



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA TELECOMUNICACIONES  
Y REDES**

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA ANTENA  
LOGARÍTMICA ULTRA WIDE BAND DE 1 A 10 GHZ PARA LA  
CARACTERIZACIÓN DE ANTENAS”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN:**

TIPO: Dispositivo Tecnológico

Presentado para optar el grado académico de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y  
REDES**

**AUTOR: PEÑAFIEL ORTEGA IRVIN ANDRÉ**

**TUTOR: Ing. Hugo Oswaldo Moreno Avilés PhD.**

Riobamba-Ecuador

2019

**©2019, Irvin André Peñafiel Ortega**

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

Yo, Irvin André Peñafiel Ortega declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 08 de abril de 2019

Irvin André Peñafiel Ortega

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA TELECOMUNICACIONES**  
**Y REDES**

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Dispositivo Tecnológico, **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA ANTENA LOGARÍTMICA ULTRA WIDE BAND DE 1 A 10 GHZ PARA LA CARACTERIZACIÓN DE ANTENAS**, de responsabilidad del señor Irvin André Peñafiel Ortega, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación quedando autorizada su presentación.

ING. Washington Luna  
**DECANO DE LA FACULTAD DE  
INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**

\_\_\_\_\_

ING. Patricio Romero  
**DIRECTOR DE LA ESCUELA DE  
INGENIERÍA ELECTRÓNICA,  
TELECOMUNICACIONES Y REDES**

\_\_\_\_\_

ING. Hugo Moreno  
**DIRECTOR DE TESIS**

\_\_\_\_\_

ING. Jorge Yuquilema  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

\_\_\_\_\_

## DEDICATORIA

Este Trabajo de Titulación se lo dedico principalmente a Dios, guía espiritual en este arduo camino dotándome de paciencia y fuerza de voluntad para superar los límites impuestos por la vida. A mi madre, mujer precavida, valiente y cariñosa, quien cada día trabajó incasablemente para bien del futuro de su familia, la que siempre me dio todo sin pedirme nunca nada. A mi amada esposa y a mis hijas por todo su apoyo constante, paciencia y amor, porque tan solo ustedes han sido capaces de alegrar mi corazón en cada mañana, ya que son la leña que alimentan mi fuego. A mis hermanos, gracias por cada consejo que me ayudaron a crecer como persona, por estar junto a mi compartiendo juntos cada etapa de la vida. A mis queridos maestros que son los pilares de mi formación profesional, que con sus recomendaciones y conocimientos aportaron para poder cumplir con satisfacción otro peldaño de la vida.

Irvin

## **AGRADECIMIENTO**

Primero, doy gracias a Dios por todas las bendiciones derramadas en mí, por haber puesto pruebas en mi camino que me ayudaron a crecer como persona, por permitirme estar junto a mi familia en esta etapa trascendental en mi vida profesional, a mi madre, mis hermanos, mi esposa y mi hijita por todo el cariño, por estar conmigo en los buenos y malos momentos a lo largo de este arduo camino. De manera especial, al Ing. Hugo Moreno, mi tutor por su tiempo empleado en mí, confianza y apoyo incondicional para la realización de este trabajo.

Irvin

## TABLA DE CONTENIDO

|  |           |
|--|-----------|
| ÍNDICE DE TABLAS.....                        | xi        |
| ÍNDICE DE FIGURAS.....                       | xii       |
| RESUMEN.....                                 | xv        |
| SUMMARY .....                                | xvi       |
| INTRODUCCIÓN .....                           | 1         |
| <br>   |           |
| <b>CAPITULO I.....</b>                       | <b>3</b>  |
| <br>   |           |
| <b>1. MARCO REFERENCIAL .....</b>            | <b>3</b>  |
| <b>1.1 Antecedentes .....</b>                | <b>3</b>  |
| <b>1.2 Formulación del problema .....</b>    | <b>4</b>  |
| <b>1.3 Sistematización del problema.....</b> | <b>4</b>  |
| <b>1.4 Justificación teórica .....</b>       | <b>4</b>  |
| <b>1.5 Justificación aplicativa .....</b>    | <b>5</b>  |
| <b>1.6 Objetivos .....</b>                   | <b>6</b>  |
| <i>1.6.1 Objetivo general .....</i>          | <i>6</i>  |
| <i>1.6.2 Objetivos específicos.....</i>      | <i>6</i>  |
| <br>   |           |
| <b>CAPITULO II .....</b>                     | <b>7</b>  |
| <br>   |           |
| <b>2. MARCO TEÓRICO .....</b>                | <b>7</b>  |
| <b>2.1 Introducción .....</b>                | <b>7</b>  |
| <b>2.2 Antena .....</b>                      | <b>7</b>  |
| <i>2.2.1 Parámetros de las antenas .....</i> | <i>8</i>  |
| <i>2.2.1.1 Regiones de campo.....</i>        | <i>8</i>  |
| <i>2.2.1.2 Patrón de radiación .....</i>     | <i>10</i> |
| <i>2.2.1.3 Directividad .....</i>            | <i>11</i> |
| <i>2.2.1.4 Ganancia.....</i>                 | <i>12</i> |
| <i>2.2.1.5 Impedancia de entrada.....</i>    | <i>13</i> |

|  |           |
|--|-----------|
| 2.2.1.6 Ancho de banda.....                            | 14        |
| 2.2.1.7 Ancho de haz.....                              | 15        |
| 2.2.1.8 Polarización.....                              | 15        |
| 2.2.1.8.1 Polarización lineal.....                     | 16        |
| 2.2.1.8.2 Polarización circular.....                   | 16        |
| 2.2.1.8.3 Polarización elíptica.....                   | 17        |
| <b>2.3 Antenas de gran ancho de banda.....</b>         | <b>18</b> |
| 2.3.1 Antena helicoidal.....                           | 18        |
| 2.3.2 Antenas de corneta rectangulares.....            | 20        |
| 2.3.3 Antena biconica.....                             | 20        |
| 2.3.4 Antena vivaldi.....                              | 21        |
| 2.3.5 Antena logarítmica periódica.....                | 22        |
| <b>2.4 Hyperlog 60200 x.....</b>                       | <b>24</b> |
| <b>2.5 Tecnología microstrip.....</b>                  | <b>25</b> |
| <b>2.6 Materiales.....</b>                             | <b>27</b> |
| 2.6.1 Dieléctrico.....                                 | 27        |
| 2.6.1.1 Dieléctrico rogers rt / duroid 5880.....       | 27        |
| 2.6.2 Conector sub miniatura versión a (SMA).....      | 29        |
| 2.6.2.1 Conector sub miniatura versión a hembra.....   | 30        |
| 2.6.3 Generador de señales.....                        | 31        |
| 2.6.3.1 Anritsu mg3690c.....                           | 31        |
| 2.6.4 Analizador del espectro radioeléctrico.....      | 31        |
| 2.6.4.1 Anritsu ms2724c.....                           | 31        |
| 2.6.5 Línea de transmisión.....                        | 32        |
| 2.6.5.1 Pigtail rg 174.....                            | 32        |
| <b>2.7 Software.....</b>                               | <b>33</b> |
| 2.7.1 Ansoft designer.....                             | 33        |
| 2.7.1.1 Términos de ansoft designer.....               | 34        |
| 2.7.2 Adobe illustrator (ai).....                      | 35        |
| 2.7.3 Software cnc usb.....                            | 35        |
| 2.7.4 Software matlab.....                             | 36        |
| <b>2.8 Ecuaciones para el diseño de la antena.....</b> | <b>37</b> |
| 2.8.1 Angulo virtual.....                              | 38        |
| 2.8.2 Factores de espaciamiento y escalamiento.....    | 38        |
| 2.8.3 Ancho de banda.....                              | 40        |
| 2.8.3.1 Ancho de banda deseado.....                    | 40        |
| 2.8.3.2 Ancho de banda en la región activa.....        | 40        |



|  |           |
|--|-----------|
| 2.8.3.3 Ancho de banda del diseño .....  | 40        |
| 2.8.4 Longitud de onda máxima .....  | 40        |
| 2.8.5 Longitud del eje principal .....   | 41        |
| 2.8.6 Longitud del elemento más largo.....   | 41        |
| 2.8.7 Número de elementos .....  | 41        |
| 2.8.8 Ubicación del dipolo más largo .....   | 42        |
| 2.8.9 Longitudes de los dipolos .....  | 42        |
| 2.8.10 Longitud de la antena .....   | 42        |
| 2.8.11 Dimensiones relacionando la constante dieléctrica.....                                    | 42        |
| <br>   |           |
| <b>CAPITULO III.....</b>   | <b>44</b> |
| <br>   |           |
| <b>3. MARCO METODOLÓGICO.....</b>  | <b>44</b> |
| <b>3.1 Introducción .....</b>  | <b>44</b> |
| <b>3.2 Metodología del diseño de la antena.....</b>  | <b>44</b> |
| <b>3.3 Requerimientos de la antena .....</b>   | <b>44</b> |
| 3.3.1 Especificación de intervalo de frecuencias de operación y ganancia .....                   | 44        |
| 3.3.2 Obtención de $\tau$ y $\sigma$ , de las curvas de contorno para un ganancia constante..... | 44        |
| 3.3.3 Calculo del número de elementos, longitud y separación .....                               | 45        |
| 3.3.4 Obtención de los valores de longitud y espaciamiento entre cada elemento.....              | 45        |
| 3.3.5 Longitudes y espaciamiento de cada elemento con el sustrato dieléctrico .....              | 46        |
| 3.3.6 Optimización las longitudes y espaciamiento de los elementos de la antena.....             | 47        |
| <b>3.4 Diseño de la antena en el software designer.....</b>                                      | <b>49</b> |
| 3.4.1 Dieléctrico rogers 5880 .....  | 49        |
| 3.4.2 Valores vectoriales de las longitudes de la antena .....                                   | 50        |
| 3.4.3 Estructura de la antena logarítmica ultra wide band .....                                  | 51        |
| 3.4.4 Adición de un puerto de excitación.....  | 51        |
| 3.4.5 Definición del intervalo de frecuencias a simular .....                                    | 52        |
| <b>3.5 Resultados de la simulación.....</b>  | <b>53</b> |
| 3.5.1 Perdidas por regreso .....   | 53        |
| 3.5.2 Impedancia .....   | 54        |
| <b>3.6 Rediseño de la antena .....</b>   | <b>54</b> |
| 3.6.1 Antena logarítmica ultra wide band.....  | 54        |
| <b>3.7 Resultados de la simulación.....</b>  | <b>55</b> |
| 3.7.1 Perdidas por regreso .....   | 55        |

|   |    |
|---|----|
| 3.7.2 <i>Impedancia</i> .....   | 56 |
| <b>3.8 Construcción de la antena patrón</b> .....   | 56 |
| 3.8.1 <i>Grabado del circuito impreso en el dieléctrico</i> .....                         | 56 |
| 3.8.2 <i>Ensamble de la antena</i> .....  | 58 |
| <b>3.9 Construcción de un case protector</b> .....  | 59 |
| 3.9.1 <i>Diseño de un protector tridimensional</i> .....                                  | 59 |
| 3.9.2 <i>Construcción del protector de la antena</i> .....                                | 60 |
| <br>  |    |
| <b>CAPITULO IV</b> .....  | 61 |
| <br>  |    |
| <b>4. MARCO DE ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b> .....                               | 61 |
| <b>4.1 Evaluación de la antena en el laboratorio de comunicaciones y microondas</b> ..... | 61 |
| 4.1.1 <i>Perdidas por regreso</i> .....   | 63 |
| 4.1.1.1 <i>Analizador de señales Arintsu MS2724C</i> .....                                | 63 |
| 4.1.1.2 <i>Graficas del ancho de banda en Matlab de la simulación en Designer</i> .....   | 68 |
| 4.1.1.3 <i>Grafico obtenido de las mediciones reales</i> .....                            | 68 |
| 4.1.1.4 <i>Comparación graficas</i> .....   | 69 |
| <br>  |    |
| <b>CONCLUSIONES</b> .....   | 71 |
| <b>RECOMENDACIONES</b> .....  | 71 |
| <br>  |    |
| <b>BIBLIOGRAFÍA</b>   |    |
| <br>  |    |
| <b>ANEXOS</b>   |    |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1—2: Características del conector SMA hembra.....                     | 30 |
| Tabla 2—2: Algunos valores estándar de la ganancia, $\tau$ y $\sigma$ ..... | 39 |
| Tabla 1—3: Principales parámetros de la antena.....                         | 45 |
| Tabla 2—3: Longitudes de la antena en el espacio libre.....                 | 46 |
| Tabla 3—3: Longitudes y Separaciones de los Dipolos.....                    | 47 |
| Tabla 4—3: Principales parámetros de la antena.....                         | 48 |
| Tabla 5—3: Dimensiones y separaciones de cada elemento de la antena.....    | 49 |
| Tabla 1—4: Resultados obtenidos de las pérdidas por regreso.....            | 65 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1-2: Regiones de campo ligadas a una antena. ....                                 | 9  |
| Figura 2-2: Diagrama de radiación en coordenadas polares y cartesianas. ....             | 11 |
| Figura 3-2: Descripción de una antena con sus dos terminales. ....                       | 13 |
| Figura 4-2: Ancho de Haz en relación con el lóbulo principal. ....                       | 15 |
| Figura 5-2: Descripción de una antena helicoidal. ....                                   | 19 |
| Figura 6-2: Antena de corneta rectangulares Piramidal y Ridge Horn. ....                 | 20 |
| Figura 7-2: Antena bicónica comercial de Cono sólido y de Alambre. ....                  | 21 |
| Figura 8-2: Antenas Vivaldi de Ranura cónica y Antipodal. ....                           | 21 |
| Figura 9-2: Antena logarítmica periódica de dipolos y Planar. ....                       | 23 |
| Figura 10-2: Antena Logarítmica Periódica HyperLOG 60200x. ....                          | 25 |
| Figura 11-2: Línea de Transmisión Microstrip ....  | 26 |
| Figura 12-2: Laminado dieléctrico Rogers RT / duroid 5880. ....                          | 28 |
| Figura 13-2: Conector SMA hembra. ....   | 30 |
| Figura 14-2: Generador de señales Anritsu MG3690C. ....                                  | 31 |
| Figura 15-2: Analizador del espectro Anritsu MS2724C. ....                               | 32 |
| Figura 16-2: Pigtail RG 174. ....  | 32 |
| Figura 17-2: Ventana de Ansoft Designer. ....  | 33 |
| Figura 18-2: Ventana principal de adobe ilustrador. ....                                 | 35 |
| Figura 19-2: Ventana principal del software CNC USB. ....                                | 36 |
| Figura 20-2: Ventana principal de Matlab. ....   | 37 |
| Figura 21-2: Medidas de una antena logarítmica periódica. ....                           | 38 |
| Figura 22-2: Factor de espaciamiento vs factor de escalamiento. ....                     | 39 |
| Figura 1-3: Parámetros sujetos a optimización. ....                                      | 47 |
| Figura 2-3: Descripción de las capas del dieléctrico. ....                               | 50 |
| Figura 3-3: Valores de las componentes vectoriales de la antena logarítmica patrón. .... | 50 |
| Figura 4-3: Antena Logarítmica Ultra Wide Band. ....                                     | 51 |
| Figura 5-3: Puerto de alimentación de la antena. ....                                    | 52 |
| Figura 6-3: Definición del intervalo de frecuencia para la evaluación. ....              | 52 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 7-3: Perdidas por Retoro de la antena.....  | 53 |
| Figura 8-3: Impedancia versus frecuencia. ....   | 54 |
| Figura 9-3: Antena Logarítmica Ultra Wide Band. ....   | 54 |
| Figura 10-3: Perdidas por Retoro de la antena.....   | 55 |
| Figura 11-3: Impedancia versus frecuencia. ....  | 56 |
| Figura 12-3: Diseño Tridimensional De La Antena Logarítmica Ultra Wide Band. ....              | 57 |
| Figura 13-3: Antena Logarítmica Ultra Wide Band. ....  | 58 |
| Figura 14-3: Antena Logarítmica Ultra Wide Band. ....  | 59 |
| Figura 15-3: Estructura protectora del a antena. ....  | 59 |
| Figura 16-3: Materialización del protector de la antena. ....                                  | 60 |
| Figura 1-4: Sistema de comunicaciones inalámbrico evaluador. ....                              | 61 |
| Figura 2-4: Antena HyperLOG 60200 x.....   | 62 |
| Figura 3-4: Antena Logarítmica patrón Ultra Wide Band. ....                                    | 62 |
| Figura 4-4: Sistema de caracterización de antenas. ....  | 63 |
| Figura 5-4: Analizador del espectro radioeléctrico.....  | 64 |
| Figura 6-4: Ancho de banda de simulación de antena logarítmica ultra wide band en matlab. .... | 68 |
| Figura 7-4: Coeficiente de Transmisión versus Frecuencia .....                                 | 68 |
| Figura 8-4: Comparación entre el coeficiente de reflexión y transmisión de la antena. ....     | 69 |
| Figura 9-4: Comparación entre el coeficiente de reflexión y transmisión de la antena. ....     | 70 |
| Figura 10-4: Comparación entre el coeficiente de reflexión y transmisión de la antena. ....    | 70 |

## ÍNDICE DE ECUACIONES

|                     |    |
|---------------------|----|
| Ecuación 1—2 .....  | 9  |
| Ecuación 2—2 .....  | 9  |
| Ecuación 3—2 .....  | 12 |
| Ecuación 4—2 .....  | 12 |
| Ecuación 5—2 .....  | 12 |
| Ecuación 6—2 .....  | 13 |
| Ecuación 7—2 .....  | 14 |
| Ecuación 8—2 .....  | 14 |
| Ecuación 9—2 .....  | 14 |
| Ecuación 10—2 ..... | 16 |
| Ecuación 11—2 ..... | 16 |
| Ecuación 12—2 ..... | 17 |
| Ecuación 13—2 ..... | 17 |
| Ecuación 14—2 ..... | 17 |
| Ecuación 15—2 ..... | 17 |
| Ecuación 16—2 ..... | 17 |
| Ecuación 17—2 ..... | 29 |
| Ecuación 18—2 ..... | 29 |
| Ecuación 19—2 ..... | 29 |
| Ecuación 20—2 ..... | 29 |
| Ecuación 21—2 ..... | 38 |
| Ecuación 22—2 ..... | 40 |
| Ecuación 23—2 ..... | 40 |
| Ecuación 24—2 ..... | 40 |
| Ecuación 25—2 ..... | 41 |
| Ecuación 26—2 ..... | 41 |
| Ecuación 27—2 ..... | 41 |
| Ecuación 28—2 ..... | 41 |
| Ecuación 29—2 ..... | 42 |
| Ecuación 30—2 ..... | 42 |
| Ecuación 31—2 ..... | 42 |
| Ecuación 32—2 ..... | 42 |
| Ecuación 33—2 ..... | 43 |
| Ecuación 34—2 ..... | 43 |

## RESUMEN

En la presente investigación se desarrolló y evaluó una antena logarítmica de banda ultra amplia (*ultra wide band*) para la caracterización de antenas dentro del ancho de banda de 1 a 10 GHz. La metodología empleada fue de tipo descriptiva, mediante la cual se detalla el proceso del desarrollo y optimización de los cálculos matemáticos necesarios para establecer los requerimientos de la antena. También se explica el proceso de desarrollo de la figura geométrica logarítmica, estableciendo una dimensión y separación de cada dipolo. El proceso de diseño entregó como resultado el modelo geométrico de la antena obteniendo en sus resultados simulados de pérdidas por regreso de onda con resultados por debajo de los -10 dBm. Después, el proceso de fabricación se realizó en una máquina de corte y grabado router de control numérico por computadora (CNC) de marca RUIDIAO RD-HA1325, ubicada en la ciudad de Ambato, el grabado se lo efectúa en una lámina del dieléctrico Rogers Duroid 5880. Finalmente, el análisis y evaluación de la antena se realizó dentro del laboratorio de comunicaciones y microondas de la Facultad de Informática y Electrónica, con un generador de señales de marca Anritsu MG3690C y un analizador del espectro electromagnético de marca Anritsu MS2724C obteniendo en sus resultados mediciones de pérdidas por regreso de onda con resultados por debajo de los -35 dBm. Los resultados obtenidos del análisis de la antena tanto teóricos como prácticos determinan que, gracias a su ultra ancho, de banda de 1 a 10 GHz, permite determinar las características de otras antenas con frecuencias de operación dentro de su ancho de banda, y es considerada como herramienta dentro del laboratorio de comunicaciones y microondas. Se recomienda, para futuras investigaciones, utilizar computadoras de alta capacidad de cómputo, debido a que el software de simulación electromagnético trabaja a elevadas capacidades de procesamiento.

**Palabras Claves:** <TELECOMUNICACIONES>, <ANTENAS>, <ANTENA LOGARÍTMICA PATRÓN>, <MICROSTRIP>, <CONTROL NUMÉRICO POR COMPUTADORES (CNC)>, <EVALUACIÓN DE PARÁMETROS DE ANTENAS>.

## SUMMARY

In present research developed and assessed an ultra-wide-band logarithmic antenna for the characterization of other antennas within the bandwidth of 1 to 10 GHz. The methodology used was descriptive type, which details the process of development and optimization of the mathematical calculations needed to establish the requirements of the antenna. It also explains the process of development of the logarithmic geometric figure, establishing a dimension and separation of each dipole. The design process resulted in the geometric model of the antenna obtaining in its simulated results lost by return wave with results below -10 dBm. Then, the manufacturing process was carried out in a cutting machine and engraving router of computer numerical control (CNC) of mark RUIDIAO RD-HA1325, located in the city of Ambato. The engraving is made in a sheet of the dielectric Rogers Duroid 5880. Finally, the analysis and evaluation of the antenna was carried out within the communications and microwave laboratory of the Faculty of Informatics and Electronics, with a signal generator brand Anritsu MG3690C and an Anritsu MS2724C electromagnetic spectrum analyzer obtaining measures of its lost by return wave with results below the -35 dBm. The results obtained from the analysis of the antenna both theoretical and practical determine that, thanks to its ultra-bandwidth of 1 to 10 GHz, it allows determining the characteristics of other antennas with operating frequencies within its bandwidth, and is considered as tool inside the communications laboratory and microwave. It is recommended, for future investigations, to use computers with high computing capacity, because the electromagnetic simulation software works at high processing capacities.

**KEYWORDS:** <TELECOMUNICACIONES>, <ANTENAS>, <LOGARITHMIC ANTENNA PATTERN>, <MICROSTRIP>, <COMPUTER NUMERICAL CONTROL (CNC)>, <EVALUATION OF PARAMETERS>



## INTRODUCCIÓN

Los fenómenos electromagnéticos han sido objeto de estudio por su habilidad de transportar la información a través del espacio vacío. En la actualidad el avance de las técnicas y tecnologías de las telecomunicaciones, muestra soluciones para la búsqueda de la miniaturización de los dispositivos y al mismo tiempo, llegar a obtener altas prestaciones y un alto rendimiento. Provocado la necesidad de caracterizar y mejorar tecnológicamente los dispositivos encargados de transportar la información.

En los inicios de la década de 1950 se propuso la idea de una antena de microcinta con características ventajosas con respecto a otras estructuras; por ejemplo, son de tamaño reducido, pueden ser grabadas en superficies planas y son simples de construir empleando técnicas y materiales como sustratos dieléctricos modernos.

Existen aplicaciones que requieren antenas que mantengan un comportamiento de múltiples frecuencias, una solución son las antenas de banda ancha. Las antenas logarítmicas periódicas son estables en términos del rango de frecuencias de resonancia, polarización, patrón de radiación, y su técnica de alimentación reparte la energía en los distintos elementos que la componen. Además, su diseño permite trabajar en altas frecuencias, convirtiéndola en una antena que se usa en casi todos los sistemas de comunicaciones por microondas.

La antena logarítmica periódica genera un gran ancho de banda, el cual permite trabajar en frecuencias de operación establecidas en estándares inalámbricos. Además, Las antenas de banda ancha convencionales superan las dimensiones deseadas para ser incluidas en terminales inalámbricos. Por esta razón, se están estudiando nuevas técnicas y tecnologías aplicadas a la ingeniería de antenas para conseguir antenas microstrip con múltiples frecuencias.

Además, existen en el mercado internacional antenas con la capacidad de describir los parámetros de otras antenas. Sin embargo, la posibilidad de obtener antenas con un gran ancho de banda capaces de recolectar muestras con resultados fiables es sumamente costoso. Por lo tanto, el diseño de una antena logarítmica periódica microstip, utilizando un sustrato dieléctrico eficaz, es menos costoso e incentiva el desarrollo de nuevos dispositivos tecnológicos dentro de la Facultad de Informática y Electrónica.

En el presente trabajo se diseña una antena logarítmica ultra wide band de 1 a 10 GHz, seleccionando el diseño que mejores características presente para emplearlo en la caracterización de antenas. Igualmente se propone el diseño de esta antena, para proporcionar soluciones para un amplio margen de aplicaciones inalámbricas. La idea principal de este diseño consiste en que el parche de microcintas continúa siendo el elemento radiante para conseguir características adicionales como el comportamiento en múltiples frecuencias.

# CAPITULO I

## 1 MARCO REFERENCIAL

### 1.1 Antecedentes

La observación de fenómenos electromagnéticos se inició cuando al actuar fuerzas eléctricas o magnéticas sobre determinadas cargas, producía un campo presente alrededor de la carga, la descripción matemática son las ecuaciones de Maxwell, que establecen la relación entre campos y cargas. Resultado con formas de ondas ligadas a una estructura de naturaleza metálica. Las ondas que producen las antenas son fenómenos electromagnéticos que se pueden observar mediante el uso de instrumentos de medición del espectro electromagnético.

El físico ruso Aleksander Stepánovich Popov desde 1890 realizó investigaciones para hallar la forma de detectar ondas electromagnéticas, en 1895 demostró ante la Sociedad de Física y Química Rusa la transmisión de señales a cierta distancia sin utilizar medios físicos. En 1897 realizó experimentos acerca de la sensibilidad del dispositivo que permitía la comunicación inalámbrica, demostrando que la sensibilidad aumentaba al unir el dispositivo a un hilo conductor suspendido en una cometa, incorporando en la historia el concepto de antena.

En el año de 1907 la academia sueca de ciencias otorgó el premio nobel de física a Karl F. Braun y a Guglielmo Marconi por sus aportaciones en el desarrollo de la telegrafía inalámbrica. En 1901 Marconi logró la primera comunicación transoceánica entre el condado de Cornualles, Gran Bretaña, y la isla de Terranova, Canadá. Algunas características del sistema de comunicación inalámbrico que utilizó Marconi fueron las siguientes:

- Frecuencia de operación de 820 KHz
- Potencia del transmisor de 15 KW
- Antena transmisora fue un monopolo construido en forma de abanico soportada por dos mastines de 48 m de altura y separados 60 m
- Antena receptora fue un hilo metálico atado a una cometa

Por lo tanto, una antena se puede definir como un conductor metálico con el fin de enviar y recibir información de forma inalámbrica.

## **1.2 Formulación del problema**

Los componentes de un sistema de comunicación inalámbrico, en específico la antena, deben ser tratados con mucha atención, ya que los parámetros de las antenas definen el rendimiento del sistema, entre los que más resaltan están: la frecuencia de operación, la directividad, la ganancia y la potencia de trabajo.

Dichos parámetros permiten a una antena ofrecer una comunicación inalámbrica estable y fluida, por lo tanto, el método de caracterización de las antenas es importante para recolectar información acerca de los parámetros de las antenas y tener la certeza de que son los correctos para que la antena pueda transmitir su información sin problema alguno.

## **1.3 Sistematización del problema**

- ¿Es el diseño adecuado para que se acople a los requerimientos establecidos para la antena patrón?
- ¿Cuáles son las características o requerimientos que debe cumplir la antena patrón dentro del laboratorio?
- ¿El prototipo de equipo diseñado, cumple con los requerimientos establecidos en esta investigación para considerarlo como una herramienta en el laboratorio?

## **1.4 Justificación teórica**

La antena ultra-wide-band es considerada como herramienta de laboratorio de comunicaciones y microondas en el campo de las telecomunicaciones. El tema impulsa el deseo de conocer los parámetros de las antenas para asegurar, por parte de la antena, una comunicación inalámbrica fluida.

Para que la antena envíe y reciba información de manera fluida, los parámetros de las antenas deben ser obtenidos mediante la caracterización de las antenas utilizando una antena patrón.

La antena logarítmica periódica es el diseño propuesto para la antena patrón, ya que es el que mejor se ajusta para lograr la meta de la presente investigación, que es el aporte de una antena logarítmica periódica ultra wide band capaz de caracterizar otras antenas dentro de su rango de sus frecuencias de operación de 1 a 10 GHz dentro del laboratorio de comunicaciones y microondas.

### **1.5 Justificación aplicativa**

Dentro de las telecomunicaciones, el conocimiento para desarrollar las comunicaciones inalámbricas enfocado en las antenas es importante ya que proporcionan la salida y llegada de la información.

Dentro del laboratorio de comunicaciones y microondas poseen una importante atención de análisis y estudio, más aún dentro de la carrera de Ingeniería en Electrónica Telecomunicaciones y Redes de la Facultad de Informática y Electrónica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, que dentro de su pensum académico se encuentran materias que tienen relación directa con las antenas como lo son:

- Teoría Electromagnética I
- Teoría Electromagnética II
- Propagación y Antenas
- Radioenlaces

La antena logarítmica periódica ultra wide band ofrece la capacidad de recolectar datos de otras antenas para caracterizarlas y conocer sus propiedades, caso práctico en el laboratorio de comunicaciones y microondas perteneciente a la Facultad de Informática y Electrónica.

## **1.6 Objetivos**

### ***1.6.1 Objetivo general***

Diseñar e implementar una antena logarítmica ultra wide band, con ancho de banda de 1 a 10 GHz, mediante el uso de la tecnología microstrip, para la caracterización de antenas, caso práctico, laboratorio de comunicaciones y microondas.

### ***1.6.2 Objetivos específicos***

- Analizar el estado del arte acerca de las características y requerimientos que debe cumplir la antena patrón dentro del laboratorio de comunicaciones y microondas de la facultad de informática y electrónica.
- Diseñar la antena patrón con un ancho de banda de 1 a 10 GHz para que se ajuste a los requerimientos analizados.
- Implementar la antena patrón con ancho de banda de 1 a 10 GHz para efectuar el proceso de evaluación.
- Evaluar la antena con el fin de conocer si es considerado un instrumento del laboratorio comunicaciones y microondas.

## **CAPITULO II**

### **2 MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Introducción**

En el presente capítulo se expone conceptos necesarios para establecer una idea acerca de lo que es la antena, así como sus definiciones y parámetros que las caracterizan. Adicionalmente se expone los diferentes tipos de antenas de banda ancha que han sido estudiadas a lo largo de la historia. Además, se expone las definiciones de los materiales, aplicaciones y equipos utilizados en la presente investigación, así como las ecuaciones involucradas en el cálculo de las longitudes apropiadas para el diseño logarítmico de la antena.

#### **2.2 Antena**

Las ondas electromagnéticas viajan a la velocidad de la luz cuando se propagan en el vacío, y casi a la velocidad de la luz cuando lo hacen a través del aire. Sin embargo, en las líneas metálicas de transmisión, donde el conductor suele ser cobre, y en los materiales dieléctricos, la velocidad varía mucho de acuerdo con el tipo de cable, y una onda electromagnética viaja con mucha mayor lentitud (Tomasi 2010, p. 322).

El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE), define a la antena como una estructura de transición entre el espacio libre y se utiliza para transportar energía electromagnética desde la fuente de transmisión hacia una fuente de recepción. (Balanis 2005)

En las últimas décadas, los investigadores de antenas han logrado una importante reducción del tamaño de las antenas instaladas en dispositivos inteligentes, mejorando la apariencia del dispositivo y reduciendo la posibilidad de ruptura de la antena. Hoy en día, casi todas las antenas se pueden incrustar en dispositivos portátiles. (Chen 2007, p. 1).

De manera general una antena se define como la estructura asociada con la región de transición entre una onda guiada y una onda de espacio libre, o viceversa. En la práctica siempre existe una interacción con el entorno (Johnson y Jasik 1993, p. 1).

En resumen, una antena es un elemento que compone un sistema de comunicaciones inalámbrico, cuya estructura está encargada de convertir y transportar energía electromagnética desde un transmisor hacia un receptor, con la mayor fluidez posible.

### **2.2.1 Parámetros de las antenas**

Una antena formará parte de un sistema más amplio de radiocomunicaciones. Interesará, por lo tanto, caracterizarla con una herramienta de microondas para recolectar una serie de muestras de sus parámetros, y que permitan evaluar el efecto en el sistema de comunicaciones, o bien especificar el comportamiento deseado de una antena para incluirla en ese sistema.

Las antenas se comportan de igual manera en recepción que en emisión y se caracterizan por una serie de cualidades que describen su rendimiento dentro de un sistema de comunicaciones inalámbrico. De entre los parámetros más conocidos están: regiones de campo, patrón de radiación, directividad, ganancia, impedancia de la antena, ancho de banda, ancho del haz, tipo de polarización. A continuación, se detalla cada uno de estos términos que se deben considerar en el diseño de antenas.

#### **2.2.1.1 Regiones de campo**

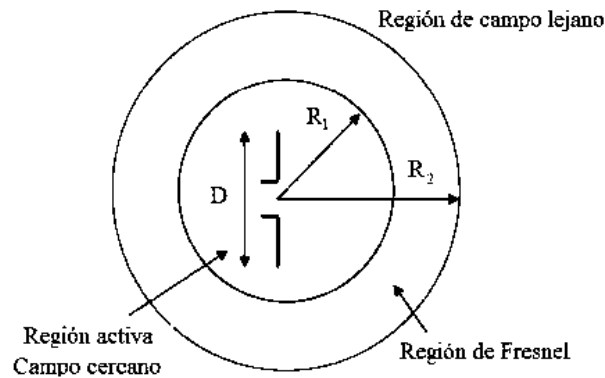
Generalmente la distribución de la intensidad de campo sobre una antena es una función tanto de la distancia desde la antena como de las coordenadas angulares. La fuerza de este componente reactivo, sin embargo, decae rápidamente con la distancia de la antena, por lo que pronto se vuelve insignificante en comparación con la fuerza de la radiación (Johnson y Jasik 1993, p. 10).



Para identificar la estructura de campo se definen tres regiones. Los límites que separan estas regiones no son únicos, y se utilizan comúnmente para identificar cada una de las regiones (Balanis 2005, p. 34).

Estas regiones se pueden interpretar como el espacio que rodea una antena y se subdivide en:

- Campo cercano reactivo
- Irradiando el campo cercano (Fresnel)
- Campo lejano (Fraunhofer)



**Figura 1-2:** Regiones de campo ligadas a una antena.

Fuente:(Balanis 2005, p. 34).

En la Figura 1 – 2, se observa las regiones de campo que rodea a la antena. La Ecuación 1 – 2 y la Ecuación 2 – 2 se encargan de la descripción de como calcular las regiones de campo cercano y lejano respectivamente.

$$R_1 = 0.62\sqrt{D^3/\lambda}$$

Ecuación 1—2

$$R_2 = \frac{2 D^2}{\lambda}$$

Ecuación 2—1

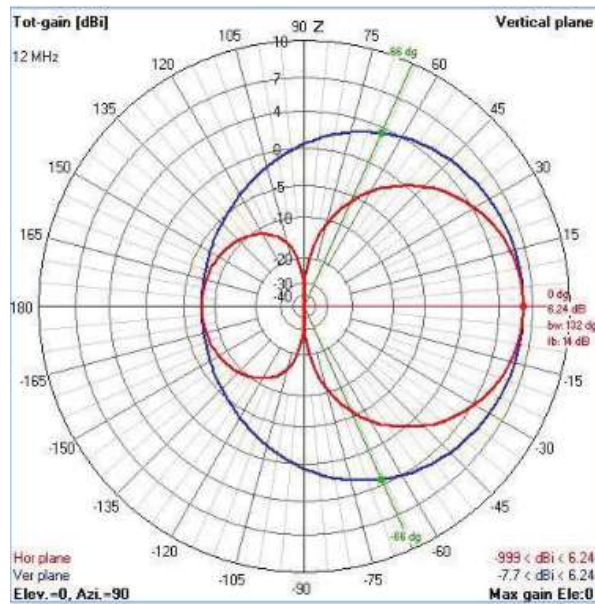
- $R_1$  = Región de campo cercano.
- $R_2$  = Región de Fresnel.
- $D$  = Dimensión máxima de la antena.
- $\lambda$  = Longitud de onda.

### 2.2.1.2 Patrón de radiación

El patrón de radiación de una antena se define como una función matemática o representación gráfica de las propiedades de radiación de la antena en función de las coordenadas espaciales, en la mayoría de los casos, se determina en la región del campo lejano y se representa en función de las coordenadas direccionales, las propiedades de radiación incluyen la densidad de flujo de potencia, la intensidad de radiación, la intensidad de campo, la directividad, la fase o la polarización (Balanis 2005, p. 27).

El patrón de radiación de una antena es correspondiente a la dependencia angular de la intensidad de una señal electromagnética captada por la antena. El patrón de radiación se forma por los planos eléctrico (E) y magnético (H) que se encuentran en dirección de la propagación de las ondas, en donde el plano E representa la dirección máxima de radiación del campo eléctrico y el plano H representa la dirección de máxima radiación del campo magnético (TAPIA UGARTE 2013, p. 11).

Las técnicas gráficas son de gran utilidad en el momento de dibujar formas tridimensionales de las ondas electromagnéticas propagadas. En la Figura 2 – 2 se observa la representación del diagrama de radiación en coordenadas polares y cartesianas además del diagrama de radiación tridimensional, para una antena direccional.



**Figura 2 - 1:** Diagrama de radiación de una antena logarítmica.

Fuente: (Loachamin Quinga 2016, p. 228)

Un 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. Con la antena situada en el origen y manteniendo constante la distancia se expresará el campo eléctrico en función de las variables angulares ( $\theta, \varphi$ ).

Como el campo magnético se deriva directamente del eléctrico, la representación podría realizarse a partir de cualquiera de los dos, siendo norma habitual que los diagramas se refieran al campo eléctrico. La densidad de potencia es proporcional al cuadrado del módulo del campo eléctrico, por lo que la representación gráfica de un diagrama de potencia contiene la misma información que un diagrama de radiación de campo (Cardama Aznar 2009, p. 20).

### 2.2.1.3 Directividad

La directividad de una antena se define como la relación de la intensidad de radiación en una dirección dada desde la antena a la intensidad de radiación promediada en todas las direcciones. La intensidad de radiación promedio es igual a la potencia total irradiada por la antena dividida por  $4\pi$ . Si la dirección no está especificada, la dirección de máxima intensidad de radiación está implícita (Balanis 2005, p. 39).

La directividad es una medida que describe propiedades de la dirección de las ondas electromagnéticas que la antena guía y está controlada por el patrón de radiación, la Ecuación 3 – 2 describe la directividad y la Ecuación 4 – 2 describiendo la directividad máxima.

$$D = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{P_{rad}}$$

Ecuación 3—2

$$D_{max} = D_0 = \frac{U_{max}}{U_0} = \frac{4\pi U_{max}}{P_{rad}}$$

Ecuación 4—2

$D_{ir}$  = Directividad.  
 $D_{max}$  = Directividad máxima.  
 $U$  = Radiación.  
 $U_{max}$  = Radiación máxima.  
 $P_{rad}$  = Potencia de entrada.

#### 2.2.1.4 Ganancia

La ganancia de una antena se define como la relación de la intensidad, en una dirección dada, a la intensidad de radiación que se obtendría si la potencia aceptada por la antena se irradiara isotrópicamente. La intensidad de radiación correspondiente a la potencia isotrópica radiada es igual a la potencia aceptada por la antena dividida por  $4\pi$  (Balanis 2005, p. 58).

La ganancia describe el rendimiento de una antena y se encuentra en estrecha relación con la directividad, tomando en cuenta la eficiencia de la antena, así como sus capacidades direccionales. Los cálculos de la ganancia se los efectúa mediante la Ecuación 5 – 2 y Ecuación 6 – 2.

$$G = \frac{4\pi U_{(\theta, \phi)}}{P_{in}}$$

Ecuación 5—2

$$G_{dB} = 10 \log(G)$$

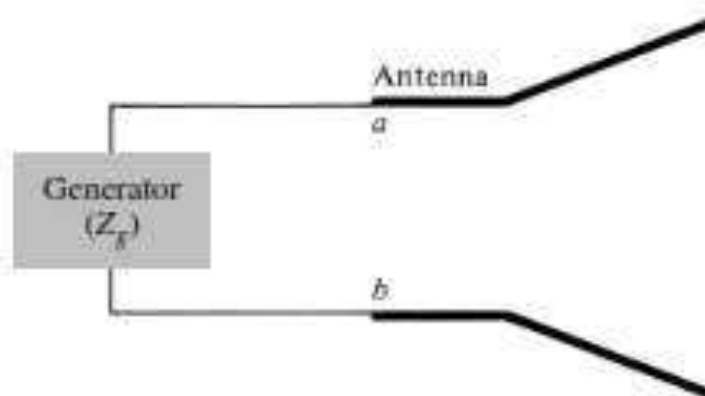
Ecuación 6—2

G = Ganancia de la antena.  
 $P_{in}$  = Potencia de entrada.  
 U = Intensidad de Radiación.

### 2.2.1.5 Impedancia de entrada

La antena se conecta a un transmisor y radia el máximo de potencia posible con un mínimo de pérdidas. La antena y el transmisor han de adaptarse para una máxima transferencia de potencia tenga lugar. Habitualmente el transmisor se encuentra alejado de la antena y la conexión se hace mediante una línea de transmisión o guía de ondas, y participa esta adaptación, debiéndose considerar su impedancia característica, su atenuación y su longitud (Cardama Aznar 2009, p. 17).

En la Figura 3 – 2 se designa como a – b a los terminales de voltaje, Es la impedancia presentada por una antena en sus terminales o la relación del voltaje a la corriente en un par de terminales. (Balanis 2005)



**Figura 3-2:** Antena en modo de transmisión.

Fuente:(Balanis 2005, p. 74).

La relación entre la tensión y la corriente en estos terminales, sin carga, define la impedancia de la antena y se lo puede calcular mediante la Ecuación 7 – 2.

$$Z_A = R_A + jX_A$$

Ecuación 7—2

$Z_A$  = Impedancia de la antena.  
 $R_A$  = Resistencia de la antena.  
 $X_A$  = Reactancia de la antena.

En la Ecuación 8 – 2 se demuestra que de manera general la parte resistiva consiste en dos componentes, la resistencia de radiación y la resistencia de la antena.

$$R_A = R_r + R_L$$

Ecuación 8—2

$R_r$  = Resistencia de radiación.  
 $R_L$  = Resistencia a la pérdida de la antena.

#### 2.2.1.6 Ancho de banda

El ancho de banda de una antena es el grupo de frecuencias dentro de las cuales el rendimiento de la antena, con respecto a alguna característica, se ajusta a un estándar específico (Balanis 2005, p. 63).

El ancho de banda se mide en porcentaje y permite realizar un barrido de frecuencia través de la Relación de Ondas Estacionarias (ROE) menor que dos o a su vez perdidas menores a -10 dBm, y se lo calcula mediante la Ecuación 9 – 2, la cual contiene las frecuencias de operación tanto bajas como altas y su frecuencia central.

$$B = \frac{F_{max} - F_{min}}{F_c} \times 100$$

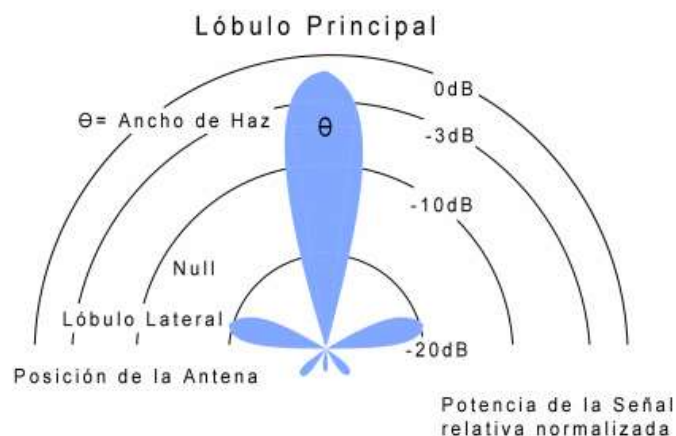
Ecuación 9—2

$B$  = Ancho de banda en porcentaje.  
 $F_{\max} - F_{\min}$  = Frecuencia máxima y mínima.  
 $F_c$  = Frecuencia central.

El ancho de banda de la antena lo impondrá el sistema del que forme parte y afectará al parámetro más crítico de la aplicación. Para su especificación los parámetros pueden dividirse en dos grupos, según se relacionen con el diagrama o con la impedancia. En el primero de ellos tendremos la directividad, la pureza de polarización, el ancho de haz, el nivel de lóbulo principal a secundario y la dirección de máxima radiación. En el segundo, la impedancia de la antena, el coeficiente de reflexión y la relación de onda estacionaria (Cardama Aznar 2009, p. 26)

### 2.2.1.7 Ancho de haz

El ancho de haz se expresa en grados y es el ángulo donde la potencia cae a la mitad, es decir a -3 dB por debajo de su nivel máximo. Se mide en el plano horizontal magnético, o en el plano vertical eléctrico. En la Figura 4 – 2, se observa el ancho del haz del lóbulo principal que irradia una antena (Kraus 2002, p. 23).



**Figura 4-2:** Ancho de Haz en relación con el lóbulo principal.

Fuente:(TAPIA UGARTE 2013, p. 11).

### 2.2.1.8 Polarización

La polarización de una onda es la propiedad de una onda electromagnética que describe la dirección variable en el tiempo y la magnitud relativa del vector de campo eléctrico. La figura se traza como una función del tiempo en una ubicación fija en el espacio, y el sentido en el que se traza es a lo largo de la dirección de propagación de la onda (Balanis 2005, p. 70).

Es decir, es la polarización de la onda radiada por la antena en una dirección dada, la misma que forma una figura geométrica determinada por el extremo del vector que representa al campo eléctrico en función del tiempo. Para ondas cuya variación es sinusoidal dicha figura geométrica es generalmente una elipse. Existen tres casos particulares de polarización: lineal, circular y elíptica.

La polarización de una onda es la figura geométrica descrita en función del tiempo, por el extremo del vector campo eléctrico en un punto fijo del espacio en el plano perpendicular a la dirección de propagación. Para ondas con variación temporal sinusoidal esa figura es en general una elipse, pero hay dos casos particulares de interés: si la figura trazada es un segmento, la onda se denomina linealmente polarizada y si es un círculo, circularmente polarizada (Cardama Aznar 2009, p. 24).

El campo instantáneo de una onda plana, que viaja en la dirección z negativa, se puede describir en la Ecuación 10-2.

$$\mathcal{E}(\mathbf{z}; t) = \hat{\mathbf{a}}_x \mathcal{E}_x(\mathbf{z}; t) + \hat{\mathbf{a}}_y \mathcal{E}_y(\mathbf{z}; t)$$

Ecuación 10—2

#### 2.2.1.8.1 Polarización lineal

La polarización lineal forma una figura que oscila de manera horizontal o vertical en un plano mientras la onda viaja. Mediante este tipo de polarización las antenas tienden a ser más pequeñas. En general, es ideal para distancias largas ya que toda la energía se enfoca en un solo plano. Para que la onda tenga polarización lineal, la diferencia de fase de tiempo entre los dos componentes debe cumplir con la Ecuación 11 – 2.

$$\Delta\phi = \phi_y - \phi_x = n\pi \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots$$

Ecuación 11—2

#### 2.2.1.8.2 Polarización circular

La polarización circular transmite en los planos horizontales y verticales con un desplazamiento de fase de 90°, se obtiene cuando las magnitudes de las dos componentes son iguales y la



diferencia de fase es múltiplo impar de  $\pi / 2$ . Una ventaja de utilizar polarización circular es su habilidad para rechazar la interferencia por reflexión. La Ecuación 12 – 2 y Ecuación 13 – 2 son utilizadas para la calcular la polarización circular.

$$|\mathcal{E}_x| = |\mathcal{E}_y| \Rightarrow E_{x0} = E_{y0}$$

Ecuación 12—2

$$\Delta\phi = \phi_y - \phi_x = \begin{cases} + \left(\frac{1}{2} + 2n\right)\pi, n = 0, 1, 2, \dots \\ - \left(\frac{1}{2} + 2n\right)\pi, n = 0, 1, 2, \dots \end{cases}$$

Ecuación 13—2

### 2.2.1.8.3 Polarización elíptica

La polarización elíptica se obtiene cuando sus magnitudes no son las mismas y la diferencia entre sus componentes de fase es múltiplo impar de  $\pi / 2$  o cuando la diferencia entre los dos componentes de fase no es igual a los múltiplos de  $\pi / 2$  independientemente del valor de su magnitud. La Ecuación 14 – 2, Ecuación 15 – 2 y Ecuación 16 – 2 son utilizadas para calcular la polarización elíptica.

$$|\mathcal{E}_x| \neq |\mathcal{E}_y| \Rightarrow E_{x0} \neq E_{y0}$$

Ecuación 14—2

$$\Delta\phi = \phi_y - \phi_x = \begin{cases} + \left(\frac{1}{2} + 2n\right)\pi & , n = 0, 1, 2, \dots \\ - \left(\frac{1}{2} + 2n\right)\pi & , n = 0, 1, 2, \dots \end{cases}$$

Ecuación 15—2

$$\Delta\phi = \phi_y - \phi_x \neq \pm \frac{n}{2}\pi = \begin{cases} > 0 & , n = 0, 1, 2, \dots \\ < 0 & , n = 0, 1, 2, \dots \end{cases}$$

Ecuación 16—2

## **2.3 Antenas de gran ancho de banda**

Los diferentes tipos de antenas presentan un comportamiento muy variable con respecto a la frecuencia, de forma que sólo pueden ser empleadas en un margen estrecho de frecuencias, con limitaciones: los dipolos finos presentan impedancias de entrada que varían rápidamente con la frecuencia y, por tanto, sólo pueden adaptarse a los transmisores o receptores en márgenes de frecuencias pequeños; las guías de onda rectangulares están limitadas en banda por la guía que las alimenta, que en general presenta anchos de banda inferiores a una octava; el empleo de reflectores, aunque son estructuras de banda ancha, también está limitado por el ancho de banda de los alimentadores que, en general, son guías de onda.

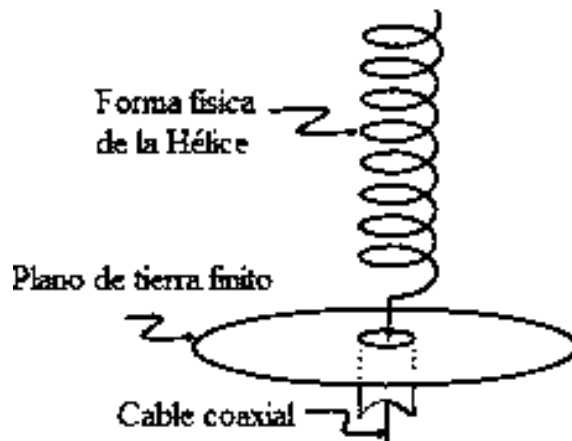
Las antenas de ultra banda ancha se las identifica por tener propiedades mediante las cuales pueden cubrir grandes intervalos de frecuencias ya que emiten parámetros constantes en un rango de frecuencias extenso de una o más octavas. La necesidad de reducir y simplificar el número de sistemas radiantes embarcados en aeronaves como: comunicaciones en distintas bandas de frecuencias o sistemas de radionavegación, se realizó un importante esfuerzo para desarrollar antenas que permitieran cubrir grandes márgenes de frecuencias durante y después de la segunda guerra mundial. Por antenas de banda ancha se entienden aquellas antenas que mantienen alguno de sus parámetros constantes o con variaciones pequeñas en un margen de frecuencias grande.

### **2.3.1 Antena helicoidal**

Un tipo de antena que presenta un comportamiento de banda ancha es la helicoidal, cuya geometría se representa en la Figura 5 – 2. Una hélice es el resultado de bobinar un hilo conductor sobre un cilindro de diámetro constante. Los parámetros geométricos de diseño de una hélice son: su diámetro, la separación entre dos vueltas o paso de la hélice, el número de vueltas, el diámetro del hilo y el sentido del bobinado.

En función de las dimensiones de la hélice existen dos modos básicos de funcionamiento: el modo normal y el modo axial. En el modo normal el máximo de radiación se produce en la dirección normal al eje de la hélice (hace referencia a perpendicular, ortogonal) y en el modo axial el máximo de radiación se encuentra en la dirección del eje de la hélice (Cardama Aznar 2009, p. 320).

La antena helicoidal es una antena de alambre conforma por un solenoide, poco común, debido a que sus características físicas le permiten cubrir intervalos de frecuencias mayores a 500 MHz. Presenta una polarización circular, es poco sensible a los fenómenos atmosféricos, es utilizada en las telecomunicaciones para el telecontrol de satelitales, además, por su diseño la ganancia aumenta cuando se añaden el número de espiras (Trujillo Ramírez 2012, p. 42).



**Figura 5-2:** Descripción de una antena helicoidal.

Fuente:(Trujillo Ramírez 2012, p. 42).

La antena helicoidal proporciona un ancho de banda moderadamente amplio y una polarización circular. Debido a la polarización, se considera adecuada para la recepción de radioastronomía. El paso de la hélice es la longitud axial de una vuelta. Se necesitan al menos tres vueltas para producir los máximos del lóbulo principal en modo axial (Carr 2001, p. 428).

### 2.3.2 Antenas de corneta rectangulares

Son un tipo de antenas que se forman por guías de onda que su radiación se enfoca en una embocadura, consiguiendo haces directivos con ganancias de entre 10 a 25 dBi. Fue desarrollada por Walton y Sundberg en 1964 ([Trujillo Ramírez 2012, p. 43](#)).



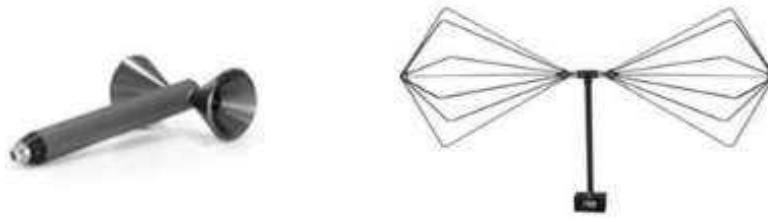
**Figura 6-2:** Antena de corneta rectangulares Piramidal y Ridge Horn.

Fuente:([Trujillo Ramírez 2012, p. 44](#)).

En La Figura 6 – 2 se aprecia dos tipos de antenas corneta rectangulares, los cuales son una terminación cónica rectangular de una longitud de guía de onda que proporciona la conversión de impedancia entre la impedancia de la guía de onda y la impedancia de espacio libre. Las antenas de bocina no son una combinación perfecta para la guía de onda, aunque se pueden lograr relaciones de onda estacionaria de 1.5: 1 o menos. La ganancia de un radiador de bocina es proporcional al área del ala abierta abocardada e inversamente proporcional al cuadrado de la longitud de onda ([Carr 2001, p. 403](#)).

### 2.3.3 Antena biconica

Las antenas bicónicas pueden abarcar bandas de frecuencia VHF y UHF, ya que su ancho de banda tiene la capacidad de cubrir varias octavas ([Trujillo Ramírez 2012, p. 46](#)).



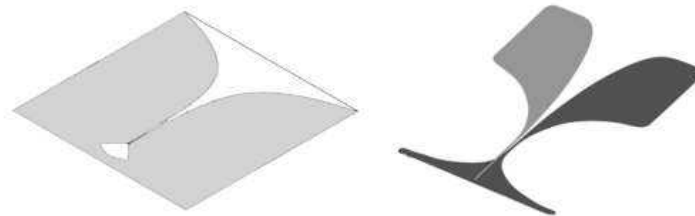
**Figura 7-2:** Antena bicónica comercial de Cono sólido y de Alambre.

Fuente:(Trujillo Ramírez 2012, p. 46).

En la Figura 7 – 2 se observa dos tipos de antenas bicónicas comerciales.

#### 2.3.4 Antena vivaldi

La antena Vivaldi tiene una forma exponencial cónica, por lo que el escalamiento continuo y la curvatura gradual de la estructura radiante aseguran un ancho de banda ilimitado de forma teórica, en la práctica se limita por las dimensiones de la placa exponencial cónica y por la línea de alimentación (Trujillo Ramírez 2012, p. 51).



**Figura 8-2:** Antenas vivaldi de ranura coplanar y antipodal.

Fuente:(Trujillo Ramírez 2012, p. 52).

En la Figura 8 – 2 se observa la forma geométrica de las antenas vivaldi de ranura cónica y antipodal. Las antenas Vivaldi son una de las mejores opciones para un gran ancho de banda, configuración plana y perfil bajo.

Una antena Vivaldi típica tiene características de radiación de fuego final, tiene dos variantes antipodal y coplanar. Su uso se destaca para aplicaciones de sigilo debido a sus características de impedancia y radiación.

Las antenas utilizadas para aplicaciones ocultas deben tener menos reflexiones cuando se implementan en un entorno electromagnético para hacer que la antena sea simplemente indetectable (Amutha y Karthipan 2018, p. 1).

### **2.3.5 Antena logarítmica periódica**

Las antenas logarítmicas periódicas fueron trabajo inicial de V.H.Rumsey, J.D.Dyson, R. DuHamel, y D.Isbell en la universidad de Illinois en 1957, derivando el análisis de los principios de periodicidad logarítmica y añadiendo una descripción matemática a la geometría de la antena, obteniendo un conjunto de dipolos con forma logarítmica (Trujillo Ramírez 2012, p. 44).

Esta antena mantiene su impedancia de entrada, ganancia y diagrama de radiación de manera continua. Puede trabajar en las bandas de VHF (30 – 300 MHz) y UHF (0.3- 3 GHz). Es decir, en el campo de las microondas puede trabajar en un intervalo de frecuencias desde 0.38 GHz hasta los 18 GHz (Trujillo Ramírez 2012, p. 33).

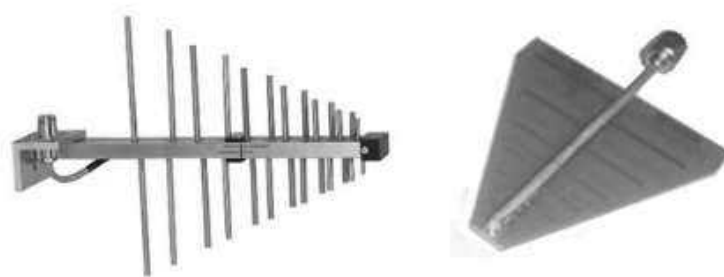
Está basada en una estructura trapezoidal realizada por una agrupación no uniforme de dipolos, de forma que todas las dimensiones que definen la agrupación se establecen por el factor de escalamiento  $\tau$  y el factor de espaciamiento  $\sigma$ . La agrupación logarítmica se alimenta por el vértice.

Los dipolos de longitud mayor actúan de reflectores mientras que los de longitud menor de directores. De esta forma el diagrama de radiación presenta el máximo en la dirección del vértice. La zona donde se produce la radiación se denomina región activa de la antena y estará formada por aquellos dipolos cuya longitud sea aproximadamente  $\lambda/2$  a la frecuencia de operación. La zona activa se desplaza a lo largo de la antena en función de la frecuencia.

Dado que el elemento radiante es un dipolo, la polarización es lineal. A partir de este razonamiento se comprende que el ancho de banda de una agrupación logarítmica estará fijado por la longitud del dipolo más largo y la del más corto. El diseño de una agrupación logarítmica se basa en gran parte en el empleo de curvas y tablas que se han obtenido de forma empírica o bien mediante modelos aproximados (Cardama Aznar 2009, p. 332).

El diseño de una antena de este tipo consiste en una figura geométrica básica que se repite, pero con distintos tamaños. Pueden ser unidireccionales o bidireccionales, y tener una ganancia directiva de baja a moderada. Cuando una estación transmite una señal, la antena se apunta en la dirección necesaria para recibir esa señal, se puede demostrar que sólo uno o dos de los elementos bipolares de la antena reaccionarán a la frecuencia, para cualquier frecuencia dada que se reciba, solo se consideran activos uno o dos de los elementos. Por su característica de gran ancho de banda se puede decir que son independientes de la frecuencia.

Dependiendo de la frecuencia de operación su región activa cambia, por lo tanto, cuando el dipolo más corto resuena, la frecuencia más alta se encuentra en operación y los otros dipolos actúan como reflectores, de manera progresiva cuando el dipolo más largo resuena, la frecuencia más baja se encuentra en operación. De manera que permite concentrar su energía en una dirección específica.



**Figura 9-2:** Antena logarítmica periódica de dipolos y Planar.

**Fuente:**(Trujillo Ramírez 2012, p. 45).

En la Figura 9 – 2 se encuentra la antena logarítmica periódica compuesta por dipolos de aluminio y en tecnología microstrip. La antena logarítmica periódica tiene un gran impacto en las aplicaciones comerciales y militares de todo el mundo. La miniaturización y el alto rendimiento se han convertido en la tendencia inevitable del desarrollo de las antenas de gran ancho de banda. En algunas aplicaciones prácticas, debido a las limitaciones de espacio, se debe reducir el tamaño de la antena (A., H.R. y S. 2012, p. 1).

Es una antena multibanda y su respuesta en frecuencia es muy plana, lo que la hace muy interesante en aplicaciones donde el usuario utiliza sistemas en diferentes bandas. Debido a estas características, el coste de este tipo de antenas es más elevado.

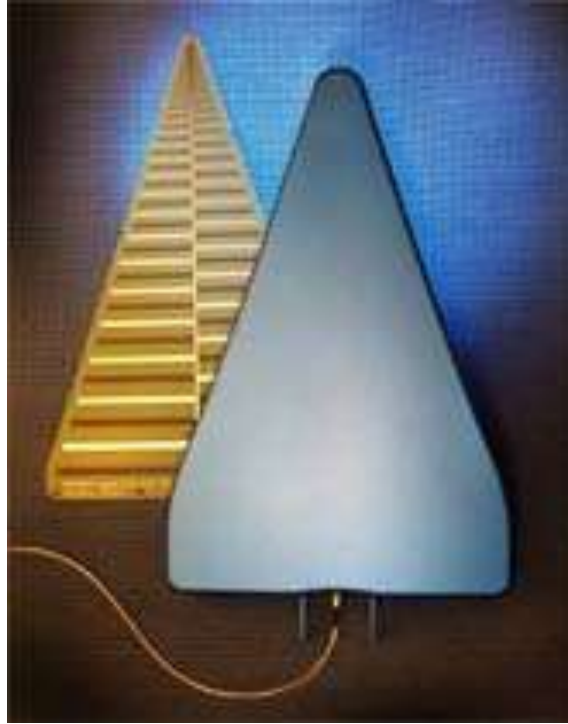
En la práctica no se escalan todas las dimensiones de la antena y, habitualmente, el diámetro de los dipolos y la separación de los terminales de alimentación se mantienen constantes para todos los elementos o, en ciertos casos, se modifican de forma escalonada para grupos de varios elementos; por ejemplo, se realiza una agrupación de 10 elementos con dipolos de 2 grosores distintos (Cardama Aznar 2009, p. 331).

#### **2.4 Hyperlog 60200 x**

La Antena Logarítmica Periódica activa HyperLOG 60200 X es un producto que pertenece a la empresa AARONIA AG ubicada en Alemania. Está basada en un material de soporte TEFLON ultra fino de alta tecnología con un recubrimiento de ORO, la cual tiene la capacidad de cubrir un ancho de banda de 680 MHz hasta 20 GHz. Su precio en el mercado europeo es de € 1.998,00 que su valor en dólares americanos es de \$ 2.170.

Dicha antena puede realizar tareas como la caracterización de otras antenas, gracias a su rango de frecuencias y a su ganancia que es capaz de detectar otras antenas de frecuencias más bajas. En la Figura 2 – 10 se observa la antena en su interior y con su cobertura protectora.



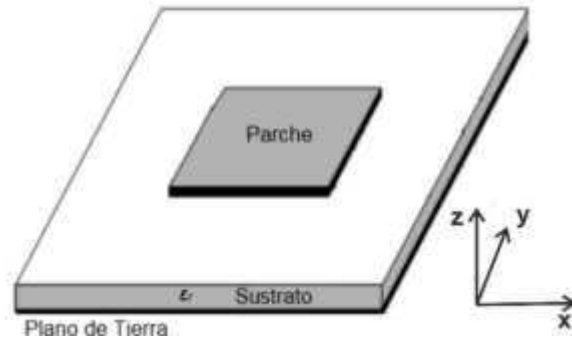


**Figura 10-2:** Antena Logarítmica Periódica HyperLOG 60200x.

**Realizado por:** Peñafiel Ortega, Irvin. 2019

## 2.5 Tecnología microstrip

La tecnología Microstrip permite el diseño de dispositivos con menor dimensión y peso, mejor acople con los circuitos de un sistema de telecomunicaciones. Su estructura es simple y está compuesta por: un conductor que representa plano de tierra, un dieléctrico y un conductor que representa la capa de la señal. En la capa de la señal se graba la forma geométrica de la antena (Aguar Matías 2017, p. 24).



**Figura 11-2:** Línea de Transmisión Microstrip.

**Fuente:** (Aguilar Matías 2017, p. 25).

Las antenas de microcintas se construyen con dos planos paralelos de una capa de metal muy fina y un sustrato dieléctrico intercalado entre ellos, uno de estos planos de metal se encuentra infinitamente extendido en comparación con el otro, para formar el plano de tierra y el plano de metal más pequeño es descrito como el parche radiador (Aguilar Matías 2017, p. 24).

Para los equipos terminales que se emplean en las comunicaciones inalámbricas, se necesitan antenas de pequeñas dimensiones y de bajo peso para potenciar la posibilidad de la movilidad de los usuarios finales. Estas características permiten que las antenas de microstrip se puedan emplear en la mayoría de estos sistemas. Las antenas de parche son antenas impresas, que pertenecen al grupo de las antenas planas.

Las antenas microstrip se construyen con dos planos paralelos de una capa de metal muy fina y un sustrato dieléctrico entre ellos, uno de estos planos de metal se encuentra infinitamente extendido en comparación con el otro, para formar el plano de tierra y el plano de metal más pequeño es descrito como el parche radiador.

La Figura 11- 2 muestra una representación de este tipo de antena con un sustrato dieléctrico de altura  $h$  y permitividad dieléctrica  $\epsilon_r$ , sobre el que se halla un parche radiante de grosor  $t$ . Por debajo del dieléctrico se localiza el plano de tierra.

El sustrato generalmente tiene un espesor  $h$  dentro del rango de 0.003 – 0.05 mm y una permitividad dieléctrica relativa  $\epsilon_r$ . Los sustratos para la construcción de antenas de microstrip tienen una permitividad relativa entre  $2.2 \leq \epsilon_r \leq 12$ , pero para obtener un mejor rendimiento del dispositivo se utilizan sustratos dieléctricos de constantes dieléctricas pequeñas, dado que estos permiten obtener una mejor eficiencia de radiación y un mayor ancho de banda.

Los sustratos de constante dieléctrica alta se emplean en circuitos de microondas, debido a que en estos se necesita que los campos estén confinados herméticamente para minimizar las radiaciones y acoplamientos indeseados, sin embargo, debido a sus grandes pérdidas, estos son menos eficientes y tienen un menor ancho de banda. El plano de tierra es normalmente otra lámina de cobre delgada que está ubicada en la otra cara del sustrato donde está impreso el 26 elemento radiador y cuya dimensión es superior a la del parche.

## **2.6 Materiales**

### **2.6.1 Dieléctrico**

Un material dieléctrico es aquel cuyas estructuras electrónicas en su átomo, ligadas a los electrones de valencia, pueden ubicarse de una manera particular de tal forma que dichas estructuras atómicas no pueden desplazarse libremente bajo la acción de un campo eléctrico externo. Cuando las estructuras atómicas no cambian en el tiempo, este se encuentra en equilibrio con su medio, pero cuando es sometido a un campo eléctrico externo, se modifica sus estructuras atómicas para buscar nuevamente el equilibrio, esto lo hacen a través de un fenómeno de polarización.

#### **2.6.1.1 Dieléctrico rogers rt / duroid 5880**

Rogers Corporation es una empresa de orden mundial que elabora materiales dieléctricos para aplicaciones en altas frecuencias, con características confiables en lo que respecta a constante dieléctrica. Uno de sus materiales dieléctricos con baja constante dieléctrica es el RT / Duroid 5880.

Es un compuesto de politetrafluoroetileno (PTFE), polímero similar al polietileno, reforzados con microfibras de vidrio orientadas al azar para una mejor estabilidad mecánica, obteniendo una constante dieléctrica de  $\epsilon = 2.20$ , y un rango de operación en las bandas de frecuencias desde 0.02 a 10 GHz (CORPORATION 2018, p. 2).

Es un material tiene unas dimensiones de 45,8 cm x 30.5 cm, adecuado para desarrollar antenas para aplicaciones de alta frecuencia, gracias a su baja constante dieléctrica se minimizar la dispersión y las pérdidas. Además, poseen una baja absorción de humedad, es un material isotrópico y sus propiedades eléctricas son uniformes sobre la frecuencia de operación. Su mutilación y maquinación se lo realiza con facilidad y son resistentes a todos los procesos que se utilizan normalmente en el grabado de circuitos impresos. Algunas de sus áreas de aplicación son:

- Antenas de banda ancha en aplicaciones aéreas.
- Circuitos de microcinta y línea de banda.
- Aplicaciones de onda milimétrica.
- Sistemas de radar militar.
- Sistemas de guiado de misiles.
- Antenas de radio digitales punto a punto.



**Figura 12-2:** Laminado dieléctrico Rogers RT / duroid 5880.

Realizado por: Peñafiel Ortega, Irvin. 2019.

Las características del sustrato dieléctrico como: la constante dieléctrica, grosor del sustrato, espesor del conductor y el factor de disipación se encuentran expresadas en la Ecuación 17 – 2, Ecuación 18 – 2, Ecuación 19 – 2 y Ecuación 20 – 2.

$$\epsilon_r = 2.2$$

Ecuación 17—2

$$h = 0.787 \text{ mm}$$

Ecuación 18—2

$$t = 0.018 \text{ mm}$$

Ecuación 19—2

$$\tan \delta = 0.0009$$

Ecuación 20—2

$\epsilon_r$  = Constante dieléctrica.  
 $h$  = Grosor del sustrato.  
 $t$  = Espesor del conductor.  
 $\tan \delta$  = Factor de disipación.

Las características expuestas del material dieléctrico Rogers RT / Duroid 5880 son las apropiadas para utilizarlo como el sustrato dieléctrico en el desarrollo de la antena logarítmica ultra wide band perteneciente a la presente investigación.

### 2.6.2 Conector sub miniatura versión a (SMA)

Conocido comúnmente como conector SMA tienen mecanismo de acoplamiento de tornillo que es confiable y muy resistente a las vibraciones, poseen una impedancia de 50 Ohm, una eficacia eléctrica de 0 a 12.4 GHz, una interface mínima de atenuación y un bajo retorno de onda estacionaria (ROE). Los conectores macho y hembra se los usa en dieléctricos de politetrafluoroetileno (PTFE). Los conectores tienen un ciclo de acoplamiento de 500 veces, que solo se puede lograr aplicando el esfuerzo de torsión recomendado durante el acoplamiento.

### 2.6.2.1 Conector sub miniatura versión a hembra

Las características principales del conector SMA hembra se las puede observar en la Tabla 1 – 2.

Tabla 1—2: Características del conector SMA hembra.

|                     |                         |
|---------------------|-------------------------|
| Impedancia          | 50 Ohm                  |
| Frecuencia          | 0 – 10 GHz              |
| Material Conector   | Cobre recubierto de oro |
| Longitud            | 13 mm                   |
| Longitud de puntada | 4 mm                    |
| Peso                | 2 g                     |

Realizado por: Peñafiel Ortega, Irvin. 2019

El conector hembra tiene un cilindro con rosca de una densidad de 36 hilos por pulgada. En la Figura 13 – 2 se aprecia un conector de radio frecuencia SMA hembra, se lo utiliza en el borde de impreso del material y es ideal para impresos de 0,8 mm de espesor, sus usos son comúnmente para conexiones de antena en aplicaciones como: GPS, Telemetría, control remoto, celular, etc.



**Figura 13-2:** Conector SMA hembra.

Realizado por: Peñafiel Ortega, Irvin. 2019.

### 2.6.3 *Generador de señales*

#### 2.6.3.1 *Anritsu mg3690c*

El generador de señales de la marca Anritsu modelo MG3690C ofrece una cobertura de frecuencias de microondas que van desde los 0.1 Hz hasta los 20 GHz, obteniendo valores con una fase baja en ruido, potencia de salida nivelada y pureza espectral. Es un generador de señal configurable para la gran mayoría de aplicaciones en telecomunicaciones enfocadas a la investigación y desarrollo (I + D). En la Figura 14 – 2 se observa el generador de señales Anritsu MG3690C.



**Figura 14-2:** Generador de señales Anritsu MG3690C.

Realizado por: Peñafiel Ortega, Irvin. 2019.

### 2.6.4 *Analizador del espectro radioeléctrico*

#### 2.6.4.1 *Anritsu ms2724c*

El analizador del espectro de la marca ANRITSU modelo MS2724C es portátil y proporciona un alto rendimiento para recolectar datos de las características de las antenas de la forma rápida y fiable. Realiza mediciones en radio frecuencia del espectro radioeléctrico mediante la recolección de microondas. En la Figura 15 – 2 se observa le él analizador del espectro electromagnético Anritsu MS2724C.



**Figura 15-2:** Analizador del espectro Anritsu MS2724C.

**Realizado por:** Peñafiel Ortega, Irvin. 2019.

## 2.6.5 Línea de transmisión

### 2.6.5.1 Pigtail rg 174

La línea de transmisión tipo Pigtail RG 174 es un cable coaxial que en sus extremos tiene conectores SMA macho, con una impedancia característica de  $50 \Omega$  para un acople de impedancias adecuado con la antena. En la Figura 16 – 2 se aprecia la línea de transmisión Pigtail RG 174.



**Figura 16-2:** Pigtail RG 174.

**Realizado por:** Peñafiel Ortega, Irvin. 2019.

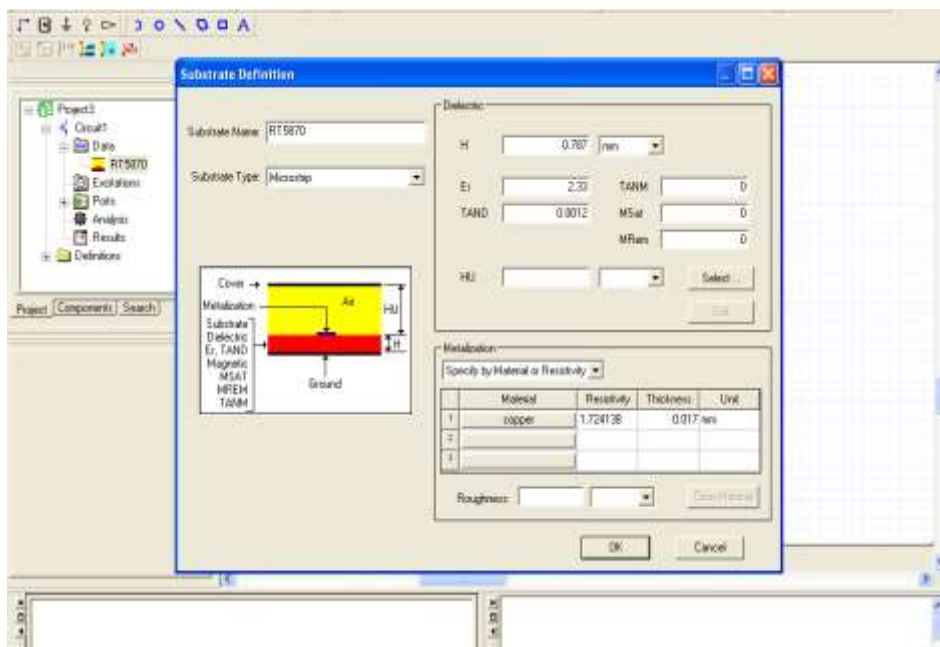


## 2.7 Software

### 2.7.1 Ansoft designer

El software de simulación electromagnético Ansoft Designer SV es una herramienta que permite el diseño electrónico de alto rendimiento, posee un entorno de gestión de diseño y simulador de circuitos para el desarrollo de radiofrecuencia y hardware de microondas. Además, permite modelar y simular aplicaciones de radio frecuencia y realizar análisis de verificación de integridad de la señal, además, incluye captura esquemática y edición de diseños, herramientas de visualización y análisis de datos.

También contiene un completo simulador de circuito lineal, entrada de diseño esquemático, solucionador electromagnético plano, utilidades de diseño y post – procesamiento, integrado en un entorno común, así, los usuarios pueden crear y simular diseños de circuitos jerárquicos para aplicaciones de radio frecuencia y microondas. En la Figura 17 – 2 se puede apreciar la ventana de trabajo del software de simulación electromagnético.



**Figura 17-2:** Ventana de Ansoft Designer.

Realizado por: Peñafiel Ortega, Irvin. 2019.

### 2.7.1.1 *Términos de ansoft designer*

**Proyecto:** Es un diseño, se crea una extensión del archivo es el \*. ADSN, este archivo se puede abrir múltiples proyectos a la vez.

**Diseño:** Son bloques de construcción de los proyectos, los cuales pueden ser circuitos, sistemas o modelos 3D plana EM. Los diseños consisten en esquemas, modelos geométricos, modelo de datos, análisis de la información de configuración de salida, gráficos y tablas, y otras piezas de información que entran en la descripción de simulación de circuitos eléctricos.

**Componente:** Son objetos colocados sobre esquemas y diseños que representan elementos. Los componentes tienen pines para conexiones, mapas de bits en el árbol del proyecto, y las propiedades de la simulación, un componente puede estar asociado con más de una simulación si a la vez se puede analizar en más de un simulador.

**Biblioteca:** Las bibliotecas son configuradas por el usuario o mediante la carga de archivos de tecnología, haciéndolos disponibles para su uso en el diseño de edificios. Las librerías del sistema están provistas de bibliotecas de usuario y bibliotecas personales se utilizan para añadir soporte de fundición, modelos definidos por el usuario, y cualquier conjunto personalizado de componentes y modelos de simulación.

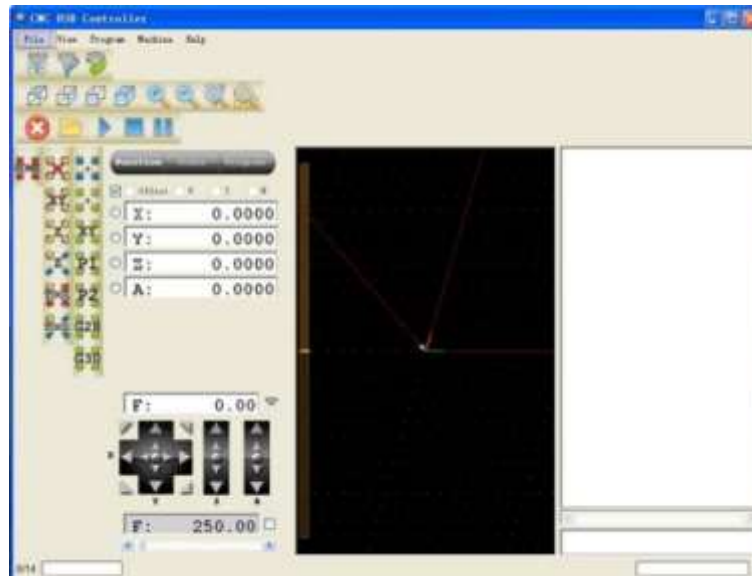
**Archivo tecnología:** se inicia con un diseño mediante un conjunto de datos, estos pueden consistir en capas y stackup información para el diseño, las bibliotecas configuradas de componentes, y definición del sustrato para análisis de circuitos. Los usuarios pueden personalizar los archivos de tecnología para sus propios modelos de procesos de fabricación y simulación.

**Capas y stackup:** Se utilizan en el editor de diseño, operan en conjuntos de geometría, la señal de metalizado y dieléctricas son capas físicas comunes, mientras que el símbolo y error, son capas no físicas. El stackup tiene propiedades adicionales de las capas físicas, tales como material, espesor, y la elevación. La información geométrica de las capas se utiliza para generar máscaras esenciales para la fabricación.

**Solución:** Es el resultado de un análisis. (Ansoft Corporation, 2003)



- De corte sobre el vector, que describe la trayectoria con el centro de la broca siguiendo el vector.
- De corte del relleno, que provoca a la broca devastar por completo el interior de una forma cerrada.



**Figura 19-2:** Ventana principal del software CNC USB.

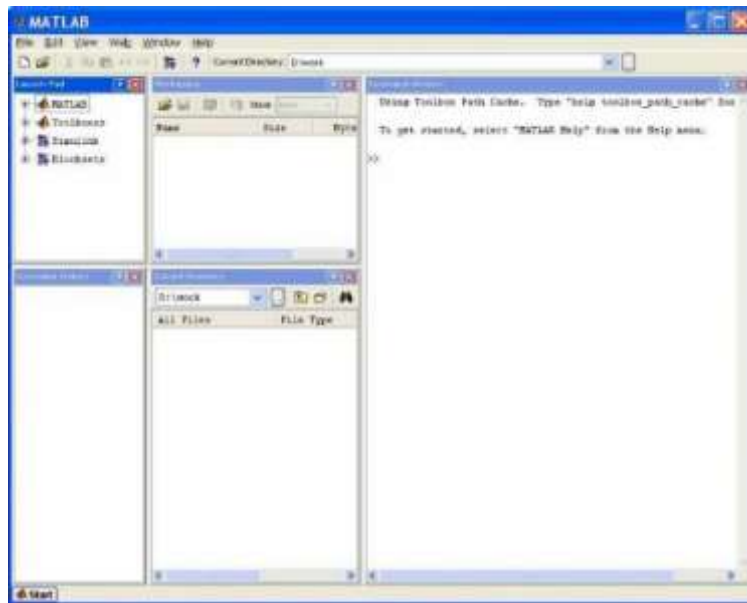
**Realizado por:** Peñafiel Ortega, Irvin. 2019.

En la Figura 19 – 2 se divisa la ventana principal del software de control numérico por computadora.

#### **2.7.4 Software matlab**

Es un lenguaje de programación de cuarta generación y un entorno de análisis numérico, puede realizar cálculos matriciales, desarrollo y ejecución de algoritmos, creación de interfaces de usuario (UI) y visualización de datos. Con un entorno de computación numérico desarrollado en diferentes idiomas, aprovechando las fortalezas únicas de cada idioma. Es utilizado por ingenieros y científicos en muchos campos, como procesamiento de imágenes y señales, comunicaciones, sistemas de control para la industria, diseño de redes inteligentes, robótica y finanzas computacionales.

El creador de Matlab es el profesor de Ciencias de la Computación Cleve Moler, en la Universidad de Nuevo México, en la década de 1970. Moler, Little y Steve Bangart fundaron MathWorks y reescribieron MATLAB en C.



**Figura 20-2:** Ventana principal de Matlab.

**Realizado por:** Peñafiel Ortega, Irvin. 2019.

## 2.8 Ecuaciones para el diseño de la antena

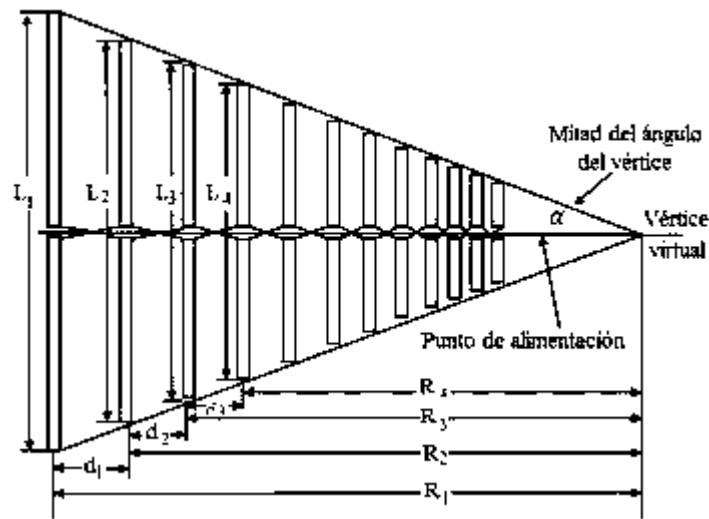
Los cálculos matemáticos son necesarios para desarrollar el diseño de la antena patrón, los cuales se realizan mediante un proceso iterativo para arrojar las dimensiones de los elementos que componen la antena, considerando el factor de escalamiento y de espaciamento, las siguientes ecuaciones expresan la forma generalizada para calcular el valor de cada uno de los elementos de la antena. En la Figura 21 – 2 se muestran las variables involucradas en el diseño de la antena logarítmica periódica.

### 2.8.1 Angulo virtual

El ángulo  $\alpha$  que se encuentra en la posición final de los dipolos y la línea central forman la mitad del vértice y se puede calcularse aplicando la Ecuación 21 – 2, la cual es una función de la constante de espaciamento relativo  $\sigma$  y de la constante de escalamiento  $\tau$ .

$$\cot \alpha = \left( \frac{4 * \sigma}{1 - \tau} \right)$$

Ecuación 21—2



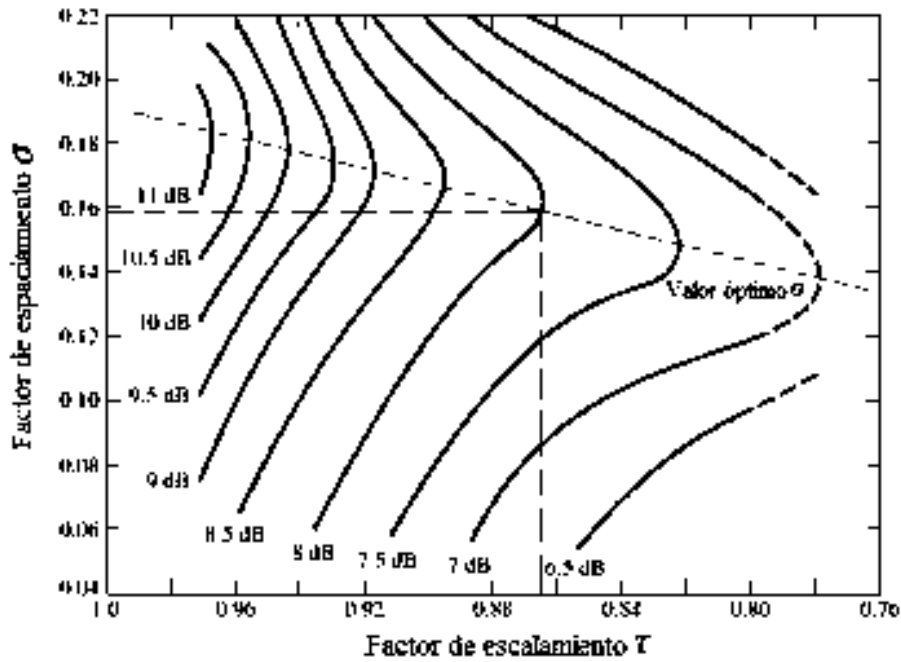
**Figura 21-2:** Medidas de una antena logarítmica periódica.

Fuente:(Trujillo Ramírez 2012, p. 64).

Mediante la Figura 21 – 2 se obtiene los valores de los factores de espaciamento y escalamiento relacionados a una ganancia específica. Estas son parte de las principales medidas a tomar en cuenta para el diseño de la antena logarítmica.

### 2.8.2 Factores de espaciamento y escalamiento

Los valores de las constantes  $\sigma$  y  $\tau$  se encuentran en relación con la ganancia de la antena, en la Figura 22 – 2 se muestran las curvas de contorno para diferentes valores de ganancia en relación con los factores de espaciamento y escalamiento. (Carrel, R., 1961)



**Figura 22-2:** Factor de espaciamiento vs factor de escalamiento.

Fuente:(Trujillo Ramírez 2012, p. 65).

El factor de escala y el espaciado determinan la directividad de la agrupación de dipolos. Una vez determinados  $\sigma$  y  $\tau$  se encuentra automáticamente el ángulo virtual  $\alpha$ . Los factores  $\sigma$  y  $\tau$  corresponden a una ganancia específica, permitiendo calcular la longitud del dipolo más largo y determinar el número de elementos requeridos. En la Tabla 2 – 2 se establece algunos valores estándar para relacionarla con los factores de espaciamiento y escalamiento.

Tabla 2—2: Algunos valores estándar de la ganancia,  $\tau$  y  $\sigma$ .

| Ganancia dBi | Factor de Escalamiento $\tau$ | Factor de Espaciamiento $\sigma$ |
|--------------|-------------------------------|----------------------------------|
| 7            | 0,782                         | 0,138                            |
| 8            | 0,865                         | 0,157                            |
| 9            | 0,918                         | 0,169                            |
| 10           | 0,943                         | 0,179                            |
| 11           | 0,964                         | 1,185                            |

Realizado por: Peñafiel Ortega, Irvin. 2019.

### 2.8.3 Ancho de banda

#### 2.8.3.1 Ancho de banda deseado

El ancho de banda deseado se obtiene mediante la Ecuación 22 – 2 en donde se observa la relación entre la frecuencia de corte más alta y la frecuencia de corte más baja.

$$B = \frac{f_h}{f_l}$$

Ecuación 22—2

#### 2.8.3.2 Ancho de banda en la región activa

El ancho de banda de la región activa se lo calcula mediante la Ecuación 23 – 2.

$$B_{ar} = 1.1 + 7.7 (1 - \tau)^2 \cot \alpha$$

Ecuación 23—2

#### 2.8.3.3 Ancho de banda del diseño

El ancho de banda del diseño se lo puede calcular mediante la Ecuación 24 – 2.

$$B_S = B * B_{ar}$$

Ecuación 24—2

### 2.8.4 Longitud de onda máxima

La longitud de onda máxima está definida por la frecuencia más baja de operación y la velocidad con la que viaja la onda en el espacio libre. En la Ecuación 25 – 2 se usa para el cálculo de la longitud de onda máxima.



$$\lambda_{max} = \frac{C}{f_l}$$

Ecuación 25—2

### 2.8.5 Longitud del eje principal

La Ecuación 26 – 2 define teóricamente la longitud del eje principal, determinando la dimensión que obtendrá en la implementación de la antena.

$$L = \frac{\lambda_{max}}{4} \left( 1 - \frac{1}{B_s} \right) \cot \alpha$$

Ecuación 26—2

### 2.8.6 Longitud del elemento más largo

La longitud del elemento más largo se obtiene de la Ecuación 27 – 2.

$$L_1 = \left( \frac{\lambda_1}{2} \right) = \frac{C}{2 f_1}$$

Ecuación 27—2

### 2.8.7 Número de elementos

Usando las constantes de truncamiento y tomando en cuenta las frecuencias superiores e inferiores del rango de frecuencias de operación se determina el número de dipolos requeridos de la antena, se obtiene el número de elementos que conformaran la antena. Mediante la Ecuación 28 – 2 se puede calcular el número de elementos que componen la antena.

$$N = 1 + \frac{\ln B_s}{\ln \frac{1}{\tau}}$$

Ecuación 28—2

### 2.8.8 Ubicación del dipolo más largo

Mediante la Ecuación 29 – 2 se puede calcular la ubicación del dipolo más largo con respecto al vértice del triángulo.

$$R_1 = \frac{L_1 * \cot \alpha}{2}$$

Ecuación 29—2

### 2.8.9 Longitudes de los dipolos

Las otras longitudes de los dipolos restantes y sus ubicaciones se encuentran definidas por las Ecuaciones 30 – 2 y 31 – 2.

$$L_i = L_{i-1} * \tau$$

Ecuación 30—2

$$R_i = R_{i-1} * \tau$$

Ecuación 31—2

### 2.8.10 Longitud de la antena

La longitud del eje de la antena, es la suma de todas las longitudes de la antena usando un número entero de dipolos. La Ecuación 32 – 2 muestra como calcular la longitud de la antena.

$$L_t = \sum_{i=1}^N L_i$$

Ecuación 32—2

### 2.8.11 Dimensiones relacionando la constante dieléctrica

Las ecuaciones de diseño de la antena logarítmica periódica publicadas originalmente se adaptan adecuadamente para el espacio libre, sin embargo, en la presente investigación la antena se diseña y construye sobre un sustrato dieléctrico. Considerando la constante dieléctrica efectiva del sustrato dieléctrico se obtiene nuevas dimensiones de los elementos, estos valores son el resultado de las Ecuaciones 33 – 2 y 34 – 2 como sigue:

$$L_{ef} = \frac{L_i}{\sqrt{\epsilon_{reff}}}$$

Ecuación 33—2

$$R_{ef} = \frac{R_i}{\sqrt{\epsilon_{reff}}}$$

Ecuación 34—2

Donde  $L_i$  y  $R_i$  representan la longitud y espaciado en el espacio libre, mientras que  $L_{ef}$  y  $R_{ef}$  representan la longitud y espaciado efectivo impreso en el sustrato dieléctrico.

## CAPITULO III

### 3 MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1 Introducción

El contenido del presente capítulo se estableció una metodología que describe cada uno de los pasos a seguir para el proceso de diseño de una antena logarítmica patrón. Mediante la utilización de las ecuaciones descritas en el capítulo anterior. El proceso de desarrollo del diseño de la antena logarítmica ultra wide band contiene los requerimientos del sistema como los son los resultados obtenidos de los parámetros de espaciamiento y separación de cada elemento, el número de elementos que la compone, y sus optimizaciones, con el fin de que el modelo generado cumpla con los objetivos planteados en la investigación.

#### 3.2 Metodología del diseño de la antena

#### 3.3 Requerimientos de la antena

##### 3.3.1 *Especificación de intervalo de frecuencias de operación y ganancia*

El rango de frecuencias que se estableció en los objetivos de la presente investigación es de 1 a 10 GHz. Por lo tanto, la frecuencia mínima de operación es de 1 GHz mientras que a frecuencia máxima de operación es de 10 GHz, con una ganancia de 6.8 dBi.

##### 3.3.2 *Obtención de $\tau$ y $\sigma$ , de las curvas de contorno para un ganancia constante*

Los factores de espaciamiento  $\tau$  y escalamiento  $\sigma$  son calculados tomando como referencia a la Tabla 2 – 2 la cual genera valores estándar resultantes de la Figura 22 – 2, obteniendo valores de:  $\tau = 0.811$  y  $\sigma = 0.146$ .

### 3.3.3 *Calculo del número de elementos, longitud y separación*

Para calcular los elementos componentes de la antena, primero se debe diseñar la línea de alimentación para la frecuencia intermedia, es decir, para una frecuencia de 5 GHz, en la Tabla 1 – 3 se muestran los resultados de los cálculos pertenecientes a los principales parámetros matemáticos de la antena diseñada.

Tabla 1—3: Principales parámetros de la antena.

|  |           |
|--|-----------|
| Angulo Virtual ( $\alpha$ )                          | 17.93     |
| Ancho de Banda (B)                                   | 10 GHz    |
| Ancho de Banda Región Activa ( $B_{ar}$ )            | 1.298     |
| Ancho de Banda de la Estructura ( $B_S$ )            | 12.979    |
| Ancho de la línea de alimentación                    | 5 mm      |
| Número de elementos                                  | 13        |
| Longitud total                                       | 643.69 mm |
| Constante dieléctrica efectiva ( $\epsilon_{reff}$ ) | 2.2       |

Realizado por: Peñafiel Ortega, Irvin. 2019.

### 3.3.4 *Obtención de los valores de longitud y espaciamento entre cada elemento*

En la Tabla 2 – 3 se observa las longitudes y separaciones de cada uno de los elementos que componen la antena logarítmica patrón ultra wide band.

Tabla 2—3: Longitudes de la antena en el espacio libre.

| <i>Nº de dipolo</i> | <i>L mm</i> | <i>D mm</i> |
|---------------------|-------------|-------------|
| <i>1</i>            | 96.52       | 32.21       |
| <i>2</i>            | 84.66       | 27.8        |
| <i>3</i>            | 74.27       | 24.28       |
| <i>4</i>            | 65.37       | 20.28       |
| <i>5</i>            | 57.96       | 18.82       |
| <i>6</i>            | 50.54       | 15.85       |
| <i>7</i>            | 44.61       | 14.35       |
| <i>8</i>            | 38.67       | 12.88       |
| <i>9</i>            | 34.23       | 11.41       |
| <i>10</i>           | 29.78       | 9.96        |
| <i>11</i>           | 25.33       | 8.44        |
| <i>12</i>           | 22.36       | 6.96        |
| <i>13</i>           | 19.39       | --          |

Realizado por: Peñafiel Ortega, Irvin. 2019.

### 3.3.5 *Relacionar las longitudes y espaciamento de cada elemento con $\epsilon_{reff}$ del sustrato dieléctrico*

En la Tabla 3 – 3 se observa las longitudes y separación de cada uno de los elementos, tomando en cuenta la permitividad del dieléctrico.

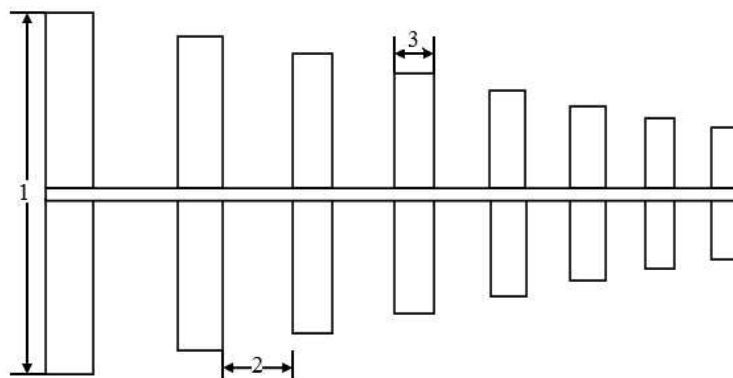
Tabla 3—3: Longitudes y Separaciones de los Dipolos.

| <i>Nº de dipolo</i> | <i>L<sub>ef</sub> mm</i> | <i>D<sub>ef</sub> mm</i> |
|---------------------|--------------------------|--------------------------|
| <i>1</i>            | <i>65,078</i>            | <i>21,721</i>            |
| <i>2</i>            | <i>57,078</i>            | <i>18,748</i>            |
| <i>3</i>            | <i>50,078</i>            | <i>16,637</i>            |
| <i>4</i>            | <i>44,078</i>            | <i>13,677</i>            |
| <i>5</i>            | <i>39,078</i>            | <i>12,692</i>            |
| <i>6</i>            | <i>34,078</i>            | <i>10,688</i>            |
| <i>7</i>            | <i>30,078</i>            | <i>9,675</i>             |
| <i>8</i>            | <i>26,078</i>            | <i>8,688</i>             |
| <i>9</i>            | <i>23,078</i>            | <i>7,696</i>             |
| <i>10</i>           | <i>20,078</i>            | <i>6,716</i>             |
| <i>11</i>           | <i>17,078</i>            | <i>5,695</i>             |
| <i>12</i>           | <i>15,078</i>            | <i>4,696</i>             |
| <i>13</i>           | <i>13,078</i>            | <i>-----</i>             |

Realizado por: Peñafiel Ortega, Irvin. 2019.

### 3.3.6 Optimización las longitudes y espaciamiento de los elementos de la antena

Las ecuaciones empleadas para diseñar la antena logarítmica patrón arrojan valores adecuados, pero en caso de ser necesario se sujetarán a optimizaciones, logrando un comportamiento de la antena eficiente. En la Figura 1 – 3 se exponen los parámetros de la antena patrón.



**Figura 1-3:** Parámetros sujetos a optimización.

Fuente:(Trujillo Ramírez 2012, p. 70).

- 1 = El largo de cada elemento manteniendo el mismo ángulo virtual.
- 2 = Separación que existe entre los elementos.
- 3 = Ancho de cada elemento de forma gradual.

La línea de alimentación es un punto de partida para obtener el ancho del primer elemento para que resuene a la frecuencia más baja, el cual tendrá un ancho similar al ancho de la línea de alimentación, después se disminuye de manera progresiva el ancho para todos los elementos consecutivos, cuando la línea de alimentación es muy delgada, el ancho del primer elemento en baja frecuencia puede aumentar hasta siete veces más con respecto a la línea de alimentación.

Con los factores de espaciamiento y escalamiento son:  $\tau = 0.811$  y  $\sigma = 0.166$ , se estableció una ganancia de 8.5 dBi. En la Tabla 4 – 3 se muestran los resultados de los parámetros optimizados obtenidos, de los cuales se puede observar que el número de elementos aumentó a 24, mejorando la respuesta de la antena en bajas frecuencias.

Tabla 4—3: Principales parámetros de la antena.

|   |           |
|---|-----------|
| Angulo Virtual ( $\alpha$ )                         | 9.23      |
| Ancho de Banda (B)                                  | 10 GHz    |
| Ancho de Banda Región Activa<br>( $B_{ar}$ )        | 1.433     |
| Ancho de Banda de la Estructura<br>( $B_s$ )        | 14.326    |
| Ancho de la línea de alimentación                   | 3.95 mm   |
| Número de elementos                                 | 24        |
| Longitud total                                      | 376.02 mm |
| Constante dieléctrica efectiva ( $\epsilon_{ref}$ ) | 2.2       |

**Realizado por:** Peñafiel Ortega, Irvin. 2019.

En la Tabla 5 – 3 se detallan las dimensiones resultantes, como lo son el largo, ancho y separación de cada uno de los 24 elementos, Tomando en cuenta el dieléctrico Rogers 5880.



Tabla 5—3: Dimensiones y separaciones de cada elemento de la antena.

| <i>Nº de dipolo</i> | <i>L<sub>ef</sub> mm</i> | <i>D<sub>ef</sub> mm</i> | <i>Nº de dipolo</i> | <i>L<sub>ef</sub> mm</i> | <i>D<sub>ef</sub> mm</i> |
|---------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|
| <i>1</i>            | <i>13.078</i>            | <i>0</i>                 | <i>13</i>           | <i>65.078</i>            | <i>18.243</i>            |
| <i>2</i>            | <i>15.078</i>            | <i>4.649</i>             | <i>14</i>           | <i>72.078</i>            | <i>15.448</i>            |
| <i>3</i>            | <i>17.078</i>            | <i>5.36</i>              | <i>15</i>           | <i>80.078</i>            | <i>18.337</i>            |
| <i>4</i>            | <i>20.078</i>            | <i>6.058</i>             | <i>16</i>           | <i>87.078</i>            | <i>15.402</i>            |
| <i>5</i>            | <i>23.078</i>            | <i>6.774</i>             | <i>17</i>           | <i>95.078</i>            | <i>18.382</i>            |
| <i>6</i>            | <i>26.078</i>            | <i>7.453</i>             | <i>18</i>           | <i>102.078</i>           | <i>15.311</i>            |
| <i>7</i>            | <i>30.078</i>            | <i>8.181</i>             | <i>19</i>           | <i>110.078</i>           | <i>18.428 / 21.913</i>   |
| <i>8</i>            | <i>34.078</i>            | <i>8.845</i>             | <i>20</i>           | <i>117.078</i>           | <i>18.996 / 11.736</i>   |
| <i>9</i>            | <i>39.078</i>            | <i>10.541</i>            | <i>21</i>           | <i>125.078</i>           | <i>22.044 / 14.718</i>   |
| <i>10</i>           | <i>44.078</i>            | <i>11.246</i>            | <i>22</i>           | <i>132.078</i>           | <i>11.8 / 19.062</i>     |
| <i>11</i>           | <i>50.078</i>            | <i>13.935</i>            | <i>23</i>           | <i>140.078</i>           | <i>21.979 / 14.784</i>   |
| <i>12</i>           | <i>57.078</i>            | <i>15.675</i>            | <i>24</i>           | <i>147.078</i>           | <i>--</i>                |

Realizado por: Peñafiel Ortega, Irvin. 2019.

Los resultados indicados en la Tabla 5 – 3 son valores finales de las dimensiones de la antena patrón, y con los cuales la antena presentó el mejor rendimiento.

### 3.4 Diseño de la antena en el software designer

#### 3.4.1 Dieléctrico rogers 5880

Dentro del programa de análisis electromagnético Designer. Se establecen el dieléctrico a utilizar para que la simulación se adapte a las necesidades de la presente investigación. En la ventana donde se editan las capas del material dieléctrico se escoge el dieléctrico Rogers RT/duroid 5880 como se muestra en la Figura 2 – 3.

Edit Layers - PlanarEM1 ×

Layers Stackup

|   | Name | Type       | Material                   | Drag Mode    | Thickness | Lower Elevation | Upper Elevation | Roughness |
|---|------|------------|----------------------------|--------------|-----------|-----------------|-----------------|-----------|
| — | s1   | signal     | copper                     | middle align | 0mm       | 0.8mm           | 0.8mm           | 0mm       |
| ▨ | d    | dielectric | Rogers RT/duroid 5880 (tm) |              | 0.8mm     | 0mm             | 0.8mm           |           |
| — | sG   | signal     | copper                     | middle align | 0mm       | 0mm             | 0mm             | 0mm       |

**Figura 2-3:** Descripción de las capas del dieléctrico.

**Realizado por:** Peñafiel Ortega, Irvin. 2019.

### 3.4.2 Valores vectoriales de las longitudes de la antena

Para obtener la estructura de la antena logarítmica ultra wide band, dentro del programa de simulación Designer se ingresan mediante vectores las medidas de las longitudes y separaciones de cada elemento. En la Figura 3 – 3 se observa algunos valores vectoriales correspondientes a las longitudes y separaciones de cada elemento para diseñar la figura geométrica de la antena.

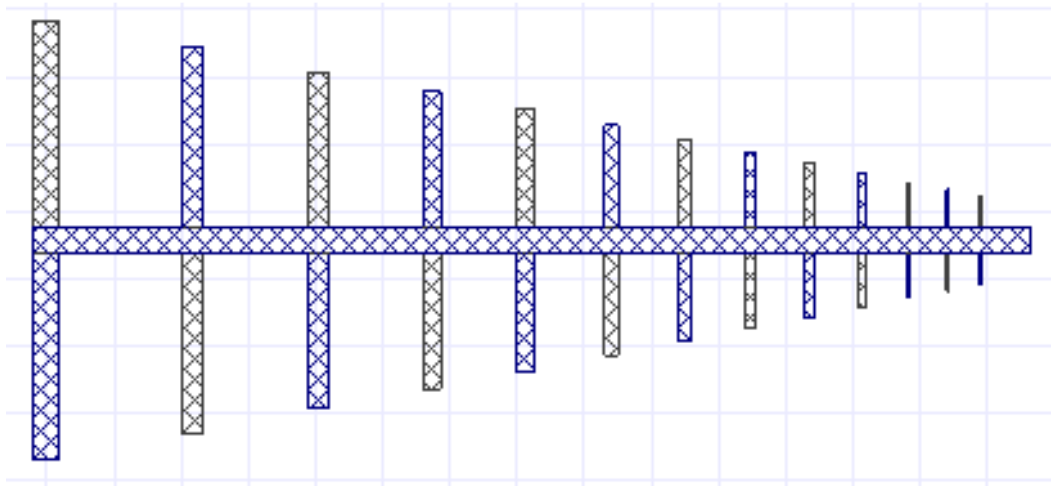
| Name | Value                        | Unit |       |
|------|------------------------------|------|-------|
| Pt0  | -24.282 , -70.05             | mm   | -24.2 |
| Pt1  | 2.2819999999999999 , -70.05  | mm   | 2.28  |
| Pt2  | 2.2820000000000018 , -92.... | mm   | 2.28  |
| Pt3  | 6.2320000000000018 , -92.... | mm   | 6.23  |
| Pt4  | 6.2319999999999998 , -92.05  | mm   | 6.23  |
| Pt5  | 36.796 , -92.05              | mm   | 36.7  |
| Pt6  | 36.796 , -88.4               | mm   | 36.7  |
| Pt7  | 6.2319999999999998 , -88.4   | mm   | 6.23  |

**Figura 3-3:** Vectores de la localización de los elementos de la antena.

**Realizado por:** Peñafiel Ortega, Irvin. 2019.

### 3.4.3 Estructura de la antena logarítmica ultra wide band

En la Figura 4 – 3 a escala, se muestra la antena logarítmica ultra wide band compuesta de 13 elementos, grafico resultante de los primeros cálculos de las longitudes y elementos de la antena, cuyos valores fueron ingresados dentro del programa de análisis electromagnético Designer.

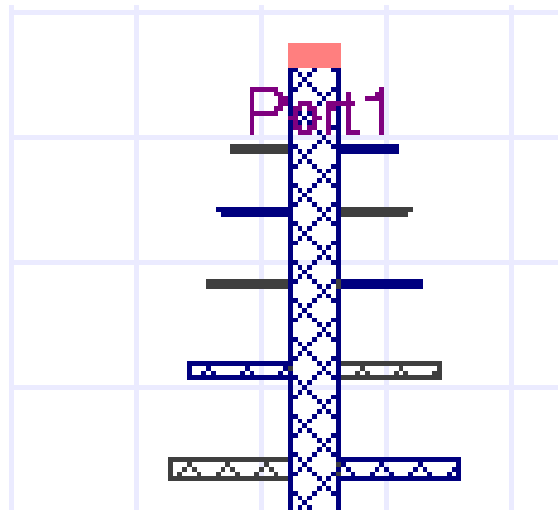


**Figura 4-3:** Antena Logarítmica Ultra Wide Band.

**Realizado por:** Peñafiel Ortega, Irvin. 2019.

### 3.4.4 Adicción de un puerto de excitación

Para establecer una fuente de alimentación de la antena se coloca un puerto de excitación en uno de los extremos de la línea principal de la antena. En la Figura 5 – 3 se observa el puerto de alimentación, colocado estratégicamente para que los diferentes elementos de la antena resuenen en su frecuencia de operación.

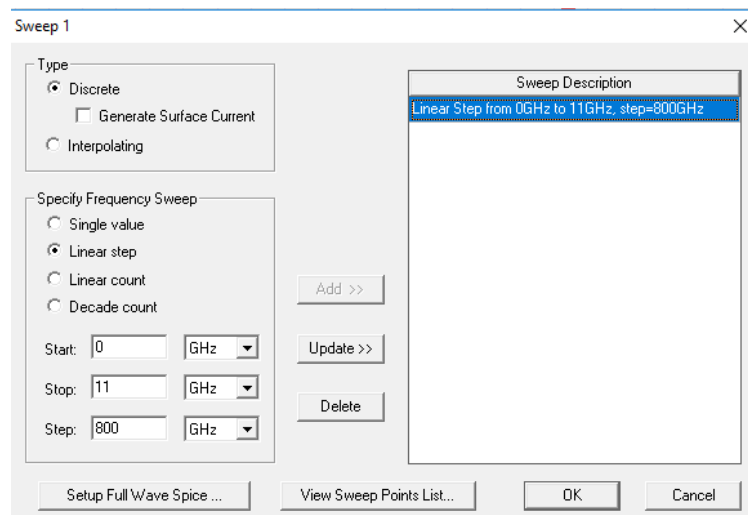


**Figura 5-3:** Puerto de alimentación de la antena.

Realizado por: Peñafiel Ortega, Irvin. 2019.

### 3.4.5 Definición del intervalo de frecuencias a simular

Para que la simulación se efectuó, se debe agregar un intervalo de frecuencias para limitar los extremos de la frecuencia de operación de la antena. En la Figura 6 – 3 se observa la ventana donde se indica el ingreso del intervalo de frecuencias para realizar la simulación de la antena dentro del rango de frecuencias de 0 a 11 GHz.



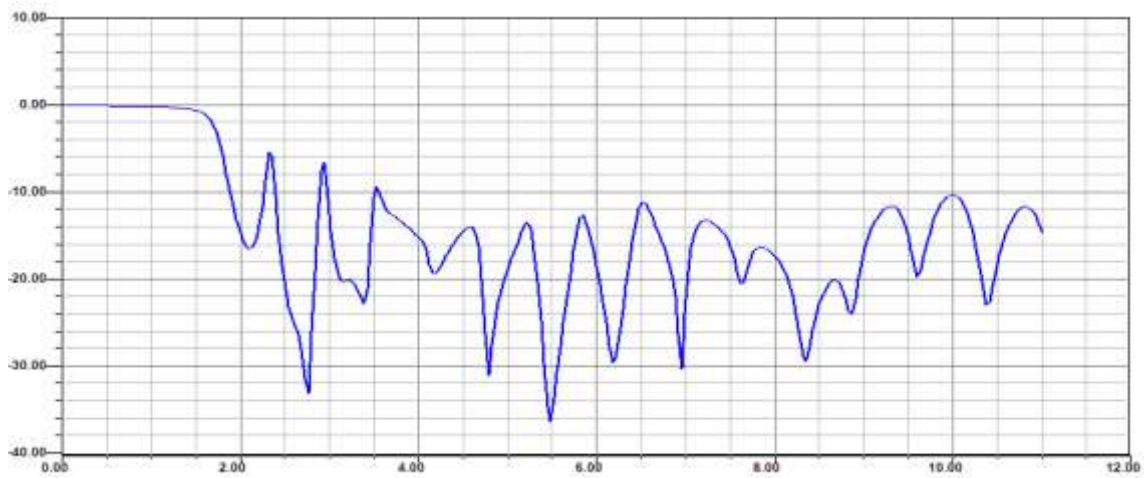
**Figura 6-3:** Definición del intervalo de frecuencia para la evaluación.

Realizado por: Peñafiel Ortega, Irvin. 2019.

### 3.5 Resultados de la simulación

#### 3.5.1 *Perdidas por regreso*

Con la topología y dimensiones introducidas en el programa de cómputo Ansoft Designer se realizó el análisis electromagnético de la estructura, recolectando datos como las pérdidas por regreso de la antena en el intervalo de frecuencias de 1 a 11 GHz, los resultados mencionados se muestran en la Figura 7 – 3.



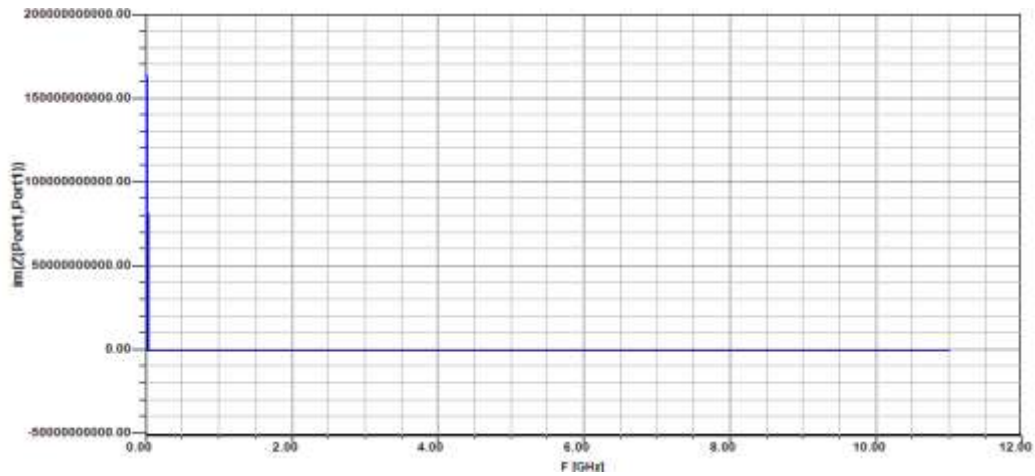
**Figura 7-3:** Perdidas por Retoro de la antena.

Realizado por: Peñafiel Ortega, Irvin. 2019.

El resultado no es el adecuado ya que presenta picos en intervalo activo de frecuencias donde los niveles de las pérdidas por retorno son menores a  $-10$  dB, dejado sin funcionar de manera apropiada a las frecuencias de entre 1 y 3 GHz.

### 3.5.2 Impedancia

En la Figura 8 – 3 se observa como las impedancias se encuentran acopladas.



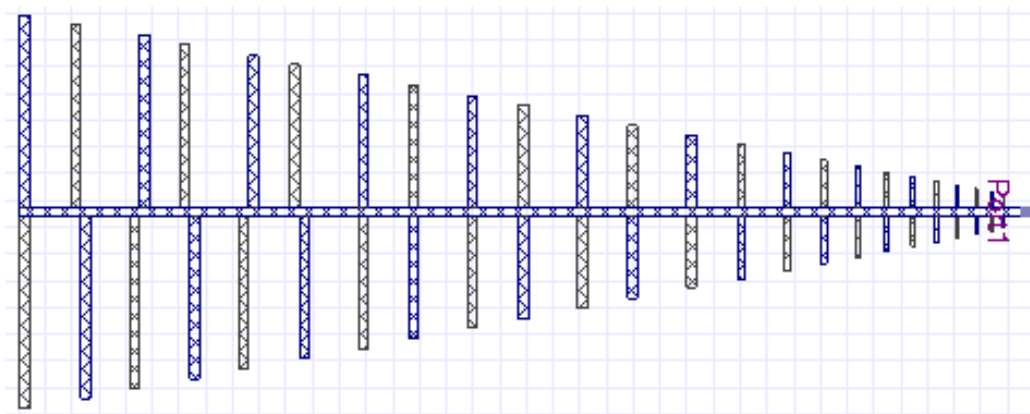
**Figura 8-3:** Impedancia versus frecuencia.

Realizado por: Peñafiel Ortega, Irvin. 2019.

## 3.6 Rediseño de la antena

### 3.6.1 Antena logarítmica ultra wide band

Una vez terminadas las optimizaciones de las longitudes y separaciones de cada elemento de la antena, el número de elementos se incrementó a 24, esto se lo puede observar en la Figura 9 – 3.



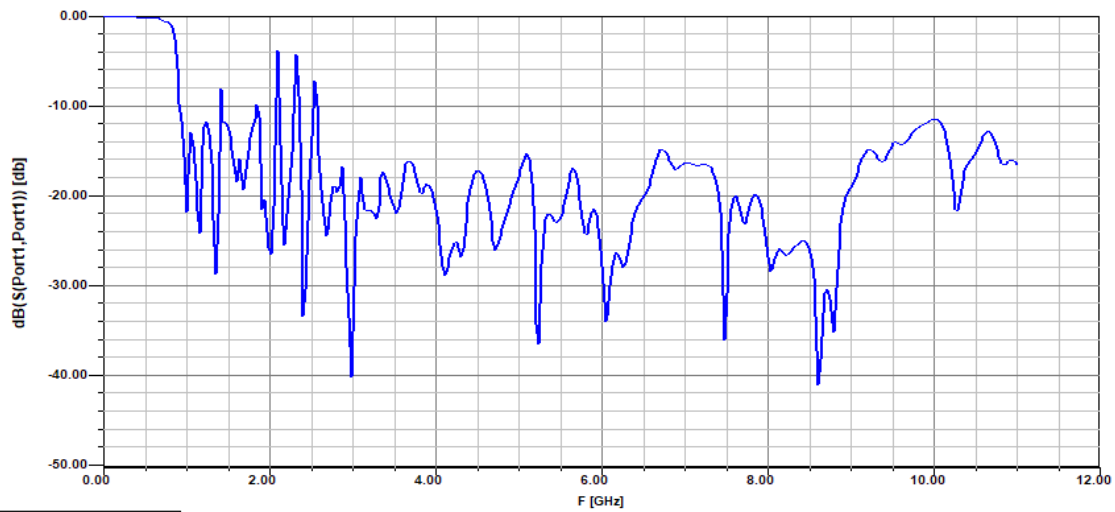
**Figura 9-3:** Antena Logarítmica Ultra Wide Band.

Realizado por: Peñafiel Ortega, Irvin. 2019.

### 3.7 Resultados de la simulación

#### 3.7.1 Pérdidas por regreso

Con la nueva topología geométrica de la antena, se realizó el análisis electromagnético y se recolectó información de las pérdidas por regreso de la antena en el intervalo de frecuencias de 1 a 11 GHz, los resultados mencionados se muestran en la Figura 10 – 3.



**Figura 10-3:** Pérdidas por Retoro de la antena.

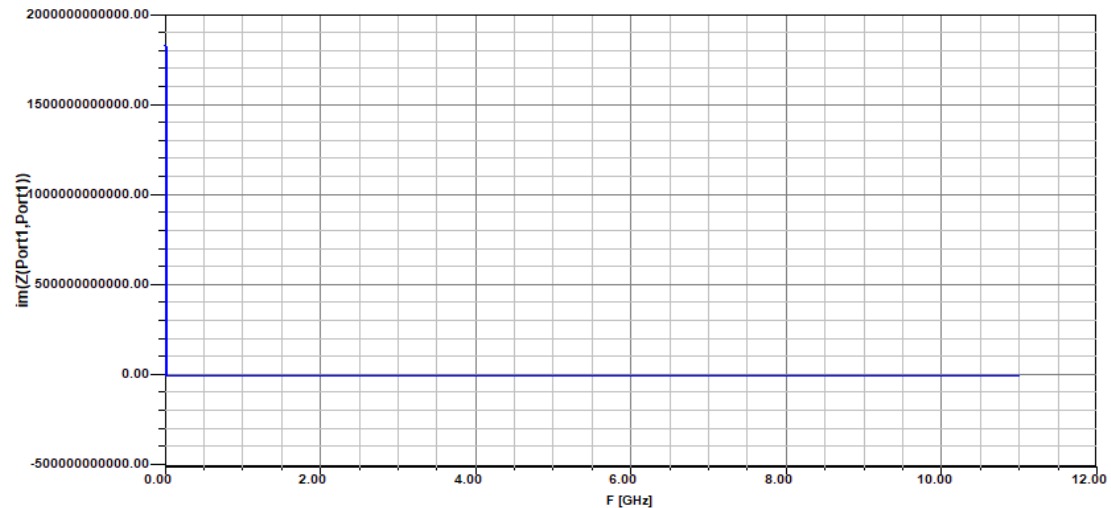
Realizado por: Peñafiel Ortega, Irvin. 2019.

De las medidas realizadas, la gran mayoría de las respuestas de la antena patrón se encuentra por debajo del valor permitido de -10 dB, sin embargo, una antena puede operar cuando sus pérdidas se ubican por debajo de -5 dB, con un factor de desacoplamiento mayor y sin efectuar la máxima transferencia de energía.

Dentro del software de simulación, se aprecian que dentro del intervalo de frecuencias existen picos delgados obteniendo una respuesta más favorable en el intervalo de frecuencias de 1 a 3 GHz.

### 3.7.2 Impedancia

En la Figura 11 – 3 se observa el acople de las impedancias de la antena con la línea de alimentación.



**Figura 11-3:** Impedancia versus frecuencia.

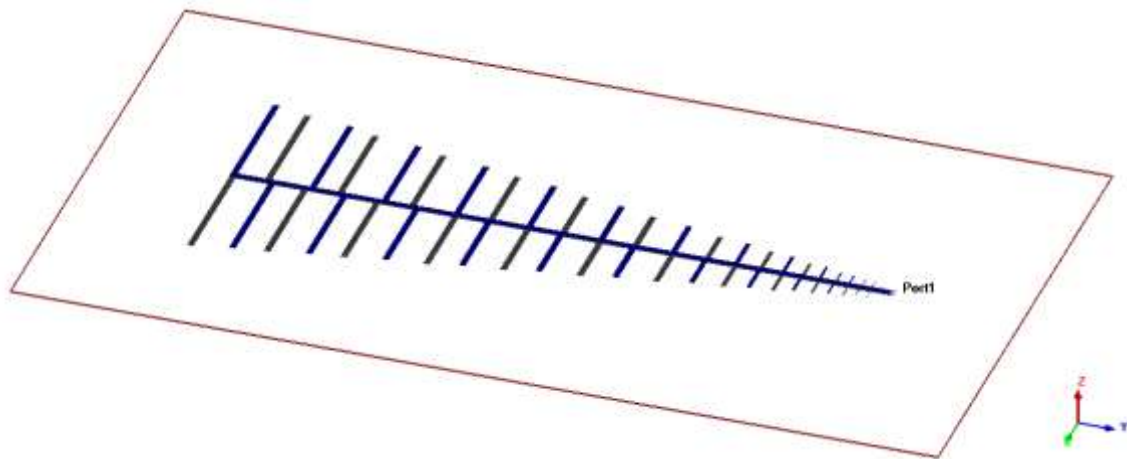
Realizado por: Peñafiel Ortega, Irvin. 2019.

## 3.8 Construcción de la antena patrón

### 3.8.1 Grabado del circuito impreso en el dieléctrico

En la Figura 12 – 3 se aprecia los resultados obtenidos en el programa Designer en tres dimensiones, y generando un archivo con extensión DFX. En caso de ser necesario el programa Adobe Ilustrador permite editar las figuras y vectores para realizar correcciones apropiadas del esquema de la antena.





**Figura 12-3:** Diseño Tridimensional De La Antena Logarítmica Ultra Wide Band.

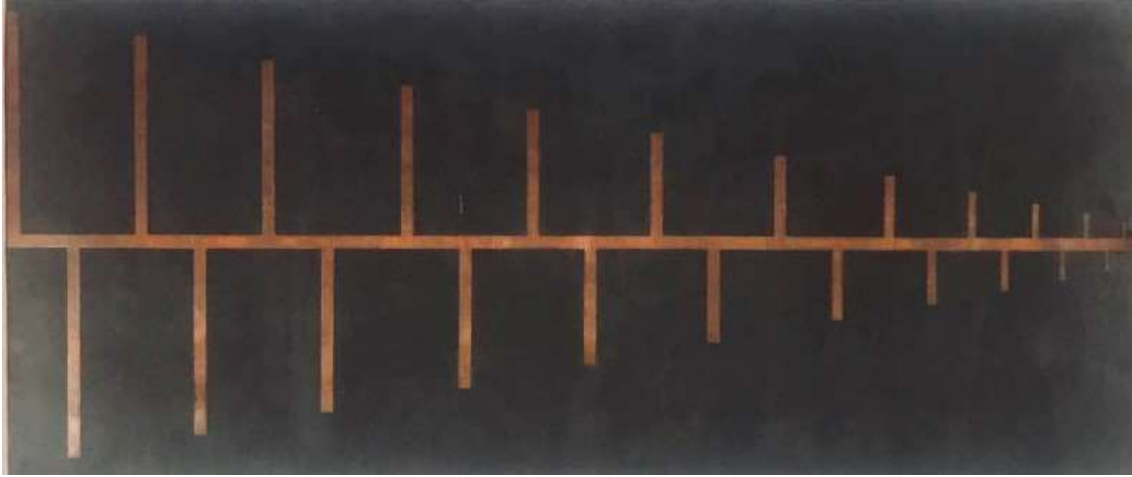
**Realizado por:** Peñafiel Ortega, Irvin. 2019.

Este archivo se introduce en la computadora que controla el router CNC mediante un software CNC USB, que mediante esquemas vectoriales introducidos por computadora y escogiendo alguna opción de fresado ordena a la fresadora donde realizar su trabajo

El grabado del circuito se lo realiza con la precaución de la capa metálica del sustrato se encuentre limpia de impurezas, ya que, en el trayecto, la fresadora puede tropezar con alguna impureza y ocasionar que el trayecto sea cambiado y obtener un diseño no deseado. Luego se coloca el sustrato dentro del área de trabajo del Router CNC e inicia con el grabado.

La etapa de construcción de la antena patrón se lo realizó en un Router CNC ubicado en OZALID, empresa de publicidad y grabados localizado en la ciudad de Ambato. La profundidad con la cual se trabajó fue la de corte exterior para penetrar en el sustrato dieléctrico y conseguir la figura geométrica exacta de la antena.

Una vez finalizado el proceso de grabado, se procede a retirar el sustrato del área de trabajo del router CNC y se limpia con un pedazo de tela de microfibras la superficie donde está grabado el diseño de la antena. En la Figura 13 – 3 se muestra la antena patrón impresa sobre el sustrato dieléctrico Rogers 5880.



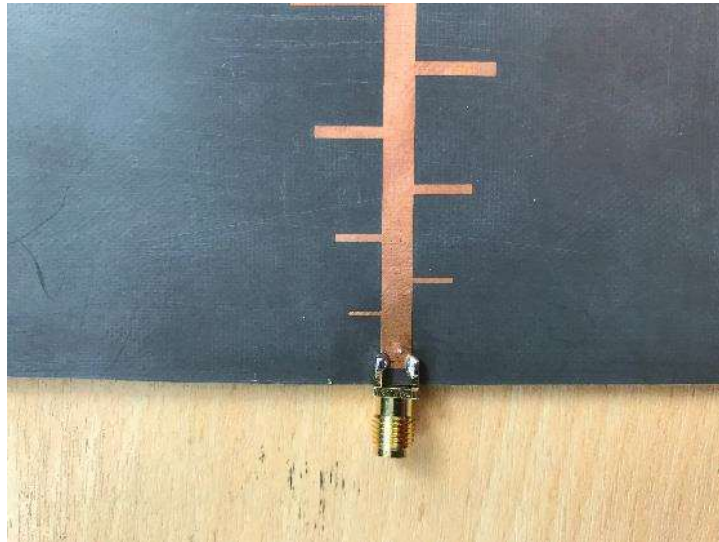
**Figura 13-3:** Antena Logarítmica Ultra Wide Band.

Realizado por: Peñafiel Ortega, Irvin. 2019.

### 3.8.2 *Ensamble de la antena*

El proceso de ensamblado de la antena se refiere en unir mediante una soldadura el conector, SMA hembra, a la antena que se encuentra grabada sobre el sustrato dieléctrico, de esta manera, la antena y el conector se convierten en un solo dispositivo. Para unir a la antena con su conector primero se debe colocar un poco de pasta para soldar tanto en el soldador eléctrico como en la parte de las piezas que se desee soldar. Esto se lo realiza con el fin de que el estaño se adhiera a las partes sujetas a la soldadura. Segundo se debe calentar el soldador eléctrico a una temperatura apropiada. Luego el alambre de estaño se derrite y se adhiere a las piezas y las une. Creando una estructura sólida entre el conector u la antena.

En la Figura 14 – 3 se observa que el puerto de alimentación se ubica el extremo donde los dipolos resuenan a altas frecuencias, finalmente, se comprueba que la unión permanezca estable y sólida para evitar que se separe el conector de la antena por cualquier motivo.



**Figura 14-3:** Antena Logarítmica Ultra Wide Band.

**Realizado por:** Peñafiel Ortega, Irvin. 2019.

### **3.9 Construcción de un case protector**

La flexibilidad y la extrema delgadez del sustrato lo hace sensible a golpes o melladuras por lo que el desarrollo de un protector para la antena es necesario, el mismo que consiste en dos placas de acrílico enmarcados en madera y sujetas con tornillos y tuercas para unir las partes del protector y la antena.

#### **3.9.1 *Diseño de un protector tridimensional***

Se realizó un modelo tridimensional en un estudio de diseño gráfico obteniendo como resultado un protector de acrílico y madera soportados por un trípode, esto es posible observar en la Figura 15 – 3.



**Figura 15-3:** Estructura protectora del a antena.

**Realizado por:** Peñafiel Ortega, Irvin. 2019.

### 3.9.2 Construcción del protector de la antena

Una vez finalizó el modelo tridimensional se procede a la elaboración física del mismo, obteniendo resultados que se muestran en la Figura 16 - 3.



**Figura 16-3:** Materialización del protector de la antena.

**Realizado por:** Peñafiel Ortega, Irvin. 2019.

## CAPITULO IV

### 4 MARCO DE ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 Evaluación de la antena en el laboratorio de comunicaciones y microondas

Para efectuar el proceso de evaluación, se establece un sistema de comunicación entre un transmisor y un receptor representado en la Figura 1 – 4 en donde se incorpora la antena HyperLOG 60200x para obtener información de algunas características de la antena logarítmica ultra wide band diseñada y construida en la presente investigación.



**Figura 1-4:** Sistema de comunicaciones inalámbrico evaluador.

**Realizado por:** Peñafiel Ortega, Irvin. 2019.

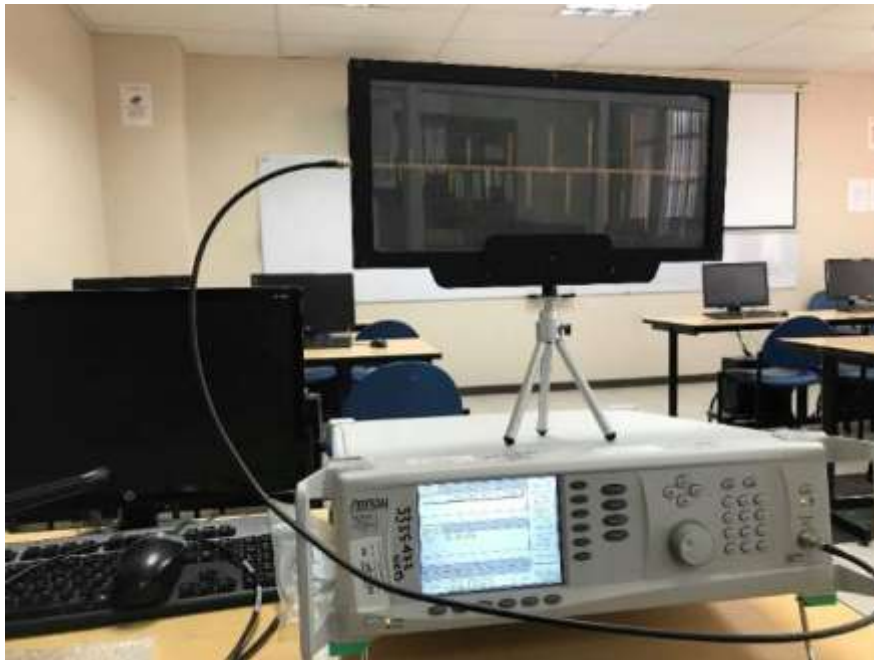
En la Figura 2 – 4 se observa la antena HyperLOG 60200x conectada al analizador de espectro radioeléctrico Anritsu MS2724C. Estos dispositivos se encuentran disponibles en el laboratorio de comunicaciones y microondas de la Facultad de Informática y Electrónica.



**Figura 2-4:** Antena HyperLOG 60200 x.

**Realizado por:** Peñafiel Ortega, Irvin. 2019.

En la Figura 3 – 4 se observa la antena logarítmica ultra wide band desarrollada y construida en la actual investigación conectada al generador de señales Anritsu MG3690C, herramienta que se encuentra disponible en el laboratorio de comunicaciones y microondas de la Facultad de Informática y Electrónica.



**Figura 3-4:** Antena Logarítmica patrón Ultra Wide Band.

**Realizado por:** Peñafiel Ortega, Irvin. 2019.

En la Figura 4 – 4 se puede observar el sistema de comunicaciones inalámbrico entre la antena HyperLOG 60200 y la antena logarítmica ultra wide band.



**Figura 4-1:** Sistema de caracterización de antenas

Realizado por: Peñafiel Ortega, Irvin. 2019.

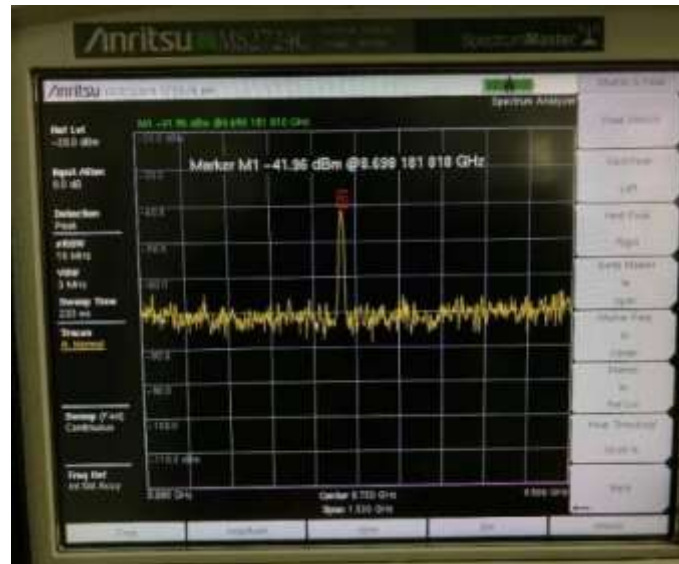
#### **4.1.1** *Perdidas por regreso*

##### **4.1.1.1** *Analizador de señales Aritsu MS2724C*

Para medir las pérdidas por regreso de la antena logarítmica ultra wide band, se conectó el puerto de radiofrecuencia y microondas del analizador de espectro Anritsu MS2724C a la antena Hyperlog 60200x mediante una línea de transmisión coaxial Pigtail RG 174. De manera similar el generador de señales Anritsu MG3690C mediante otro cable coaxial Pigtail RG 174 a la antena logarítmica ultra wide band.

Dentro del analizador de espectro, se procede a establecer un nivel de referencia de -20 dBm y se establece el inicio de las frecuencias de operación en 0 GHz y el final de las frecuencias de operación en 11 GHz, esto se lo realizó tomando en cuenta el ancho de banda de la antena patrón. En el generador de señales se conecta al puerto de salida la línea de transmisión cable coaxial hacia la antena logarítmica ultra wide band. Además, se establece un nivel de potencia de -30 dBm con el fin de asegurar la transmisión de información.

Con el analizador del espectro y el generador de señales calibrados y con las antenas conectadas respectivamente en el analizador de espectro radioeléctrico y el generador de señales, se genera un barrido de frecuencias dentro del ancho de banda de la antena logarítmica ultra wide band. Iniciando en la frecuencia 1 GHz y ascendiendo con una separación de 1,5 GHz hasta llegar a la frecuencia superior de 10.5 GHz.



**Figura 5-4:** Analizador del espectro radioeléctrico.

**Realizado por:** Peñafiel Ortega, Irvin. 2019.

En la Figura 5 – 4 se observa la toma de muestras recolectadas en el analizador de espectros con respecto a las perdidas por regreso de la antena logarítmica ultra wide band. Estas muestras son trasladadas a la Tabla 1 – 4.



Tabla 1—4: Resultados obtenidos de las pérdidas por regreso.

| <i>Frecuencia de operación GHz</i> | <i>Ganancia dBm</i> |
|------------------------------------|---------------------|
| 0,103                              | -60,23              |
| 0,205                              | -69,18              |
| 0,300                              | -69,16              |
| 0,400                              | -56,33              |
| 0,500                              | -54,52              |
| 0,600                              | -52,79              |
| 0,700                              | -43,98              |
| 0,800                              | -43,73              |
| 0,900                              | -41,00              |
| 1,000                              | -37,44              |
| 1,100                              | -39,51              |
| 1,198                              | -41,02              |
| 1,300                              | -47,38              |
| 1,398                              | -43,38              |
| 1,500                              | -47,20              |
| 1,598                              | -36,31              |
| 1,700                              | -47,40              |
| 1,798                              | -38,91              |
| 1,900                              | -29,15              |
| 2,000                              | -41,61              |
| 2,100                              | -38,36              |
| 2,199                              | -36,76              |
| 2,297                              | -59,96              |
| 2,398                              | -44,75              |
| 2,499                              | -42,44              |
| 2,600                              | -37,06              |
| 2,698                              | -46,76              |
| 2,799                              | -29,63              |
| 2,900                              | -36,60              |
| 2,998                              | -40,75              |
| 3,099                              | -45,29              |
| 3,200                              | -60,37              |
| 3,298                              | -48,10              |
| 3,400                              | -38,80              |
| 3,499                              | -40,06              |
| 3,600                              | -36,27              |
| 3,698                              | -38,60              |
| 3,799                              | -43,57              |
| 3,900                              | -50,48              |
| 4,000                              | -49,72              |

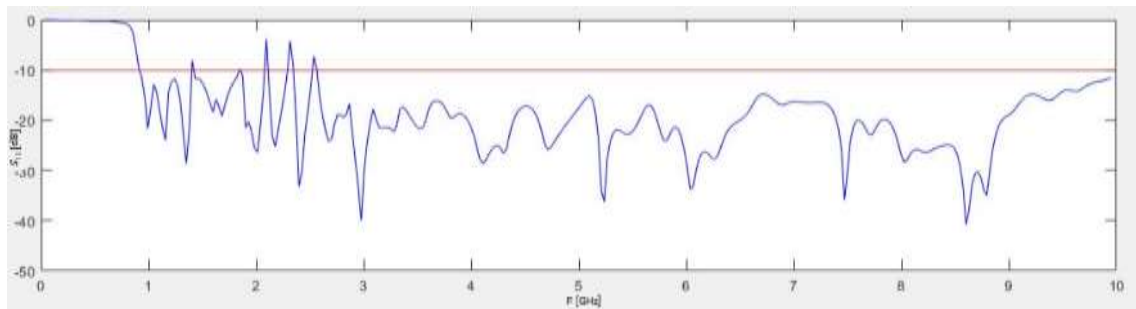
|       |        |
|-------|--------|
| 4,099 | -46,12 |
| 4,200 | -45,99 |
| 4,300 | -43,52 |
| 4,400 | -44,78 |
| 4,499 | -44,58 |
| 4,600 | -43,06 |
| 4,698 | -47,99 |
| 4,799 | -56,18 |
| 4,897 | -52,25 |
| 5,000 | -51,99 |
| 5,099 | -50,63 |
| 5,197 | -58,37 |
| 5,300 | -55,66 |
| 5,400 | -44,74 |
| 5,499 | -26,27 |
| 5,600 | -30,10 |
| 5,698 | -37,48 |
| 5,799 | -38,60 |
| 5,900 | -45,67 |
| 5,998 | -46,62 |
| 6,099 | -39,30 |
| 6,200 | -36,90 |
| 6,300 | -33,47 |
| 6,400 | -27,20 |
| 6,499 | -26,49 |
| 6,600 | -35,35 |
| 6,700 | -38,76 |
| 6,801 | -40,36 |
| 6,900 | -37,77 |
| 7,000 | -40,26 |
| 7,099 | -38,22 |
| 7,200 | -38,44 |
| 7,300 | -33,45 |
| 7,400 | -41,94 |
| 7,499 | -41,77 |
| 7,600 | -42,75 |
| 7,698 | -41,18 |
| 7,801 | -41,32 |
| 7,900 | -43,64 |

|        |        |
|--------|--------|
| 8,000  | -42,65 |
| 8,099  | -33,05 |
| 8,200  | -38,43 |
| 8,300  | -41,00 |
| 8,400  | -43,06 |
| 8,499  | -40,16 |
| 8,600  | -41,13 |
| 8,698  | -41,96 |
| 8,801  | -39,59 |
| 8,900  | -41,30 |
| 9,000  | -40,02 |
| 9,099  | -39,86 |
| 9,199  | -49,40 |
| 9,300  | -48,26 |
| 9,400  | -47,88 |
| 9,499  | -41,52 |
| 9,600  | -42,61 |
| 9,698  | -40,12 |
| 9,799  | -38,56 |
| 9,900  | -37,34 |
| 10,000 | -36,01 |
| 10,300 | -42,01 |

**Realizado por:** Peñafiel Ortega, Irvin. 2019.

#### 4.1.1.2 Graficas del ancho de banda en Matlab de la simulación en Designer

Se tomaron los valores de una exportación de resultados en el software Designer para ser introducidos dentro del código de Matlab para generar una gráfica del ancho de banda de la antena logarítmica, en la Figura 6 – 4 se observa que la gran mayoría de su ancho de banda está por debajo de los -10 dBm.

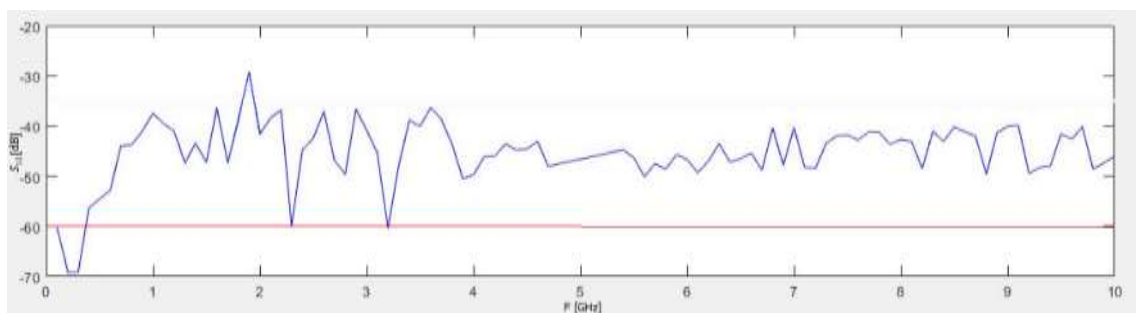


**Figura 6-4:** Coeficiente de Reflexión versus Frecuencia.

Realizado por: Peñafiel Ortega, Irvin. 2019.

#### 4.1.1.3 Grafico obtenido de las mediciones reales

De la tabla 1 – 4 se genera el código necesario para generar la gráfica del ancho de banda de la antena logarítmica construida en la presente investigación. La Figura 7 – 4 muestra que las pérdidas por regreso descienden, en su gran mayoría por debajo de los – 35 dBm, superando los – 10 dBm que se generó en la simulación.

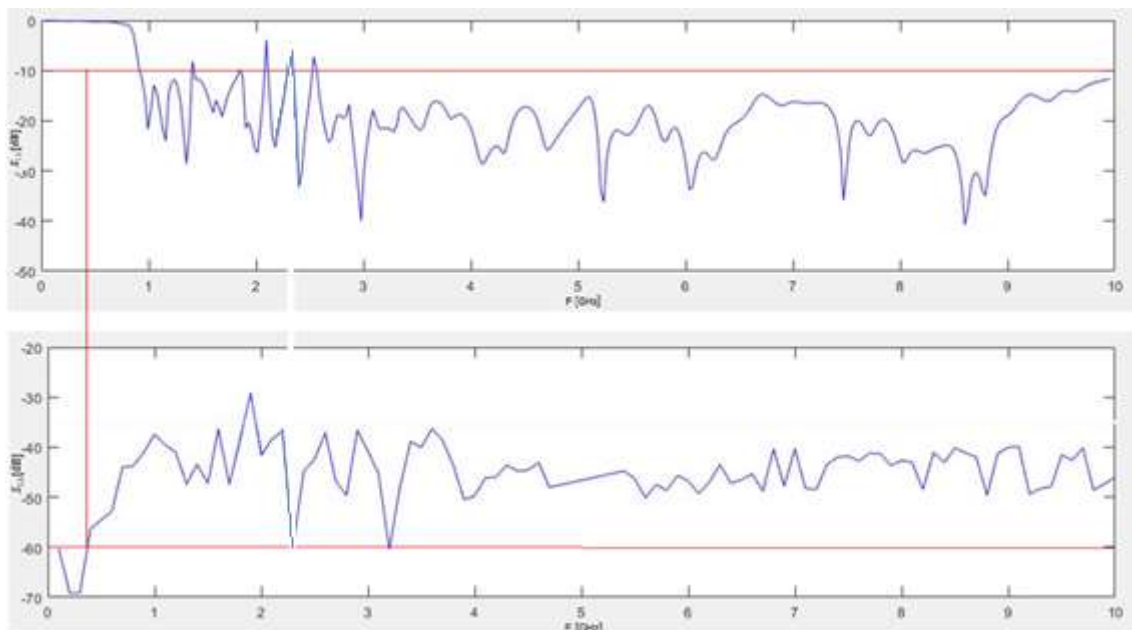


**Figura 7-4:** Coeficiente de Transmisión versus Frecuencia.

Realizado por: Peñafiel Ortega, Irvin. 2019.

#### 4.1.1.4 Comparación gráficas

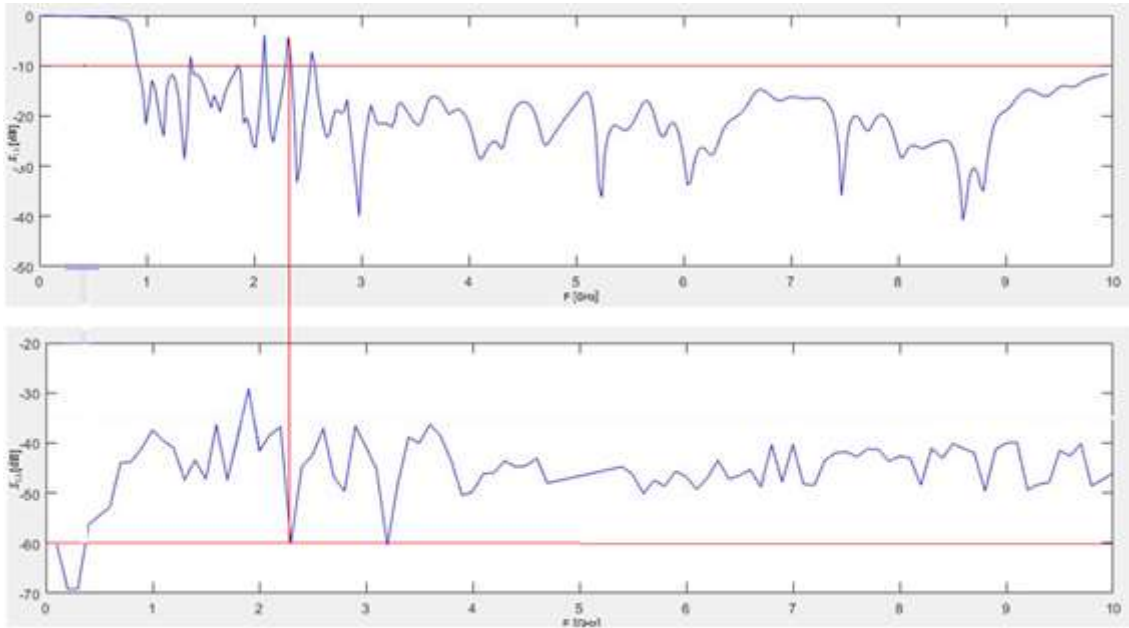
Con los datos calculados del análisis electromagnético realizado con el programa Ansoft Designer y del analizador del espectro radioeléctrico Arintsu MS2724C en el laboratorio de comunicaciones y microondas de la Facultad de Informática y Electrónica se realizó una comparación obteniendo la Figura 8 – 4, en la cual destaca que la respuesta teórica difiere de las mediciones del comportamiento real de la antenna. Su ancho de banda cae por debajo de los -35 dBm superando los -10 dBm obtenidos en la simulación de la antenna.



**Figura 8-4:** Comparación entre el coeficiente de reflexión y transmisión de la antenna.

**Realizado por:** Peñafiel Ortega, Irvin. 2019.

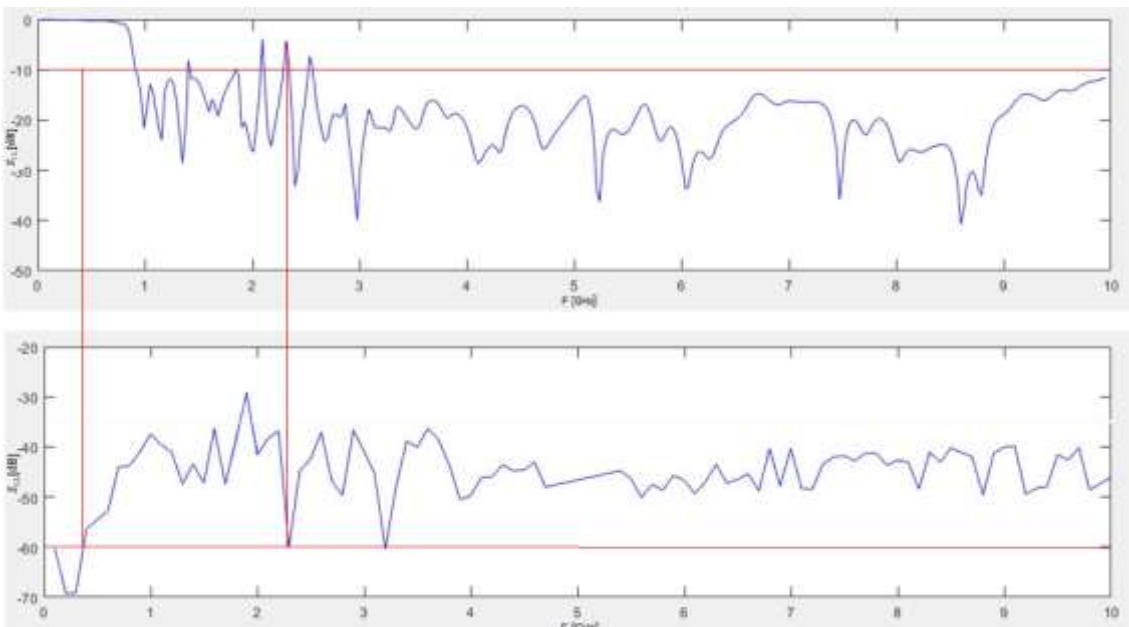
En la Figura 8 – 4 se observa los coeficientes de reflexión y transmisión versus la frecuencia y se compara los resultados obtenidos de las mediciones dentro del laboratorio, resaltando que el ancho de banda efectivo de la antenna, inicia antes de 1 GHz, resultando un ancho de banda mejorado a los resultados obtenidos de la simulación dentro del software Designer.



**Figura 9-4:** Comparación entre el coeficiente de reflexión y transmisión de la antena.

Realizado por: Peñafiel Ortega, Irvin. 2019.

En la Figura 9 – 4 y 10 – 4 se observa que existen picos dentro de la simulación que se ven reflejados en los resultados de las mediciones, resaltando que no todos los picos simulados existen dentro de las mediciones tomadas en el laboratorio.



**Figura 10-4:** Comparación entre el coeficiente de reflexión y transmisión de la antena.

Realizado por: Peñafiel Ortega, Irvin. 2019.

## **CONCLUSIONES**

Se desarrolló una antena logarítmica ultra wide band, con ancho de banda de 1 a 10 GHz, mediante el uso de la tecnología planar sobre una lámina dieléctrica Rogers 5880 para la caracterización de antenas, caso práctico, laboratorio de comunicaciones y microondas.

Las características geométricas de la antena se ajustan a los requerimientos que debe cumplir la antena patrón dentro del laboratorio de comunicaciones y microondas de la facultad de informática y electrónica.

Se diseñó una antena logarítmica ultra wide band, con ancho de banda de 1 a 10 GHz, con el uso del dieléctrico Rogers 5880, para la caracterización de antenas.

Se construyó la antena logarítmica patrón ultra wide band con ancho de banda de 1 a 10 GHz.

Se analizó la antena logarítmica patrón ultra wide band y se determinó que es considerado un instrumento del laboratorio comunicaciones y microondas.

## **RECOMENDACIONES**

Se debe tomar en cuenta exactamente las características geométricas de la antena al momento de realizar los cálculos matemáticos necesarios.

El software Designer utiliza una gran cantidad de recursos computacionales por lo que se recomienda un computador con elevadas características de microprocesador.

Se recomienda el uso de un dieléctrico de altas prestaciones para reducir el desvanecimiento de las ondas electromagnéticas.

## BIBLIOGRAFÍA

**AGUIAR, Jorge E.** *Diseño y simulación de antenas de microcintas de parche triangular cargadas con estructuras metamateriales para comunicaciones inalámbricas.* (Maestría). Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador. 2017 [Consulta: 2 noviembre 2018]. Disponible en : <URL : <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/7302>>.

**AMUTHA, Muniyasamy & KARTHIPAN, Rajakani.** “UWB radar cross section reduction in a compact antipodal Vivaldi antenna”. *International Journal of Electronics and Communications.* [en línea], 2018, (Turquía), p. 7. ISSN 1434-8411. Disponible en : <<https://www.journals.elsevier.com/aeu-international-journal-of-electronics-and-communications>>

**BALANIS, Constantine A.** *Antenna theory: analysis and design.* 3rd ed. Hoboken, NJ : John Wiley, 2005 [Consulta: 26 diciembre 2018]. Disponible en : <URL:<https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=iFEBCgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR13&dq=Antenna+theory:+analysis+and+design&ots=Ck20rpP8yo&sig=TOqKDG04wUW5sACBccnM3wtWAvI#v=onepage&q=Antenna%20theory%3A%20analysis%20and%20design&f=false>>

**BARRETO, Ariel. MORALES, Juan & HERNÁNDEZ, Ismary.** “Análisis y diseño de un monopolo impreso para UWB”. *Revista de Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones.* 2014, (Cuba), Vol. XXXV, p. 17. ISSN 815-5928. Disponible en : < [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1815-59282014000100002](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59282014000100002)>

**Bhattacharya, A. & Ram, R.** “Analysis of Radiation Pattern of a Log Periodic Dipole Antenna in VHF Frequency”. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology.* 2014, Vol. 3, n° 6, pp. 1-5. [Consulta: 8 de noviembre 2018]. ISSN 2319 – 8753. Disponible en : < [http://www.ijirset.com/upload/2015/ncetas/13\\_Paper\\_ID\\_50-1.pdf](http://www.ijirset.com/upload/2015/ncetas/13_Paper_ID_50-1.pdf) >



**CARDAMA, Ángel.** *Antenas*. [en línea]. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña, 2009 [Consulta: 14 octubre 2018]. Disponible en: <URL:[https://www.academia.edu/18160983/antenas\\_cardama\\_jofre\\_rius\\_romeu\\_blanch\\_ferrando](https://www.academia.edu/18160983/antenas_cardama_jofre_rius_romeu_blanch_ferrando)>.

**CARR, Joseph J.** *Practical antenna handbook* [en línea]. New York: McGraw-Hill, 2001. [Consulta: 3 febrero 2019]. Disponible en: <URL: [http://www.ok1mjo.com/all/ostatni/HAM/Practical\\_Antenna\\_Handbook.pdf](http://www.ok1mjo.com/all/ostatni/HAM/Practical_Antenna_Handbook.pdf)>.

**CHEN, Zhi Ning.** *Antennas for portable devices* [en línea]. Chichester: Wiley, 2007. [Consulta: 20 octubre 2018]. Disponible en: <URL: <https://www.bookdepository.com/Antennas-for-Portable-Devices-Zhi-Ning-Chen/9780470319642>>.

**CORPORATION, ROGERS.** “RT/duroid® 5870/5880 High Frequency Laminates Fabrication Guidelines”. *Advanced Connectivity Solutions*. 2018, p. 8.

**FANG, Da-Gang.** *Antenna theory and microstrip antennas* [en línea]. 1 Ed. Estados Unidos, 2010. [Consulta: 20 diciembre 2018]. Disponible en: <URL : <https://www.taylorfrancis.com/books/9781439807392>>.

**FLORES, Javier R.** *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA ANTENA PLANAR ACTIVA PARA EL ESTÁNDAR 802.11a EN LA BANDA SUPERIOR DE LA U-NII* (Maestría). Centro de investigación científica y de educación superior de Ensenada. México. 2006. [Consulta: 29 octubre 2018]. Disponible en: <URL : <https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/2213/1/174151.pdf>>.

**IEEE ANTENNAS AND PROPAGATION SOCIETY.** “Analysis of the log-periodic folded slot array”. *INTERNATIONAL SYMPOSIUM ANTENNAS AND PROPAGATION*. [en línea]. 2002. Piscataway, New Jersey. [Consulta: 6 septiembre 2018]. ISSN 978-0-7803-2009-3. Disponible en: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/407855>>

**INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS.** “Linear Ensemble Antennas Resulting from the Optimization of Log Periodic Dipole Arrays Using Genetic Algorithms”. *Congress on Evolutionary Computation*. [en línea]. 2006. Piscataway, New Jersey. [Consulta: 1 diciembre 2018]. Disponible en: <URL : <https://ieeexplore.ieee.org/document/1688713>>.

**JOHNSON, Richard C. & JASIK, Henry.** *Antenna engineering handbook* [en línea]. 3. ed. New York, NY: McGraw-Hill, 1993 [Consulta: 15 diciembre 2018]. Disponible en: <URL:[http://seklad69associates.com/seklad69associates.com/EEG\\_808\\_and\\_815\\_files/Antenna%20Engineering%20Handbook.pdf](http://seklad69associates.com/seklad69associates.com/EEG_808_and_815_files/Antenna%20Engineering%20Handbook.pdf)>.

**KRAUS, John D.** *Antennas* [en línea]. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 1988. [Consulta: 11 septiembre 2018]. Disponible en: <URL : [https://www.researchgate.net/profile/Sajeed\\_Mulla/post/If\\_the\\_E-Field\\_pattern\\_of\\_an\\_antenna\\_varies\\_as\\_a\\_bcostheta\\_where\\_a\\_b\\_are\\_some\\_integers\\_Then\\_how\\_to\\_calculate\\_the\\_HPBW/attachment/59d6465c79197b80779a1611/AS%3A457537502879744%401486096849945/download/John.+D.+Kraus%2C+Ronald+J.+Marhefka-Antennas-for-All-Applications.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Sajeed_Mulla/post/If_the_E-Field_pattern_of_an_antenna_varies_as_a_bcostheta_where_a_b_are_some_integers_Then_how_to_calculate_the_HPBW/attachment/59d6465c79197b80779a1611/AS%3A457537502879744%401486096849945/download/John.+D.+Kraus%2C+Ronald+J.+Marhefka-Antennas-for-All-Applications.pdf)>.

**LOACHAMIN, Johnny P.** *ESTUDIO, ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE LA MEJOR HERRAMIENTA DE SOFTWARE LIBRE PARA DISEÑAR Y DESARROLLAR PRACTICAS DE LABORATORIO DE ANTENAS PARA LA CARRERA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES.* (Trabajo de Titulación). [en línea]. Escuela Politécnica Nacional. Quito. 2016. [Consulta: 11 enero 2019]. Disponible en: <URL : [https://biblioteca.epn.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=43948&shelfbrowse\\_itemnumber=61398](https://biblioteca.epn.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=43948&shelfbrowse_itemnumber=61398)>.

**MILLIGAN, Thomas A.** *Modern antenna design* [en línea]. 2nd ed. New Jersey, 2005 [Consulta: 27 febrero 2019]. Disponible en: <URL : <http://www.radio-astronomy.org/library/Antenna-design.pdf>>.

**Moallemizadeh, A. Hassani, H.R. & Mohammad, S.** “Wide Bandwidth and Small Size LPDA Antenna.” *Electrical & Electronic Engineering Department*, Shahed University Persian Gulf Highway. 2012, p. 3. [Consulta: 27 febrero 2019]. Disponible en: <[http://research.shahed.ac.ir/WSR/SiteData/PaperFiles/7908\\_878626248.pdf](http://research.shahed.ac.ir/WSR/SiteData/PaperFiles/7908_878626248.pdf)>

**ROGERS, CORPORATION.** *RT/duroid ® 5870 /5880 High Frequency Laminates*. [en línea]. Estados Unidos, Rogers Corporation. 2018. [Consulta: 13 enero 2019]. Disponible en: <URL : <file:///C:/Users/NONE/Desktop/articulos%20tesis/RT-duroid-5870-5880-Data-Sheet.pdf>>.

**TAPIA, Pablo A.** *PUESTA EN MARCHA DE LA ETAPA ANALÓGICA DE UN INTERFERÓMETRO DE DOS ANTENAS* [en línea]. Universidad Santiago de Chile, (Chile). 2013. [Consulta: 25 enero 2019]. Disponible en: <URL : <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/114062>>.

**TOMASI, Wayne.** *Sistemas de comunicaciones electrónicas* [en línea]. Pearson Educación, 2010 [Consulta: 22 enero 2018]. Disponible en: <URL : <http://fernandoarciniega.com/books/sistemas-de-comunicaciones-electronicas-tomasi-4ta-edicion.pdf>>.

**TRUJILLO, Raúl.** *Diseño y construcción de antenas planares de banda ancha con aplicaciones en sistemas de telecomunicaciones* [en línea]. Centro de investigación científica y de educación superior de Ensenada. Baja California, México. 2012 [Consulta: 28 octubre 2018]. Disponible en: <URL:<https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/709/Buenrostro%20Rocha.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>.

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA.** *Design consideration of Microstrip Patch Antenna* [en línea]. 2016. [Consulta: 10 diciembre 2018]. Disponible à : <URL : [http://www.upv.es/antenas/Documentos\\_PDF/Notas\\_clase/Antenas\\_microstrip.pdf](http://www.upv.es/antenas/Documentos_PDF/Notas_clase/Antenas_microstrip.pdf)>.

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA.** *Historia de las antenas* [en línea]. 2016.  
[Consulta: 17 septiembre 2018]. Disponible en:  
<URL : [http://www.upv.es/antenas/Documentos\\_PDF/Notas\\_clase/Historia\\_antenas.pdf](http://www.upv.es/antenas/Documentos_PDF/Notas_clase/Historia_antenas.pdf)>.

**WONG, Kin-Lu.** *Compact and broadband microstrip antennas* [en línea]. New York: Wiley, 2002 [Consulta: 20 febrero 2019]. Disponible en:  
<URL : <file:///C:/Users/NONE/Downloads/CompactandBroadbandMicrostripAntennas.pdf>>.

# ANEXOS

## Anexo A: Datasheet Rogers RT/duroid 5880



### RT/duroid® 5870 /5880 High Frequency Laminates



RT/duroid® 5870 and 5880 glass microfiber reinforced PTFE composites are designed for exacting stripline and microstrip circuit applications.

The randomly oriented microfibers result in exceptional dielectric constant uniformity.

The dielectric constant of RT/duroid 5870 and 5880 laminates is uniform from panel to panel and is constant over a wide frequency range.

Its low dissipation factor extends the usefulness of RT/duroid 5870 and 5880 laminates to Ku-band and above.

RT/duroid 5870 and 5880 laminates are easily cut, sheared and machined to shape. They are resistant to all solvents and reagents, hot or cold, normally used in etching printed circuits or in plating edges and holes.

Normally supplied as a laminate with electrodeposited copper of ½ to 2 ounces/ft.<sup>2</sup> (8 to 70µm) or reverse treated EDC on both sides, RT/duroid 5870 and 5880 composites can also be clad with rolled copper foil for more critical electrical applications. Cladding with aluminum, copper or brass plate may also be specified.

When ordering RT/duroid 5870 and 5880 laminates, it is important to specify dielectric thickness, tolerance, rolled, electrodeposited or reverse treated copper foil, and weight of copper foil required.

#### Data Sheet



#### Features:

- Lowest electrical loss for reinforced PTFE material
- Low moisture absorption
- Isotropic
- Uniform electrical properties over frequency
- Excellent chemical resistance

#### Some Typical Applications:

- Commercial Airline Broadband Antennas
- Microstrip and Stripline Circuits
- Millimeter Wave Applications
- Military Radar Systems
- Missile Guidance Systems
- Point to Point Digital Radio Antennas

| PROPERTY  | TYPICAL VALUES            |                   |                           |                   | DIRECTION | UNITS <sup>(1)</sup>              | CONDITION                                    | TEST METHOD  |
|---|---------------------------|-------------------|---------------------------|-------------------|-----------|-----------------------------------|--|--|
|   | RT/duroid 5870            |                   | RT/duroid 5880            |                   |           |                                   |  |  |
| <sup>(1)</sup> Dielectric Constant, $\epsilon_r$<br>Process | 2.33<br>2.33 ± 0.02 spec. |                   | 2.20<br>2.20 ± 0.02 spec. |                   | Z<br>Z    | N/A                               | C24/23/50<br>C24/23/50                       | 1 MHz IPC-TM-650 2.5.5.3<br>10 GHz IPC-TM 2.5.5.5  |
| <sup>(2)</sup> Dielectric Constant, $\epsilon_r$<br>Design  | 2.33                      |                   | 2.20                      |                   | Z         | N/A                               | 8 GHz - 40 GHz                               | Differential Phase Length<br>Method                |
| Dissipation Factor, $\tan \delta$                           | 0.0005<br>0.0012          |                   | 0.0004<br>0.0009          |                   | Z<br>Z    | N/A                               | C24/23/50<br>C24/23/50                       | 1 MHz IPC-TM-650, 2.5.5.3<br>10 GHz IPC-TM-2.5.5.5 |
| Thermal Coefficient of $\epsilon_r$                         | -115                      |                   | -125                      |                   | Z         | ppm/°C                            | -50 - 150°C                                  | IPC-TM-650, 2.5.5.5                                |
| Volume Resistivity  | 2 X 10 <sup>11</sup>      |                   | 2 X 10 <sup>11</sup>      |                   | Z         | Mohm cm                           | C96/35/90                                    | ASTM D257  |
| Surface Resistivity   | 2 X 10 <sup>10</sup>      |                   | 3 X 10 <sup>10</sup>      |                   | Z         | Mohm                              | C/96/35/90                                   | ASTM D257  |
| Specific Heat   | 0.96 (0.23)               |                   | 0.96 (0.23)               |                   | N/A       | J/g/K<br>(cal/g/°C)               | N/A  | Calculated   |
| Tensile Modulus   | Test at<br>23 °C          | Test at 100<br>°C | Test at 23 °C             | Test at 100<br>°C | N/A       | MPa (kpsi)                        | A  | ASTM D638  |
|   | 1300 (189)                | 490 (71)          | 1070 (156)                | 450 (65)          | X         |                                   |  |  |
|   | 1280 (185)                | 430 (63)          | 860 (125)                 | 380 (55)          | Y         |                                   |  |  |
| ultimate stress   | 50 (7.3)                  | 34 (4.8)          | 29 (4.2)                  | 20 (2.9)          | X         | MPa (kpsi)                        | A  | ASTM D695  |
|   | 42 (6.1)                  | 34 (4.8)          | 27 (3.9)                  | 18 (2.6)          | Y         |                                   |  |  |
| ultimate strain   | 9.8                       | 8.7               | 6.0                       | 7.2               | X         | %                                 | A  | ASTM D695  |
|   | 9.8                       | 8.6               | 4.9                       | 5.8               | Y         |                                   |  |  |
| Compressive Modulus   | 1210 (176)                | 680 (99)          | 710 (103)                 | 500 (73)          | X         | MPa (kpsi)                        | A  | ASTM D695  |
|   | 1360 (198)                | 860 (125)         | 710 (103)                 | 500 (73)          | Y         |                                   |  |  |
|   | 803 (120)                 | 520 (76)          | 940 (136)                 | 670 (97)          | Z         |                                   |  |  |
| ultimate stress   | 30 (4.4)                  | 23 (3.4)          | 27 (3.9)                  | 22 (3.2)          | X         | MPa (kpsi)                        | A  | ASTM D695  |
|   | 37 (5.3)                  | 25 (3.7)          | 29 (5.3)                  | 21 (3.1)          | Y         |                                   |  |  |
| ultimate strain   | 54 (7.8)                  | 37 (5.3)          | 52 (7.5)                  | 43 (6.3)          | Z         | %                                 | A  | ASTM D695  |
|   | 40                        | 4.3               | 8.5                       | 8.4               | X         |                                   |  |  |
|   | 3.3                       | 3.3               | 7.7                       | 7.8               | Y         |                                   |  |  |
|   | 8.7                       | 8.5               | 12.5                      | 17.6              | Z         |                                   |  |  |
| Moisture Absorption   | 0.02                      |                   | 0.02                      |                   | N/A       | %                                 | D62 <sup>(1)</sup> (1.6mm)<br>D48/50         | ASTM D570  |
| Thermal Conductivity  | 0.22                      |                   | 0.20                      |                   | Z         | W/m/K                             | 80°C   | ASTM C518  |
| Coefficient of<br>Thermal Expansion                         | 22                        |                   | 31                        |                   | X         | ppm/°C                            | 0-100°C                                      | IPC-TM-650, 2.4.41                                 |
|   | 28                        |                   | 48                        |                   | Y         |                                   |  |  |
|   | 173                       |                   | 237                       |                   | Z         |                                   |  |  |
| Td  | 500                       |                   | 500                       |                   | N/A       | °C TGA                            | N/A  | ASTM D3850   |
| Density   | 2.2                       |                   | 2.2                       |                   | N/A       | g/m <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> | N/A  | ASTM D792  |
| Copper Peel   | 27.2 (48)                 |                   | 31.2 (55)                 |                   | N/A       | pli (N/mm)                        | 1 oz (35mm)EDC<br>foil<br>after solder float | IPC-TM-650 2.4.8                                   |
| Flammability  | V-0                       |                   | V-0                       |                   | N/A       | N/A                               | N/A  | UL94   |
| Lead-Free Process<br>Compatible                             | Yes                       |                   | Yes                       |                   | N/A       | N/A                               | N/A  | N/A  |

- (1) Specification values are measured per IPC-TM-650, method 2.5.5.5 @ -10GHz, 23°C. Testing based on 1 oz. electro-deposited copper foil.  $\epsilon_r$  values and tolerance reported by IPC-TM-650 method 2.5.5.5 are the basis for quality acceptance, but for some products these values may be incorrect for design purposes, especially microstrip designs. We recommend that prototype boards for new designs be verified for desired electrical performance.
- (2) Typical values should not be used for specification limits, except where noted.
- (3) SI unit given first with other frequently used units in parentheses.
- (4) The design Dk is an average number from several different tested lots of material and on the most common thicknesses. If more detailed information is required, please contact Rogers Corporation. Refer to Rogers' technical paper 'Dielectric Properties of High Frequency Materials' available at <http://www.rogerscorp.com>.

| Standard Thickness                     |                  | Standard Panel Size   | Standard Copper Cladding   | Non-Standard Copper Cladding   |
|--|------------------|---|--|--|
| 0.005" (0.127mm)                       | 0.031" (0.787mm) | 18" X 12" (457 X 305mm)<br>18" X 24" (457 X 610mm)<br>Non-standard sizes may be available up to 18" X 48" (457 X 1219 mm) | 1/2 oz. (18µm) and 1 oz. (35µm) electro-deposited and rolled copper foil   | 1/2 oz. (9 µm) electro-deposited copper foil<br>1/2 oz. (18µm), 1 oz. (35µm) and 2 oz. (70µm) reverse treat copper foil<br>2 oz. (70µm) electro-deposited and rolled copper foil |
| 0.010" (0.254mm)                       | 0.062" (1.575mm) |   |  |  |
| 0.015" (0.381mm)                       |                  |   |  |  |
| 0.020" (0.508mm)                       |                  |   |  |  |
| Non-standard thicknesses are available |                  |   | Thick metal claddings may be available based on dielectric and plate thickness. Contact customer service for more information on available non-standard and custom thicknesses, claddings and panel sizes. |  |

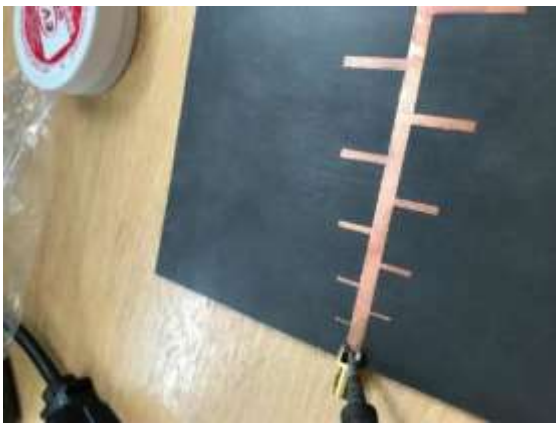
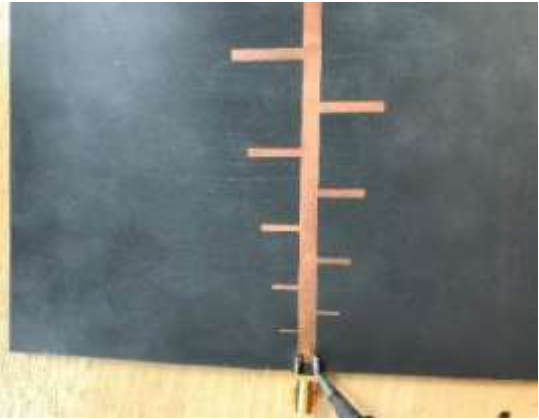
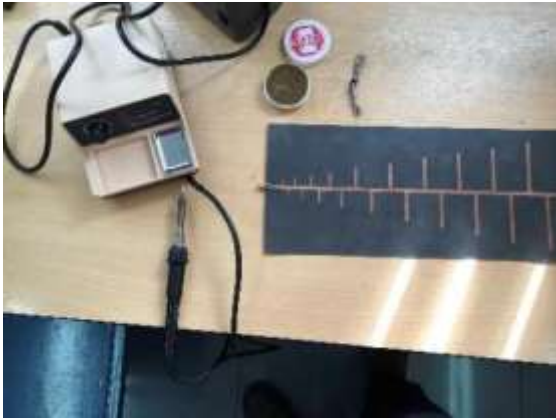
The information in this data sheet is intended to assist you in designing with Rogers' circuit materials. It is not intended to and does not create any warranties express or implied, including any warranty of merchantability or fitness for a particular purpose or that the results shown on this data sheet will be achieved by a user for a particular purpose. The user should determine the suitability of Rogers' circuit materials for each application.

These commodities, technology and software are exported from the United States in accordance with the Export Administration regulations. Diversion contrary to U.S. law prohibited.

RT/duroid, Helping power, protect, connect our world and the Rogers logo are trademarks of Rogers Corporation or one of its subsidiaries.

© 2018 Rogers Corporation, Printed in U.S.A. All rights reserved. Revised 1402101518 Publication #92-101

Anexo B: Soldadura del conector.



ANEXO C: Construcción del protector con láminas de acrílico.





ANEXO D: Toma de mediciones en el laboratorio.



