabricación de antenas microstrip, además es una buena opción debido a su bajo costo y disponibilidad (Ahmed et al., 2019). En la Tabla 15 se presenta algunas características electromagnéticas y de dimensión del sustrato FR-4.

Tabla 15. Características sustrato FR-4

Parámetros del Sustrato FR-4	Valor
Constante dieléctrica	$\xi = 4.4$
Tangente de Pérdidas	$\delta = 0.019$

Altura de la lámina de cobre $h=0.036$ mm

Altura del sustrato $h= 1.60$ mm

(Ahmed et al., 2019)

La antena UWB diseñada en el presente trabajo se construyó en un sustrato FR-4 que se muestra en la Figura 84 que cuenta con un espesor de 1.6 mm, una constante dieléctrica $\xi=4.4$ y una tangente de pérdidas $\delta=0.019$. **NOTA:** en el apartado de ANEXO A se presentan mayores detalles del sustrato.



Figura 84 Sustrato FR-4 con altura de 1.6 mm

Las dimensiones del sustrato del diseño de la antena se muestran en la Figura 85, el cual cuenta con un ancho de 26.40 mm y una longitud de 32 mm ocupando un área cuadrada de 844.80 mm^2 o 0.000844 m^2 .

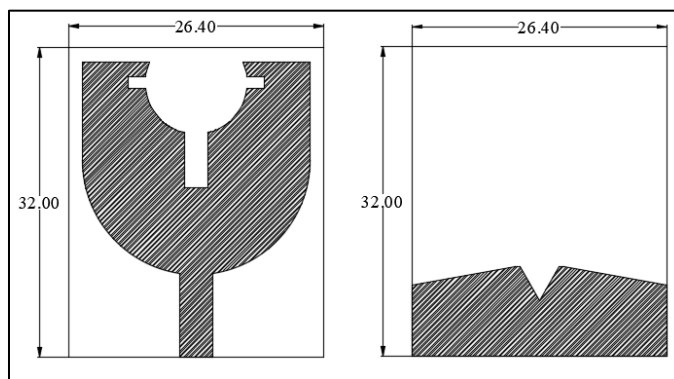


Figura 85 Dimensiones finales del sustrato para impresión

3.4.2. Conector SMA

Los conectores SMA que se visualizan en la Figura 86 poseen una precisión sobre todo para aplicaciones de microonda proporcionando una estabilidad hasta 18 GHz, además presenta una alta resistencia mecánica, alta durabilidad y un bajo VSWR, juntamente con el cable semirrígido de tipo coaxial pueden instalarse líneas de alta calidad como aplicaciones de microcinta (Microstrip) en PBC (Janosik, 2005). **NOTA:** En el apartado de ANEXO A se presenta el DataSheet del conector para una mayor explicación.



Figura 86 Conector SMA

3.4.3. Plantilla diseño final Antena UWB

Previamente a la impresión de la antena en el sustrato FR-4; se usa el software de diseño de estructuras para trazar la estructura de la antena que cuenta con las medidas exactas del diseño que se evaluó en el simulador de ondas electromagnéticas. Para posterior obtener la plantilla de impresión de la antena como se muestra en la Figura 87, se recomienda al realizar la impresión utilizar la mayor parte de la placa FR-4.



Figura 87 Plantilla de impresión antena

3.4.4. Proceso con insoladora

Posterior a la impresión de la plantilla se debe recortar tanto la figura de la antena como el sustrato FR-4 para evitar desperdicios de material al utilizar toda la placa. Una vez recortado se procede a colocar la plantilla de la antena encima de la placa FR-4 tal como se muestra en la Figura 88, una vez preparados se coloca en el interior de la insoladora y se cierra la tapa. Este proceso dura alrededor de 8 minutos.



Figura 88 Proceso de Insolación de la plantilla y con la placa FR-4

Transcurrido el tiempo lo retiramos de la insoladora y se procede a verificar que la estructura de la antena este correctamente y no presente fisuras o daños alrededor como se observa en la Figura 87 (*Se debe ser minucioso en este aspecto para evitar posibles contratiempos a futuro*). El mismo proceso se aplica para el plano de tierra de la antena UWB.

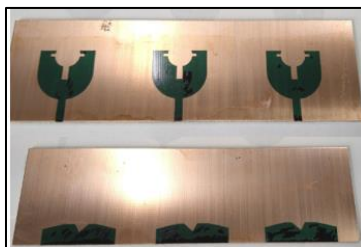


Figura 89 Antena impresa en el sustrato FR-4

3.4.5. Proceso de revelado

El revelado consiste en colocar la antena tal como se muestra en la Figura 90 en el interior de 1 litro de agua templada (no fría) y aproximadamente 12 gramos de sosa caustica, observar que la placa este totalmente recubierta por esta mezcla para que el revelado sea homogéneo.



Figura 90 Proceso de Revelado

El tiempo de revelado se establece de 30 a 60 segundos, trascurrido este tiempo se observa claramente que la lámina de cobre comienza a tomar un tono oscuro y posteriormente a desprenderse del dieléctrico.

3.4.6. Antena UWB – Fabricada

Una vez terminado el proceso de revelado se debe establecer la conexión entre la línea de transmisión microstrip y el plano de tierra que se encuentra en la parte posterior de la antena, esto se realiza mediante un conector SMA hembra que se coloca al final de la línea microstrip como se muestra en la Figura 91 mediante un proceso de soldadura el cual emplea el material estaño (Sn), se debe tener cuidado en este proceso debido a que, si existe un exceso de soldadura, una mala ubicación del conector, un sobrecalentamiento al conector puede perjudicar gravemente en el funcionamiento de la antena.



Figura 91 Antena UWB Final

4. CAPÍTULO IV: PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el presente capítulo se presenta las pruebas realizadas referente a los parámetros de operación UWB de la antena como: el ancho de banda, el coeficiente de reflexión, el diagrama de radiación y la ganancia, al principio del capítulo se incluye una matriz, en la cual se detallan las pruebas a realizar con su respectiva descripción del proceso que implica su ejecución, además, se realizará un contraste en cada gráfica tanto de los resultados simulados y los resultados medidos.

Al término de la etapa de diseño, el cual fue realizado en base la regulación *FCC Parte 15.503*, el cual se detalla en el apartado 2.3.1.; es necesario evidenciar mediante pruebas los resultados alcanzados en un ambiente de medición con equipos espectrales, en ese sentido, según (Wilzeck, Pérez, & Dimitrov) afirma que: “el estándar *IEEE/ANSI C63.10-2013* proporciona métodos de prueba para determinar el cumplimiento de los requisitos reglamentarios para muchos tipos de dispositivos inalámbricos sin licencia, incluidos los dispositivos UWB”. Los resultados permiten verificar que la antena diseñada este operando dentro de la banda UWB (3.1 GHz a 10.6 GHz), además que los resultados cuenten con un ancho de banda superior a 500 MHz, un ROE inferior a 2 dB y que el diagrama de radiación presente una tendencia omnidireccional.

4.1. Cronograma de pruebas

El cronograma de pruebas que se muestra en la Tabla 16, permite detallar el desarrollo de cada prueba que será aplicada a la antena y así como los resultados esperados, lo cual permite verificar si efectivamente la antena presenta una operabilidad UWB.

Tabla 16. Cronograma de Pruebas

Cronograma de Pruebas				
N° de la Prueba	Descripción	Tipo de Producto	Desarrollo de la Prueba	Resultados Esperados
Prueba N°1	Medición de Parámetros S	Antena microstrip (tipo parche) UWB 32x32x1.6 mm	Mediante un Analizador de Redes, se realiza la medición del ancho de banda, el coeficiente de reflexión y se verifica el comportamiento de la antena en la banda UWB.	Se pretende comprobar que la antena cuente con un valor de ancho de banda superior a 500 MHz, además que se encuentre dentro del rango de frecuencias UWB y que el coeficiente de reflexión de las frecuencias resonante sea superior a -10 dB.
Prueba N°2	Medición del ROE		Se utiliza el mismo Analizador de Redes y se realiza la configuración respectiva para efectuar la medición del ROE.	Se desea que la gráfica descrita se encuentre debajo de los 2 dB, cuyo valor representa el 10% de la energía reflejada a la fuente.
Prueba N°3	Medición del Diagrama de Radiación		Mediante el uso de la cámara anecoica de dimensiones (6mx5mx3m), se ubica la antena en un sistema giratorio en la dirección de azimut, cuyo rango de operación es de 500 MHz a 40 GHz	Se pretende obtener un diagrama con características omnidireccionales en los planos XZ y los planos YZ
Prueba N°4	Medición de la Ganancia		Se requiere lograr valores de ganancia que se encuentren cerca del valor promedio del tipo de antenas monopolo cuadrado impreso (PRMA) cuyo valor es de 5.76 dBi.	

4.2. Introducción de la prueba de medición - Antena UWB

Se identifica la regulación FCC, la parte y subparte correspondiente, así mismo, se realiza una descripción del tipo de producto a medir, se incluye un resumen de la fecha del test y sus respectivos responsable tanto de revisión y preparación.



FCC PARTE 15 SUBPARTE F SECCIÓN 503 y 517




REPORTE DE PRUEBA

De

ANTENA MICROSTRIP UWB

Ibarra 100150, Imbabura, Ecuador

FCC ID: N/A

Tipo de Reporte: Reporte Original	Tipo de Producto: Antena UWB
Número de reporte	00-01
Fecha de reporte:	2021-12-22
Revisor:	MSc. Domínguez Limaico Hernán Mauricio hmdominguez@utn.edu.ec
Autor:	Báez Egas Ricardo Sebastián rsbaeze@utn.edu.ec +593980295800 

- INFORMACIÓN GENERAL

Descripción del producto

En la Tabla 17 se detalla una breve descripción de las características de la antena UWB.

Tabla 17. Descripción del producto

Producto	Antena microstrip UWB
Dimensiones	32mm x 32mm x 1.6mm
Modelo Probado	00-01
Rango de Frecuencia	3.1 GHz – 10.6 GHz
Rango de voltaje	1 dBm (1.26 mW)
Fecha de la prueba	2021-12-22
Estado de la Muestra	Buena condición

- Objetivo

Este reporte se prepara en nombre de Báez Egas Ricardo Sebastián de acuerdo con la Parte 15 – Subparte F de las reglas de la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC).

Las pruebas se realizaron para determinar el cumplimiento de la FCC Parte 15, Subparte F, la sección 15.530 y la sección 15.517, en el Anexo C incluye imágenes de las pruebas.

- Presentación (es) Relacionada (s) / Subvención (es)

Ninguna Presentación Relacionada / Subvención

- Metodología de Prueba

Las mediciones contenidas en este informe se realizaron con ANSI C63.10-2013, Instituto Nacional Estadounidense de Estándares para pruebas de cumplimiento de dispositivos

inalámbricos sin licencia. La prueba de reflexión se realizó a una distancia aproximada de 0.5 metros con respecto al VNA (Analizador de Redes Vectoriales), además en ANEXOS B se incluye un resumen de cada prueba de medición.

- **CONFIGURACIÓN DE PRUEBA DE LA ANTENA**

Descripción de la configuración de prueba

En la Tabla 18 se identifica dos parámetros como la tecnología y el rango de frecuencia de operación de la antena.

Tabla 18. Configuración de la prueba

Parámetro	Descripción
Tecnología	UWB
Rango de Frecuencia	3.1 GHz a 10.6 GHz

- **Modificación de equipos**

No se hizo ninguna modificación física a la antena.

- **Software de ejercicio**

Simulador de ondas electromagnéticas

- **Lista de equipos de apoyo y detalles**

En la Tabla 19 se muestra el equipamiento necesario para proceder con la medición de la antena, como el analizador de redes vectoriales, el equipo principal para las pruebas.

Tabla 19. Lista de equipos

Fabricante	Descripción	Modelo
KeySight	Microwave Analyzer	N9916A
KeySight	Calibration kit	85520A
Superbat	SMA hembra/macho	N/A

- **Cable externo de E/S**

En la Tabla 20 se detalla las especificaciones del cable coaxial que se utiliza en la prueba de la antena.

Tabla 20. Tipo de cable

Descripción de cables	Longitud (m)	Desde/Puerto	A
Phase Stable Cable	1.0	Coaxial	Coaxial

- **DIAGRAMA DE LA CONFIGURACIÓN DE LA PRUEBA**

Calibración del equipo

En la Figura 92 se muestra el diagrama de conexión para realizar la calibración con el KIT KeySight, el cual permite realizar un ajuste para realizar un barrido de frecuencias hasta 14 GHz antes de realizar la medición de la antena mediante el VNA.

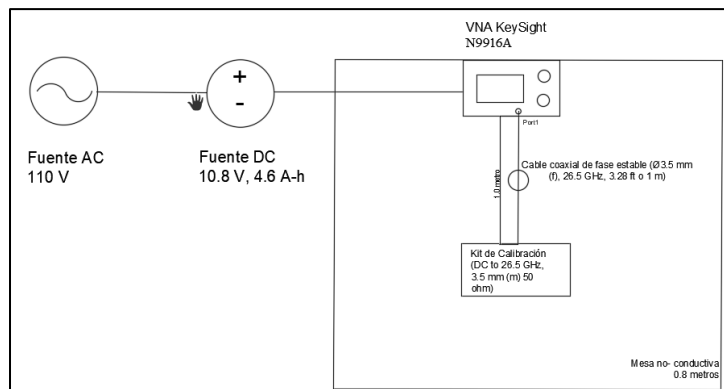


Figura 92. Diagrama de calibración

Medición de la antena

En la Figura 93 se muestra el esquema completo, donde se conecta la antena al equipo espectral, para realizar el vínculo se requiere de un acoplador SMA (macho – hembra) entre la antena y el VNA.

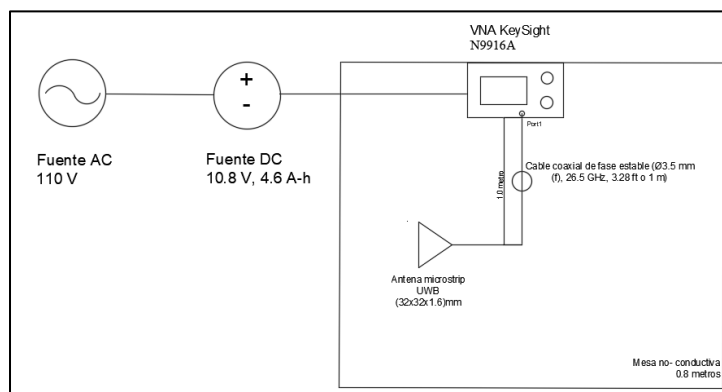


Figura 93. Diagrama de medición

- RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LA PRUEBA

El resumen permite identificar la regla FCC que se está cumpliendo al realizar la prueba, en la Tabla 21 se detalla los puntos como son: la regla FCC (incluyendo la parte, subparte y la sección), se detalla la descripción de cada prueba y el resultado de cumplimiento o no.

Tabla 21. Resumen de los resultados de la prueba

Regla FCC	Descripción de la prueba	Resultado
§15.503 (a)	Frecuencia limitada debajo los -10 dB	Cumpliendo
§15.503 (b)	Frecuencia central	Cumpliendo
§15.503 (c)	Ancho de Banda fraccional	Cumpliendo
§15.517 (a) (3)	Operación in-door	Cumpliendo
§15.517 (b)	Ancho de banda UWB	Cumpliendo

4.3. §FCC Parte 15.503

- Estándar Aplicable

a). **Ancho de banda UWB.** Esta subparte menciona el ancho de banda UWB, es la banda de frecuencia limitada por los puntos que están por debajo de los -10 dB.

b). **Frecuencia central.** La frecuencia central, F_C , es igual a $(F_H + F_L)/2$.

c). **Ancho de banda fraccional.** El fraccionario del ancho de banda es igual a $2(F_H + F_L) / (F_H + F_L)$.

- Cumplimiento:

El proceso de medición se realizó dentro de un laboratorio (*ambiente in-door*), para la medición se utilizó un calibrador mecánico para ajustar el equipo según el rango de frecuencias a medir.

Es necesario colocar un adaptador SMA hembra para vincular la antena con el cable coaxial de fase estable.

Identificar los parámetros de medición: Parámetros S, para evaluar la operación de la antena.

- Condiciones ambientales

En la Tabla 22, se especifica las condiciones climáticas del día de la prueba.

Tabla 22. Condiciones Ambientales

Temperatura	17° C
Humedad relativa	86 %
Presión atmosférica	0.71 atm

Fuente: (Meteored, 2021)

Resultado de la Prueba: Realizada

Modo de operación: Prueba de Reflexión – *Parámetros S*

Distancia de la prueba: 1.0 metro

Fecha: La prueba fue realizada por Ricardo Báez el 22 de diciembre del 2021.

En la Tabla 23 se muestra los resultados obtenidos posterior a la realización de la prueba de la antena respecto al análisis de frecuencias, donde se especifica la descripción de cada resultado, el valor obtenido y el límite en GHz que debe tener.

Tabla 23. Descripción resultados UWB

Descripción del resultado		Valor	Límite (GHz)
Frecuencia menor (GHz)	F_L	3.11	>3.1
Frecuencia mayor (GHz)	F_H	8.83	<10.6
Frecuencia Central (GHz)	$(F_H + F_L)/2$	5.97	/
Ancho de banda (GHz) debajo los -10 dB	$(F_H - F_L)$	5.72	≥ 500
Ancho de banda fraccional	$2(F_H - F_L) / (F_H + F_L)$	0.96	/

- PRUEBA EN BASE A LA FCC 15.503

En la Tabla 24 se detalla un resumen de la prueba de la antena, así como se especifica la regulación FCC (parte, subparte y sección) que cumple.

Tabla 24. Resumen de la prueba: Parámetros S

Especificación de Prueba	FCC Parte 15, Subparte F y Subsección 503 (a), (b) y (c) (FCC 15.503)		
Modo de Prueba	Cumplimiento	Veredicto: PASA	
Fecha	22-Dic-2021	Temperatura	17 ° C
Humedad Relativa	86%	Presión Atmosférica	0.71 atm
Fuente AC:	110 AC	Potencia del puerto	1 dBm (1.26 mW)

- RESULTADOS DE LOS LÍMITES DEL RANGO EFECTIVO

En la Figura 94 se muestra el resultado de la prueba realizada por el VNA, cuyos resultados fueron importados al simulador a partir del archivo .CSV, el cual se encuentra en el apartado de ANEXO D. Los resultados medidos de la antena (línea continua azul), presentan una curva bajo los -10 dB, con una frecuencia menor (F_L) en 3.11 GHz y una frecuencia mayor (F_H) en 8.82 GHz, ambas frecuencias se encuentran dentro del rango UWB.

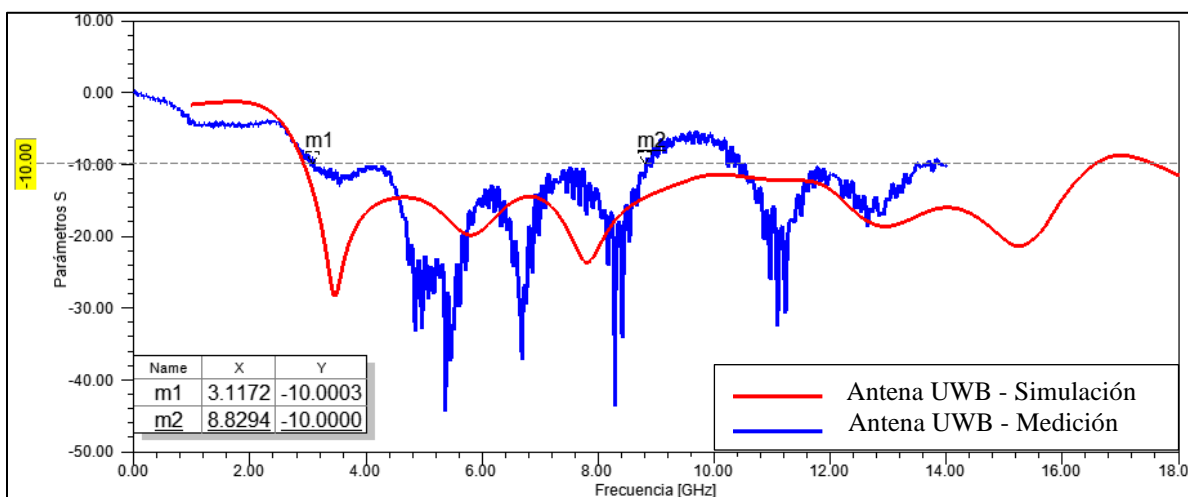


Figura 94. Medición Parámetros S - VNA

- **RESUMEN DE RESULTADOS –Límites del rango efectivo**

En la Tabla 25 se detalla el resumen de la prueba correspondiente al rango de operación efectivo de la antena, identificando las frecuencias y el coeficiente de reflexión de cada una.

Tecnología: UWB

Rango UWB: 3.10 GHz – 10.60 GHz

Frecuencia menor (F_L) – Marcador M1: 3.11 GHz

Frecuencia mayor (F_H) – Marcador M2: 8.82 GHz

Tabla 25. Resumen de resultados de la prueba: Coeficiente de reflexión

Frecuencia (GHz)	Pérdida de retorno (dB)	Distancia de medición (m)	Veredicto
3.11 GHz	-10	1.0	Pasa
8.82 GHz	-10	1.0	

- **RESULTADOS DE LAS RESONANCIAS**

En la Figura 95 se muestra el resultado de las resonancias en el rango efectivo de la antena, en este caso se presenta 4 resonancias, las cuales serán utilizadas para la transmisión de las señales, en la gráfica se denotan como m1, m2, m3 y m4 respectivamente.

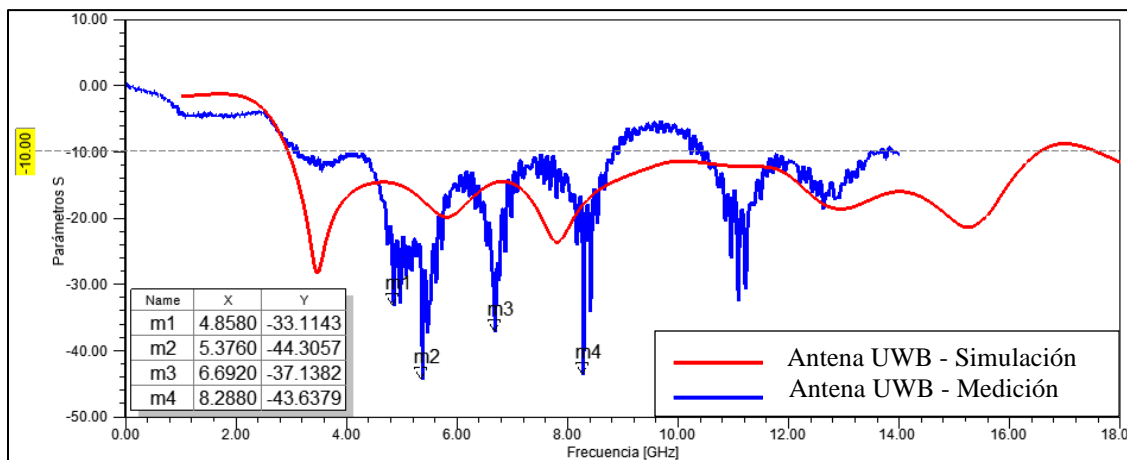


Figura 95. Frecuencias de resonancias

- RESUMEN DE RESULTADOS – Resonancias

En la Tabla 26 se detalla el resumen de la prueba, la cual abarca las resonancias que se encuentran dentro del rango efectivo de la antena, además se especifica el valor de la pérdida de retorno de cada una y su respectivo veredicto de cumplimiento.

Tecnología: UWB

Rango UWB: 3.1 GHz – 10.6 GHz

Frecuencia 1 de Resonancia: 4.85 GHz

Frecuencia 2 de Resonancia: 5.37 GHz

Frecuencia 3 de Resonancia: 6.69 GHz

Frecuencia 4 de Resonancia: 8.28 GHz

Tabla 26. Resultados de la prueba

Frecuencia (GHz)	Pérdida de retorno (dB)	Distancia de medición (m)	Polarización	Altura de la antena (mm)	Veredicto
4.85 GHz	-33.11	1.0	Lineal	32	Pasa
5.37 GHz	-44.30	1.0			
6.69 GHz	-37.19	1.0			
8.28 GHz	-43.64	1.0			

4.4. §FCC Parte 15.517 (a) (3) y (b)

- Estándar Aplicable

a). La operación bajo las disposiciones de esta sección se limita a los transmisores UWB empleados únicamente para operación en interiores

3). El uso de antenas montadas al aire libre. Ejemplo: antenas montadas fuera de un edificio o en un teléfono o cualquier otra infraestructura el aire libre está prohibido.

b). El ancho de banda UWB debe estar contenido entre 3100 MHz y 10600 MHz.

- Cumplimiento:

El proceso de medición se realizó dentro de un laboratorio (*ambiente in-door*), para la medición se utilizó un calibrador mecánico para ajustar el equipo según el rango de frecuencias a medir.

Es necesario colocar un adaptador SMA hembra para vincular la antena con el cable coaxial de fase estable.

Identificar los parámetros de medición: Ancho de Banda, para evaluar la operación de la antena.

- Condiciones ambientales

En la Tabla 27, se especifica las condiciones climáticas del día de la prueba.

Tabla 27. Condiciones ambientales

Temperatura	17° C
Humedad relativa	86 %
Presión atmosférica	0.71 atm

Fuente: (Meteored, 2021)

Resultado de la Prueba: Realizada

Modo de operación: Prueba de Reflexión – Ancho de Banda

Distancia de la prueba: 1.0 metro

Fecha: La prueba fue realizada por Ricardo Báez el 22 de diciembre del 2021.

En la Tabla 28 se muestra los resultados obtenidos posterior a la realización de la prueba de la antena respecto al análisis de ancho de banda, donde se especifica la descripción de cada resultado, el valor obtenido y el límite en GHz que debe tener.

Tabla 28. Descripción resultados de la prueba

Descripción		Resultado	Límite (GHz)
Frecuencia menor (GHz)	F_L	3.11	>3.1
Frecuencia mayor (GHz)	F_H	8.82	<10.6
Ancho de banda (GHz) debajo los -10 dB	$(F_H - F_L)$	5.71	≥ 500
Ancho de banda fraccional	$2(F_H - F_L) / (F_H + F_L)$	0.96	/

- PRUEBA EN BASE A LA FCC 15.517

En la Tabla 29 se detalla un resumen de la prueba de la antena, así como se especifica la regulación FCC (parte, subparte y sección) que cumple.

Tabla 29. Resumen de la prueba

Especificación de Prueba	FCC Parte 15, Subparte F y Subsección 517 (a) (3) y (b) (FCC 15.517)		
Modo de Prueba	Cumplimiento	Veredicto: PASA	
Fecha	22-Dic-2021	Temperatura	17 ° C
Humedad Relativa	86%	Presión Atmosférica	0.71 atm
Fuente AC:	110 AC	Potencia del puerto	1 dBm (1.26 mW)

- RESULTADOS DEL ANCHO DE BANDA

En la Figura 96 se muestra el resultado del ancho de banda de operación de la antena, el cual parte de la frecuencia (m1) correspondiente a 3.11 GHz hasta la frecuencia (m2) con un valor de 8.82 GHz, ancho de banda que supera a los 500 MHz que se menciona en la regulación FF 15.1517.

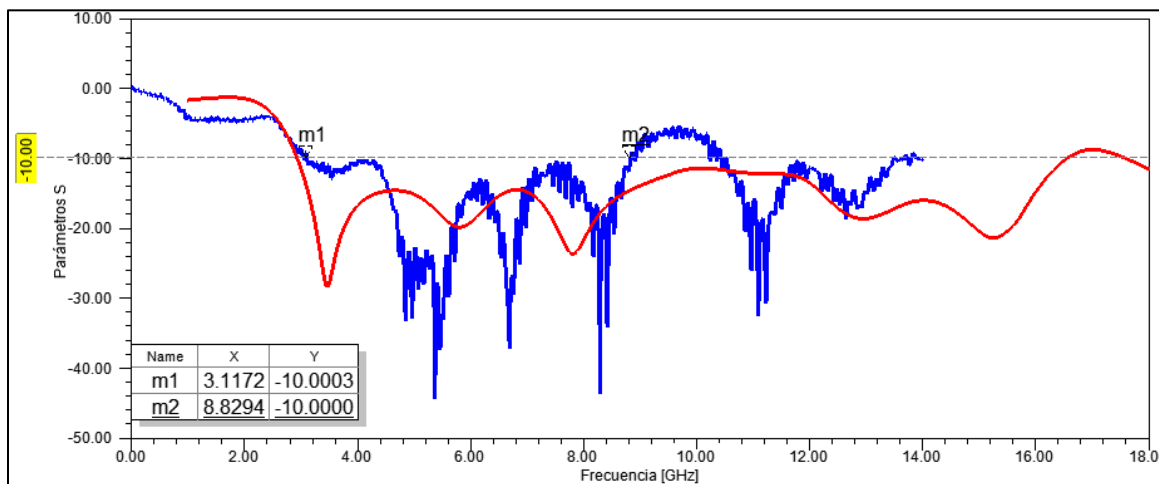


Figura 96. Medición Ancho de Banda – VNA

- **RESUMEN DE RESULTADOS – Ancho de banda**

En la Tabla 30 se detalla el resumen de la prueba correspondiente al ancho de banda de la antena, identificando las frecuencias (menor y mayor) y la pérdida de retorno.

Tecnología: UWB

Rango UWB: 3.1 GHz – 10.6 GHz

Frecuencia menor (F_L) – Marcador M1: 3.11 GHz

Frecuencia menor (F_H) – Marcador M2: 8.82 GHz

Tabla 30. Frecuencia menor y frecuencia mayor

Descripción	Frecuencia (GHz)	Pérdida de retorno (dB)	Distancia de medición (m)	Veredicto
Frecuencia menor (F_L)	3.11 GHz	-10	1.0	PASA
Frecuencia Mayor (F_H)	8.82 GHz	-10	1.0	

- **Cálculo del ancho de banda**

Para el cálculo del Ancho de Banda (AB), se reemplaza los valores de la frecuencia mayor (F_H) y la frecuencia menor (F_L) en la Ecu. 18 ($AB = F_H - F_L$).

$$AB = 8.82 \text{ GHz} - 3.11 \text{ GHz}$$

$$AB = 5.71 \text{ GHz} \text{ (Ancho de banda debajo los -10 dB)}$$

- **Medición del Diagrama de Radiación**

Para proceder con la medición es necesario establecer los puntos de análisis. Dentro de la cámara se miden en pases de 21 puntos de frecuencia por análisis, los cuales son seleccionados de acuerdo al rango de frecuencias que se desee analizar. En la siguiente Tabla 31 se detalla la configuración de análisis para obtener los resultados de medición dentro de la cámara.

Tabla 31. Medición de antena UWB

Rango de medición (GHz)	Frecuencia de medición	Puntos de frecuencia necesarios	Fase Plano E - XY	Fase Plano H - YZ
3 GHz a 4 GHz	3.63 GHz	21 puntos	Phi 0°	Theta 45°
5 GHz a 6 GHz	5.10 GHz	21 puntos	Phi 0°	Theta 45°
7.5 GHz a 8.5 GHz	8.00 GHz	21 puntos	Phi 0°	Theta 45°
TOTAL= 63 puntos				

- **RESUMEN DE RESULTADOS – Diagrama de Radiación**

Los patrones de radiación resultantes para la frecuencia respecto a la medición en la frecuencia 3.63 GHz se muestra en la Figura 97, en donde se visualiza una correspondencia respecto a la gráfica obtenida por medio del simulador de ondas electromagnéticas. Es necesario explicar que en ciertas direcciones los niveles de energía radiada varía debido a que ambos no presentan el mismo nivel de potencia en su respectiva entrada. Sin embargo, se puede apreciar que las diferencias entre las direcciones máximas y mínimas de los lóbulos presentan el mismo patrón de radiación, manteniendo un diagrama omnidireccional, tanto en el plano E y plano H.

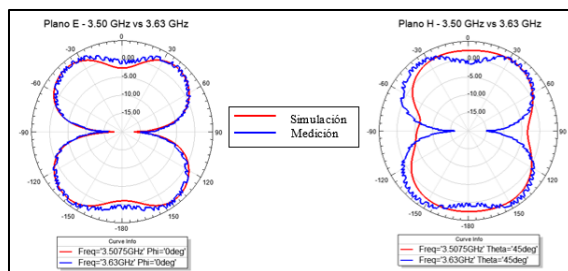


Figura 97 Contraste del patrón de radiación (Simulado 3.5 GHz y Medido 3.63 GHz)

En la Figura 98 se muestra el contraste del patrón de radiación simulado respecto al medido, es notoria la correspondencia entre ambos resultados, se aprecia, además, que el análisis del plano E presenta un desfase debido a la respuesta a posibles factores de montaje (específicamente en la alineación de la antena), sin embargo, mantiene su forma omnidireccional tanto en el plano E como el plano H.

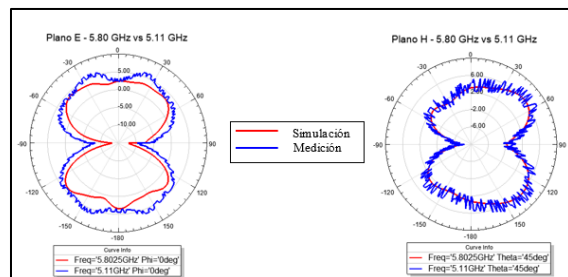


Figura 98 Contraste del patrón de radiación (Simulado 5.80 GHz y Medido 5.11 GHz)

En la Figura 99 se presenta una mayor dispersión a frecuencias más altas, se observa una correspondencia tanto para el plano E y plano H. Sin embargo, además se muestra que el patrón empieza a reducir la intensidad de radiación desde la dirección 210° hasta los 360° .

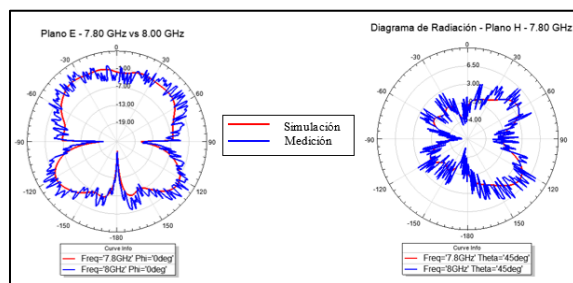


Figura 99 Contraste del patrón de radiación (Simulado 7.80 GHz y Medido 8.00 GHz).

5. CAPÍTULO V: CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

5.1. CONCLUSIONES

Es indispensable realizar un estudio previo acerca de los parámetros que forma los pilares fundamentales de las antenas como: el coeficiente de radiación, el ancho de banda, el VSWR, el patrón de radiación, etc., esto a su vez permite consolidar conceptos y lograr un amplio conocimiento para desarrollar un prototipo eficiente y apropiado para la utilización en ambientes WBAN.

El enfoque del diseño se centró en desarrollar una antena de tamaño compacto, con un plano de tierra desarrollado en diferentes etapas para evaluar el comportamiento de los parámetros de la antena, tal como se llevó a cabo en el presente trabajo, permitió determinar que efectivamente las modificaciones en el plano de tierra con los tres cortes triangulares ayudan al aumento del ancho de banda.

La antena microstrip presento en un ambiente de medición para la primera frecuencia de resonancia correspondiente a 4.85 GHz un valor de pérdida de retorno de -33.11 dB, este valor es medido bajo los -10 dB, esto indica que el 10% de la potencia es reflejada hacia la fuente, un ancho de banda desde 3.11 GHz a 8.83 GHz, aproximadamente un valor de 5.71 GHz (superando el valor mínimo que es de 500 MHz), además en la evaluación SAR se obtuvo valores comprendidos entre 1.49 W/Kg y 0.12 W/Kg; valores idóneos respecto al valor máximo permitido por IEEE C95.1-1999 que es de 2 W/Kg. Todas estas características mencionadas anteriormente hacen que la antena presente un potencial para su utilización en aplicaciones de uso corporal, que trabajen con la tecnología UWB.

El trabajo desarrollado presenta una línea de investigación futura, donde se pretende optimizar el análisis de la antena, para mejorar el modelo, focalizando el estudio en las características radioeléctricas, logrando así un mejor desempeño y obtención de resultados que permitan realizar un contraste entre la simulación y medición, además continuar innovando en esta área de investigación. Por ende, las distintas características mencionadas, resaltan a que la antena presente un atractivo potencial para un enfoque en el área de la salud y una inmersión futura en diversas aplicaciones WBAN.

5.2. RECOMENDACIONES

Se recomienda un previo estudio y revisión de material literario, basado en investigaciones relacionadas a sistemas WBAN, tecnología UWB y diseño de antenas; las cuales consolidan la base del desarrollo de una futura investigación que finalice con un diseño eficiente para cumplir con el objetivo del presente trabajo.

Al momento de diseñar la antena es recomendable elegir el simulador, en el mercado hay una variedad, el punto es escoger el que mejor se adapte tanto a la tecnología que se pretende analizar como el tiempo y consumo de recursos tecnológicos que necesita el simulador, ya que al trabajar con frecuencias altas se necesita tiempo y precisión de análisis para obtener los resultados.

Con respecto a la fabricación es importante seleccionar el sustrato con el cual se realizo el diseño, debido a que la constante dieléctrica varia entre sustratos, aunque la altura puede ser la misma; este aspecto puede ser un factor de desajuste y provoque un cambio total en los resultados.

En la medición es recomendable utilizar un cable coaxial que cuente con bajas pérdidas y presente frecuencias de operación de acuerdo a la resonancia de operación de la antena, de lo contrario existirá la posibilidad de variaciones en los resultados de la antena provocando un desajuste considerable en el funcionamiento de la antena.

5.3. TRABAJOS FUTUROS

En el desarrollo del presente trabajo se han generado líneas de investigación que se pueden complementar a futuro, donde se destacan:

- Fabricación de una antena UWB en un sustrato flexible de polímero de cristal líquido (LCP), este polímero, además, de ser flexible y de fácil adaptación para ser ubicado en las extremidades del cuerpo humano, presenta otras características, que según (Emranul Haque, Subaha Mahmuda, Feroz Ahmed, 2017), se está convirtiendo en un sustrato potente para aplicaciones microondas de alto rendimiento y su uso como material para impresión de antenas, sin embargo, es necesario realizar un estudio bajo diferentes condiciones de flexión.
- En el apartado 2.5.3.4. se presentó el concepto de Arrays, este concepto funciona como si se tratara de una sola antena para transmitir o recibir ondas de radio. Además, (Bevelacqua, 2016) afirma que, este sistema permite lograr una mayor ganancia, aumentar la potencia radiada en las direcciones deseadas, así como también permite reducir la potencia radiada en otras direcciones y maximiza la relación señal / ruido (SNR); por lo que resultaría interesante proponer diseños acerca de este arreglo de antenas en el rango UWB.

- Con la finalidad de complementar la antena diseñada, se puede acoplar a un transceptor UWB para aplicaciones WBAN (Red de Área Corporal), el cual presente una baja complejidad en su diseño, además de un bajo presupuesto, cuyo objetivo de operación sea generar y emitir pulsos cortos con baja energía a un gran ancho de banda, este sistema de transmisión se complementa con la antena UWB diseñada, el cual es el elemento radiador del sistema.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Ahmed H. Abdelrahman, Fan Yang, Atef Z. Elsherbeni, and P. N. (2017). *Analysis and Design of Transmitarray Antennas Synthesis Lectures on Antennas*. Arizona.
- Ahmed, S., Hamdi, A., Ming, C. X., Abdulwasie, K., Hossain, F., Choo-Peng, ... Thiruchelvam, V. (2019). FR-4 substrate based modified ultrawideband antenna with gain enhancement for wireless applications. *Journal of Engineering Science and Technology Review*, 12(4), 108–112. <https://doi.org/10.25103/jestr.124.13>
- Ain, Q., & Chattoraj, N. (2018). Parametric study and analysis of band stop characteristics for a compact UWB antenna with tri-band notches. *Journal of Microwaves, Optoelectronics and Electromagnetic Applications*, 17(4), 509–527. <https://doi.org/10.1590/2179-10742018v17i41314>
- Awad, N. M., & Abdelazeez, M. K. (2018). Multislot microstrip antenna for ultra-wide band applications. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 30(1), 38–45. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2015.12.003>
- Balanis, C. (2008). *Modern Antenna. HandBook*. Hoboken: Wiley.
- Barreto, A., Morales, J., & Hernández, I. (2014). Análisis y diseño de un monopolo impreso para UWB. *Revista de Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones*, 35(1), 16–32.
- Cardama, Á., Roca, L., Rius, J., Romeu, J., Blanch, S., & Bataller, M. (2004). *Antenas* (2nd ed.). Barcelona: Alfaomega.
- Casagrande Campoverde, E. J. (2014). *Universidad Católica de Santiago de Guayaquil*. 1–125.
- Chimborazo, L. (2017). Diseño de una antena microstrip con polarización circular para el laboratorio de antenas. *Tesis*, 1–100. Retrieved from <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf>

- Contreras, A. (2018). *Ultra wideband antennas for communications systems on microwave frequency bands : A review*. (August).
- Daza, E. (2017). *NUEVAS PROPUESTAS DE ANTENAS MICROSTRIP DE BANDA ANCHA*. Retrieved from <https://pdfs.semanticscholar.org/6505/78d93f12e8ea7ab3ed51fe3e0a3a1d1fa6af.pdf>
- Du Preez, J., & Sinha, S. (2016). *Millimeter-Wave Antennas: Configurations and Applications* (Vol. 1). Springer Nature.
- El Bouchti, M. (2017). Diseño y medición de una antena wearable. Retrieved from <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/106668#.W7IFgfY2FkE.mendeley>
- Emagtech. (2018). V&V Article 3: Modeling Broadband And Circularly Polarized Patch Antennas Using EM.Picasso. Retrieved from http://www.emagtech.com/wiki/index.php/V%26V_Article_3:_Modeling_Broadband_And_Circularly_Polarized_Patch_Antennas_Using_EM.Picasso
- Faria, J. V. (2015). *Flexible antennas design and test for human body applications*.
- Félix, J., & Méndez, V. (2017). *Comunicaciones WBAN-IBC: Enfoques, perspectivas y aplicaciones*. Retrieved from <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/86055/VILLEGAS - Comunicaciones WBAN-IBC%3A Enfoques%2C perspectivas y aplicaciones.pdf?sequence=1>
- Ferrando, M., & Valero, A. (2005). Aperturas en plano de masa. *Antenas*, 1–20.
- Fong, K., Man, K., & Lai, W. (2017). *Microstrip Patch Antennas*. Retrieved from https://books.google.com.ec/books?id=57ZQDwAAQBAJ&pg=PR3&hl=es&source=gbs_selected_pages&cad=2#v=onepage&q&f=false
- Fourati, H., Khssibi, S., Val, T., Idoudi, H., Van den, B., & Azzouz, L. (2015). Comparative study

- of IEEE 802.15.4 and IEEE 802.15.6 for WBAN-based CANet. *4th Performance Evaluation and Modeling in Wireless Networks (PEMWN 2015)*, 7.
- Gautam, A. K., Yadav, S., & Kanaujia, B. K. (2013). A CPW-fed compact UWB microstrip antenna. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 12(January), 151–154. <https://doi.org/10.1109/LAWP.2013.2244055>
- Girish, K. (2017). Microstrip Antennas. *Electromagnetics*, 12(3–4), 381–401.
- Haque, E., Mahmuda, S., & Ahmed, F. (2017). A capsule-like flexible multiband antenna for WBAN applications. *IEEE Region 10 Annual International Conference, Proceedings/TENCON*, 2017-Decem, 1614–1619. <https://doi.org/10.1109/TENCON.2017.8228116>
- Haraz, O., & Sebak, A.-R. (2016). UWB Antennas for Wireless Applications. *Advancement in Microstrip Antennas with Recent Applications*. <https://doi.org/10.5772/51403>
- Hasan, R. R., Islam, M., Islam, K. S., & Hasan, T. (2015). Designing and Analysis of Microstrip Patch Antenna for Wi-Fi Communication System Using Different Dielectric Materials. *Ajer*, (10), 118–126.
- Hernán, D., & Gilma, Á. (2012). *Diseño, simulación y construcción de una antena patch a 2,4 GHz*. Retrieved from <https://www.slideshare.net/Diegomendi/diseo-y-construccin-de-antena-patch>
- Hernandez, M., & Mucchi, L. (2014). *Chapter 1 - Survey and Coexistence Study of IEEE 802.15.6TM -2012 Body Area Networks, UWB PHY*. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123965202000017>
- Huidobro, J. (2013). *Antenas de telecomunicaciones Publicación patrocinada por*. 18. Retrieved from https://www.acta.es/medios/articulos/ciencias_y.../020001.pdf

- Huidobro, J., & Luque, J. (2014). *Comunicaciones por Radio. Tecnologías, redes y servicios de radiocomunicaciones. El espectro electromagnético*. México D.F.: Alfaomega.
- ICTP. (2010). *Antenas y Líneas de Transmisión*. 87–130.
- IEEE. (2004). IEEE Standard Definitions of Terms for Antennas. *IEEE Std 145-1983*, 35–45.
Retrieved from <https://ieeexplore.ieee.org/document/286098>
- IEEE. (2006). IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz. In *IEEE Std C95.1-2005 (Revision of IEEE Std C95.1-1991)*. <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2006.99501>
- Jabber, A. A., & Thaher, R. H. (2020). Compact tri-band T-shaped frequency reconfigurable antenna for cognitive radio applications. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 9(1), 212–220. <https://doi.org/10.11591/eei.v9i1.1708>
- Janosik, S. M. (2005). RF Connectors. *NASPA Journal*, 42(4), 1. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Kang, L., Li, H., Wang, X., & Shi, X. (2015). Compact Offset Microstrip-Fed MIMO Antenna for Band-Notched UWB Applications. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 14(c), 1754–1757. <https://doi.org/10.1109/LAWP.2015.2422571>
- Khan, D. M. M. (2020). *Novel and Compact Ultra Wideband Wearable Band-notch Antenna Design for Body Sensor Networks and Mobile Healthcare System*. 6973. <https://doi.org/10.3390/iec2020-06973>
- Kwak, K. S., Ullah, S., & Ullah, N. (2010). An overview of IEEE 802.15.6 standard. *2010 3rd International Symposium on Applied Sciences in Biomedical and Communication Technologies, ISABEL 2010*, (December 2010). <https://doi.org/10.1109/ISABEL.2010.5702867>

- Meacham, S., Gioulekas, F., & Phalp, K. (2015). SysML based design for variability enabling the reusability of legacy systems towards the support of diverse standard compliant implementations or standard updates: The case of IEEE-802.15.6 standard for e-health applications. *SIMUTOOLS 2015 - 8th EAI International Conference on Simulation Tools and Techniques*, (July 2016). <https://doi.org/10.4108/eai.24-8-2015.2261108>
- Miralles, E. (2016). *Estudio, diseño y optimización de antena UWB para comunicaciones intracorporales*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Mitsubishi. (2020). High Performance FR-4 for Multi-layered PWB. Retrieved from <https://www.mgc.co.jp/eng/products/sc/fr4.html>
- Nasimuddin, N. (2011). *MICROSTRIP ANTENNAS*.
- Negra, R., Jemili, I., & Belghith, A. (2016). Wireless Body Area Networks: Applications and Technologies. *Procedia Computer Science*, 83, 1274–1281. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.04.266>
- Nemai, K. (2010). *Handbook of Smart Antennas for RFID Systems*. Retrieved from [https://books.google.com.ec/books?id=WgcSH4G86YAC&pg=PT213&dq=W%3DC/\(2*fr\)+\sqrt{2/\(\epsilon_r%2B1\)}&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwj4nAhLfoAhWBg-AKHAYgCp4Q6AEIJjAA#v=onepage&q=W%3DC%2F\(2*fr\)\sqrt{2%2F\(\epsilon_r%2B1\)}&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=WgcSH4G86YAC&pg=PT213&dq=W%3DC/(2*fr)+\sqrt{2/(\epsilon_r%2B1)}&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwj4nAhLfoAhWBg-AKHAYgCp4Q6AEIJjAA#v=onepage&q=W%3DC%2F(2*fr)\sqrt{2%2F(\epsilon_r%2B1)}&f=false)
- Neri, R. (2004). *Lineas de Transmision*. México D.F.: McGraw-Hill.
- Pérez, J. (2013). *Microcircuitos para su aplicación en microscopía de GHz y THZ*.
- Pozar, D. (2012). *Microwave Engineering* (Cuarta). Hoboken: Wiley.
- R. H. Thaher and S. N. Alsaidy. (2015). New Compact Pentagonal Microstrip Patch Antenna for Wireless Communications Applications. *American Journal of Electromagnetics and Applications*, 6(3), 53–64. <https://doi.org/10.11648/j.ajea.20150306.13>

- Reddy, A. N., Marks, A. M., Prabakaran, S. R. S., & Muthulakshmi, S. (2017). IoT augmented health monitoring system. *2017 International Conference on Nextgen Electronic Technologies: Silicon to Software (ICNETS2)*, 251–254. <https://doi.org/10.1109/ICNETS2.2017.8067942>
- Rodríguez, C., Tutora, P., & Fabrés, M. C. (2017). *DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DE ANTENAS CON POLARIZACIÓN CIRCULAR PARA APLICACIONES CORPORALES*. Retrieved from <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/109464/RODRÍGUEZ - Diseño y optimización de antenas con polarización circular para aplicaciones corporal....pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sádaba, S. B. (2016). *CARACTERIZACIÓN EXPERIMENTAL DEL CANAL DE LA RED WBAN*. 2014–2015.
- Sanmartín, P., Ávila, K., Vilora, C., & Jabba, D. (2016). Internet de las cosas y la salud centrada en el hogar. In *Barranquilla (Col.)* (Vol. 32). Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/sun/v32n2/v32n2a14.pdf>
- Schantz, H. (2015). *The Art and Science of Ultrawideband Antennas*. Retrieved from https://books.google.com/books?id=2_qOQgAACAAJ&pgis=1
- Senecyt. (2018). Institutos Públicos de Investigación – Senescyt – Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación. Retrieved November 18, 2018, from <https://www.educacionsuperior.gob.ec/institutos-publicos-de-investigacion-2/>
- SENPLADES. (2017). Buen vivir 2017-2021. *Educational Research*, 1, 150. Retrieved from <http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/07/Plan-Nacional-para-el-Buen-Vivir-2017-2021.pdf>
- Stalling, W. (2005). Wireless Communications and Networking. In I. Pearson Education (Ed.),

Fixed-Mobile Wireless Networks Convergence (2nd ed.).

<https://doi.org/10.1017/cbo9780511536748.005>

Suárez, J. (2011). *Banda Ultra Ancha. Análisis de canal y variación de potencia* (1st ed.). Bogotá: Universidad Santo Tomás.

Torrecillas, J. (2018). *Diseño de una antena de parche con ancho de banda mejorado usando técnicas de adaptación de impedancias*. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA.

UPV. (2016). Antenas Microstrip. Retrieved from http://www.upv.es/antenas/Documentos_PDF/Transparencias_reducidas/Tema_9.pdf

Villacrés, J. (2006). Escuela politécnica del ejército. *ESTUDIO DE LA TECNOLOGÍA UWB (ULTRA WIDE BAND) EN REDES INALÁMBRICAS DE COMUNICACIONES*.

Wang, X., Hassanien, A., & Amin, M. G. (2018). *Sparse Transmit Array Design for Dual-Function Radar Communications by Antenna Selection*. (61701016), 1–28.

Welchallyn. (2018). Equipos de Signos Vitales. Retrieved from <https://www.welchallyn.com/content/welchallyn/latam/es/products/categories/patient-monitoring/vital-signs-devices.html>

7. ANEXOS

En este apartado se incluye las especificaciones de los materiales utilizados, donde se incluyen las características electromagnéticas de cada componente, detalles importantes que se debe tomar en cuenta en el proceso de diseño de cualquier diseño de antena, además se incluyen los archivos de las mediciones realizadas de la antena UWB de los distintos parámetros

7.1. ANEXO A

En la Figura 94 se menciona las especificaciones de Sustrato Fr-4, como el grosor, el volumen, resistencia y permitividad.

Laminate Requirements		Thickness < 0,50mm		Thickness ≥ 0,5mm		Units	Test Method
		Typical Value	Specification	Typical Value	Specification	Metric	IPC-TM-650 or as described
Peel Strength, minimum	A: Low profile copper foil and very low profile copper foil – all copper foil > 17µm B: Standard profile copper foil 1. After thermal stress 2. At 125°C 3. After process solutions C: All other foil - composite	0,9	0,70	0,95	0,70	N/mm	2.4.8
		1,05	0,80	1,20	1,05		2.4.8.2
		0,95	0,70	1,15	0,70		2.4.8.3
		0,8	0,55	1,0	0,80		2.4.8
Volume Resistivity, minimum	A: C-96/35/90 B: After humidity conditioning C: At elevated temperature E:24/125	4 10 ⁶	10 ⁶	6 10 ⁶	4 10 ⁶	MQ cm	2.5.17.1
		7 10 ⁶	10 ⁶	7 10 ⁶	10 ⁶		
Surface Resistivity, minimum	A: C-96/35/90 B: After humidity conditioning C: At elevated temperature E:24/125	1 10 ⁶	10 ⁶	3 10 ⁶	10 ⁶	MQ	2.5.17.1
		6 10 ⁶	10 ⁶	6 10 ⁶	10 ⁶		
Moisture Absorption, maximum		0,4		0,4	0,80	%	
Dielectric Breakdown, minimum				45	40	kV	2.5.6
Permittivity @ 1MHz (Laminate and prepreg as laminated)		4,2-4,6	5,4	4,6-4,9	5,4		2.5.5.2
							2.5.5.3
							2.5.5.9
Loss Tangent @ 1MHz (Laminate and prepreg as laminated)		0,015-0,02	0,035	0,015-0,02	0,035		2.5.5.2
							2.5.5.3
							2.5.5.9
Flexural Strength, minimum	A: Length direction B: Cross direction			440	415	N/mm ²	2.4.4
				400	345		
Arc Resistance, minimum		105	60	105	60	s	2.5.1
Thermal Stress 10 s @288°C, minimum	Unetched	Pass	Pass Visual	Pass	Pass Visual	rating	2.4.13.1
	Etched	Pass	Pass Visual	Pass	Pass Visual		
Electric Strength, minimum (Laminate and prepreg as laminated)		39	30			kV/mm	2.5.6.2
Flammability (Laminate and prepreg as laminated)		V0	min. V0	V0	min. V0	rating	UL94

Figura 100. DataSheet Placa FR-4

En la Figura 98 se muestra el datasheet del Conector SMA Hembra, donde se aprecia el diagrama con las mediciones y características técnicas del conector.

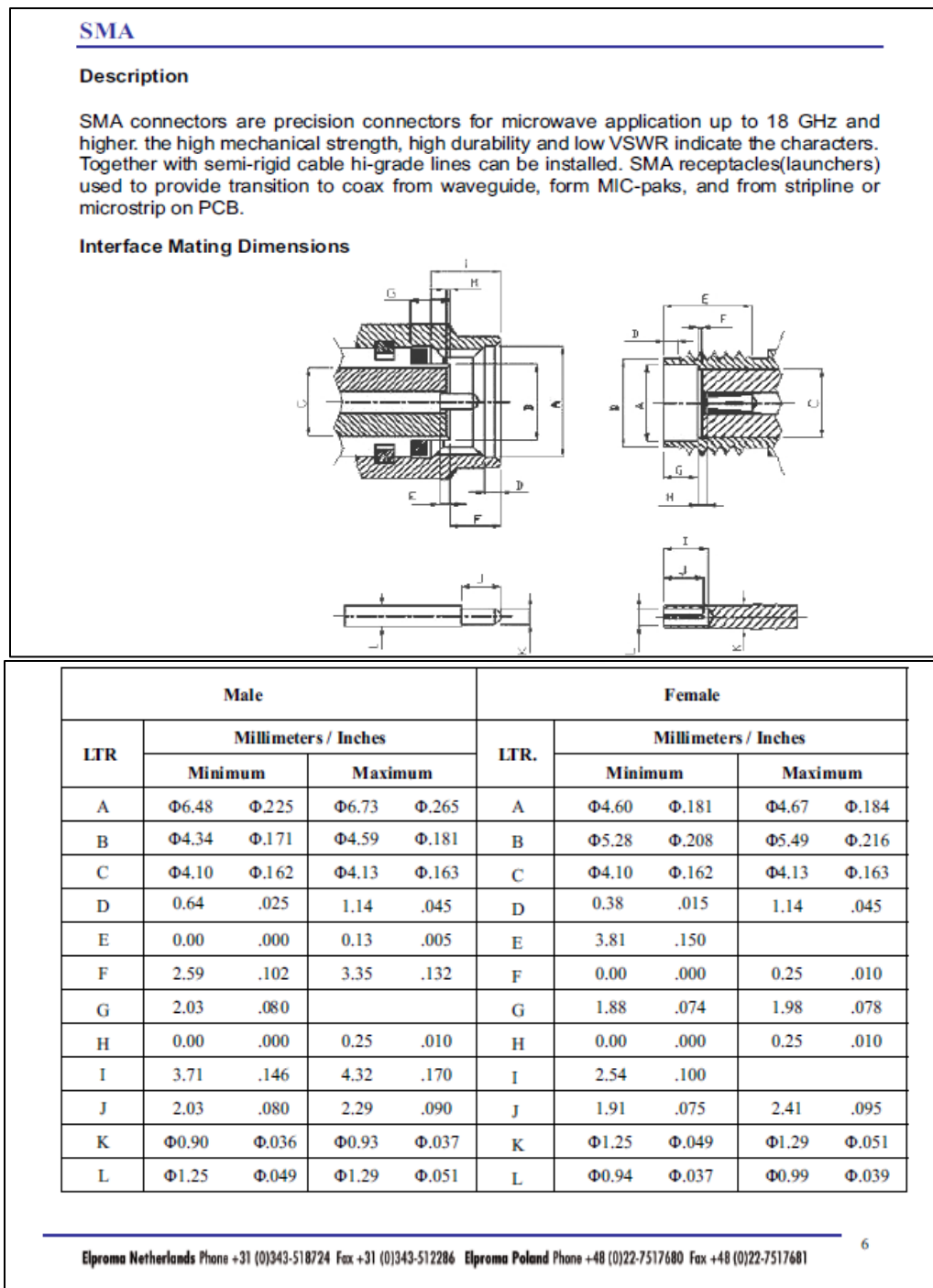


Figura 101. Datasheet conector SMA

7.2. ANEXO B

En el presente apartado incluye un resumen de la prueba que se realiza, donde se describe el propósito, el equipamiento y el procedimiento de cada prueba.

Tabla 32. Prueba de medición: Parámetros S

Prueba N°1:	Medición de Parámetros S	
Tipo de Test:	Experimental	
Tipo de Producto:	Antena impresa tipo parche	
Tecnología:	UWB	UltraWide Band
Título:	Proceso para la medición de Parámetros S de la antena	
Propósito:	Verificar que la antena resuene en el rango UWB, presente un ancho de banda superior a 5 MHz y el coeficiente de reflexión se encuentre sobre -10 dB	
Equipamiento	Antena impresa Analizador de Redes Cable coaxial con conectores SMA macho	
Procedimiento:	Se requiere ubicar la antena en un lugar aislante para evitar interferencias o reflexiones con objetos metálicos, a continuación, se conecta al analizador de redes mediante el cable coaxial. Como paso siguiente se procede a calibrar el rango desde 1 GHz a 20 GHz (rango suficiente para UWB) y se inicia con la medición, para después configurar el equipo para verificar en pantalla los resultados obtenidos.	
Verificaciones:		Estado
- Reconocimiento de la conexión (analizador – antena).		OK
- Calibración del rango de medición 1 GHz a 20 GHz.		OK
- La intersección en los -10 dB con la curva de la primera frecuencia resonante, se encuentra por debajo de 3.10 GHz.		OK
- La antena resuena debajo de -10 dB a lo largo de la banda UWB.		OK
- El ancho de banda es superior a 5 MHz.		OK

Tabla 33. Prueba de medición: ROE

Prueba N°2:	Medición del ROE	
Tipo de Test:	Experimental	
Tipo de Producto:	Antena impresa tipo parche	
Tecnología:	UWB	UltraWide Band
Título:	Proceso para la medición del ROE de la antena	
Propósito:	Verificar que la curva resultante se encuentre por debajo de los 2 dB a lo largo del rango de frecuencias UWB	
Equipamiento	Antena impresa Analizador de Redes Cable coaxial con conectore SMA macho	
Procedimiento:	Se requiere ubicar la antena en un lugar aislante para evitar interferencias o reflexiones con objetos metálicos, a continuación, se conecta al analizador de redes mediante el cable coaxial. Como paso siguiente se procede a calibrar el rango desde 1 GHz a 20 GHZ (rango suficiente para UWB) y se inicia con la medición, para después configurar el equipo para verificar en pantalla los resultados del parámetro ROE.	
Verificaciones:		Estado
- Reconocimiento de la conexión (analizador – antena).		OK
- Calibración del rango de medición 1 GHz a 20 GHz.		OK
- La gráfica describe una curva hasta los 20 GHZ		OK
- A partir de la frecuencia 3.1 GHz la curva descrita en la gráfica se encuentra por debajo de los 2 dB.		OK

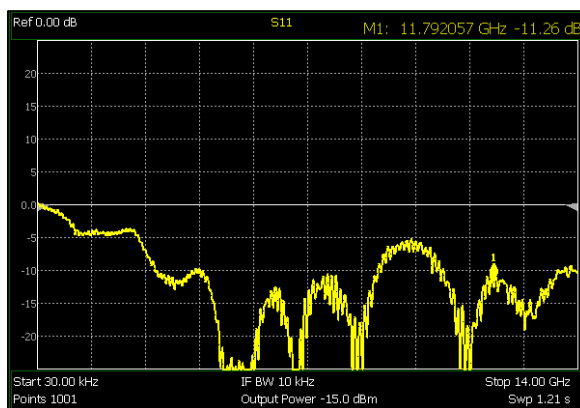
7.3. ANEXO C

En el apartado de incluyen imágenes tomadas en el momento de realización de la prueba de parámetros de la antena.

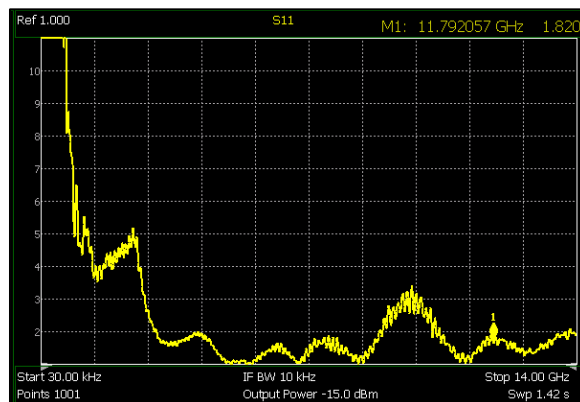
- a) Equipo KeySight modelo FielFox Microwave Analyzer N9916A



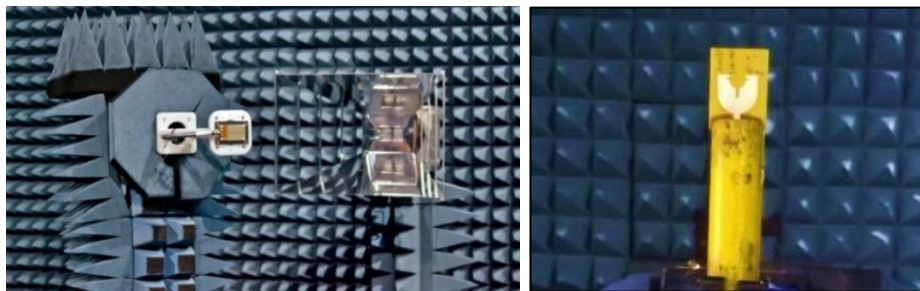
- b) Resultados obtenidos de la prueba con el VNA KeySight – Parámetros S



- c) Resultados obtenidos de la prueba con el VNA KeySight – ROE



d) Resultados obtenidos de la medición en la cámara anecoica



7.4. ANEXO D

A continuación, se presentan el Anexo B, el cual contiene los archivos de las mediciones realizadas a la antena, los archivos presentan un formato .CSV, el cual permite cargar los datos al simulador de ondas electromagnéticas para su respectiva visualización y análisis.

- *Medición de Parámetros S*

Freq [GHz], "dB(St(Circulo_Principal__T1,Circulo_Principal__T1)) []"		
1,-2.381	1.59375,-3.628	2.1875,-3.019
1.02375,-2.907	1.6175,-3.688	2.21125,-3.11
1.0475,-3.431	1.64125,-3.824	2.235,-3.415
1.07125,-3.686	1.665,-3.621	2.25875,-3.791
1.095,-3.309	1.68875,-3.403	2.2825,-3.804
1.11875,-2.888	1.7125,-3.268	2.30625,-3.764
1.1425,-2.787	1.73625,-3.173	2.33,-3.815
1.16625,-2.9	1.76,-3.33	2.35375,-3.893
1.19,-3.296	1.78375,-3.574	2.3775,-3.88
1.21375,-3.61	1.8075,-3.821	2.40125,-3.785
1.2375,-3.775	1.83125,-3.797	2.425,-3.721
1.26125,-3.815	1.855,-3.817	2.44875,-3.483
1.285,-3.74	1.87875,-3.725	2.4725,-3.235
1.30875,-3.216	1.9025,-3.188	2.49625,-3.294
1.3325,-2.975	1.92625,-2.677	2.52,-3.484
1.35625,-2.861	1.95,-2.354	2.54375,-3.539
1.38,-3.008	1.97375,-2.249	2.5675,-3.463
1.40375,-3.333	1.9975,-2.299	2.59125,-3.379
1.4275,-3.702	2.02125,-2.434	2.615,-3.451
1.45125,-4.222	2.045,-2.518	2.63875,-3.745
1.475,-4.377	2.06875,-2.542	2.6625,-4.196
1.49875,-4.171	2.0925,-2.554	2.68625,-4.538
1.5225,-3.978	2.11625,-2.619	2.71,-4.719
1.54625,-3.676	2.14,-2.71	2.73375,-4.659
1.57,-3.559	2.16375,-2.834	2.7575,-4.408

2.78125,-4.317	4.11125,-13.099	5.44125,-21.002
2.805,-4.639	4.135,-13.1	5.465,-20.294
2.82875,-5.331	4.15875,-13.248	5.48875,-19.928
2.8525,-6.225	4.1825,-13.039	5.5125,-19.37
2.87625,-7.028	4.20625,-12.881	5.53625,-18.784
2.9,-7.525	4.23,-12.769	5.56,-18.42
2.92375,-7.839	4.25375,-13.012	5.58375,-17.839
2.9475,-8.058	4.2775,-13.093	5.6075,-17.244
2.97125,-8.093	4.30125,-13.093	5.63125,-16.818
2.995,-8.405	4.325,-13.078	5.655,-16.675
3.01875,-9.068	4.34875,-12.938	5.67875,-16.997
3.0425,-9.678	4.3725,-13.158	5.7025,-17
3.06625,-10.162	4.39625,-13.161	5.72625,-16.889
3.09,-11.116	4.42,-13.67	5.75,-16.597
3.11375,-12.515	4.44375,-14.457	5.77375,-16.024
3.1375,-13.57	4.4675,-14.486	5.7975,-15.49
3.16125,-13.201	4.49125,-14.056	5.82125,-15.247
3.185,-12.95	4.515,-13.976	5.845,-15.058
3.20875,-13.533	4.53875,-14.101	5.86875,-14.946
3.2325,-14.805	4.5625,-14.676	5.8925,-14.514
3.25625,-16.928	4.58625,-14.756	5.91625,-14.315
3.28,-19.095	4.61,-15.331	5.94,-14.023
3.30375,-20.316	4.63375,-15.643	5.96375,-13.851
3.3275,-18.916	4.6575,-15.868	5.9875,-13.84
3.35125,-16.702	4.68125,-15.574	6.01125,-13.774
3.375,-16.306	4.705,-15.849	6.035,-13.656
3.39875,-17.758	4.72875,-16.269	6.05875,-13.521
3.4225,-19.767	4.7525,-17.517	6.0825,-13.19
3.44625,-21.21	4.77625,-18.723	6.10625,-12.816
3.47,-21.817	4.8,-19.876	6.13,-12.54
3.49375,-20.218	4.82375,-21.135	6.15375,-12.243
3.5175,-18.741	4.8475,-21.45	6.1775,-12.23
3.54125,-18.976	4.87125,-21.678	6.20125,-12.056
3.565,-20.199	4.895,-21.685	6.225,-12.089
3.58875,-21.508	4.91875,-22.544	6.24875,-11.972
3.6125,-23.094	4.9425,-24.858	6.2725,-11.661
3.63625,-23.58	4.96625,-26.135	6.29625,-11.477
3.66,-22.072	4.99,-25.933	6.32,-11.425
3.68375,-20.08	5.01375,-27.68	6.34375,-11.458
3.7075,-18.638	5.0375,-28.141	6.3675,-11.609
3.73125,-18.932	5.06125,-31.197	6.39125,-11.54
3.755,-19.907	5.085,-35.412	6.415,-11.348
3.77875,-20.735	5.10875,-42.04	6.43875,-11.076
3.8025,-19.547	5.1325,-39.681	6.4625,-10.867
3.82625,-17.841	5.15625,-33.187	6.48625,-10.865
3.85,-17.251	5.18,-32.723	6.51,-11.016
3.87375,-16.57	5.20375,-33.669	6.53375,-11.189
3.8975,-16.171	5.2275,-33.339	6.5575,-11.174
3.92125,-15.964	5.25125,-30.398	6.58125,-11.124
3.945,-15.877	5.275,-28.659	6.605,-10.993
3.96875,-15.455	5.29875,-27.685	6.62875,-10.958
3.9925,-14.534	5.3225,-26.747	6.6525,-11.024
4.01625,-13.937	5.34625,-26.76	6.67625,-11.031
4.04,-13.664	5.37,-25.884	6.7,-11.094
4.06375,-13.561	5.39375,-24.312	6.72375,-11.164
4.0875,-13.219	5.4175,-22.283	6.7475,-11.246

6.77125,-11.193	8.10125,-26.084	9.43125,-12.551
6.795,-11.229	8.125,-25.578	9.455,-12.51
6.81875,-11.343	8.14875,-24.629	9.47875,-12.441
6.8425,-11.447	8.1725,-24.134	9.5025,-12.442
6.86625,-11.478	8.19625,-23.577	9.52625,-12.35
6.89,-11.658	8.22,-23.255	9.55,-12.287
6.91375,-11.597	8.24375,-23.22	9.57375,-12.173
6.9375,-11.818	8.2675,-22.664	9.5975,-12.286
6.96125,-11.887	8.29125,-22.306	9.62125,-12.375
6.985,-11.927	8.315,-22.086	9.645,-12.322
7.00875,-12.017	8.33875,-21.818	9.66875,-12.301
7.0325,-12.167	8.3625,-21.141	9.6925,-12.257
7.05625,-12.387	8.38625,-20.692	9.71625,-12.219
7.08,-12.642	8.41,-20.37	9.74,-12.257
7.10375,-12.68	8.43375,-19.777	9.76375,-12.217
7.1275,-12.71	8.4575,-19.481	9.7875,-12.132
7.15125,-12.87	8.48125,-19.144	9.81125,-12.03
7.175,-13.096	8.505,-19.054	9.835,-12.197
7.19875,-13.387	8.52875,-18.742	9.85875,-12.253
7.2225,-13.51	8.5525,-18.361	9.8825,-12.286
7.24625,-13.573	8.57625,-18.203	9.90625,-12.297
7.27,-13.776	8.6,-18.008	9.93,-12.361
7.29375,-14.105	8.62375,-17.829	9.95375,-12.4
7.3175,-14.226	8.6475,-17.577	9.9775,-12.448
7.34125,-14.595	8.67125,-17.339	10.00125,-12.433
7.365,-14.993	8.695,-16.947	10.025,-12.397
7.38875,-15.322	8.71875,-16.761	10.04875,-12.429
7.4125,-15.68	8.7425,-16.522	10.0725,-12.505
7.43625,-15.634	8.76625,-16.203	10.09625,-12.554
7.46,-15.86	8.79,-15.845	10.12,-12.543
7.48375,-16.194	8.81375,-15.68	10.14375,-12.42
7.5075,-16.535	8.8375,-15.725	10.1675,-12.442
7.53125,-17.009	8.86125,-15.573	10.19125,-12.457
7.555,-17.439	8.885,-15.509	10.215,-12.295
7.57875,-17.964	8.90875,-15.32	10.23875,-12.125
7.6025,-18.365	8.9325,-14.979	10.2625,-12.166
7.62625,-18.654	8.95625,-14.821	10.28625,-12.226
7.65,-19.108	8.98,-14.737	10.31,-12.233
7.67375,-19.367	9.00375,-14.518	10.33375,-12.242
7.6975,-19.927	9.0275,-14.303	10.3575,-12.132
7.72125,-20.564	9.05125,-14.176	10.38125,-12.067
7.745,-20.932	9.075,-14.055	10.405,-12.037
7.76875,-21.444	9.09875,-14.036	10.42875,-12.016
7.7925,-22.113	9.1225,-13.998	10.4525,-11.914
7.81625,-22.745	9.14625,-13.841	10.47625,-11.864
7.84,-23.154	9.17,-13.76	10.5,-11.907
7.86375,-23.612	9.19375,-13.515	10.52375,-11.942
7.8875,-24.329	9.2175,-13.314	10.5475,-11.911
7.91125,-24.871	9.24125,-13.216	10.57125,-11.86
7.935,-25.886	9.265,-13.177	10.595,-11.894
7.95875,-25.996	9.28875,-13.057	10.61875,-11.983
7.9825,-25.987	9.3125,-13.067	10.6425,-12.048
8.00625,-26.015	9.33625,-13.049	10.66625,-12.124
8.03,-25.833	9.36,-12.899	10.69,-12.307
8.05375,-25.386	9.38375,-12.819	10.71375,-12.411
8.0775,-25.875	9.4075,-12.681	10.7375,-12.604

10.76125,-12.831	12.09125,-24.211	13.42125,-20.651
10.785,-13.03	12.115,-24.648	13.445,-20.589
10.80875,-13.185	12.13875,-25.167	13.46875,-20.358
10.8325,-13.483	12.1625,-25.97	13.4925,-20.448
10.85625,-13.866	12.18625,-26.578	13.51625,-20.093
10.88,-14.267	12.21,-27.579	13.54,-19.797
10.90375,-14.51	12.23375,-28.193	13.56375,-19.653
10.9275,-14.851	12.2575,-29.254	13.5875,-19.44
10.95125,-15.111	12.28125,-30.453	13.61125,-19.384
10.975,-15.454	12.305,-31.225	13.635,-19.125
10.99875,-15.723	12.32875,-32.363	13.65875,-18.877
11.0225,-16.07	12.3525,-33.492	13.6825,-18.875
11.04625,-16.208	12.37625,-34.493	13.70625,-18.671
11.07,-16.42	12.4,-35.947	13.73,-18.638
11.09375,-16.76	12.42375,-35.314	13.75375,-18.515
11.1175,-17.018	12.4475,-34.975	13.7775,-18.477
11.14125,-17.176	12.47125,-35.451	13.80125,-18.308
11.165,-17.238	12.495,-35.997	13.825,-18.114
11.18875,-17.407	12.51875,-36.056	13.84875,-17.851
11.2125,-17.417	12.5425,-35.435	13.8725,-17.653
11.23625,-17.427	12.56625,-34.83	13.89625,-17.605
11.26,-17.567	12.59,-34.048	13.92,-17.537
11.28375,-17.551	12.61375,-33.483	13.94375,-17.359
11.3075,-17.712	12.6375,-34.168	13.9675,-17.029
11.33125,-17.922	12.66125,-33.216	13.99125,-16.767
11.355,-18.063	12.685,-32.814	14.015,-16.47
11.37875,-18.098	12.70875,-31.832	14.03875,-16.135
11.4025,-18.172	12.7325,-31.356	14.0625,-15.87
11.42625,-18.379	12.75625,-31.19	14.08625,-15.656
11.45,-18.395	12.78,-29.991	14.11,-15.464
11.47375,-18.332	12.80375,-29.528	14.13375,-15.294
11.4975,-18.483	12.8275,-29.101	14.1575,-15.191
11.52125,-18.618	12.85125,-29.097	14.18125,-15.024
11.545,-18.819	12.875,-28.99	14.205,-14.886
11.56875,-18.863	12.89875,-28.495	14.22875,-14.727
11.5925,-18.868	12.9225,-28.333	14.2525,-14.65
11.61625,-18.943	12.94625,-27.843	14.27625,-14.505
11.64,-19.076	12.97,-27.556	14.3,-14.423
11.66375,-19.271	12.99375,-27.109	14.32375,-14.281
11.6875,-19.452	13.0175,-26.4	14.3475,-14.192
11.71125,-19.681	13.04125,-25.911	14.37125,-14.116
11.735,-19.867	13.065,-25.701	14.395,-14.073
11.75875,-20.026	13.08875,-25.425	14.41875,-14.002
11.7825,-20.143	13.1125,-25.045	14.4425,-13.943
11.80625,-20.098	13.13625,-24.587	14.46625,-13.931
11.83,-20.358	13.16,-24.329	14.49,-13.869
11.85375,-20.72	13.18375,-23.742	14.51375,-13.839
11.8775,-20.912	13.2075,-23.443	14.5375,-13.783
11.90125,-21.181	13.23125,-23.144	14.56125,-13.783
11.925,-21.59	13.255,-22.703	14.585,-13.861
11.94875,-21.972	13.27875,-22.462	14.60875,-13.812
11.9725,-22.26	13.3025,-22.014	14.6325,-13.749
11.99625,-22.675	13.32625,-21.763	14.65625,-13.625
12.02,-23.166	13.35,-21.484	14.68,-13.61
12.04375,-23.592	13.37375,-21.204	14.70375,-13.525
12.0675,-23.865	13.3975,-21.06	14.7275,-13.527

14.75125,-13.591	16.08125,-10.324	17.41125,-11.225
14.775,-13.527	16.105,-10.166	17.435,-11.358
14.79875,-13.473	16.12875,-10.113	17.45875,-11.548
14.8225,-13.459	16.1525,-10.047	17.4825,-11.704
14.84625,-13.476	16.17625,-9.983	17.50625,-11.866
14.87,-13.446	16.2,-9.919	17.53,-12.02
14.89375,-13.468	16.22375,-9.867	17.55375,-12.158
14.9175,-13.538	16.2475,-9.816	17.5775,-12.284
14.94125,-13.507	16.27125,-9.705	17.60125,-12.433
14.965,-13.519	16.295,-9.691	17.625,-12.633
14.98875,-13.54	16.31875,-9.647	17.64875,-12.803
15.0125,-13.612	16.3425,-9.568	17.6725,-13.012
15.03625,-13.607	16.36625,-9.52	17.69625,-13.237
15.06,-13.64	16.39,-9.516	17.72,-13.504
15.08375,-13.695	16.41375,-9.442	17.74375,-13.758
15.1075,-13.689	16.4375,-9.404	17.7675,-13.962
15.13125,-13.74	16.46125,-9.364	17.79125,-14.117
15.155,-13.746	16.485,-9.316	17.815,-14.291
15.17875,-13.76	16.50875,-9.308	17.83875,-14.493
15.2025,-13.773	16.5325,-9.293	17.8625,-14.732
15.22625,-13.762	16.55625,-9.271	17.88625,-14.97
15.25,-13.806	16.58,-9.246	17.91,-15.205
15.27375,-13.753	16.60375,-9.204	17.93375,-15.514
15.2975,-13.64	16.6275,-9.184	17.9575,-15.864
15.32125,-13.59	16.65125,-9.195	17.98125,-16.131
15.345,-13.492	16.675,-9.184	18.005,-16.458
15.36875,-13.407	16.69875,-9.177	18.02875,-16.853
15.3925,-13.358	16.7225,-9.211	18.0525,-17.228
15.41625,-13.29	16.74625,-9.19	18.07625,-17.659
15.44,-13.162	16.77,-9.195	18.1,-18.016
15.46375,-13.009	16.79375,-9.203	18.12375,-18.28
15.4875,-12.952	16.8175,-9.253	18.1475,-18.496
15.51125,-12.84	16.84125,-9.289	18.17125,-18.908
15.535,-12.738	16.865,-9.322	18.195,-19.156
15.55875,-12.678	16.88875,-9.382	18.21875,-19.515
15.5825,-12.582	16.9125,-9.38	18.2425,-20.005
15.60625,-12.467	16.93625,-9.433	18.26625,-20.479
15.63,-12.302	16.96,-9.476	18.29,-21.012
15.65375,-12.248	16.98375,-9.531	18.31375,-21.673
15.6775,-12.059	17.0075,-9.575	18.3375,-22.19
15.70125,-11.963	17.03125,-9.655	18.36125,-22.784
15.725,-11.797	17.055,-9.739	18.385,-23.308
15.74875,-11.675	17.07875,-9.782	18.40875,-23.507
15.7725,-11.528	17.1025,-9.852	18.4325,-23.805
15.79625,-11.429	17.12625,-9.914	18.45625,-23.89
15.82,-11.288	17.15,-9.977	18.48,-24.109
15.84375,-11.179	17.17375,-10.092	18.50375,-24.36
15.8675,-11.089	17.1975,-10.178	18.5275,-24.438
15.89125,-10.986	17.22125,-10.305	18.55125,-24.327
15.915,-10.843	17.245,-10.389	18.575,-24.395
15.93875,-10.741	17.26875,-10.476	18.59875,-24.285
15.9625,-10.623	17.2925,-10.593	18.6225,-23.702
15.98625,-10.561	17.31625,-10.746	18.64625,-23.417
16.01,-10.495	17.34,-10.811	18.67,-22.724
16.03375,-10.438	17.36375,-10.928	18.69375,-22.096
16.0575,-10.379	17.3875,-11.066	18.7175,-21.609

18.74125,-21.227	19.16875,-14.99	19.59625,-14.14
18.765,-20.638	19.1925,-14.819	19.62,-14.211
18.78875,-20.294	19.21625,-14.74	19.64375,-14.32
18.8125,-20.003	19.24,-14.657	19.6675,-14.491
18.83625,-19.464	19.26375,-14.56	19.69125,-14.498
18.86,-19.063	19.2875,-14.422	19.715,-14.612
18.88375,-18.621	19.31125,-14.318	19.73875,-14.666
18.9075,-18.188	19.335,-14.196	19.7625,-14.776
18.93125,-17.755	19.35875,-14.151	19.78625,-14.863
18.955,-17.376	19.3825,-14.045	19.81,-14.972
18.97875,-17.105	19.40625,-14.072	19.83375,-15.099
19.0025,-16.833	19.43,-14.037	19.8575,-15.2
19.02625,-16.501	19.45375,-14.052	19.88125,-15.386
19.05,-16.181	19.4775,-14.038	19.905,-15.415
19.07375,-15.883	19.50125,-14.063	19.92875,-15.588
19.0975,-15.582	19.525,-14.029	19.9525,-15.629
19.12125,-15.322	19.54875,-14.08	19.97625,-15.779
19.145,-15.128	19.5725,-14.109	20,-15.955

- **Medición del ROE (Relación de Onda estacionaria)**

Freq [GHz],dB(VSWRt(Circulo_Principal__T1)) []

1,7.61	1.73625,5.69	2.4725,5.29
1.02375,6.03	1.76,5.40	2.49625,5.34
1.0475,5.20	1.78375,4.92	2.52,5.25
1.07125,5.19	1.8075,4.60	2.54375,5.20
1.095,5.57	1.83125,4.78	2.5675,5.17
1.11875,6.19	1.855,4.87	2.59125,5.13
1.1425,6.33	1.87875,4.92	2.615,4.90
1.16625,5.89	1.9025,5.39	2.63875,4.56
1.19,5.12	1.92625,6.17	2.6625,4.22
1.21375,4.76	1.95,6.94	2.68625,3.98
1.2375,4.43	1.97375,7.38	2.71,3.82
1.26125,4.44	1.9975,7.44	2.73375,3.76
1.285,4.76	2.02125,7.24	2.7575,3.91
1.30875,5.45	2.045,7.04	2.78125,4.03
1.3325,5.95	2.06875,7.02	2.805,3.83
1.35625,6.02	2.0925,6.94	2.82875,3.42
1.38,5.66	2.11625,6.69	2.8525,3.02
1.40375,5.27	2.14,6.45	2.87625,2.70
1.4275,4.83	2.16375,6.26	2.9,2.54
1.45125,4.33	2.1875,5.89	2.92375,2.46
1.475,4.17	2.21125,5.71	2.9475,2.39
1.49875,4.29	2.235,5.26	2.97125,2.32
1.5225,4.49	2.25875,4.90	2.995,2.21
1.54625,4.67	2.2825,4.83	3.01875,2.06
1.57,4.68	2.30625,4.76	3.0425,1.99
1.59375,4.63	2.33,4.58	3.06625,1.93
1.6175,4.80	2.35375,4.45	3.09,1.81
1.64125,4.70	2.3775,4.47	3.11375,1.68
1.665,4.70	2.40125,4.55	3.1375,1.58
1.68875,5.11	2.425,4.59	3.16125,1.54
1.7125,5.48	2.44875,4.89	3.185,1.56

3.20875,1.53	4.53875,1.47	5.86875,1.45
3.2325,1.45	4.5625,1.45	5.8925,1.46
3.25625,1.34	4.58625,1.43	5.91625,1.48
3.28,1.25	4.61,1.39	5.94,1.50
3.30375,1.20	4.63375,1.37	5.96375,1.52
3.3275,1.24	4.6575,1.36	5.9875,1.52
3.35125,1.30	4.68125,1.39	6.01125,1.53
3.375,1.32	4.705,1.39	6.035,1.54
3.39875,1.29	4.72875,1.37	6.05875,1.55
3.4225,1.22	4.7525,1.29	6.0825,1.57
3.44625,1.17	4.77625,1.27	6.10625,1.60
3.47,1.16	4.8,1.25	6.13,1.61
3.49375,1.21	4.82375,1.22	6.15375,1.63
3.5175,1.25	4.8475,1.21	6.1775,1.64
3.54125,1.26	4.87125,1.21	6.20125,1.65
3.565,1.23	4.895,1.19	6.225,1.65
3.58875,1.18	4.91875,1.18	6.24875,1.67
3.6125,1.16	4.9425,1.14	6.2725,1.69
3.63625,1.15	4.96625,1.12	6.29625,1.70
3.66,1.17	4.99,1.12	6.32,1.71
3.68375,1.20	5.01375,1.10	6.34375,1.71
3.7075,1.24	5.0375,1.08	6.3675,1.71
3.73125,1.26	5.06125,1.05	6.39125,1.71
3.755,1.25	5.085,1.03	6.415,1.73
3.77875,1.23	5.10875,1.01	6.43875,1.76
3.8025,1.25	5.1325,1.03	6.4625,1.79
3.82625,1.31	5.15625,1.04	6.48625,1.79
3.85,1.33	5.18,1.05	6.51,1.78
3.87375,1.36	5.20375,1.04	6.53375,1.76
3.8975,1.39	5.2275,1.03	6.5575,1.77
3.92125,1.41	5.25125,1.05	6.58125,1.78
3.945,1.43	5.275,1.07	6.605,1.79
3.96875,1.43	5.29875,1.08	6.62875,1.80
3.9925,1.48	5.3225,1.09	6.6525,1.80
4.01625,1.51	5.34625,1.09	6.67625,1.80
4.04,1.52	5.37,1.10	6.7,1.78
4.06375,1.52	5.39375,1.14	6.72375,1.77
4.0875,1.54	5.4175,1.18	6.7475,1.76
4.11125,1.56	5.44125,1.21	6.77125,1.77
4.135,1.57	5.465,1.23	6.795,1.76
4.15875,1.57	5.48875,1.23	6.81875,1.74
4.1825,1.58	5.5125,1.25	6.8425,1.73
4.20625,1.58	5.53625,1.26	6.86625,1.73
4.23,1.60	5.56,1.28	6.89,1.71
4.25375,1.58	5.58375,1.31	6.91375,1.72
4.2775,1.56	5.6075,1.33	6.9375,1.69
4.30125,1.56	5.63125,1.34	6.96125,1.69
4.325,1.55	5.655,1.34	6.985,1.67
4.34875,1.54	5.67875,1.33	7.00875,1.66
4.3725,1.54	5.7025,1.33	7.0325,1.64
4.39625,1.53	5.72625,1.35	7.05625,1.62
4.42,1.49	5.75,1.38	7.08,1.61
4.44375,1.45	5.77375,1.39	7.10375,1.60
4.4675,1.43	5.7975,1.41	7.1275,1.60
4.49125,1.47	5.82125,1.42	7.15125,1.58
4.515,1.47	5.845,1.43	7.175,1.56

7.19875,1.55	8.52875,1.27	9.85875,1.65
7.2225,1.53	8.5525,1.28	9.8825,1.64
7.24625,1.53	8.57625,1.29	9.90625,1.64
7.27,1.51	8.6,1.29	9.93,1.62
7.29375,1.49	8.62375,1.29	9.95375,1.62
7.3175,1.49	8.6475,1.30	9.9775,1.61
7.34125,1.46	8.67125,1.31	10.00125,1.61
7.365,1.43	8.695,1.32	10.025,1.61
7.38875,1.41	8.71875,1.33	10.04875,1.61
7.4125,1.40	8.7425,1.34	10.0725,1.61
7.43625,1.40	8.76625,1.36	10.09625,1.60
7.46,1.40	8.79,1.38	10.12,1.61
7.48375,1.38	8.81375,1.38	10.14375,1.61
7.5075,1.36	8.8375,1.38	10.1675,1.61
7.53125,1.33	8.86125,1.39	10.19125,1.61
7.555,1.31	8.885,1.40	10.215,1.63
7.57875,1.30	8.90875,1.41	10.23875,1.64
7.6025,1.29	8.9325,1.43	10.2625,1.63
7.62625,1.28	8.95625,1.43	10.28625,1.63
7.65,1.27	8.98,1.44	10.31,1.64
7.67375,1.26	9.00375,1.45	10.33375,1.64
7.6975,1.23	9.0275,1.47	10.3575,1.66
7.72125,1.21	9.05125,1.48	10.38125,1.66
7.745,1.21	9.075,1.49	10.405,1.66
7.76875,1.19	9.09875,1.49	10.42875,1.67
7.7925,1.18	9.1225,1.50	10.4525,1.69
7.81625,1.16	9.14625,1.51	10.47625,1.69
7.84,1.16	9.17,1.52	10.5,1.68
7.86375,1.15	9.19375,1.54	10.52375,1.68
7.8875,1.14	9.2175,1.55	10.5475,1.69
7.91125,1.13	9.24125,1.55	10.57125,1.69
7.935,1.11	9.265,1.56	10.595,1.69
7.95875,1.11	9.28875,1.56	10.61875,1.68
7.9825,1.11	9.3125,1.57	10.6425,1.68
8.00625,1.11	9.33625,1.58	10.66625,1.66
8.03,1.11	9.36,1.60	10.69,1.65
8.05375,1.12	9.38375,1.61	10.71375,1.64
8.0775,1.11	9.4075,1.62	10.7375,1.62
8.10125,1.10	9.43125,1.63	10.76125,1.60
8.125,1.11	9.455,1.65	10.785,1.59
8.14875,1.12	9.47875,1.65	10.80875,1.57
8.1725,1.13	9.5025,1.64	10.8325,1.55
8.19625,1.14	9.52625,1.65	10.85625,1.52
8.22,1.15	9.55,1.66	10.88,1.49
8.24375,1.15	9.57375,1.67	10.90375,1.47
8.2675,1.16	9.5975,1.66	10.9275,1.45
8.29125,1.17	9.62125,1.66	10.95125,1.42
8.315,1.17	9.645,1.67	10.975,1.41
8.33875,1.18	9.66875,1.67	10.99875,1.39
8.3625,1.20	9.6925,1.67	11.0225,1.37
8.38625,1.21	9.71625,1.67	11.04625,1.37
8.41,1.22	9.74,1.67	11.07,1.35
8.43375,1.24	9.76375,1.67	11.09375,1.34
8.4575,1.24	9.7875,1.67	11.1175,1.33
8.48125,1.25	9.81125,1.67	11.14125,1.32
8.505,1.25	9.835,1.66	11.165,1.32

11.18875,1.31	12.51875,1.02	13.84875,1.29
11.2125,1.31	12.5425,1.03	13.8725,1.30
11.23625,1.31	12.56625,1.03	13.89625,1.30
11.26,1.31	12.59,1.03	13.92,1.31
11.28375,1.31	12.61375,1.03	13.94375,1.32
11.3075,1.30	12.6375,1.03	13.9675,1.34
11.33125,1.29	12.66125,1.04	13.99125,1.35
11.355,1.29	12.685,1.04	14.015,1.37
11.37875,1.29	12.70875,1.05	14.03875,1.38
11.4025,1.29	12.7325,1.05	14.0625,1.39
11.42625,1.28	12.75625,1.05	14.08625,1.40
11.45,1.28	12.78,1.06	14.11,1.41
11.47375,1.28	12.80375,1.06	14.13375,1.43
11.4975,1.28	12.8275,1.07	14.1575,1.44
11.52125,1.27	12.85125,1.07	14.18125,1.45
11.545,1.27	12.875,1.08	14.205,1.45
11.56875,1.26	12.89875,1.08	14.22875,1.46
11.5925,1.26	12.9225,1.08	14.2525,1.46
11.61625,1.26	12.94625,1.09	14.27625,1.48
11.64,1.25	12.97,1.09	14.3,1.48
11.66375,1.24	12.99375,1.10	14.32375,1.49
11.6875,1.24	13.0175,1.11	14.3475,1.49
11.71125,1.24	13.04125,1.12	14.37125,1.50
11.735,1.23	13.065,1.12	14.395,1.50
11.75875,1.22	13.08875,1.12	14.41875,1.50
11.7825,1.22	13.1125,1.13	14.4425,1.51
11.80625,1.22	13.13625,1.13	14.46625,1.51
11.83,1.21	13.16,1.14	14.49,1.51
11.85375,1.21	13.18375,1.15	14.51375,1.51
11.8775,1.20	13.2075,1.15	14.5375,1.52
11.90125,1.19	13.23125,1.16	14.56125,1.52
11.925,1.18	13.255,1.17	14.585,1.52
11.94875,1.17	13.27875,1.17	14.60875,1.53
11.9725,1.16	13.3025,1.18	14.6325,1.53
11.99625,1.15	13.32625,1.18	14.65625,1.53
12.02,1.15	13.35,1.18	14.68,1.54
12.04375,1.14	13.37375,1.19	14.70375,1.54
12.0675,1.14	13.3975,1.19	14.7275,1.54
12.09125,1.13	13.42125,1.20	14.75125,1.54
12.115,1.12	13.445,1.20	14.775,1.54
12.13875,1.11	13.46875,1.21	14.79875,1.54
12.1625,1.10	13.4925,1.21	14.8225,1.54
12.18625,1.10	13.51625,1.22	14.84625,1.54
12.21,1.09	13.54,1.22	14.87,1.54
12.23375,1.08	13.56375,1.23	14.89375,1.53
12.2575,1.07	13.5875,1.23	14.9175,1.53
12.28125,1.06	13.61125,1.23	14.94125,1.53
12.305,1.06	13.635,1.24	14.965,1.53
12.32875,1.05	13.65875,1.24	14.98875,1.53
12.3525,1.04	13.6825,1.25	15.0125,1.52
12.37625,1.04	13.70625,1.26	15.03625,1.52
12.4,1.03	13.73,1.26	15.06,1.52
12.42375,1.03	13.75375,1.26	15.08375,1.52
12.4475,1.03	13.7775,1.27	15.1075,1.52
12.47125,1.02	13.80125,1.27	15.13125,1.52
12.495,1.02	13.825,1.28	15.155,1.51

15.17875,1.51	16.50875,2.04	17.83875,1.47
15.2025,1.51	16.5325,2.05	17.8625,1.46
15.22625,1.51	16.55625,2.05	17.88625,1.45
15.25,1.51	16.58,2.06	17.91,1.43
15.27375,1.53	16.60375,2.07	17.93375,1.40
15.2975,1.54	16.6275,2.07	17.9575,1.39
15.32125,1.54	16.65125,2.06	17.98125,1.37
15.345,1.55	16.675,2.07	18.005,1.35
15.36875,1.55	16.69875,2.06	18.02875,1.34
15.3925,1.56	16.7225,2.06	18.0525,1.32
15.41625,1.57	16.74625,2.06	18.07625,1.31
15.44,1.58	16.77,2.06	18.1,1.30
15.46375,1.58	16.79375,2.05	18.12375,1.29
15.4875,1.59	16.8175,2.05	18.1475,1.27
15.51125,1.60	16.84125,2.04	18.17125,1.26
15.535,1.61	16.865,2.03	18.195,1.25
15.55875,1.61	16.88875,2.03	18.21875,1.24
15.5825,1.62	16.9125,2.03	18.2425,1.22
15.60625,1.63	16.93625,2.01	18.26625,1.21
15.63,1.64	16.96,2.01	18.29,1.19
15.65375,1.65	16.98375,2.01	18.31375,1.18
15.6775,1.66	17.0075,1.99	18.3375,1.17
15.70125,1.67	17.03125,1.98	18.36125,1.16
15.725,1.69	17.055,1.97	18.385,1.16
15.74875,1.70	17.07875,1.96	18.40875,1.15
15.7725,1.72	17.1025,1.95	18.4325,1.15
15.79625,1.73	17.12625,1.94	18.45625,1.14
15.82,1.75	17.15,1.93	18.48,1.14
15.84375,1.76	17.17375,1.92	18.50375,1.13
15.8675,1.77	17.1975,1.91	18.5275,1.13
15.89125,1.78	17.22125,1.89	18.55125,1.13
15.915,1.80	17.245,1.88	18.575,1.13
15.93875,1.81	17.26875,1.86	1Yz8.59875,1.14
15.9625,1.83	17.2925,1.84	18.6225,1.14
15.98625,1.84	17.31625,1.83	18.64625,1.15
16.01,1.85	17.34,1.82	18.67,1.16
16.03375,1.85	17.36375,1.80	18.69375,1.17
16.0575,1.86	17.3875,1.78	18.7175,1.18
16.08125,1.88	17.41125,1.77	18.74125,1.19
16.105,1.90	17.435,1.75	18.765,1.21
16.12875,1.90	17.45875,1.73	18.78875,1.21
16.1525,1.92	17.4825,1.71	18.8125,1.22
16.17625,1.93	17.50625,1.69	18.83625,1.24
16.2,1.94	17.53,1.68	18.86,1.25
16.22375,1.95	17.55375,1.66	18.88375,1.27
16.2475,1.96	17.5775,1.65	18.9075,1.28
16.27125,1.97	17.60125,1.63	18.93125,1.30
16.295,1.98	17.625,1.61	18.955,1.31
16.31875,1.99	17.64875,1.60	18.97875,1.33
16.3425,2.00	17.6725,1.58	19.0025,1.34
16.36625,2.01	17.69625,1.56	19.02625,1.36
16.39,2.01	17.72,1.54	19.05,1.38
16.41375,2.02	17.74375,1.52	19.07375,1.39
16.4375,2.02	17.7675,1.51	19.0975,1.41
16.46125,2.03	17.79125,1.50	19.12125,1.42
16.485,2.04	17.815,1.49	19.145,1.43

19.16875,1.44	19.4775,1.50	19.78625,1.44
19.1925,1.45	19.50125,1.50	19.81,1.44
19.21625,1.46	19.525,1.50	19.83375,1.44
19.24,1.47	19.54875,1.50	19.8575,1.43
19.26375,1.47	19.5725,1.50	19.88125,1.42
19.2875,1.48	19.59625,1.50	19.905,1.41
19.31125,1.49	19.62,1.49	19.92875,1.41
19.335,1.49	19.64375,1.48	19.9525,1.40
19.35875,1.50	19.6675,1.48	19.97625,1.39
19.3825,1.50	19.69125,1.47	20,1.38
19.40625,1.51	19.715,1.46	
19.43,1.51	19.73875,1.45	
19.45375,1.51	19.7625,1.45	

- **Medición del Diagrama de Radiación**

A continuación, se detalla el reporte de la medición tanto del plano E (XY) y plano H (YZ), cuya medición se realiza a cada frecuencia de resonancia a lo largo del rango UWB.

- **Reporte de Medición Plano E – Frecuencia 3.63 GHz**

Theta [deg],dB(GainTotal) [] - Freq='3.630GHz' Phi='0deg'		
1,-0.30698868	31,2.483284915	61,0.371147381
2,-0.301307305	32,2.557771994	62,1.170071288
3,-1.280932803	33,2.620602352	63,0.960171483
4,-1.245770049	34,2.671822914	64,-0.259073957
5,-0.195723568	35,2.711533561	65,-0.488296842
6,-1.13073735	36,3.739877002	66,0.271753384
7,-0.050844208	37,2.757029701	67,0.020202364
8,-0.956218384	38,2.76319385	68,-1.243956019
9,0.15277546	39,2.758590388	69,-0.521866146
10,-0.724456597	40,3.743453013	70,-0.814816913
11,-0.588761227	41,3.71802315	71,-2.124247813
12,0.558757135	42,3.682545796	72,-2.451754774
13,-0.283249579	43,2.637266157	73,-1.799095481
14,-0.116341601	44,3.582426958	74,-3.168193421
15,1.057753733	45,3.518266316	75,-2.561139128
16,1.237195662	46,2.445016019	76,-3.980185755
17,1.420087003	47,2.362900063	77,-4.427733882
18,0.604529632	48,3.272133278	78,-3.906296653
19,0.788674564	49,3.172919863	79,-5.418430023
20,1.970764041	50,3.065451671	80,-4.96660218
21,2.149164292	51,1.949906066	81,-5.552958354
22,2.322388739	52,2.826443216	82,-7.178907871
23,1.489112238	53,2.695202689	83,-6.844413904
24,2.648177467	54,1.556299268	84,-8.546799245
25,2.79859485	55,2.409817907	85,-8.278803647
26,2.939537444	56,1.255807855	86,-10.02560094
27,3.070332146	57,1.094275931	87,-9.76070478
28,2.190448392	58,1.925179078	88,-10.44161305
29,2.299485332	59,0.748416276	89,-11.00822626
30,2.397158265	60,0.56382	90,-12.38986312

91,-15.07699809	147,4.276254072	203,3.344947248
92,-14.86951207	148,3.25341003	204,3.466759334
93,-14.30228548	149,4.21842354	205,2.581333321
94,-13.49865808	150,4.17130844	206,2.687870298
95,-11.58130752	151,3.112158831	207,2.785702627
96,-11.63643858	152,3.041160063	208,2.874288912
97,-9.713259036	153,2.958600075	209,3.953206706
98,-9.835639872	154,2.864880829	210,3.02214367
99,-9.012847367	155,3.760529488	211,4.0808878
100,-7.246505394	156,2.646208806	212,4.129317174
101,-7.534540692	157,2.522726073	213,3.16738959
102,-6.873277943	158,3.391039696	214,4.195132334
103,-5.258508285	159,2.252262396	215,4.212632269
104,-4.686012684	160,2.107659762	216,4.220026354
105,-5.15180231	161,1.958642871	217,4.217492681
106,-4.652214595	162,1.806753687	218,4.205242051
107,-4.183937532	163,1.653642187	219,4.183510119
108,-3.743999876	164,2.501034594	220,3.152550106
109,-3.329746726	165,2.350692845	221,3.112626061
110,-1.938810274	166,2.204366356	222,3.064006658
111,-2.569080574	167,1.063738339	223,4.006959481
112,-2.218678454	168,0.930370077	224,2.941745788
113,-1.885931413	169,0.805647575	225,2.86861567
114,-0.569352587	170,1.690735537	226,2.787803595
115,-0.267622602	171,0.586543535	227,3.699524236
116,0.02042605	172,1.493708361	228,3.603968557
117,-0.704177518	173,1.412594998	229,3.501300061
118,-0.440530916	174,0.343316545	230,3.391651143
119,-0.18784826	175,0.285771241	231,2.275119483
120,0.054548842	176,0.239692737	232,3.151764399
121,1.287239349	177,1.20470835	233,2.021603121
122,0.510710055	178,0.180399335	234,2.88460691
123,0.725362236	179,1.166357307	235,1.740697003
124,1.931517759	180,1.162231653	236,1.589740334
125,2.129424767	181,0.167763921	237,2.431545018
126,2.319263001	182,0.182806607	238,1.265855569
127,2.501148812	183,0.207325239	239,1.092347841
128,2.675139917	184,0.241384118	240,0.910623669
129,1.841239954	185,1.285117458	241,1.720205172
130,1.999402862	186,0.338688887	242,1.520528663
131,2.149537146	187,1.402243307	243,1.310938075
132,2.291510066	188,0.475855804	244,0.090677786
133,2.425151795	189,1.559482643	245,-0.141115364
134,2.550259597	190,1.652919158	246,-0.385421098
135,3.66660206	191,1.755768653	247,-0.643346106
136,2.773923443	192,1.867425169	248,-0.916136269
137,3.871948167	193,1.987071435	249,-0.205191251
138,2.960385494	194,2.113691621	250,-0.512082136
139,3.038934441	195,2.246097001	251,-0.838572992
140,3.107288955	196,1.382961453	252,-2.186647411
141,3.165143385	197,2.522863119	253,-2.558541329
142,3.212198312	198,1.664328422	254,-1.956783716
143,4.248166736	199,2.80587501	255,-2.384247016
144,3.272780699	200,1.946050927	256,-2.844209504
145,4.285798364	201,2.083468097	257,-3.340431847
146,3.287011592	202,2.216829145	258,-4.877249844

259,-4.45968386	294,0.338346077	329,3.566557914
260,-6.093561332	295,-0.41431379	330,2.498587217
261,-6.785638396	296,-0.180718926	331,3.420307475
262,-7.543682136	297,1.040295087	332,2.331719544
263,-7.376417518	298,0.249748464	333,3.232885334
264,-8.293109158	299,1.448525264	334,3.123940209
265,-10.30223606	300,0.637381353	335,3.005106136
266,-10.40800086	301,0.816952553	336,1.876705248
267,-11.60186988	302,0.98776314	337,2.739173442
268,-12.84368048	303,2.150234749	338,1.593073429
269,-15.02603848	304,2.304695677	339,1.439106552
270,-15.93470617	305,2.451390462	340,1.278122487
271,-16.28683325	306,2.590489597	341,2.111125757
272,-12.85428916	307,1.722099175	342,1.939277887
273,-11.33703762	308,2.846270251	343,1.76389387
274,-10.59680006	309,1.96300771	344,0.586431716
275,-9.743270194	310,2.072278455	345,0.408473991
276,-9.857130419	311,3.174018761	346,0.231700689
277,-8.986871633	312,2.268140673	347,1.057853468
278,-8.157556374	313,2.354537403	348,0.888692157
279,-7.380017783	314,3.433087707	349,0.725945589
280,-5.657254469	315,3.503659276	350,-0.42874008
281,-4.988245352	316,2.56611125	351,0.426148592
282,-4.370067108	317,3.620295954	352,-0.708051353
283,-3.799022117	318,2.666060038	353,0.169788047
284,-3.271219454	319,3.703245199	354,0.060567818
285,-2.782861385	320,2.731688682	355,-0.03503871
286,-3.33037404	321,2.751223775	356,-0.116569383
287,-1.910457241	322,2.761680505	357,-0.183741546
288,-1.520093739	323,2.762886742	358,-1.236409363
289,-2.156539315	324,3.754669897	359,-1.274515893
290,-0.817305055	325,3.736859384	360,-1.298046324
291,-0.500137636	326,2.709289997	0,-0.30698868
292,-0.203000397	327,2.671806326	
293,-0.924056422	328,2.624268297	

• **Reporte de Medición Plano E – Frecuencia 5.11 GHz**

Theta [deg],dB(GainTotal) [] - Freq='5.110GHz' Phi='0deg'		
1,2.236186961	17,5.647685754	33,4.48167174
2,3.281888872	18,4.797182732	34,4.333210234
3,2.348533473	19,4.928337545	35,4.18461992
4,2.435654495	20,6.039159749	36,4.039842313
5,3.542661756	21,6.128073566	37,4.902598676
6,2.668709235	22,6.193917872	38,3.776165755
7,3.812568082	23,5.235943691	39,3.663158177
8,2.972531107	24,6.253812556	40,4.565347513
9,4.146368086	25,6.24759795	41,4.48354658
10,3.331340342	26,6.21779084	42,3.417578829
11,3.524271382	27,5.165309107	43,4.366338201
12,3.721660698	28,5.091509352	44,3.32792875
13,4.919822354	29,4.9981981	45,3.299860272
14,4.115029181	30,5.887637835	46,3.279269687
15,5.303646524	31,4.762541612	47,4.263138696
16,4.482244779	32,4.626048561	48,4.248484648

49,3.23251069	105,-3.877395005	161,6.041378701
50,3.212710234	106,-3.36478785	162,4.941763576
51,3.186927699	107,-2.86100802	163,4.831494366
52,3.153381803	108,-2.36806929	164,4.71338699
53,4.110659508	109,-0.887720492	165,5.59044259
54,4.057688849	110,-0.421494399	166,4.465726661
55,3.993697947	111,-0.970746562	167,4.342226383
56,2.91816622	112,-0.536685458	168,4.222695187
57,2.83077241	113,0.879604776	169,4.109499009
58,3.731342908	114,0.277147932	170,4.004482678
59,3.619802888	115,0.655064727	171,3.908875754
60,2.496132044	116,1.012566494	172,3.82325396
61,3.360326201	117,2.348953019	173,3.747565281
62,2.212365597	118,2.663614148	174,4.681220331
63,3.05219032	119,1.956034934	175,4.623237033
64,1.879683053	120,2.225804231	176,3.572422386
65,1.694659027	121,2.47262673	177,3.527570408
66,2.496862866	122,2.696338524	178,4.48765536
67,1.285971881	123,3.896926311	179,4.452001946
68,1.061605322	124,3.074550321	180,4.420417884
69,1.823339161	125,4.229570918	181,4.393277762
70,1.570726214	126,4.362578617	182,3.371549825
71,1.303321723	127,4.474426792	183,4.356759677
72,0.020715074	128,4.566265778	184,4.35088769
73,0.722568946	129,4.639576114	185,4.356201474
74,0.408668055	130,4.696197544	186,4.375031928
75,0.078980627	131,4.738348913	187,3.409510947
76,-0.266263158	132,4.768632589	188,3.461299018
77,-0.626470352	133,4.790015704	189,3.53133847
78,-2.000555745	134,4.805779845	190,4.619669308
79,-2.386777131	135,4.819431639	191,3.725337126
80,-2.782530108	136,3.834569579	192,4.846407084
81,-2.184101804	137,3.854708067	193,4.980078544
82,-2.58639303	138,4.883067791	194,5.122877411
83,-3.982637397	139,3.922350955	195,4.270892586
84,-4.364176216	140,4.974528187	196,4.420021367
85,-3.720388628	141,5.040667897	197,5.566194751
86,-5.038916256	142,5.120836117	198,4.705564057
87,-4.306333154	143,5.214084712	199,5.834641259
88,-5.509352089	144,5.318530635	200,5.950394323
89,-4.636493005	145,5.431512902	201,6.050304471
90,-9.653148926	146,4.549801926	202,6.132394801
91,-9.612356682	147,4.669830727	203,5.195239784
92,-8.491840977	148,4.787919656	204,6.237963818
93,-8.295919326	149,4.900473552	205,6.260234903
94,-9.031185607	150,5.004139635	206,5.262257157
95,-8.705779162	151,6.095923139	207,6.244763541
96,-7.328617158	152,6.173264118	208,5.209007881
97,-6.908722814	153,6.234082506	209,6.1567531
98,-6.45472297	154,5.276799758	210,6.090250602
99,-6.974530397	155,5.300344918	211,5.012204056
100,-5.475186991	156,6.304151467	212,5.925709877
101,-4.962826714	157,6.288149382	213,4.834166893
102,-5.442716091	158,6.252754753	214,4.741149714
103,-3.919337519	159,6.198857332	215,4.65024467
104,-3.396490507	160,5.127804519	216,5.564853845

217,4.487980984	266,-6.594451628	315,4.463781636
218,4.42202098	267,-6.957517377	316,3.463546301
219,4.368579734	268,-7.23625957	317,3.472400288
220,4.328350878	269,-8.412358048	318,4.493106432
221,4.301069083	270,-8.472770074	319,3.528046015
222,5.285547439	271,-5.235595312	320,4.578982878
223,4.279791984	272,-5.964422333	321,3.646857327
224,4.281173989	273,-5.550934092	322,4.731642678
225,5.286633408	274,-4.038242493	323,4.832289311
226,4.292886221	275,-4.467634748	324,4.946766261
227,4.296613148	276,-2.872522347	325,5.072192492
228,4.294615058	277,-2.277035203	326,5.20503472
229,4.283928595	278,-1.697181897	327,5.34134
230,4.261902367	279,-1.142813321	328,4.476970934
231,5.226238492	280,-1.619477415	329,4.607817666
232,4.175006507	281,-1.12986349	330,5.729970637
233,5.106637041	282,0.32517445	331,5.839848141
234,5.019901963	283,0.745930112	332,5.934280627
235,4.913886455	284,1.133397627	333,5.010558685
236,4.787957071	285,0.488986856	334,5.066453857
237,3.641728586	286,1.814345078	335,5.100221495
238,3.475031369	287,1.111246598	336,6.110593807
239,4.287880248	288,2.381524696	337,5.096769489
240,4.080445237	289,2.627029109	338,6.058404583
241,2.853024145	290,1.849598058	339,4.995607409
242,2.606016874	291,3.051037697	340,4.908938894
243,3.339901124	292,3.233104473	341,4.799418074
244,3.055209234	293,2.397487686	342,5.668531133
245,1.752505958	294,3.545790926	343,5.518240769
246,2.432367172	295,3.679512112	344,5.35099113
247,1.095359653	296,2.800022782	345,5.169701996
248,1.742022406	297,2.908547968	346,3.977744623
249,0.372850278	298,3.006148583	347,4.778891182
250,-0.011718992	299,4.093708547	348,4.577230629
251,-0.411312681	300,4.171928988	349,4.377046791
252,0.174376173	301,3.241331633	350,3.182659882
253,-0.254401985	302,4.302273074	351,2.998240352
254,-1.697430277	303,4.354970881	352,2.827612573
255,-2.154483922	304,3.399541764	353,2.674073109
256,-1.625263838	305,4.43605108	354,3.540251217
257,-3.109296979	306,3.46457218	355,2.42803558
258,-3.605792572	307,4.48525327	356,2.338580609
259,-4.113440795	308,4.498388748	357,3.272390306
260,-4.630138264	309,4.504491187	358,2.229461751
261,-5.152625051	310,4.504359262	359,3.209458378
262,-4.676024666	311,3.499135888	360,2.211878433
263,-6.193298533	312,3.490349578	0,2.211878433
264,-5.694670685	313,3.479930885	
265,-7.167157571	314,4.470194972	

• **Reporte de Medición Plano E – Frecuencia 8.00 GHz**

Theta [deg],dB(GainTotal) [] - Freq='8.000GHz' Phi='0deg'

1,-5.183009872
2,-5.299009545

3,-0.418679679
4,-0.535321785

5,-4.641056345
6,-1.727562121

7,-5.787073953
8,-3.813486803
9,-1.80332013
10,-5.756278289
11,-3.675238206
12,-1.565675249
13,-5.434712373
14,-4.29006047
15,-2.13908779
16,-0.988157141
17,-0.84226402
18,-0.704937168
19,-1.578332476
20,-1.463449624
21,-2.360412364
22,-2.268766915
23,0.812236309
24,-3.116595394
25,-0.05457095
26,-4.001211951
27,-0.956266822
28,-2.919647563
29,-1.891303131
30,1.128949142
31,-3.858391951
32,-2.852339024
33,-0.851283594
34,0.147070038
35,-0.854318783
36,1.148042544
37,1.157936744
38,0.179092641
39,1.214775137
40,-0.732632692
41,0.338017022
42,-0.573582957
43,1.530763083
44,0.647894888
45,-3.226415
46,-2.097087258
47,2.030654745
48,2.151635814
49,-1.738993594
50,-1.645563975
51,-1.571771001
52,2.47937852
53,-2.494422536
54,2.505202781
55,-0.522713642
56,2.421480822
57,0.338024709
58,-0.772291975
59,-2.908163328
60,1.932192363
61,1.750983614
62,-2.449216814
63,1.334448125
64,1.105020512
65,-0.134389883
66,0.619264241
67,-0.6311657
68,-0.883147597
69,-5.134567164
70,-0.383787695
71,-4.629661423
72,-4.871489497
73,-6.108935165
74,-2.3419015
75,-2.570389413
76,-1.794353069
77,-3.013568453
78,-3.227527571
79,-3.435366631
80,-3.63583254
81,-6.827288493
82,-4.007756585
83,-4.174993057
84,-4.326589885
85,-7.460094876
86,-8.573141343
87,-6.663577857
88,-6.729588797
89,-3.769797332
90,-15.44413146
91,-16.00297632
92,-14.90167728
93,-16.52859734
94,-12.13781
95,-10.83482312
96,-9.648430814
97,-8.577279435
98,-6.610281532
99,-10.73440328
100,-4.937350838
101,-7.208324158
102,-7.53807793
103,-2.918763913
104,-4.343731867
105,-6.807351091
106,-6.304869672
107,-1.832311292
108,-1.386402964
109,-1.964525018
110,-1.564674472
111,-2.185433724
112,-3.825937946
113,-1.485836497
114,-3.165245812
115,-2.864693372
116,0.414945806
117,-2.327482585
118,1.90665743
119,1.115859567
120,1.298537682
121,1.453080988
122,-1.422099052
123,-1.328530356
124,3.732350253
125,-1.240779079
126,1.750893782
127,-1.293668799
128,-1.37533849
129,-1.49480336
130,3.347454155
131,2.151186221
132,0.916418089
133,-1.356501435
134,2.333164709
135,-3.013377594
136,1.605643436
137,1.192677805
138,-0.249022601
139,-2.715276859
140,-4.200856873
141,-0.699395687
142,-5.203343265
143,-3.703990856
144,-2.19157991
145,-3.65550119
146,-6.084578829
147,-5.467431504
148,-4.792917525
149,-4.050699901
150,-4.231987194
151,-5.330474726
152,-6.34340104
153,-9.272479881
154,-5.124373047
155,-4.91044279
156,-8.645765027
157,-7.347659572
158,-7.034134936
159,-2.722595568
160,-3.4289923
161,-6.167427168
162,-3.950120707
163,-4.787620137
164,-1.689143864
165,-5.662992865
166,-5.716995187
167,-1.858979761
168,-2.097300957
169,-2.441460492
170,-4.902905989
171,-8.496137873
172,-6.24035025
173,-5.162011322
174,-6.299148847

175,-9.70884461
176,-11.48089223
177,-14.76227116
178,-18.78380719
179,-21.63293516
180,-20.67207006
181,-17.52146077
182,-13.94435409
183,-11.24103
184,-12.19428987
185,-7.597046065
186,-7.321680098
187,-8.289478874
188,-9.44986612
189,-8.769009152
190,-7.223478859
191,-6.796539334
192,-3.475844679
193,-3.251913334
194,-6.117038281
195,-5.064434829
196,-7.087501915
197,-3.17911518
198,-2.330902141
199,-3.532488338
200,-4.77076539
201,-6.02933174
202,-8.288391504
203,-8.525513197
204,-5.71761371
205,-4.844166664
206,-5.890917851
207,-6.852715842
208,-4.734112289
209,-3.54739737
210,-4.309014443
211,-6.035856137
212,-6.742553048
213,-6.440094352
214,-5.135559521
215,-5.832554559
216,-6.531999027
217,-1.23303076
218,-0.933892413
219,-3.632718019
220,-3.328162509
221,-3.019833202
222,-2.708503423
223,-2.396117298
224,-3.085624678
225,1.219293711
226,-0.485454925
227,-1.20406921
228,0.059402099
229,2.301247738
230,0.518212609
231,-0.292442899
232,-1.132928797
233,-0.004942164
234,-1.909702318
235,-1.847995276
236,1.179778718
237,3.173558203
238,-1.866424243
239,1.060315812
240,-1.045525594
241,2.816919763
242,2.648652263
243,-1.549237644
244,-1.775614958
245,0.97064983
246,-2.309374559
247,0.385259006
248,0.055309994
249,-1.298720429
250,-1.676663615
251,-1.078760146
252,-2.505738347
253,-2.958894623
254,-1.440177006
255,-2.952275035
256,-3.498721357
257,-8.084012941
258,-6.713762358
259,-7.394891458
260,-9.135879236
261,-6.947067675
262,-6.841000207
263,-9.832678712
264,-8.93936778
265,-10.17883624
266,-14.56281767
267,-13.07676153
268,-15.6249778
269,-17.92218859
270,-20.46024725
271,-8.93421032
272,-6.928355499
273,-3.917582954
274,-4.900385577
275,-4.874754715
276,-4.838284816
277,-6.78831035
278,-8.722072618
279,-5.636909688
280,-5.530457661
281,-3.400846777
282,-3.246873177
283,-8.068127698
284,-7.86506743
285,-5.639023249
286,-3.392145462
287,-4.127297731
288,-1.847914834
289,-2.557841637
290,-4.261169176
291,-4.962080111
292,-4.664711316
293,-2.373037121
294,-2.090773417
295,-1.821300634
296,-3.567602484
297,-2.332216968
298,-3.117196424
299,1.075926045
300,-3.753834478
301,-3.606889731
302,-1.483057918
303,0.618449821
304,-1.300967825
305,-0.239315943
306,-1.194040467
307,-0.162096465
308,0.859945282
309,-0.124250839
310,1.88902411
311,-0.09669978
312,-2.078309883
313,-3.053339581
314,-2.020157595
315,2.02190871
316,-1.927466202
317,1.130442248
318,-2.806465692
319,-2.740932948
320,-2.676135547
321,0.384531254
322,-2.562348295
323,2.479962485
324,0.508496732
325,-0.479298354
326,1.514535036
327,0.488546619
328,2.441948449
329,0.374676018
330,0.287437798
331,-2.818253369
332,-2.94007803
333,-0.074951643
334,0.780874189
335,-2.368362376
336,0.481815379
337,-2.664194235
338,-1.802422416
339,-0.929664227
340,0.956264556
341,-0.143597919
342,0.770675262

343,-3.301913509	350,-4.586697176	357,-2.831286918
344,-1.362992396	351,-4.612577523	358,-4.899058672
345,-2.414486629	352,0.36178673	359,-2.980581405
346,-4.458316813	353,0.334789077	360,-3.075763745
347,-1.496186066	354,-0.695593835	0,-2.075763745
348,-4.529487643	355,-1.731732723	
349,-2.559335895	356,-4.776159885	

• **Reporte de Medición Plano H – Frecuencia 3.63 GHz**

Phi [deg],dB(GainTotal) [] - Freq='3.630GHz' Theta='45deg'

1,-1.301307305	45,2.445016019	89,-12.38986312
2,-1.280932803	46,3.362900063	90,-15.07699809
3,-1.245770049	47,3.272133278	91,-13.86951207
4,-1.195723568	48,2.172919863	92,-14.30228548
5,-1.13073735	49,2.065451671	93,-12.49865808
6,-0.050844208	50,2.949906066	94,-11.58130752
7,-0.956218384	51,2.826443216	95,-10.63643858
8,0.15277546	52,1.695202689	96,-10.71325904
9,-0.724456597	53,2.556299268	97,-9.835639872
10,-0.588761227	54,2.409817907	98,-9.012847367
11,-0.441242865	55,2.255807855	99,-7.246505394
12,0.716750421	56,1.094275931	100,-7.534540692
13,0.883658399	57,1.925179078	101,-5.873277943
14,1.057753733	58,1.748416276	102,-6.258508285
15,0.237195662	59,0.56382	103,-5.686012684
16,0.420087003	60,0.371147381	104,-4.15180231
17,0.604529632	61,0.170071288	105,-3.652214595
18,0.788674564	62,0.960171483	106,-4.183937532
19,1.970764041	63,0.740926043	107,-3.743999876
20,1.149164292	64,0.511703158	108,-2.329746726
21,2.322388739	65,-0.728246616	109,-2.938810274
22,2.489112238	66,-0.979797636	110,-1.569080574
23,2.648177467	67,-1.243956019	111,-1.218678454
24,2.79859485	68,-0.521866146	112,-1.885931413
25,2.939537444	69,-0.814816913	113,-0.569352587
26,3.070332146	70,-2.124247813	114,-1.267622602
27,2.190448392	71,-2.451754774	115,0.02042605
28,3.299485332	72,-1.799095481	116,0.295822482
29,3.397158265	73,-2.168193421	117,0.559469084
30,3.483284915	74,-2.561139128	118,0.81215174
31,3.557771994	75,-3.980185755	119,1.054548842
32,2.620602352	76,-4.427733882	120,1.287239349
33,2.671822914	77,-3.906296653	121,0.510710055
34,3.711533561	78,-5.418430023	122,1.725362236
35,2.739877002	79,-5.96660218	123,1.931517759
36,2.757029701	80,-5.552958354	124,2.129424767
37,2.76319385	81,-7.178907871	125,1.319263001
38,3.758590388	82,-6.844413904	126,2.501148812
39,3.743453013	83,-8.546799245	127,2.675139917
40,2.71802315	84,-8.278803647	128,1.841239954
41,2.682545796	85,-9.025600938	129,1.999402862
42,2.637266157	86,-9.76070478	130,3.149537146
43,2.582426958	87,-10.44161305	131,3.291510066
44,3.518266316	88,-12.00822626	132,2.425151795

133,2.550259597
134,3.66660206
135,3.773923443
136,2.871948167
137,2.960385494
138,3.038934441
139,4.107288955
140,4.165143385
141,3.212198312
142,4.248166736
143,3.272780699
144,3.285798364
145,4.287011592
146,4.276254072
147,3.25341003
148,4.21842354
149,3.17130844
150,4.112158831
151,4.041160063
152,3.958600075
153,3.864880829
154,3.760529488
155,3.646208806
156,2.522726073
157,2.391039696
158,3.252262396
159,2.107659762
160,2.958642871
161,1.806753687
162,1.653642187
163,2.501034594
164,2.350692845
165,2.204366356
166,2.063738339
167,0.930370077
168,1.805647575
169,0.690735537
170,0.586543535
171,1.493708361
172,0.412594998
173,0.343316545
174,1.285771241
175,1.239692737
176,1.20470835
177,1.180399335
178,1.166357307
179,0.162231653
180,1.167763921
181,0.182806607
182,0.207325239
183,1.241384118
184,1.285117458
185,0.338688887
186,1.402243307
187,0.475855804
188,0.559482643
189,1.652919158
190,1.755768653
191,0.867425169
192,1.987071435
193,2.113691621
194,1.246097001
195,2.382961453
196,2.522863119
197,2.664328422
198,2.80587501
199,1.946050927
200,2.083468097
201,2.216829145
202,3.344947248
203,3.466759334
204,3.581333321
205,3.687870298
206,2.785702627
207,3.874288912
208,3.953206706
209,3.02214367
210,3.0808878
211,3.129317174
212,4.16738959
213,4.195132334
214,4.212632269
215,3.220026354
216,3.217492681
217,4.205242051
218,4.183510119
219,3.152550106
220,4.112626061
221,4.064006658
222,3.006959481
223,3.941745788
224,3.86861567
225,3.787803595
226,2.699524236
227,3.603968557
228,3.501300061
229,3.391651143
230,2.275119483
231,3.151764399
232,3.021603121
233,1.88460691
234,1.740697003
235,1.589740334
236,2.431545018
237,1.265855569
238,2.092347841
239,0.910623669
240,1.720205172
241,0.520528663
242,0.310938075
243,1.090677786
244,-0.141115364
245,0.614578902
246,-0.643346106
247,-0.916136269
248,-1.205191251
249,-1.512082136
250,-1.838572992
251,-2.186647411
252,-2.558541329
253,-2.956783716
254,-2.384247016
255,-3.844209504
256,-3.340431847
257,-4.877249844
258,-4.45968386
259,-6.093561332
260,-5.785638396
261,-6.543682136
262,-8.376417518
263,-9.293109158
264,-9.302236059
265,-10.40800086
266,-11.60186988
267,-13.84368048
268,-15.02603848
269,-14.93470617
270,-16.28683325
271,-12.85428916
272,-11.33703762
273,-11.59680006
274,-9.743270194
275,-9.857130419
276,-7.986871633
277,-8.157556374
278,-6.380017783
279,-6.657254469
280,-4.988245352
281,-4.370067108
282,-4.799022117
283,-4.271219454
284,-3.782861385
285,-3.33037404
286,-1.910457241
287,-2.520093739
288,-2.156539315
289,-1.817305055
290,-0.500137636
291,-0.203000397
292,0.075943578
293,0.338346077
294,0.58568621
295,0.819281074
296,1.040295087
297,0.249748464
298,0.448525264
299,0.637381353
300,0.816952553

301,0.98776314	322,3.762886742	343,1.586431716
302,1.150234749	323,2.754669897	344,1.408473991
303,2.304695677	324,3.736859384	345,1.231700689
304,1.451390462	325,2.709289997	346,0.057853468
305,1.590489597	326,2.671806326	347,-0.111307843
306,2.722099175	327,3.624268297	348,0.725945589
307,2.846270251	328,2.566557914	349,-0.42874008
308,1.96300771	329,3.498587217	350,0.426148592
309,2.072278455	330,3.420307475	351,0.291948647
310,2.174018761	331,3.331719544	352,0.169788047
311,2.268140673	332,2.232885334	353,-0.939432182
312,2.354537403	333,3.123940209	354,-0.03503871
313,2.433087707	334,2.005106136	355,-0.116569383
314,2.503659276	335,2.876705248	356,-0.183741546
315,3.56611125	336,2.739173442	357,-0.236409363
316,3.620295954	337,2.593073429	358,-1.274515893
317,2.666060038	338,1.439106552	359,-0.298046324
318,3.703245199	339,2.278122487	360,-1.30698868
319,3.731688682	340,2.111125757	0,-0.30698868
320,2.751223775	341,1.939277887	
321,2.761680505	342,0.76389387	

• **Reporte de Medición Plano H – Frecuencia 5.11 GHz**

Phi [deg],dB(GainTotal) [] - Freq='3.630GHz' Theta='45deg'

1,-1.301307305	31,3.557771994	61,0.170071288
2,-1.280932803	32,2.620602352	62,0.960171483
3,-1.245770049	33,2.671822914	63,0.740926043
4,-1.195723568	34,3.711533561	64,0.511703158
5,-1.13073735	35,2.739877002	65,-0.728246616
6,-0.050844208	36,2.757029701	66,-0.979797636
7,-0.956218384	37,2.76319385	67,-1.243956019
8,0.15277546	38,3.758590388	68,-0.521866146
9,-0.724456597	39,3.743453013	69,-0.814816913
10,-0.588761227	40,2.71802315	70,-2.124247813
11,-0.441242865	41,2.682545796	71,-2.451754774
12,0.716750421	42,2.637266157	72,-1.799095481
13,0.883658399	43,2.582426958	73,-2.168193421
14,1.057753733	44,3.518266316	74,-2.561139128
15,0.237195662	45,2.445016019	75,-3.980185755
16,0.420087003	46,3.362900063	76,-4.427733882
17,0.604529632	47,3.272133278	77,-3.906296653
18,0.788674564	48,2.172919863	78,-5.418430023
19,1.970764041	49,2.065451671	79,-5.96660218
20,1.149164292	50,2.949906066	80,-5.552958354
21,2.322388739	51,2.826443216	81,-7.178907871
22,2.489112238	52,1.695202689	82,-6.844413904
23,2.648177467	53,2.556299268	83,-8.546799245
24,2.79859485	54,2.409817907	84,-8.278803647
25,2.939537444	55,2.255807855	85,-9.025600938
26,3.070332146	56,1.094275931	86,-9.76070478
27,2.190448392	57,1.925179078	87,-10.44161305
28,3.299485332	58,1.748416276	88,-12.00822626
29,3.397158265	59,0.56382	89,-12.38986312
30,3.483284915	60,0.371147381	90,-15.07699809

91,-13.86951207	147,3.25341003	203,3.466759334
92,-14.30228548	148,4.21842354	204,3.581333321
93,-12.49865808	149,3.17130844	205,3.687870298
94,-11.58130752	150,4.112158831	206,2.785702627
95,-10.63643858	151,4.041160063	207,3.874288912
96,-10.71325904	152,3.958600075	208,3.953206706
97,-9.835639872	153,3.864880829	209,3.02214367
98,-9.012847367	154,3.760529488	210,3.0808878
99,-7.246505394	155,3.646208806	211,3.129317174
100,-7.534540692	156,2.522726073	212,4.16738959
101,-5.873277943	157,2.391039696	213,4.195132334
102,-6.258508285	158,3.252262396	214,4.212632269
103,-5.686012684	159,2.107659762	215,3.220026354
104,-4.15180231	160,2.958642871	216,3.217492681
105,-3.652214595	161,1.806753687	217,4.205242051
106,-4.183937532	162,1.653642187	218,4.183510119
107,-3.743999876	163,2.501034594	219,3.152550106
108,-2.329746726	164,2.350692845	220,4.112626061
109,-2.938810274	165,2.204366356	221,4.064006658
110,-1.569080574	166,2.063738339	222,3.006959481
111,-1.218678454	167,0.930370077	223,3.941745788
112,-1.885931413	168,1.805647575	224,3.86861567
113,-0.569352587	169,0.690735537	225,3.787803595
114,-1.267622602	170,0.586543535	226,2.699524236
115,0.02042605	171,1.493708361	227,3.603968557
116,0.295822482	172,0.412594998	228,3.501300061
117,0.559469084	173,0.343316545	229,3.391651143
118,0.81215174	174,1.285771241	230,2.275119483
119,1.054548842	175,1.239692737	231,3.151764399
120,1.287239349	176,1.20470835	232,3.021603121
121,0.510710055	177,1.180399335	233,1.88460691
122,1.725362236	178,1.166357307	234,1.740697003
123,1.931517759	179,0.162231653	235,1.589740334
124,2.129424767	180,1.167763921	236,2.431545018
125,1.319263001	181,0.182806607	237,1.265855569
126,2.501148812	182,0.207325239	238,2.092347841
127,2.675139917	183,1.241384118	239,0.910623669
128,1.841239954	184,1.285117458	240,1.720205172
129,1.999402862	185,0.338688887	241,0.520528663
130,3.149537146	186,1.402243307	242,0.310938075
131,3.291510066	187,0.475855804	243,1.090677786
132,2.425151795	188,0.559482643	244,-0.141115364
133,2.550259597	189,1.652919158	245,0.614578902
134,3.66660206	190,1.755768653	246,-0.643346106
135,3.773923443	191,0.867425169	247,-0.916136269
136,2.871948167	192,1.987071435	248,-1.205191251
137,2.960385494	193,2.113691621	249,-1.512082136
138,3.038934441	194,1.246097001	250,-1.838572992
139,4.107288955	195,2.382961453	251,-2.186647411
140,4.165143385	196,2.522863119	252,-2.558541329
141,3.212198312	197,2.664328422	253,-2.956783716
142,4.248166736	198,2.80587501	254,-2.384247016
143,3.272780699	199,1.946050927	255,-3.844209504
144,3.285798364	200,2.083468097	256,-3.340431847
145,4.287011592	201,2.216829145	257,-4.877249844
146,4.276254072	202,3.344947248	258,-4.45968386

259,-6.093561332	294,0.58568621	329,3.498587217
260,-5.785638396	295,0.819281074	330,3.420307475
261,-6.543682136	296,1.040295087	331,3.331719544
262,-8.376417518	297,0.249748464	332,2.232885334
263,-9.293109158	298,0.448525264	333,3.123940209
264,-9.302236059	299,0.637381353	334,2.005106136
265,-10.40800086	300,0.816952553	335,2.876705248
266,-11.60186988	301,0.98776314	336,2.739173442
267,-13.84368048	302,1.150234749	337,2.593073429
268,-15.02603848	303,2.304695677	338,1.439106552
269,-14.93470617	304,1.451390462	339,2.278122487
270,-16.28683325	305,1.590489597	340,2.111125757
271,-12.85428916	306,2.722099175	341,1.939277887
272,-11.33703762	307,2.846270251	342,0.76389387
273,-11.59680006	308,1.96300771	343,1.586431716
274,-9.743270194	309,2.072278455	344,1.408473991
275,-9.857130419	310,2.174018761	345,1.231700689
276,-7.986871633	311,2.268140673	346,0.057853468
277,-8.157556374	312,2.354537403	347,-0.111307843
278,-6.380017783	313,2.433087707	348,0.725945589
279,-6.657254469	314,2.503659276	349,-0.42874008
280,-4.988245352	315,3.56611125	350,0.426148592
281,-4.370067108	316,3.620295954	351,0.291948647
282,-4.799022117	317,2.666060038	352,0.169788047
283,-4.271219454	318,3.703245199	353,-0.939432182
284,-3.782861385	319,3.731688682	354,-0.03503871
285,-3.33037404	320,2.751223775	355,-0.116569383
286,-1.910457241	321,2.761680505	356,-0.183741546
287,-2.520093739	322,3.762886742	357,-0.236409363
288,-2.156539315	323,2.754669897	358,-1.274515893
289,-1.817305055	324,3.736859384	359,-0.298046324
290,-0.500137636	325,2.709289997	360,-1.30698868
291,-0.203000397	326,2.671806326	0,-0.30698868
292,0.075943578	327,3.624268297	
293,0.338346077	328,2.566557914	

• **Reporte de Medición Plano H – Frecuencia 8.00 GHz**

Phi [deg],dB(GainTotal) [] - Freq='8.000GHz' Theta='45deg'

1,-1.011649593	17,0.428405851	33,4.382894353
2,-0.815044961	18,0.462793505	34,4.498069673
3,-1.637097856	19,0.49863762	35,1.623669092
4,-2.477766169	20,0.536513938	36,3.759311601
5,-0.336573309	21,0.57681325	37,3.90411478
6,-0.212691154	22,-0.380208038	38,2.056718021
7,-0.105006719	23,-1.334363824	39,2.215349784
8,-0.012177615	24,0.714532626	40,2.377928645
9,0.067319145	25,1.766738314	41,2.542183775
10,0.135141153	26,-0.17735993	42,2.705779445
11,1.193034529	27,2.882795458	43,2.866429923
12,2.242785955	28,1.947947651	44,3.021994685
13,3.286172293	29,4.019008996	45,6.170548147
14,-1.675091304	30,4.097011133	46,2.310422081
15,3.360597502	31,3.183023554	47,6.440222035
16,0.394681487	32,2.278047205	48,4.558821142

49,3.665335895	105,0.771054586	161,1.813890004
50,5.759088865	106,-0.948492569	162,3.738832678
51,2.839563359	107,4.345502756	163,4.662439481
52,4.906354664	108,4.647658131	164,4.583569286
53,1.959122071	109,2.952860412	165,-0.49898647
54,1.997545269	110,3.256484474	166,2.413511881
55,4.021288052	111,3.554516035	167,3.319771627
56,5.029971498	112,4.843595732	168,4.218489172
57,4.023158044	113,3.121005967	169,3.108372183
58,4.000347068	114,3.384620827	170,-1.011838694
59,3.960981921	115,3.632835569	171,1.856650955
60,3.904467746	116,3.864487633	172,-1.287290667
61,3.830199111	117,4.078777134	173,2.555298573
62,3.737596285	118,2.275191748	174,-1.616503411
63,3.626149081	119,2.453438759	175,3.196522945
64,3.495467402	120,7.613385699	176,-0.006228205
65,3.345337915	121,2.7550103	177,-0.225144341
66,4.175786539	122,7.878360003	178,-1.46033546
67,0.987146492	123,2.983521106	179,-2.711554428
68,5.780131364	124,4.070597464	180,-1.97809129
69,4.555911798	125,5.139698505	181,0.741363726
70,1.316192768	126,7.190936168	182,-1.551108043
71,0.063285815	127,6.224430101	183,-3.852448166
72,1.800166963	128,4.240320267	184,-2.15839181
73,2.530506556	129,7.238785764	185,-0.463240348
74,1.25865273	130,4.220068468	186,0.240314411
75,0.989547176	131,4.184499821	187,-2.038766088
76,1.72855288	132,3.132528921	188,-4.290064738
77,-1.518818469	133,7.064749855	189,-0.50226354
78,-0.747274462	134,3.981926094	190,-2.664125814
79,-1.952174796	135,3.885009688	191,-2.765854716
80,0.870029759	136,2.775152934	192,-4.800595762
81,-2.278569151	137,2.653710313	193,-5.765692557
82,1.602447115	138,2.522228741	194,-1.663289367
83,1.511813103	139,5.382424713	195,-5.500063275
84,0.446781111	140,4.23614775	196,-3.28618225
85,-1.596503125	141,7.085330761	197,-3.03384262
86,-0.622522758	142,5.931929407	198,-2.755806135
87,-1.635890177	143,1.777854168	199,-2.464242059
88,2.359108815	144,6.6249003	200,-2.169994162
89,0.358886982	145,5.474681875	201,-1.882241481
90,-0.639170667	146,3.328576265	202,-0.608446905
91,-2.636528377	147,2.187684618	203,1.64552301
92,-1.633405997	148,6.052811984	204,1.875200831
93,1.371238642	149,5.924468162	205,0.077306042
94,2.379653491	150,5.802887449	206,2.249553311
95,-0.60484343	151,2.688062968	207,-1.609502073
96,-2.578089434	152,5.579789554	208,-2.500576122
97,-1.535400124	153,3.477708615	209,1.576274029
98,-0.471985548	154,2.381348999	210,-1.378380947
99,-0.383433304	155,2.290159369	211,-1.36333967
100,0.733794428	156,2.203529663	212,0.623260905
101,-0.118075658	157,2.120801279	213,1.583996774
102,2.061574549	158,4.04126753	214,0.522217702
103,0.271654226	159,0.964167185	215,-2.557897879
104,-0.490523242	160,4.888674611	216,-2.651315567

217,2.247826491	266,-3.782402569	315,-1.000820555
218,0.146100398	267,-3.97427935	316,-0.989176711
219,2.050551374	268,-4.139280095	317,-2.955976845
220,-2.031677853	269,-4.272580041	318,-0.90385124
221,-0.093852117	270,-4.369970032	319,2.163496387
222,-0.130229063	271,-6.428235811	320,-1.758385799
223,1.863366689	272,-6.445479995	321,1.325643717
224,-1.110903647	273,-3.421323022	322,2.410630535
225,-1.053108295	274,-3.356939779	323,0.491774663
226,-0.965473815	275,-6.254924167	324,0.564609052
227,-0.852046376	276,-6.119012334	325,-0.37489036
228,-2.718169409	277,-2.953722699	326,1.669749009
229,-2.569893422	278,-1.763979193	327,2.695509309
230,2.5865746	279,-2.554774065	328,1.699869912
231,0.745310505	280,-3.33090572	329,-0.319216844
232,2.900972356	281,-5.09680445	330,-1.363351206
233,1.048965834	282,0.143558932	331,2.566295306
234,0.185501431	283,-1.613302918	332,-1.531025649
235,2.307575533	284,0.62958218	333,-1.655626574
236,-0.587094904	285,-3.130407236	334,-1.807348777
237,3.499839176	286,-3.895553051	335,1.014499785
238,1.567263465	287,-1.667866321	336,-2.188762841
239,-1.385492169	288,-1.449150066	337,-2.415066984
240,3.641262269	289,-1.24105134	338,0.338566767
241,-0.352496386	290,-1.045100231	339,0.07621173
242,-0.366566589	291,-0.86273515	340,0.803228098
243,0.599426346	292,1.304685064	341,-3.473569603
244,0.545988103	293,0.455881025	342,-4.745828113
245,0.473721404	294,2.589663186	343,-3.003736768
246,0.383299017	295,0.704951194	344,-3.236372309
247,0.275442703	296,1.800800853	345,-3.432389062
248,-1.849092686	297,-0.123562384	346,-3.581066786
249,1.010469507	298,0.931295802	347,-3.673599778
250,-2.145079158	299,2.965063002	348,-3.704361464
251,-0.314934667	300,0.977729195	349,-2.671793345
252,0.501721802	301,-0.030360009	350,-4.578628987
253,0.305731682	302,1.941552853	351,-0.431375039
254,2.097973132	303,1.894694192	352,-3.239226106
255,-3.1206175	304,2.830813641	353,-2.012748388
256,0.65098418	305,-2.247770459	354,0.23733722
257,1.413929788	306,-0.338143092	355,-0.49893508
258,1.169547149	307,-1.43679395	356,-4.230231903
259,-2.080601209	308,-1.539662473	357,-2.963694476
260,-3.334651613	309,-2.642241608	358,0.295063087
261,-1.590368365	310,-0.739752475	359,0.541824717
262,-3.845074588	311,-0.827394184	360,-3.226415
263,-3.095594337	312,-0.900659121	0,-2.963694476
264,-1.338219392	313,-0.955685976	
265,-5.568717725	314,-0.989605104	

- *Medición de Parámetros S con el VNA KeySight*

14029970,0.045511670218974	616028680,-1.41517647675104
28029940,0.16149703276052	630028650,-1.32101899688015
42029910,0.17542700683836	644028620,-1.36064184065956
56029880,0.0661510141775768	658028590,-1.55327564064756
70029850,-0.309057111042584	672028560,-1.79370368785707
84029820,-0.308082222164612	686028530,-2.01433781567692
98029790,-0.329041638503992	700028500,-2.00038760132483
112029760,-0.239442582286744	714028470,-1.86366685169544
126029730,-0.114628637571186	728028440,-1.95602863897308
140029700,-0.0628944299919363	742028410,-2.07892292334526
154029670,-0.151796326089539	756028380,-2.15818214884761
168029640,-0.365428963975991	770028350,-2.23319681942492
182029610,-0.592611722173511	784028320,-2.31982721587735
196029580,-0.650702501246822	798028290,-2.27153903367794
210029550,-0.561661352075122	812028260,-2.272991198847
224029520,-0.410152888025905	826028230,-2.32389847440817
238029490,-0.305427290754899	840028200,-2.55258848717531
252029460,-0.373835805265431	854028170,-2.94475292281185
266029430,-0.561067351255794	868028140,-3.29010340250946
280029400,-0.721286347248594	882028110,-3.41850322288241
294029370,-0.814495171843405	896028080,-3.29018100566841
308029340,-0.796749738005944	910028050,-3.02949900608031
322029310,-0.64035171208105	924028020,-2.84568517005967
336029280,-0.576966664509815	938027990,-2.99857433264218
350029250,-0.635577711856664	952027960,-3.51385633087358
364029220,-0.889735662550102	966027930,-4.11959444894794
378029190,-1.03291537759969	980027900,-4.57149562433446
392029160,-1.0622550521404	994027870,-4.43485519450562
406029130,-1.00179649225574	1008027840,-4.07476275773237
420029100,-0.849460025441422	1022027810,-3.87925527439723
434029070,-0.776860489396376	1036027780,-3.88726596115698
448029040,-0.902207878852618	1050027750,-4.05891431973094
462029010,-1.19534070013977	1064027720,-4.4512306308421
476028980,-1.35577716800657	1078027690,-4.74162218427087
490028950,-1.26060553895999	1092027660,-4.69777913093144
504028920,-1.05331347660946	1106027630,-4.48064991304487
518028890,-0.874844354740139	1120027600,-4.32839694930444
532028860,-0.802646309388275	1134027570,-4.31889088327645
546028830,-0.909596771649932	1148027540,-4.31400040364504
560028800,-1.20864967082487	1162027510,-4.43695388710222
574028770,-1.5388265788714	1176027480,-4.67237604857984
588028740,-1.63702755200611	1190027450,-4.65493162767059
602028710,-1.54648139443671	1204027420,-4.48157093591433

1218027390,-4.29154777964863
1232027360,-4.27352381772537
1246027330,-4.35003766334947
1260027300,-4.55273951329952
1274027270,-4.69867847606614
1288027240,-4.6275443382439
1302027210,-4.39458693076541
1316027180,-4.15895736863069
1330027150,-4.11030852933535
1344027120,-4.29391480796185
1358027090,-4.61923048801067
1372027060,-4.80738747903979
1386027030,-4.78876432083353
1400027000,-4.55129304837647
1414026970,-4.25020623676918
1428026940,-4.01203639463988
1442026910,-4.10146881333802
1456026880,-4.3762480359731
1470026850,-4.63761061956904
1484026820,-4.61987097167618
1498026790,-4.42247753844459
1512026760,-4.1464393146809
1526026730,-3.96898267721832
1540026700,-3.99503746805923
1554026670,-4.2710674898565
1568026640,-4.55007175411509
1582026610,-4.71213685259767
1596026580,-4.66877039335935
1610026550,-4.45739383200532
1624026520,-4.33591179259919
1638026490,-4.33981202965156
1652026460,-4.45122002071742
1666026430,-4.57966316939953
1680026400,-4.60730566481054
1694026370,-4.47198494330865
1708026340,-4.29677483449941
1722026310,-4.23005370768105
1736026280,-4.36253133329404
1750026250,-4.59552700057777
1764026220,-4.79299643067283
1778026190,-4.80537165783029
1792026160,-4.61612190152482
1806026130,-4.35156315907184
1820026100,-4.21452466934082
1834026070,-4.32373722039494
1848026040,-4.57173561451904
1862026010,-4.80650047880551
1876025980,-4.85981834759908
1890025950,-4.69335509704918
1904025920,-4.43211937982987
1918025890,-4.27080871005998
1932025860,-4.30737262502701
1946025830,-4.52659631584352
1960025800,-4.74655272827343
1974025770,-4.78660928196509
1988025740,-4.61509762835943
2002025710,-4.39489946422628
2016025680,-4.21295132857111
2030025650,-4.22045569417998
2044025620,-4.39578052990373
2058025590,-4.57267169442212
2072025560,-4.63699056679405
2086025530,-4.52834040977741
2100025500,-4.30894317675561
2114025470,-4.14387431657212
2128025440,-4.16863664204102
2142025410,-4.32818123305082
2156025380,-4.52129651839844
2170025350,-4.5821507067507
2184025320,-4.44526565784036
2198025290,-4.20595186227879
2212025260,-4.00677967521591
2226025230,-3.98976112263423
2240025200,-4.13539840168298
2254025170,-4.27249125177102
2268025140,-4.33216264989294
2282025110,-4.20552811930914
2296025080,-3.99968257845211
2310025050,-3.84900287803072
2324025020,-3.85686943248626
2338024990,-4.04729490811517
2352024960,-4.1902146279332
2366024930,-4.25719683276328
2380024900,-4.13351404673569
2394024870,-3.91024366118524
2408024840,-3.77359267751393

2422024810,-3.82034242495599	3024023520,-9.05063021462315
2436024780,-3.97526832487777	3038023490,-9.66306625151499
2450024750,-4.18784260547933	3052023460,-10.1648130987578
2464024720,-4.25711157181949	3066023430,-10.2447313472902
2478024690,-4.18493264425541	3080023400,-10.0981480686669
2492024660,-3.9823572321344	3094023370,-9.92320100170287
2506024630,-3.88442782798231	3108023340,-10.0937437157814
2520024600,-3.97786582822037	3122023310,-10.4716813095895
2534024570,-4.25479726483885	3136023280,-10.8613951200438
2548024540,-4.62680306559709	3150023250,-11.0269435042998
2562024510,-4.84733000445052	3164023220,-10.7915056101137
2576024480,-4.87296814468119	3178023190,-10.4717195770073
2590024450,-4.74013786786347	3192023160,-10.2540351595604
2604024420,-4.65430770701163	3206023130,-10.389402136196
2618024390,-4.75915292036146	3220023100,-10.7322162817258
2632024360,-5.05811610509398	3234023070,-11.1803158774251
2646024330,-5.4355343442051	3248023040,-11.2348435542551
2660024300,-5.74581432456477	3262023010,-10.9570665276514
2674024270,-5.88042564088163	3276022980,-10.6625008363327
2688024240,-5.80981047919033	3290022950,-10.5576551357119
2702024210,-5.79265175595001	3304022920,-10.7867909353923
2716024180,-5.97369454572707	3318022890,-11.2989327997068
2730024150,-6.34470570523534	3332022860,-11.817282321765
2744024120,-6.75147076991761	3346022830,-11.8059805190807
2758024090,-7.00481094533795	3360022800,-11.3530357015822
2772024060,-7.03489350154969	3374022770,-10.7960710080418
2786024030,-6.91496891860264	3388022740,-10.5010851859854
2800024000,-6.87661930066202	3402022710,-10.6157133504574
2814023970,-7.04884135002828	3416022680,-11.1233568249603
2828023940,-7.44514400766564	3430022650,-11.8529420448967
2842023910,-7.89291167192855	3444022620,-12.1928438260276
2856023880,-8.17385945280853	3458022590,-11.9660769236729
2870023850,-8.12567244453438	3472022560,-11.3533401049431
2884023820,-7.96398713352283	3486022530,-10.9548429215189
2898023790,-7.90852786823058	3500022500,-10.9159059036934
2912023760,-8.12603469650246	3514022470,-11.3284511447312
2926023730,-8.58768773525867	3528022440,-12.0977347008292
2940023700,-9.1171515770535	3542022410,-12.7674639748807
2954023670,-9.3122561701134	3556022380,-12.8019421779751
2968023640,-9.14286133308801	3570022350,-12.2796562801736
2982023610,-8.7266968073871	3584022320,-11.7119333235631
2996023580,-8.49299180598342	3598022290,-11.3129992824209
3010023550,-8.61285429555121	3612022260,-11.3650661795266

3626022230,-11.6397013726989
3640022200,-11.97540521287
3654022170,-12.05819005875
3668022140,-11.7825731875056
3682022110,-11.443305778859
3696022080,-11.2493711605075
3710022050,-11.4233049241976
3724022020,-11.7895866280429
3738021990,-12.1754147919035
3752021960,-12.1307889662949
3766021930,-11.7686037828221
3780021900,-11.2769088875691
3794021870,-11.0184935845316
3808021840,-11.0532881538553
3822021810,-11.2855900681579
3836021780,-11.6305469648217
3850021750,-11.7242435679481
3864021720,-11.3407153210864
3878021690,-10.842096853516
3892021660,-10.4661718541742
3906021630,-10.4414665240482
3920021600,-10.6490338340185
3934021570,-10.9795768497814
3948021540,-11.0877363017556
3962021510,-10.8602827748832
3976021480,-10.4028343463074
3990021450,-10.96940039706236
4004021420,-10.86553923958345
4018021390,-10.0065468981612
4032021360,-10.2833475677232
4046021330,-10.4952878654525
4060021300,-10.4272579608904
4074021270,-10.1037222927212
4088021240,-10.74632950899444
4102021210,-10.61247718241644
4116021180,-10.76467292374433
4130021150,-10.1378100889622
4144021120,-10.4140652078848
4158021090,-10.3698863672825
4172021060,-10.0383767234903
4186021030,-10.74292392536183
4200021000,-10.6674441328934
4214020970,-10.88836339523386
4228020940,-10.3626280881617
4242020910,-10.7749247689291
4256020880,-10.8301993005318
4270020850,-10.4615114678894
4284020820,-10.0786602098646
4298020790,-10.90857644763991
4312020760,-10.161118194282
4326020730,-10.7292825924032
4340020700,-11.3566020420283
4354020670,-11.6402240540544
4368020640,-11.5032644451109
4382020610,-11.0805773193564
4396020580,-10.8263783052981
4410020550,-10.9040401867067
4424020520,-11.3697793350114
4438020490,-12.0644109519645
4452020460,-12.6979154824683
4466020430,-12.8821486716776
4480020400,-12.8724977005032
4494020370,-12.859192090569
4508020340,-13.0731997301894
4522020310,-13.546723916549
4536020280,-14.1641141119582
4550020250,-14.5183913523021
4564020220,-14.6988162114808
4578020190,-14.8034149420369
4592020160,-14.9316045958174
4606020130,-15.5784447800123
4620020100,-16.3691183448939
4634020070,-17.0291857090965
4648020040,-17.379027424759
4662020010,-17.3624329902028
4676019980,-17.2715380363673
4690019950,-17.5797681504315
4704019920,-18.5452846341642
4718019890,-20.432575272738
4732019860,-22.9110768234382
4746019830,-24.0053939259216
4760019800,-22.878277752342
4774019770,-21.57486337367
4788019740,-20.9351940986148
4802019710,-21.2497572350511
4816019680,-22.7772799568412

4830019650,-25.938127487018	5432018360,-28.6618509327493
4844019620,-31.2237170010928	5446018330,-31.8578471614494
4858019590,-33.1142995726899	5460018300,-37.200448316773
4872019560,-28.2977742809016	5474018270,-36.8954610122884
4886019530,-24.9515270147989	5488018240,-33.1974445405531
4900019500,-23.4660149769064	5502018210,-32.2110609773216
4914019470,-23.1105926566973	5516018180,-33.0642142539006
4928019440,-23.7826316591795	5530018150,-30.9156938067151
4942019410,-25.2978788958279	5544018120,-27.9284491213728
4956019380,-28.89327716486	5558018090,-25.2255055453546
4970019350,-32.831625358298	5572018060,-23.702208842093
4984019320,-29.7353842752058	5586018030,-24.2163636099277
4998019290,-25.4084172091834	5600018000,-25.9648459662741
5012019260,-23.3787292260813	5614017970,-29.7930387171232
5026019230,-22.5449910730588	5628017940,-29.2370478300089
5040019200,-22.8204835460652	5642017910,-24.5072641869693
5054019170,-24.5388480468918	5656017880,-21.1503329449736
5068019140,-27.2576408791746	5670017850,-19.5422218079197
5082019110,-28.649252412559	5684017820,-19.2502784261549
5096019080,-27.1176923852886	5698017790,-20.4690113550008
5110019050,-25.0802119701581	5712017760,-22.8361476611779
5124019020,-24.0972888945981	5726017730,-24.8232740349631
5138018990,-24.3082565714383	5740017700,-22.5868703884112
5152018960,-25.43748894529	5754017670,-19.2623358930967
5166018930,-27.3699954695583	5768017640,-17.3217725581832
5180018900,-27.9139231140467	5782017610,-16.371014781786
5194018870,-26.4432706619272	5796017580,-16.3472449616829
5208018840,-24.1728391907855	5810017550,-17.0775091009875
5222018810,-23.0289312765458	5824017520,-18.0144036087828
5236018780,-22.9864508162233	5838017490,-18.3926529549956
5250018750,-24.0792342054345	5852017460,-17.8412690402604
5264018720,-25.2743628610332	5866017430,-16.7328966223242
5278018690,-25.7589459246543	5880017400,-15.916871528482
5292018660,-24.5991570767434	5894017370,-15.787365641694
5306018630,-23.9280256176852	5908017340,-15.648106446345
5320018600,-23.6614884928904	5922017310,-15.5284040120327
5334018570,-24.402191523289	5936017280,-15.0882102177669
5348018540,-27.2266297473285	5950017250,-14.7316334202054
5362018510,-32.7982220490162	5964017220,-14.6040363064819
5376018480,-44.3057239093457	5978017190,-14.8390192524038
5390018450,-32.7538262369201	5992017160,-15.3950979563898
5404018420,-28.4039174486489	6006017130,-16.0159028746089
5418018390,-27.630208307535	6020017100,-15.8512686764811

6034017070,-14.8151298977607
6048017040,-13.8452741422423
6062017010,-13.3552167979896
6076016980,-13.5371644838828
6090016950,-14.4051418687673
6104016920,-15.599050453741
6118016890,-16.1366416439802
6132016860,-15.1992486290935
6146016830,-13.9036937812927
6160016800,-12.9396248581833
6174016770,-12.763925917108
6188016740,-13.4078088769436
6202016710,-14.9891597052195
6216016680,-16.6004195558413
6230016650,-16.5903284469451
6244016620,-14.9879890213305
6258016590,-13.5957509983287
6272016560,-12.9689920794485
6286016530,-13.1999574909777
6300016500,-14.369764710034
6314016470,-16.6250395257728
6328016440,-18.7447296821653
6342016410,-18.3166789484146
6356016380,-16.494407318407
6370016350,-15.1434478263541
6384016320,-14.8821313203519
6398016290,-15.6087981588581
6412016260,-17.0979789034685
6426016230,-18.8315832822868
6440016200,-19.2611431469805
6454016170,-18.3846411248233
6468016140,-17.4699586367664
6482016110,-17.4100925503046
6496016080,-18.3704059253918
6510016050,-20.5506082722521
6524016020,-23.0688591194203
6538015990,-24.1393768119066
6552015960,-22.3389909024611
6566015930,-20.7956617942935
6580015900,-20.5268757627872
6594015870,-21.5064272368009
6608015840,-23.2524164355313
6622015810,-25.8905947058846
6636015780,-27.9013065276539
6650015750,-29.194069238667
6664015720,-30.9255466866956
6678015690,-34.4074863597162
6692015660,-37.1382123464266
6706015630,-31.0802335567263
6720015600,-27.6867471664012
6734015570,-26.6085814162237
6748015540,-27.3878774936055
6762015510,-29.3498910065139
6776015480,-26.8601942000949
6790015450,-22.6752671016387
6804015420,-19.9566977177624
6818015390,-18.4912974000339
6832015360,-18.6008199264374
6846015330,-20.4171387911241
6860015300,-24.220991149567
6874015270,-25.1096044697175
6888015240,-20.0956042490014
6902015210,-16.6110195159346
6916015180,-14.6789395997402
6930015150,-13.9932833566307
6944015120,-14.5400989460234
6958015090,-16.4234376136846
6972015060,-19.3912943915762
6986015030,-19.9435757862106
7000015000,-16.7551562272628
7014014970,-14.1937041331055
7028014940,-12.8841448404997
7042014910,-12.6661859736321
7056014880,-13.4005056267333
7070014850,-14.966076751777
7084014820,-16.1543281530635
7098014790,-15.2586155386107
7112014760,-13.3114232396492
7126014730,-11.8023758337409
7140014700,-11.1624462036968
7154014670,-11.2771992543303
7168014640,-12.045369272695
7182014610,-13.2045332330506
7196014580,-14.034810467474
7210014550,-13.9293617764239
7224014520,-13.1232142880866

7238014490,-12.2578667516465	7840013200,-12.5780619014879
7252014460,-11.7910509747359	7854013170,-12.3757726758669
7266014430,-11.8173205689297	7868013140,-13.1437661255858
7280014400,-12.0639791996924	7882013110,-14.4545875382423
7294014370,-12.3200381043398	7896013080,-15.8356284771862
7308014340,-12.5203172036957	7910013050,-16.0832119179441
7322014310,-12.5686218079468	7924013020,-15.181630779323
7336014280,-12.5639626528016	7938012990,-14.053281505997
7350014250,-12.3005997823461	7952012960,-13.4040730428862
7364014220,-11.8631331890277	7966012930,-13.184495232364
7378014190,-11.3109072349785	7980012900,-13.3018854452906
7392014160,-10.8546472612521	7994012870,-13.7847397450889
7406014130,-10.6773316881099	8008012840,-14.4188242187676
7420014100,-10.9578710702779	8022012810,-15.2703401606156
7434014070,-11.7822953600666	8036012780,-16.1971297401477
7448014040,-13.0546750633596	8050012750,-17.1658013809868
7462014010,-13.981453118324	8064012720,-17.63991656002
7476013980,-13.4102487651194	8078012690,-17.2863766814429
7490013950,-11.9123789061573	8092012660,-16.6279714292209
7504013920,-10.7030935472057	8106012630,-16.1165758680974
7518013890,-10.197464601718	8120012600,-16.2963509094587
7532013860,-10.4661263639903	8134012570,-17.5388773600378
7546013830,-11.5442599877299	8148012540,-20.0015805624983
7560013800,-13.4088224969887	8162012510,-23.6434350478604
7574013770,-14.8388144562827	8176012480,-24.1135232372108
7588013740,-13.9930506519357	8190012450,-20.5691026532311
7602013710,-12.1180018247401	8204012420,-17.8581978342617
7616013680,-10.8353889022143	8218012390,-16.6321197272104
7630013650,-10.4321561882566	8232012360,-16.5277187663115
7644013620,-11.0605648854003	8246012330,-17.5866243487263
7658013590,-12.6054554710529	8260012300,-20.1368901793421
7672013560,-14.8671297605053	8274012270,-25.2603735689528
7686013530,-15.7668010039016	8288012240,-43.6379220868303
7700013500,-13.8965749375934	8302012210,-27.7317819670351
7714013470,-11.7539669422855	8316012180,-22.0680989368291
7728013440,-10.655959956907	8330012150,-19.4141805213727
7742013410,-10.4205483128706	8344012120,-18.1451309040682
7756013380,-11.1830179089723	8358012090,-17.8442675618646
7770013350,-12.8994617895167	8372012060,-18.4509455352944
7784013320,-15.3989966434672	8386012030,-20.216638102648
7798013290,-16.955638277751	8400012000,-23.7731230103766
7812013260,-15.5118682276609	8414011970,-34.0983412028759
7826013230,-13.6009316173184	8428011940,-29.56419183221

8442011910,-21.6117197713004	9044010620,-8.12621229788075
8456011880,-17.9886960564454	9058010590,-7.17155163876974
8470011850,-16.1023989053891	9072010560,-6.53712127939126
8484011820,-15.4422198026673	9086010530,-6.37135290314175
8498011790,-15.8300117243297	9100010500,-6.60113620046749
8512011760,-17.2327534007625	9114010470,-7.2056092770059
8526011730,-19.4502513555723	9128010440,-7.95595084560741
8540011700,-20.8379838861872	9142010410,-8.40576767972192
8554011670,-18.7734184087524	9156010380,-8.16608551727915
8568011640,-16.1092951644809	9170010350,-7.46624404787278
8582011610,-14.1847433539061	9184010320,-6.74289024870888
8596011580,-13.3255568294038	9198010290,-6.3879285998533
8610011550,-13.2355974844903	9212010260,-6.3815654148251
8624011520,-13.7116959063005	9226010230,-6.67704936958011
8638011490,-14.6889916890869	9240010200,-7.11479997712484
8652011460,-15.6653498956444	9254010170,-7.48356625810572
8666011430,-15.7283831439773	9268010140,-7.54598895324017
8680011400,-14.7546846511832	9282010110,-7.27039438815126
8694011370,-13.3291026782153	9296010080,-6.7892400443469
8708011340,-12.1957731724358	9310010050,-6.38125836790163
8722011310,-11.4047487987325	9324010020,-6.16271061721191
8736011280,-11.0437580036973	9338009990,-6.18352310030824
8750011250,-11.0389503328309	9352009960,-6.34562538134159
8764011220,-11.3094979154595	9366009930,-6.66830524650714
8778011190,-11.7111844837143	9380009900,-6.87731378587621
8792011160,-11.8207207793054	9394009870,-6.91516273555108
8806011130,-11.4189649417019	9408009840,-6.66408894600105
8820011100,-10.5845763331443	9422009810,-6.21042632802531
8834011070,-9.71419707678012	9436009780,-5.84038253007177
8848011040,-9.12674989872936	9450009750,-5.62928937767944
8862011010,-8.93806380571186	9464009720,-5.67313299867542
8876010980,-9.22038401879929	9478009690,-5.97298317235996
8890010950,-9.83904458809122	9492009660,-6.42869065521996
8904010920,-10.3292973379057	9506009630,-6.8630092358435
8918010890,-10.1408585323556	9520009600,-6.92014322075237
8932010860,-9.28935135287008	9534009570,-6.486005238036
8946010830,-8.31387228744841	9548009540,-5.92770631854757
8960010800,-7.66869653431181	9562009510,-5.53998157659943
8974010770,-7.47236652878252	9576009480,-5.49152807495648
8988010740,-7.74880000408673	9590009450,-5.78001902215383
9002010710,-8.36923830721636	9604009420,-6.40842466922233
9016010680,-8.95203629179784	9618009390,-6.99293173279253
9030010650,-8.87886982082458	9632009360,-7.16632178812294

9646009330,-6.65601301353682
9660009300,-5.91403304352853
9674009270,-5.34471513785405
9688009240,-5.1820259897018
9702009210,-5.42280239175485
9716009180,-6.03058806467682
9730009150,-6.7079427149237
9744009120,-7.12011245198603
9758009090,-6.89370044923482
9772009060,-6.28396521481979
9786009030,-5.7777287335077
9800009000,-5.55872104473127
9814008970,-5.73671486073038
9828008940,-6.10799138140929
9842008910,-6.6631888452654
9856008880,-7.05167221320308
9870008850,-7.0073690319284
9884008820,-6.63949189115179
9898008790,-6.1865358665703
9912008760,-5.87599589616892
9926008730,-5.72031206529525
9940008700,-5.81922082130052
9954008670,-6.09408594854735
9968008640,-6.4743750478837
9982008610,-6.92520972882618
9996008580,-7.31549685313571
10010008550,-7.39666320336034
10024008520,-7.11514834297719
10038008490,-6.78873621550441
10052008460,-6.52030434412782
10066008430,-6.48136859382597
10080008400,-6.77265066624413
10094008370,-7.29488622771922
10108008340,-7.84176095890127
10122008310,-8.05409695812918
10136008280,-7.64293538220812
10150008250,-6.99267653534503
10164008220,-6.52562109248045
10178008190,-6.45373747044182
10192008160,-6.88105457475943
10206008130,-7.91863239189875
10220008100,-9.32402318466241
10234008070,-10.4665924569797
10248008040,-10.0351513548653
10262008010,-8.80137576587609
10276007980,-7.80068592676294
10290007950,-7.36592486571558
10304007920,-7.54691433922992
10318007890,-8.34156437766549
10332007860,-9.44305012786578
10346007830,-10.3479126887731
10360007800,-10.1870511053077
10374007770,-9.36299031605956
10388007740,-8.67524420316965
10402007710,-8.4867861119576
10416007680,-8.86824003206515
10430007650,-9.81633123971619
10444007620,-11.0012066060238
10458007590,-11.6840783126387
10472007560,-11.3301668744954
10486007530,-10.4849395968646
10500007500,-9.89851573420512
10514007470,-9.73258464049738
10528007440,-10.1151100955655
10542007410,-10.894549370932
10556007380,-11.7586574886737
10570007350,-12.4336741358988
10584007320,-12.5360648568334
10598007290,-12.265449399842
10612007260,-11.9895226539223
10626007230,-11.8851034145876
10640007200,-11.8949383158681
10654007170,-12.099908836587
10668007140,-12.4247604389436
10682007110,-12.8116033923105
10696007080,-13.5748603801379
10710007050,-14.5107663272433
10724007020,-15.3231508151136
10738006990,-15.4620996689898
10752006960,-14.7449091003342
10766006930,-13.7680371736556
10780006900,-13.161322073047
10794006870,-13.1850619730743
10808006840,-13.9883506109406
10822006810,-15.6425511589314
10836006780,-18.2190473287381

10850006750,-20.5105217482186
10864006720,-19.7279201809955
10878006690,-17.529291744889
10892006660,-16.2712530867221
10906006630,-16.1299213677012
10920006600,-17.2934905236196
10934006570,-19.979886485668
10948006540,-25.1170134948995
10962006510,-26.0897836209524
10976006480,-20.718357463825
10990006450,-17.5433925817538
11004006420,-15.9542243243224
11018006390,-15.5621205118367
11032006360,-16.3635037774078
11046006330,-18.1599395860672
11060006300,-21.4269798839229
11074006270,-27.7565920160059
11088006240,-32.3908575212395
11102006210,-25.2470635404111
11116006180,-21.4019184215354
11130006150,-19.3246167325381
11144006120,-18.5871002585502
11158006090,-18.481148616731
11172006060,-19.2577897278722
11186006030,-21.0715949456233
11200006000,-24.6658852472993
11214005970,-30.6351893644307
11228005940,-30.3143657442965
11242005910,-24.6393176773381
11256005880,-21.170847472243
11270005850,-19.3116629599893
11284005820,-18.1818059527904
11298005790,-17.8103289574944
11312005760,-17.5689246710272
11326005730,-17.4420441056601
11340005700,-17.5966411614355
11354005670,-17.8843068286554
11368005640,-18.1402953278675
11382005610,-17.9594625760625
11396005580,-16.8085072403153
11410005550,-15.4777250996579
11424005520,-14.5277630555788
11438005490,-14.0006747038186
11452005460,-14.167870598657
11466005430,-14.9882469611245
11480005400,-16.335919439487
11494005370,-17.1697768162867
11508005340,-16.282102462202
11522005310,-14.3753746291181
11536005280,-12.8527036256427
11550005250,-12.0507196042873
11564005220,-12.0480471311739
11578005190,-12.6787491155663
11592005160,-13.5615418708842
11606005130,-13.8586553041039
11620005100,-13.0815704456773
11634005070,-11.78831795893
11648005040,-10.9079234966716
11662005010,-10.688610398336
11676004980,-11.0812355553988
11690004950,-12.0716198750574
11704004920,-13.1515058040241
11718004890,-13.3007594877737
11732004860,-12.2354956774552
11746004830,-11.1203747808157
11760004800,-10.3613155294027
11774004770,-10.2620328345774
11788004740,-10.7593123144235
11802004710,-11.6367932521692
11816004680,-12.4139178372299
11830004650,-12.2629054962648
11844004620,-11.5555937789155
11858004590,-10.7490180228981
11872004560,-10.449186649906
11886004530,-10.6736938338231
11900004500,-11.3892152507649
11914004470,-12.3058760844736
11928004440,-12.9906983337537
11942004410,-12.824809823076
11956004380,-12.2343407101745
11970004350,-11.6099515356992
11984004320,-11.26034222326
11998004290,-11.3028230979204
12012004260,-11.426279490421
12026004230,-11.4812353593942
12040004200,-11.4177530573523

12054004170,-11.3435941711664	12656002880,-16.8540634305219
12068004140,-11.3142760319571	12670002850,-16.1346589884555
12082004110,-11.4925690340683	12684002820,-15.9868777589645
12096004080,-11.750027394487	12698002790,-16.3121718716415
12110004050,-11.8910865154657	12712002760,-16.7180572711075
12124004020,-11.8824491270798	12726002730,-16.3339374184923
12138003990,-11.8713688581435	12740002700,-15.5597082550625
12152003960,-11.9157814221277	12754002670,-14.7244912628708
12166003930,-12.2508920168597	12768002640,-14.3263989841636
12180003900,-13.1744995560333	12782002610,-14.4784049613173
12194003870,-14.1917745443004	12796002580,-15.1288391181352
12208003840,-14.7884785014037	12810002550,-16.0298413319399
12222003810,-14.2557005336647	12824002520,-16.8772442545023
12236003780,-13.1905994421551	12838002490,-17.1817626551454
12250003750,-12.2534012711362	12852002460,-16.8618554045548
12264003720,-11.9446481931356	12866002430,-16.6614819061794
12278003690,-12.3226942157797	12880002400,-16.7048647891179
12292003660,-13.2532252955134	12894002370,-16.9316020569439
12306003630,-14.3809259014999	12908002340,-17.0673322703312
12320003600,-14.7050277278841	12922002310,-16.5394868287068
12334003570,-13.9322683649433	12936002280,-15.6587127065181
12348003540,-12.9102026774002	12950002250,-14.8989402332209
12362003510,-12.2868765704957	12964002220,-14.5300206387895
12376003480,-12.3596863562684	12978002190,-14.6876322514736
12390003450,-13.1721022514726	12992002160,-15.0410093141557
12404003420,-14.5683597119148	13006002130,-15.1411738767997
12418003390,-15.9447391769575	13020002100,-14.6966523881078
12432003360,-16.1453631294346	13034002070,-13.8150968009762
12446003330,-15.3536024079142	13048002040,-12.957638757974
12460003300,-14.4783390314192	13062002010,-12.5406153358302
12474003270,-14.1824674363305	13076001980,-12.6518041804207
12488003240,-14.6597831262921	13090001950,-13.2703206300596
12502003210,-15.6216915165144	13104001920,-14.0866396470044
12516003180,-16.6436621820806	13118001890,-14.6320381837867
12530003150,-16.4180083972816	13132001860,-14.4494026496389
12544003120,-15.447886259241	13146001830,-13.6404795505408
12558003090,-14.523528312201	13160001800,-12.9371345862203
12572003060,-14.2044959093283	13174001770,-12.6713325042176
12586003030,-14.6463593551069	13188001740,-12.9946772936209
12600003000,-15.8621247708919	13202001710,-13.5097233322654
12614002970,-17.5335696395945	13216001680,-14.0279874058807
12628002940,-18.5714701746918	13230001650,-13.8984020058781
12642002910,-18.0003303221443	13244001620,-13.0023241505772

13258001590,-12.0266865077626	13650000750,-10.0168617325027
13272001560,-11.4224553552942	13664000720,-9.74235004583802
13286001530,-11.1925503877613	13678000690,-9.45633756721037
13300001500,-11.4806246324017	13692000660,-9.40725977044094
13314001470,-12.0619037567791	13706000630,-9.63150095618631
13328001440,-12.5690726263011	13720000600,-10.008469762089
13342001410,-12.7230048803589	13734000570,-10.606627013566
13356001380,-12.3344555930617	13748000540,-10.9878795377704
13370001350,-11.7974355500144	13762000510,-10.9455521162738
13384001320,-11.3879861357981	13776000480,-10.4575276660682
13398001290,-11.181777183859	13790000450,-9.86539465704431
13412001260,-11.1756673930863	13804000420,-9.36869030319825
13426001230,-11.1697731551367	13818000390,-9.19055511854157
13440001200,-10.9491519483319	13832000360,-9.25249870122187
13454001170,-10.5370253788466	13846000330,-9.43894185505953
13468001140,-10.0891994299158	13860000300,-9.72017373881913
13482001110,-9.82483261860301	13874000270,-9.98768056587095
13496001080,-9.78213624529477	13888000240,-10.0736901347206
13510001050,-9.91339206784668	13902000210,-9.99721268290516
13524001020,-10.1869824500638	13916000180,-9.88499912335118
13538000990,-10.3823108383607	13930000150,-9.90259610008862
13552000960,-10.3490655893277	13944000120,-9.93163201399523
13566000930,-10.2055803433569	13958000090,-10.009410858186
13580000900,-9.99591324907064	13972000060,-10.1508503659786
13594000870,-10.0031274685502	13986000030,-10.2451368057625
13608000840,-10.020848775864	14000000000,-10.3279032303012
13622000810,-10.1256391371304	
13636000780,-10.205969828419	

• ***Medición del ROE con el VNA KeySight***

0.16802964,45.1315081090435	0.32202931,26.5743357989384
0.18202961,31.2350613096409	0.33602928,26.4343944757388
0.19602958,28.2945422559423	0.35002925,25.6560309830467
0.21002955,32.1409324649725	0.36402922,19.2028380569922
0.22402952,38.6833888984716	0.37802919,14.7024686708409
0.23802949,46.0734620279389	0.39202916,14.6465908208067
0.25202946,39.9267844851267	0.40602913,15.38567433307
0.26602943,29.3749507981707	0.4200291,17.3093023841269
0.2800294,24.1615845643097	0.43402907,18.1746630106574
0.29402937,23.228803065837	0.44802904,16.2893453186583
0.30802934,23.8214413999259	0.46202901,13.0808179093359

0.47602898,12.2114825225493	1.07802769,4.27743855127627
0.49002895,13.4991747203946	1.09202766,4.44231143933576
0.50402892,16.2712488855612	1.10602763,4.78969634999718
0.51802889,19.7308945714054	1.1200276,5.24918028262245
0.53202886,20.7284704983213	1.13402757,5.45252586019402
0.54602883,17.7425714692763	1.14802754,5.37515042460635
0.5600288,13.7595098456137	1.16202751,5.10659246362875
0.57402877,11.1399704340168	1.17602748,4.90853873664379
0.58802874,10.5980811254165	1.19002745,4.93729386550717
0.60202871,11.3250650923389	1.20402742,5.04830135439548
0.61602868,12.8086296847927	1.21802739,5.13470862179294
0.63002865,14.5329458471344	1.23202736,5.0699278459302
0.64402862,14.1115861624376	1.24602733,4.91463436365137
0.65802859,11.5324889969844	1.2600273,4.60620894174739
0.67202856,9.21757029448307	1.27402727,4.39711867214959
0.68602853,8.15090283905569	1.28802724,4.42135304220913
0.7000285,8.56985102933382	1.30202721,4.55978644233492
0.71402847,8.78461184050744	1.31602718,4.6419106438191
0.72802844,8.33454711745899	1.33002715,4.49976304294244
0.74202841,8.28458054740921	1.34402712,4.18945729970585
0.75602838,8.12911267556929	1.35802709,3.87598776497138
0.77002835,7.87714371546534	1.37202706,3.70154218767905
0.78402832,7.51278532478777	1.38602703,3.68082463949112
0.79802829,7.49744922098427	1.400027,3.81212645579251
0.81202826,7.47045996623003	1.41402697,4.00372410050803
0.82602823,7.11765688432537	1.42802694,3.91107971765166
0.8400282,6.27477984287452	1.44202691,3.83282562625184
0.85402817,5.42107276494434	1.45602688,3.66014343470675
0.86802814,4.96945537008277	1.47002685,3.50848335719589
0.88202811,4.88063194910704	1.48402682,3.50801987447548
0.89602808,5.29156547762041	1.49802679,3.62599792406933
0.91002805,5.91405955711605	1.51202676,3.81695560285327
0.92402802,6.43456797597561	1.52602673,3.95857752698985
0.93802799,6.30173661021304	1.5400267,3.95223649306642
0.95202796,5.71552635895849	1.55402667,3.7940579124975
0.96602793,5.05582206323444	1.56802664,3.65068419871362
0.9800279,4.64329380378869	1.58202661,3.5782118111412
0.99402787,4.55605889582164	1.59602658,3.65714514453646
1.00802784,4.63213851470506	1.61002655,3.84981389916693
1.02202781,4.66138135181372	1.62402652,4.02861703719422
1.03602778,4.57800990721784	1.63802649,4.06493820908504
1.05002775,4.47629897786342	1.65202646,3.97848193878101
1.06402772,4.30649421598296	1.66602643,3.91835147530323

1.6800264,3.93532352352249	2.28202511,4.51589100549143
1.69402637,4.07608212782172	2.29602508,4.71452833623895
1.70802634,4.26866122488229	2.31002505,4.88108974711256
1.72202631,4.37316905598492	2.32402502,4.87248575492557
1.73602628,4.36870308020339	2.33802499,4.70426827990706
1.75002625,4.18565225284095	2.35202496,4.5943245147123
1.76402622,3.99680529991701	2.36602493,4.56762363134859
1.77802619,4.01261600163208	2.3800249,4.75547728896674
1.79202616,4.14966023621825	2.39402487,4.96546159285198
1.80602613,4.34946537293718	2.40802484,5.17478225054508
1.8200261,4.4500816962562	2.42202481,5.11184053250143
1.83402607,4.30814244473863	2.43602478,4.87158845944575
1.84802604,4.08830249691797	2.45002475,4.65446609793848
1.86202601,3.95531303989864	2.46402472,4.56975291360738
1.87602598,3.93884710751449	2.47802469,4.66315377159413
1.89002595,4.09759688602392	2.49202466,4.83578302364139
1.90402592,4.3303557343705	2.50602463,4.93531424232424
1.91802589,4.50629934207442	2.5200246,4.80998710606804
1.93202586,4.47198582988671	2.53402457,4.47334836619628
1.94602583,4.29963787460116	2.54802454,4.110111462957
1.9600258,4.14320074446769	2.56202451,3.90079774403474
1.97402577,4.10647538341766	2.57602448,3.85997953520376
1.98802574,4.23762743630908	2.59002445,3.91915855963766
2.00202571,4.41881970303814	2.60402442,3.94630686279559
2.01602568,4.59179732038645	2.61802439,3.87528485871697
2.03002565,4.58653928569126	2.63202436,3.61613805860189
2.04402562,4.43511537318633	2.64602433,3.37382614383876
2.05802559,4.30746348648414	2.6600243,3.21570282332858
2.07202556,4.25515508812702	2.67402427,3.13585206868526
2.08602553,4.34911403415038	2.68802424,3.13130130883472
2.1000255,4.55187319812252	2.70202421,3.10650424399196
2.11402547,4.69982712773306	2.71602418,2.99573472426022
2.12802544,4.66805179596102	2.73002415,2.8358042219944
2.14202541,4.49757051450392	2.74402412,2.68530966889966
2.15602538,4.30412070099773	2.75802409,2.61123221121082
2.17002535,4.28870672916871	2.77202406,2.62161572198138
2.18402532,4.36241029181434	2.78602403,2.65543630924706
2.19802529,4.53896454316237	2.800024,2.64951298860825
2.21202526,4.64938416752764	2.81402397,2.57110947317134
2.22602523,4.66068002311038	2.82802394,2.44404979854859
2.2400252,4.54152532197998	2.84202391,2.32209323521105
2.25402517,4.41752631918602	2.85602388,2.26809159029153
2.26802514,4.38242190602497	2.87002385,2.27709097439529

2.88402382,2.30668426034083
2.89802379,2.31174184602461
2.91202376,2.24964461063973
2.92602373,2.13641756027783
2.9400237,2.03991452653569
2.95402367,2.00016268472447
2.96802364,2.02925216813855
2.98202361,2.08416543318939
2.99602358,2.11967917700506
3.01002355,2.08474992896222
3.02402352,1.99620204071341
3.03802349,1.89439423247995
3.05202346,1.82625239088013
3.06602343,1.80787248970591
3.0800234,1.82014037914877
3.09402337,1.81977335814432
3.10802334,1.79100463521861
3.12202331,1.74061436548766
3.13602328,1.69397639689589
3.15002325,1.68045663064288
3.16402322,1.69649288069581
3.17802319,1.73791226144095
3.19202316,1.74465272324585
3.20602313,1.72598275851105
3.2200231,1.67947152698974
3.23402307,1.63750812684804
3.24802304,1.62353487485698
3.26202301,1.64821253384972
3.27602298,1.67364352620312
3.29002295,1.66513572119464
3.30402292,1.6244516226319
3.31802289,1.56761933519226
3.33202286,1.52095689938035
3.34602283,1.51955004957054
3.3600228,1.56415820861254
3.37402277,1.61815165033629
3.38802274,1.64880222026857
3.40202271,1.63124844693321
3.41602268,1.57926247676007
3.43002265,1.52222211241057
3.44402262,1.49914607012898
3.45802259,1.51952004162277
3.47202256,1.57260774352915
3.48602253,1.61790645863273
3.5000225,1.62659814327033
3.51402247,1.5927143298542
3.52802244,1.53085457151811
3.54202241,1.48436438741997
3.55602238,1.47475853242671
3.57002235,1.51910666444886
3.58402232,1.58125429216495
3.59802229,1.63434300317322
3.61202226,1.64912046130438
3.62602223,1.64018380860484
3.6400222,1.61963441607024
3.65402217,1.62442550887917
3.66802214,1.65549066033202
3.68202211,1.69701665116312
3.69602208,1.73139598269789
3.71002205,1.73299655521729
3.72402202,1.71373735659905
3.73802199,1.6939294135629
3.75202196,1.70264407512622
3.76602193,1.74673071093016
3.7800219,1.80464111328668
3.79402187,1.8469823956269
3.80802184,1.84939682760433
3.82202181,1.82817681315947
3.83602178,1.80381075442383
3.85002175,1.80210934478926
3.86402172,1.84319393291631
3.87802169,1.91289909238719
3.89202166,1.9533068967871
3.90602163,1.97251075796147
3.9200216,1.94100010846931
3.93402157,1.9017183427546
3.94802154,1.8903474564713
3.96202151,1.92541316430652
3.97602148,1.9929290156382
3.99002145,1.85237035806466
4.00402142,1.96944779617328
4.01802139,1.93860130591903
4.03202136,1.98934801463495
4.04602133,1.96542572365258
4.0600213,1.9813070586154
4.07402127,1.93257785983333

4.08802124,1.94403226965993
4.10202121,1.96474709604795
4.11602118,1.95417774526287
4.13002115,1.99753243757504
4.14402112,1.95130436416612
4.15802109,1.95396798271673
4.17202106,1.99722287375
4.18602103,1.94265906351519
4.200021,1.94788218959547
4.21402097,1.99613760592226
4.22802094,1.91588973722249
4.24202091,1.87313553196361
4.25602088,1.8780594939967
4.27002085,1.9202147110285
4.28402082,1.96231631441226
4.29802079,1.96933017736901
4.31202076,1.93512600706754
4.32602073,1.85384627606456
4.3400207,1.7862963348003
4.35402067,1.76319670220547
4.36802064,1.78996864788401
4.38202061,1.83481861375621
4.39602058,1.85103544533935
4.41002055,1.82635374391905
4.42402052,1.76769759810058
4.43802049,1.69544158663328
4.45202046,1.64418758622396
4.46602043,1.63222845129765
4.4800204,1.63011062617816
4.49402037,1.61878058635914
4.50802034,1.60001866040009
4.52202031,1.5602055256114
4.53602028,1.51817341694937
4.55002025,1.49678295823859
4.56402022,1.48092039571827
4.57802019,1.47138343832562
4.59202016,1.44991283301752
4.60602013,1.41055890502993
4.6200201,1.36017034862671
4.63402007,1.33320563019432
4.64802004,1.32916382785328
4.66202001,1.33429383483597
4.67601998,1.33362149285836
4.69001995,1.30413605036062
4.70401992,1.25106337987403
4.71801989,1.19178975235321
4.73201986,1.15475777866907
4.74601983,1.16162943003434
4.7600198,1.18825938175729
4.77401977,1.20887308859291
4.78801974,1.19752834566384
4.80201971,1.16347770016252
4.81601968,1.1043462299846
4.83001965,1.0508727721886
4.84401962,1.05303779533095
4.85801959,1.0900796702189
4.87201956,1.1100272853257
4.88601953,1.10186567947548
4.9000195,1.07860374357524
4.91401947,1.04570603902398
4.92801944,1.04812351119133
4.94201941,1.06750585401072
4.95601938,1.07350131081784
4.97001935,1.0535605540412
4.98401932,1.02154383343284
4.99801929,1.0319099185052
5.01201926,1.07750129530352
5.02601923,1.1159082352694
5.0400192,1.13652969280771
5.05401917,1.1332579587131
5.06801914,1.1112140757244
5.08201911,1.08555499472902
5.09601908,1.08001256625244
5.11001905,1.10224364683949
5.12401902,1.12382957638701
5.13801899,1.13650245933161
5.15201896,1.12998515131015
5.16601893,1.10913421338365
5.1800189,1.08515116627621
5.19401887,1.09290917421688
5.20801884,1.1214964305452
5.22201881,1.14818378824547
5.23601878,1.16399024888152
5.25001875,1.15658079713566
5.26401872,1.14477893719306
5.27801869,1.1376973119393

5.29201866,1.15310855309337
5.30601863,1.17775085903539
5.3200186,1.18587023821002
5.33401857,1.17948054018915
5.34801854,1.14883006655723
5.36201851,1.10026265642564
5.37601848,1.05772492795485
5.39001845,1.06229887990262
5.40401842,1.09575647664015
5.41801839,1.12277675219008
5.43201836,1.12489808651608
5.44601833,1.10208525844184
5.4600183,1.06345042911413
5.47401827,1.02144192981863
5.48801824,1.03597902974782
5.50201821,1.06686362659664
5.51601818,1.08890784389167
5.53001815,1.10112641299667
5.54401812,1.09683664560967
5.55801809,1.08780685421409
5.57201806,1.08777695283698
5.58601803,1.08022934834964
5.600018,1.06392721134581
5.61401797,1.02849106064876
5.62801794,1.01988319346446
5.64201791,1.07221686907071
5.65601788,1.12867475641032
5.67001785,1.17470160477161
5.68401782,1.19658411520803
5.69801779,1.18551358306968
5.71201776,1.14331423764952
5.72601773,1.09768428065292
5.7400177,1.10842252893624
5.75401767,1.1792035002146
5.76801764,1.2610416239825
5.78201761,1.31983968580067
5.79601758,1.34336928848034
5.81001755,1.33401670715406
5.82401752,1.29707414436807
5.83801749,1.28343704214744
5.85201746,1.3050234108884
5.86601743,1.34601698721914
5.8800174,1.39316365106405
5.89401737,1.41948786460512
5.90801734,1.43494857940756
5.92201731,1.45187668284192
5.93601728,1.48396306025368
5.95001725,1.52567692651822
5.96401722,1.54731650082584
5.97801719,1.54125382915464
5.99201716,1.50839233468819
6.00601713,1.48002258331072
6.0200171,1.48774705094265
6.03401707,1.54291327110183
6.04801704,1.63532511552242
6.06201701,1.69399164876825
6.07601698,1.69320003559379
6.09001695,1.63888762352858
6.10401692,1.55668785449048
6.11801689,1.51516462402344
6.13201686,1.56491537045241
6.14601683,1.67026418008108
6.1600168,1.75859153212378
6.17401677,1.79179595046198
6.18801674,1.73273032438577
6.20201671,1.61677462053858
6.21601668,1.52156125863411
6.23001665,1.51298720909917
6.24401662,1.60061021695975
6.25801659,1.70955041490724
6.27201656,1.78104158373273
6.28601653,1.75499045863114
6.3000165,1.64299757252734
6.31401647,1.50565856850732
6.32801644,1.41414544438024
6.34201641,1.42617404994392
6.35601638,1.5088701205705
6.37001635,1.58378082068799
6.38401632,1.60206640435149
6.39801629,1.55513241108028
6.41201626,1.46835472964251
6.42601623,1.40168064838602
6.4400162,1.38128066988563
6.45401617,1.40990854291289
6.46801614,1.44411028520987
6.48201611,1.43860641851051

6.49601608,1.38790889186538
6.51001605,1.31411910512048
6.52401602,1.25293017039566
6.53801599,1.24156914567124
6.55201596,1.26992075745516
6.56601593,1.30128311574258
6.5800159,1.30308816600271
6.59401587,1.27662499688142
6.60801584,1.230766314802
6.62201581,1.18885688884016
6.63601578,1.16717035695664
6.65001575,1.15609078545373
6.66401572,1.1365624333204
6.67801569,1.11095948043743
6.69201566,1.09633232498725
6.70601563,1.10474152304723
6.7200156,1.13445219119426
6.73401557,1.14810472229472
6.74801554,1.13768523507647
6.76201551,1.1132260697604
6.77601548,1.11695062742386
6.79001545,1.17628834059129
6.80401542,1.24975738707944
6.81801539,1.3086207433226
6.83201536,1.31785629200257
6.84601533,1.26667085856285
6.8600153,1.18673844538779
6.87401527,1.15448164079616
6.88801524,1.2423978322877
6.90201521,1.38878138682232
6.91601518,1.51019529682095
6.93001515,1.56454990749521
6.94401512,1.53371801453696
6.95801509,1.42298404660134
6.97201506,1.30687479622963
6.98601503,1.28628420645737
7.000015,1.40013192325068
7.01401497,1.55880529917117
7.02801494,1.67159324988018
7.04201491,1.68765253217029
7.05601488,1.61573767346702
7.07001485,1.50650735933932
7.08401482,1.44421306871174
7.09801479,1.49281269306465
7.11201476,1.6292104252787
7.12601473,1.77822154212201
7.1400147,1.8591558699028
7.15401467,1.8370721289832
7.16801464,1.7433096731422
7.18201461,1.6365904982422
7.19601458,1.56843271668368
7.21001455,1.58067026774173
7.22401452,1.65497870274958
7.23801449,1.73348471231975
7.25201446,1.77659781637676
7.26601443,1.7739517353268
7.2800144,1.73566842123147
7.29401437,1.70464891618524
7.30801434,1.67962696142116
7.32201431,1.66968721638971
7.33601428,1.67671357610252
7.35001425,1.70607084939227
7.36401422,1.75424833396624
7.37801419,1.81564235067262
7.39201416,1.86474503104796
7.40601413,1.87431303826505
7.4200141,1.80960427490327
7.43401407,1.70452630843872
7.44801404,1.58444480758685
7.46201401,1.53072832645455
7.47601398,1.59675551072524
7.49001395,1.73389408118324
7.50401392,1.86318814560494
7.51801389,1.91552140259494
7.53201386,1.85146969806804
7.54601383,1.69593314135484
7.5600138,1.52657161921095
7.57401377,1.45107557558508
7.58801374,1.53135003868784
7.60201371,1.68757484124848
7.61601368,1.81788540888777
7.63001365,1.84445879540039
7.64401362,1.74737452123999
7.65801359,1.57108906928319
7.67201356,1.41455670782548
7.68601353,1.39571382816483

7.7000135,1.52855516891633	8.30201221,1.06888284638076
7.71401347,1.70474982888596	8.31601218,1.10955121959884
7.72801344,1.81693496009616	8.33001215,1.16107614529119
7.74201341,1.81775927746706	8.34401212,1.20861397174577
7.75601338,1.69628863845765	8.35801209,1.25068731688471
7.77001335,1.51930602670332	8.37201206,1.27531335251109
7.78401332,1.35450316166243	8.38601203,1.25499383857752
7.79801329,1.30171419583619	8.400012,1.19483598856736
7.81201326,1.39076834655459	8.41401197,1.10737560815309
7.82601323,1.51651927990794	8.42801194,1.04065576785218
7.8400132,1.5870803782195	8.44201191,1.14159480752866
7.85401317,1.58415222742845	8.45601188,1.26762632867028
7.86801314,1.51183204779785	8.47001185,1.38102450099036
7.88201311,1.40888353924208	8.48401182,1.44453432171564
7.89601308,1.34251180156247	8.49801179,1.44209534890875
7.91001305,1.33842797034397	8.51201176,1.38808955414942
7.92401302,1.39318865823551	8.52601173,1.30561045529594
7.93801299,1.46239626989325	8.5400117,1.25389906630087
7.95201296,1.50711593868456	8.55401167,1.2923423367514
7.96601293,1.51264074937569	8.56801164,1.40895917833562
7.9800129,1.48772788956047	8.58201161,1.53117438459578
7.99401287,1.43942796960119	8.59601158,1.61732264153255
8.00801284,1.38822463548374	8.61001155,1.63781565417794
8.02201281,1.33172682501975	8.62401152,1.59678925843674
8.03601278,1.27847200164179	8.63801149,1.52891089325808
8.05001275,1.24121016744538	8.65201146,1.46216247171581
8.06401272,1.23167879831663	8.66601143,1.44750899067905
8.07801269,1.25539100621929	8.6800114,1.50940659163844
8.09201266,1.27622299135483	8.69401137,1.61291492192016
8.10601263,1.28603138479714	8.70801134,1.73381605298254
8.1200126,1.26769835511825	8.72201131,1.81750156794761
8.13401257,1.21502649023119	8.73601128,1.86104902894106
8.14801254,1.13709347909736	8.75001125,1.8574734665933
8.16201251,1.06666595060611	8.76401122,1.81662013334121
8.17601248,1.09059061141661	8.77801119,1.76999185214215
8.19001245,1.16212091963171	8.79201116,1.76266726296103
8.20401242,1.22647258216027	8.80601113,1.81438907455844
8.21801239,1.26174816476451	8.8200111,1.93372146237184
8.23201236,1.2563108060057	8.83401107,2.06923797009723
8.24601233,1.22413865840189	8.84801104,2.16814175255514
8.2600123,1.17063352104235	8.86201101,2.17978503650312
8.27401227,1.10576775141227	8.87601098,2.11984494032194
8.28801224,1.0649022071618	8.89001095,2.01773998123886

8.90401092,1.95968760683781	9.50600963,2.6297166966851
8.91801089,1.99530755394682	9.5200096,2.64640034943632
8.93201086,2.14190276594451	9.53400957,2.81261580481759
8.94601083,2.34473974750534	9.54800954,3.03112834710462
8.9600108,2.49264390288954	9.56200951,3.19741267831889
8.97401077,2.53033653427425	9.57600948,3.20198476365441
8.98801074,2.44826870957564	9.59000945,3.01302356777187
9.00201071,2.29288391376415	9.60400942,2.75317294916377
9.01601068,2.17289398848097	9.61800939,2.54481051301248
9.03001065,2.20440862192992	9.63200936,2.50515200720676
9.04401062,2.38269119722201	9.64600933,2.68248514120089
9.05801059,2.62598110412783	9.6600093,2.97484977735514
9.07201056,2.84222268792614	9.67400927,3.23136634904743
9.08601053,2.91273437150612	9.68800924,3.31118547500952
9.1000105,2.81124302339336	9.70200921,3.14100157824625
9.11401047,2.59371034205645	9.71600918,2.85584043226555
9.12801044,2.38586033328428	9.73000915,2.57762911124675
9.14201041,2.27949707401038	9.74400912,2.4547797025761
9.15601038,2.33296002382341	9.75800909,2.53494636511219
9.17001035,2.51387790391874	9.77200906,2.73128926478863
9.18401032,2.73315724991698	9.78600903,2.94038628433538
9.19801029,2.87149891501186	9.800009,3.01719054631386
9.21201026,2.89145663381231	9.81400897,2.9364050209346
9.22601023,2.771035480813	9.82800894,2.76254722410327
9.2400102,2.62042416783517	9.84200891,2.56589749018835
9.25401017,2.50337104162682	9.85600888,2.44064966848212
9.26801014,2.4689306650634	9.87000885,2.43825888256407
9.28201011,2.54691003483692	9.88400882,2.56344559805157
9.29601008,2.71432406452359	9.89800879,2.72180712413236
9.31001005,2.89258717427766	9.91200876,2.8564179417372
9.32401002,2.98169132147865	9.92600873,2.91461552779396
9.33800999,2.95701474259682	9.9400087,2.90148919600935
9.35200996,2.87923717766584	9.95400867,2.77356715024031
9.36600993,2.75184214949072	9.96800864,2.62562388861436
9.3800099,2.64494056049811	9.98200861,2.45590848265254
9.39400987,2.63442907847913	9.99600858,2.34480504853425
9.40800984,2.74292646050794	10.0100086,2.32510085011937
9.42200981,2.92570436311453	10.0240085,2.40787483247801
9.43600978,3.10723959114515	10.0380085,2.52795588133007
9.45000975,3.21173913355837	10.0520085,2.62021836086973
9.46400972,3.16416602091352	10.0660084,2.6369188261771
9.47800969,2.99256770689788	10.0800084,2.53792518959393
9.49200966,2.78842526127905	10.0940084,2.37626457342202

10.1080083,2.2237094644111	10.7100071,1.4813680288939
10.1220083,2.1923685756257	10.724007,1.42555031237109
10.1360083,2.29544747002656	10.738007,1.42171693469935
10.1500083,2.47782169032042	10.752007,1.46388735765159
10.1640082,2.65013135573453	10.7660069,1.5237844431307
10.1780082,2.67965662088823	10.7800069,1.56543252406434
10.1920082,2.53183627096609	10.7940069,1.56289172582813
10.2060081,2.25757764007391	10.8080068,1.49283832432391
10.2200081,1.9712285504731	10.8220068,1.38294943998928
10.2340081,1.80746311531751	10.8360068,1.26651461238836
10.248008,1.84682319950214	10.8500068,1.20073311759497
10.262008,2.05197702151466	10.8640067,1.22325923199964
10.276008,2.28948818830979	10.8780067,1.29933065426721
10.290008,2.41893696018228	10.8920067,1.35288874403769
10.3040079,2.37106767534565	10.9060066,1.35445292653292
10.3180079,2.19936968153755	10.9200066,1.3008741281538
10.3320079,1.97669386728372	10.9340066,1.20558987792811
10.3460078,1.85171923282105	10.9480065,1.10576830123755
10.3600078,1.86458564466321	10.9620065,1.10445872135361
10.3740078,2.00053935208412	10.9760065,1.20989882708003
10.3880077,2.13669334257484	10.9900065,1.30654012273025
10.4020077,2.19088732995801	11.0040064,1.35907148043711
10.4160077,2.11657005290405	11.0180064,1.36522380377566
10.4300077,1.95893896371733	11.0320064,1.31731288012322
10.4440076,1.80105047894573	11.0460063,1.24512688875499
10.4580076,1.71315742600418	11.0600063,1.15851598983994
10.4720076,1.7436600017128	11.0740063,1.07289013411593
10.4860075,1.8436548513753	11.0880062,1.01933058808475
10.5000075,1.94827845551738	11.1020062,1.08245058665987
10.5140075,1.9800293260022	11.1160062,1.14624566163693
10.5280074,1.93397555744591	11.1300062,1.20230723060942
10.5420074,1.82639334013802	11.1440061,1.24330518491372
10.5560074,1.72591670807908	11.1580061,1.26627450962847
10.5700074,1.6617083194104	11.1720061,1.26306385495307
10.5840073,1.65451948671492	11.186006,1.22389368609598
10.5980073,1.67936762845111	11.200006,1.16329506641432
10.6120073,1.70882519448786	11.214006,1.09531074305545
10.6260072,1.71905814345059	11.2280059,1.06606208668931
10.6400072,1.71104206080047	11.2420059,1.11854247470372
10.6540072,1.69278348368267	11.2560059,1.19035988078582
10.6680071,1.65810743345268	11.2700059,1.25353780033668
10.6820071,1.6132327240043	11.2840058,1.29696438292945
10.6960071,1.55330563365891	11.2980058,1.32404295666308

11.3120058,1.34219937643409
11.3260057,1.35137976955437
11.3400057,1.35016287310465
11.3540057,1.34136429297918
11.3680056,1.33209730732272
11.3820056,1.3448070992593
11.3960056,1.39555759104842
11.4100056,1.46162985852308
11.4240055,1.52692155190386
11.4380055,1.56732380766356
11.4520055,1.56007649601013
11.4660054,1.50572596370346
11.4800054,1.43477712164651
11.4940054,1.38772062147864
11.5080053,1.42535195241652
11.5220053,1.53708578085825
11.5360053,1.65780119869307
11.5500053,1.73717913351023
11.5640052,1.7493195135279
11.5780052,1.68721244417998
11.5920052,1.60379114809368
11.6060051,1.5775614834334
11.6200051,1.63243003219772
11.6340051,1.75193597074375
11.648005,1.86691198296722
11.662005,1.89814865926874
11.676005,1.85155568199359
11.690005,1.734247513316
11.7040049,1.63519594921238
11.7180049,1.61819464044668
11.7320049,1.70481346050346
11.7460048,1.84109060964804
11.7600048,1.93748354305416
11.7740048,1.95514179740573
11.7880047,1.88425942936582
11.8020047,1.77019531633003
11.8160047,1.68923988671244
11.8300047,1.69574771048633
11.8440046,1.77405461640814
11.8580046,1.86829823544037
11.8720046,1.9146321424268
11.8860045,1.88232314660019
11.9000045,1.79450035053114
11.9140045,1.6877395918163
11.9280044,1.62741151887534
11.9420044,1.6283890115677
11.9560044,1.70528985794482
11.9700044,1.76161454119488
11.9840043,1.80109885452593
11.9980043,1.80602581450826
12.0120043,1.78677807901582
12.0260042,1.78683452349568
12.0400042,1.78386737460871
12.0540042,1.79042461699433
12.0680041,1.7959242897524
12.0820041,1.78343332949353
12.0960041,1.7616294857115
12.1100041,1.74228374256223
12.124004,1.73327088793379
12.138004,1.73636204456134
12.152004,1.73113545498977
12.1660039,1.68854967620397
12.1800039,1.60645639812813
12.1940039,1.52885836571294
12.2080038,1.49371237626217
12.2220038,1.52429279257856
12.2360038,1.60208217476505
12.2500038,1.68539009618629
12.2640037,1.71820360035773
12.2780037,1.67812930198367
12.2920037,1.59038240868155
12.3060036,1.51197798583589
12.3200036,1.48377795465765
12.3340036,1.52941925661597
12.3480035,1.61881986834161
12.3620035,1.67382340205472
12.3760035,1.66611463995466
12.3900035,1.60060051168057
12.4040034,1.49183423446524
12.4180034,1.405858452867
12.4320034,1.39183900727943
12.4460033,1.43225696140839
12.4600033,1.48714637834337
12.4740033,1.50938022646545
12.4880032,1.48425021928807
12.5020032,1.42431040960347

12.5160032,1.37476553714402	13.1180019,1.48885576108443
12.5300032,1.37428049133298	13.1320019,1.49575058608807
12.5440031,1.42657063353725	13.1460018,1.54473087901802
12.5580031,1.48693733701769	13.1600018,1.60269090350781
12.5720031,1.51272862642242	13.1740018,1.63126937670242
12.586003,1.48553922119623	13.1880017,1.61373878662344
12.600003,1.41965267597034	13.2020017,1.56687395714485
12.614003,1.33886317118075	13.2160017,1.52634021868013
12.6280029,1.29101909066461	13.2300017,1.52323001801902
12.6420029,1.30706709544763	13.2440016,1.58569400220916
12.6560029,1.34985115434208	13.2580016,1.67889496547636
12.6700029,1.39629598432252	13.2720016,1.75530973149483
12.6840028,1.40533419976157	13.2860015,1.79327245053759
12.6980028,1.39103860504023	13.3000015,1.76102990069426
12.7120028,1.37460132599111	13.3140015,1.69657029347878
12.7260027,1.3821363617777	13.3280014,1.64010776902075
12.7400027,1.42147125657458	13.3420014,1.61569383123597
12.7540027,1.46692148434016	13.3560014,1.64388600043274
12.7680026,1.50029442838064	13.3700014,1.70745309065023
12.7820026,1.49382228979529	13.3840013,1.75911548125596
12.7960026,1.45810105477709	13.3980013,1.78011981785278
12.8100026,1.40277868122924	13.4120013,1.78356558902451
12.8240025,1.35466409336566	13.4260012,1.77570619827774
12.8380025,1.33590498728752	13.4400012,1.79478170356347
12.8520025,1.34487591353986	13.4540012,1.83705088228602
12.8660024,1.35834561846794	13.4680011,1.89717345557635
12.8800024,1.36308930246526	13.4820011,1.95376586333841
12.8940024,1.35389299675993	13.4960011,1.97450922991964
12.9080023,1.34767885272272	13.5100011,1.95236795423684
12.9220023,1.36461779599111	13.524001,1.911357324922
12.9360023,1.40730194165769	13.538001,1.87483454149755
12.9500023,1.44705947774476	13.552001,1.85882241862618
12.9640022,1.4771354613558	13.5660009,1.87395871491056
12.9780022,1.47739925863634	13.5800009,1.91115836335451
12.9920022,1.46243869630705	13.5940009,1.93500705715201
13.0060021,1.45180604297337	13.6080008,1.92547637724521
13.0200021,1.47208768683004	13.6220008,1.90853763531714
13.0340021,1.52611733345318	13.6360008,1.89708826819174
13.048002,1.59058519672162	13.6500008,1.91035100721106
13.062002,1.63522349865031	13.6640007,1.95286854513145
13.076002,1.63466064003292	13.6780007,1.99674039836899
13.090002,1.59832568108343	13.6920007,2.02117570591426
13.1040019,1.53340739873746	13.7060006,2.00026563027984

13.7200006,1.9376215229607
13.7340006,1.85415579511215
13.7480005,1.78853647028101
13.7620005,1.78387051592328
13.7760005,1.84515856263157
13.7900005,1.94434875908124
13.8040004,2.03376020631419
13.8180004,2.08408449185169
13.8320004,2.08011394586762
13.8460003,2.03803366630775
13.8600003,1.97608849656193

13.8740003,1.93550848235047
13.8880002,1.93283624875047
13.9020002,1.94577292830749
13.9160002,1.97157658990239
13.9300002,1.97211092941834
13.9440001,1.96031637230218
13.9580001,1.93441546963151
13.9720001,1.91071747895135
13.986,1.89144167935839
14,1.89064141777395