

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE QUITO**

**CARRERA:**  
**INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención de título de:**  
**INGENIERA ELECTRÓNICA**

**TEMA:**  
**DISEÑO DE UNA ANTENA MICROSTRIP CON POLARIZACIÓN**  
**CIRCULAR PARA EL LABORATORIO DE ANTENAS**

**AUTORA:**  
**LILIANA ELIZABETH CHIMBORAZO PUJOS**

**TUTOR:**  
**LUIS GERMÁN OÑATE CADENA**

**Quito, Septiembre del 2017**

## **CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR**

Yo Liliana Elizabeth Chimborazo Pujos con documento de identificación N° 1804082939, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autora del trabajo de titulación intitulado: “DISEÑO DE UNA ANTENA MICROSTRIP CON POLARIZACIÓN CIRCULAR PARA EL LABORATORIO DE ANTENAS”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera Electrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autora reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



.....  
Nombre: Liliana Elizabeth Chimborazo Pujos  
Cédula: 1804082939  
Fecha: Quito, Septiembre de 2017

## DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación, DISEÑO DE UNA ANTENA MICROSTRIP CON POLARIZACIÓN CIRCULAR PARA EL LABORATORIO DE ANTENAS, realizado por Liliana Elizabeth Chimborazo Pujos, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerado trabajo final de titulación.

Quito, Septiembre de 2017



.....  
Ing. Luis Germán Oñate Cadena M.Sc  
CC: 1712157401

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a Dios y a la virgencita del Carmen que me han dado fortaleza para continuar cuando a punto de caer he estado.

De igual manera, dedico esta tesis a mis tres preciados tesoros a mi madre María por su apoyo a pesar de las adversidades que se presentaban, por todo el esfuerzo y sacrificio que ha realizado día a día, por sus consejos y apoyo en cada etapa de mi vida, a mi hermano David quien siempre confió en mí y tenía siempre una palabra de aliento para que siga perseverando, a mi futuro esposo Jorge quien es muy importante en mi vida, al cual amo y ha sido un apoyo muy fundamental en todo este proceso ,le doy las gracias por estar ahí siempre con su amor, paciencia y confianza demostrándome que si existe el amor verdadero.

A mi abuelita Mercedes quien ya no está presente pero siempre para ella era su orgullo la cual motivaba a que estudie y salga adelante.

A los ángeles que Dios ha puesto en mi vida durante toda mi vida universitaria mis mejores amigos que han sido como mis hermanos de corazón: Nina (burris), Pierina (morenita bella), Angela (Angy Fer) y Patricio (Pato feo), quienes me brindaron su amistad incondicional a los cuales los aprecio mucho.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a la Universidad Politécnica Salesiana por apoyar este trabajo de investigación y a los docentes por los conocimientos impartidos en nuestra formación académica.

A mi tutor el Ing. Luis Germán Oñate Cadena que a lo largo de este proceso ha sabido guiarme de forma concisa para la culminación de este trabajo, gracias por el apoyo y confianza durante el desarrollo de este proyecto.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

Declaración de responsabilidad y autorización de uso del trabajo de titulación.....	ii
Declaratoria de coautoría del docente tutor .....	iii
Dedicatoria .....	iv
Agradecimiento .....	v
Índice de contenido .....	vi
Índice de figuras .....	ix
Índice de tablas.....	x
<b>RESUMEN.....</b>	<b>xi</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xii</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>xiii</b>
<b>CAPÍTULO 1.....</b>	<b>1</b>
<b>ANTECEDENTES .....</b>	<b>1</b>
1.1. Planteamiento del problema .....	1
1.2. Objetivos .....	1
1.2.1. Objetivo General .....	1
1.2.2. Objetivos Específicos.....	2
1.3. Justificación .....	2
1.4. Metodología .....	3
<b>CAPÍTULO 2.....</b>	<b>5</b>
<b>MARCO CONCEPTUAL .....</b>	<b>5</b>
2.1 Antenas .....	5
2.2 Fundamentos teóricos antenas.....	5
2.2.1 Características de las antenas.....	5
2.3 Antenas microstrip.....	6
2.3.1 Tipos de geometría de una antena microstrip .....	7

2.3.2	Estructura de una antena microstrip.....	8
2.4	Técnicas de alimentación .....	8
2.4.1	Técnicas por contacto.....	8
2.4.2	Técnicas sin contacto .....	9
2.5	Parámetros de las antenas .....	9
2.5.1	Diagrama de radiación .....	9
2.5.2	Directividad.....	10
2.5.3	Ganancia.....	11
2.5.4	Polarización.....	11
2.5.5	Adaptación .....	12
2.5.6	Impedancia .....	12
2.6	Antena microstrip con polarización circular .....	13
2.6.1	Polarización circular con una única alimentación.....	13
2.6.2	Polarización circular con doble alimentación .....	15
<b>CAPÍTULO 3.....</b>		<b>17</b>
<b>DISEÑO Y SIMULACION DE LA ANTENA .....</b>		<b>17</b>
3.1	Consideraciones de diseño para Antenas Microstrip.....	17
3.1.1	Elección del tipo de antena .....	17
3.1.2	Elección de la forma del parche.....	18
3.1.3	Sustratos de bajas pérdidas y de bajo costo .....	19
3.2	Frecuencia de operación .....	20
3.3	Constante dieléctrica del sustrato .....	20
3.4	Ancho del sustrato dieléctrico (h).....	20
3.5	Dimensiones de la antena .....	21
3.5.1	Cálculos de modelo básico de antena plana rectangular con alimentación por línea microstrip ('line feed').....	22
3.5.2	Cálculo de modelo básico de antena plana casi rectangular con alimentación de polarización circular.....	24

<b>CAPÍTULO 4.....</b>	<b>25</b>
<b>ANÁLISIS Y RESULTADOS.....</b>	<b>25</b>
4.1    Antena rectangular con alimentación por línea Microstrip .....	25
4.2    Antena casi rectangular con alimentación por polarización circular.....	28
4.3    Discusión de resultados .....	30
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>32</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>33</b>
<b>LISTA DE REFERENCIAS .....</b>	<b>34</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Tipos de geometría de una antena microstrip .....	7
Figura 2.2 Elementos de una antena microstrip .....	8
Figura 2.3 Diagrama de radiación .....	10
Figura 2.4 Antena parche con esquinas modificadas .....	14
Figura 2.5 Polarización circular con doble alimentación .....	15
Figura 3.1 Modelo de antena parche .....	18
Figura 3.2 Antena microstrip rectangular con corte diagonal .....	19
Figura 3.3 Dimensiones de la antena microstrip .....	21
Figura 3.4 Antena lineal alimentada por línea microstrip .....	22
Figura 4.1 Antena rectangular con alimentación por línea microstrip .....	25
Figura 4.2 Pérdida de retorno de la antena rectangular .....	26
Figura 4.3 Diagrama de radiación .....	26
Figura 4.4 Ventana de pérdidas total en 3D .....	27
Figura 4.5 Patrón de radiación de pérdidas totales .....	27
Figura 4.6 Antena casi rectangular con alimentación por polarización circular .....	28
Figura 4.7 Curva coeficiente de reflexión vs Frecuencia .....	29
Figura 4.8 Ganancia total de la antena .....	29
Figura 4.9 Diagrama de radiación .....	30

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Características de las antenas.....	17
Tabla 3.2 Características de los sustratos.....	20

## **RESUMEN**

En el presente proyecto se presenta el diseño de una antena Microstrip con polarización circular para el laboratorio de antenas para lo cual se investigó en primer lugar sobre las antenas y sus características, también se investigó sobre las antenas Microstrip, características, tipos de geometrías, estructura de la antena, parámetros de radiación, tipos de alimentación para la polarización circular y de esta manera elegir la técnica para conseguir la polarización circular a una banda de 2,4 GHz. Además de esto se revisará la funcionalidad y características del software de simulación HFSS para de esta realizar el diseño y simulación de una antena Microstrip con polarización circular. Una vez que se seleccionó la técnica para el diseño, se procedió a diseñar la antena microstrip con polarización circular a una banda de 2.4Ghz estableciendo los parámetros de una antena para de esta manera obtener un mejor diseño. Finalmente se procede con la simulación de la antena diseñada mediante la técnica de alimentación por línea microstrip para obtener los parámetros de radiación: ancho de banda, ganancia, eficiencia y directividad. Con los resultados obtenidos en las simulaciones de cada diseño se realizará un análisis comparativo de una antena Microstrip tipo parche con polarización circular con una antena parche con polarización lineal.

## **ABSTRACT**

In the present project, the design of a microstrip antenna with circular polarization for the laboratory of antennas is presented for which it was investigated first on the antennas and their characteristics, also was investigated on the Microstrip antennas, characteristics, types of geometries, structure of antenna, radiation parameters, types of power for circular polarization and in this way, choose the technique to achieve the circular polarization to a band of 2.4 GHz. In addition, this will review the functionality and characteristics of the software of simulation HFSS to make the design and simulation of a Microstrip antenna with circular polarization. Once the technique for the design was selected, the Microstrip antenna with circular polarization was designed to a band of 2.4 GHz establishing the parameters of an antenna in order to obtain a better design. Finally, we proceed with the simulation of the antenna designed by the microstrip line feed technique to obtain the radiation parameters: bandwidth, gain, efficiency and directivity. With the results obtained in the simulations of each design, a comparative analysis of a patch-type Microstrip antenna with circular polarization with a patch antenna with linear polarization.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad las aplicaciones inalámbricas aumentan constantemente a una gran velocidad, donde las aplicaciones de corto alcance (ISM) son más diversas y utilizadas en esta banda. Uno de los tipos más prominentes de antenas utilizadas en la banda (ISM) es la antena Microstrip, la cual hoy en día es un tipo de modelo de antena totalmente confiable y recomendable para aplicaciones donde se requieren bajo peso, bajo costo, fácil implementación y la posibilidad de que se adapten a diferentes formas.

Por tal razón el proyecto propuesto consta de 4 capítulos:

- En el capítulo 1, se presenta el planteamiento del problema en el cual se analiza la antena Microstrip y su aplicación al diseño de antenas, los objetivos planteados y metas que se propone alcanzar, la justificación donde se analiza la importancia de este proyecto y finalmente el estudio de método para el diseño y desarrollo del proyecto.
- En el capítulo 2, se hace referencia al marco teórico en el cual se detalla las características, la metodología y técnicas que será aplicado para el diseño de la antena Microstrip con polarización circular y el software de simulación.
- En el capítulo 3, se presenta el diseño de una antena Microstrip con polarización circular a 2,4GHz, se proceder a simular en el software HFSS (High Frequency Electromagnetic Field Simulation) para obtener los parámetros de radiación para realizar un análisis comparativo entre ambas antenas.
- Finalmente, en el capítulo 4, se presenta las conclusiones en base a los resultados obtenidos de las simulaciones.

# CAPÍTULO 1

## ANTECEDENTES

### 1.1. Planteamiento del problema

En la actualidad los sistemas de comunicaciones inalámbricos se han desarrollado a una gran velocidad; por lo que para comprenderlos de mejor manera no se puede dejar de lado el estudio y desarrollo de cada uno de sus componentes, entre los que se destacan los elementos radiantes o antenas.

Existen diversos tipos de antenas las cuales, dependiendo de la tecnología de fabricación, pueden presentar dimensiones considerables; además de ser muy caras y difíciles de encontrar en el país. Es por este motivo, que las antenas planas fabricadas utilizando tecnología microstrip resultan ser la solución adecuada para aplicaciones donde se requieren prestaciones con bajo costo, bajo peso y posibilidades de adaptarse a diferentes formas. Por lo tanto, en este trabajo se propone realizar el diseño y simulación de una antena con polarización circular que trabaje a una frecuencia de 2.4Ghz.

¿Cómo se puede optimizar los parámetros de radiación deseados por una antena parche con polarización circular?

### 1.2. Objetivos

#### 1.2.1. Objetivo General

Diseñar una antena con polarización circular que opere a una frecuencia de 2.4 GHz utilizando tecnología microstrip, para determinar sus parámetros de funcionamiento y sus costos de implementación mediante simulación.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

- Seleccionar la técnica de diseño para que una antena presente polarización circular mediante la selección del sustrato.
- Diseñar la antena microstrip para ser utilizada banda de 2,4Ghz en sistemas de comunicaciones inalámbricos.
- Realiza la simulación ajustando los parámetros matemáticos como: diagramas de radiación, ancho de banda, ganancia, eficiencia y directividad.
- Elaborar un análisis comparativo entre una antena Microstrip tipo parche con polarización circular con una antena parche con polarización lineal.
- Establecer indicadores de operación y costos de implementación.

### **1.3. Justificación**

Una de las partes más importantes de un equipo de comunicación móvil o inalámbrica es el elemento radiante, tanto para la transmisión como para la recepción de la información. Por lo tanto, este elemento debe presentar características específicas como: buen nivel de adaptación, ancho de banda, diagrama de radiación acorde con la aplicación, dimensiones en base al espacio disponible para su montaje, nivel de ganancia adecuado y polarización.

En este proyecto tiene como finalidad obtener una base sólida para el estudio de la antena Microstrip y su aplicación al diseño de antenas. Para esta investigación se enfatizará en una antena con polarización circular utilizando tecnología microstrip debido a las diversas aplicaciones que tienen dentro de los sistemas de comunicaciones inalámbricos tales como transmisión y recepción de señales, el sistema operará a la frecuencia de 2.4 GHz por lo cual ésta será la frecuencia central de operación de la antena que se propone diseñar.

Se obtendrá información acerca de cómo pueden cambiar los parámetros de radiación, ancho de banda ganancia, eficiencia y directividad en una antena con polarización circular que opere a una frecuencia de 2.4 GHz utilizando tecnología microstrip al ser

diseñada mediante cálculos matemáticos y simulada en el software HFSS para compararla con la antena parche con polarización lineal.

Además, se realizará un cuadro comparativo de costos, los resultados obtenidos en este proyecto servirán como material de apoyo para el aprendizaje de los estudiantes de la carrera.

## **1.4. Metodología**

### **1.4.1. Investigación Bibliográfica**

Se realizará una recopilación de información sobre las antenas sus características y parámetros básicos, también se explicarán los conceptos generales geometría y técnicas utilizadas conseguir polarización relacionada con antenas Microstrip como tipos de alimentación, circular y para incrementar el ancho de banda. , se enfatizará en los parámetros de radiación, ancho de banda, ganancia, eficiencia y directividad de la antena para buscar y seleccionar las características, la técnica de diseño a utilizar para que una antena presente polarización circular a una banda de 2,4GHz.

Así como se investigará también sobre las antenas lineales con polarización circular, definiciones, conceptos básicos. Finalmente se investigará sobre el software de simulación (High Frequency Electromagnetic Field Simulation), sus funciones y características, para recopilar información necesaria para el uso de las herramientas que brinda este software y de esta manera realizar la simulación para obtener los resultados requeridos en este proyecto.

### **1.4.2. Diseño y simulación de la antena**

Se diseñará una antena con una impedancia de 50 ohms con polarización circular que opere a 2.4 GHz utilizando tecnología microstrip esta frecuencia ha sido seleccionada para facilitar el diseño ya que es una banda libre sin licencia. Se determinará los parámetros de operación de la misma como: diagramas de radiación, ancho de banda, ganancia, eficiencia y directividad mediante cálculos matemáticos correspondientes y



con los mismos realizar las simulaciones utilizando (High Frequency Electromagnetic Field Simulation).

Se analizará la relación axial de la antena para obtener polarización circular ,también se analizará los parámetros  $s_{11}$  que es el nivel de adaptación ,para obtener un buen nivel de adaptación debe ser menor a -20db para obtener la máxima transferencia de potencia y para garantizar la polarización circular ,  $s_{21}$  representa la potencia recibida en la antena y debe tender a cero para que se garantice que este bien acoplada la alimentación de la antena ya que se la alimentará mediante cable coaxial.

Se realizará diversas simulaciones hasta conseguir los mejores niveles de adaptación y relación axial a la frecuencia de trabajo. Se presentarán todos los pasos relacionados con el proceso de diseño y simulación de la antena. Se incluirán los resultados de las simulaciones realizadas para la selección del sustrato, tipo de alimentación, geometría del parche y técnicas empleadas para conseguir radiación con polarización circular.

#### **1.4.3.Análisis y documentación del proyecto**

Se recogerán los resultados obtenidos mediante el software de simulación HFSS (High Frequency Electromagnetic Field Simulation), las conclusiones y recomendaciones derivadas de la realización del proyecto en base a los resultados conseguidos. Se redactará el texto correspondiente al presente proyecto técnico.

## CAPÍTULO 2

### MARCO CONCEPTUAL

En este capítulo se analizará las características de las antenas en general como son los parámetros de radiación, ancho de banda, ganancia, eficiencia y directividad, y en específico las antenas Microstrip con polarización circular, además se investigará acerca del software de simulación (High Frequency Electromagnetic Field Simulation) funciones y características para el uso de las herramientas que brinda este simulador.

#### 2.1 Antenas

Una antena es un dispositivo diseñado como parte de un sistema transmisor o receptor para radiar y recibir ondas electromagnéticas hacia el espacio libre. Las antenas dependen de la relación entre sus dimensiones y la longitud de la señal de radiofrecuencia transmitida o recibida. Si las dimensiones de la antena son mucho más pequeñas que la longitud de onda, se llaman resonantes y si el tamaño es mayor que la longitud de onda son directivas. (Emilio Monachesi, 2011)

#### 2.2 Fundamentos teóricos antenas

##### 2.2.1 Características de las antenas

Los principales parámetros de una antena que se deben de considerar al momento de elegir una específica para su aplicación son:

- Diagrama o patrón de radiación: Representación gráfica tridimensional de las características de una antena, característica del campo eléctrico generado por una antena.
- Directividad: Es la concentración de la potencia radiada en una dirección en particular, relación entre la intensidad de radiación con la intensidad promedio.

- Ganancia: Es la intensidad máxima de radiación de la antena en una determinada dirección del espacio y de una antena isotrópica con la misma potencia.
- Impedancia: Relación entre la corriente de los terminales y la tensión, la resistencia de la antena es la parte real de la impedancia y la reactancia es la parte imaginaria.
- Polarización: La polarización se define en una determinada dirección, traza el campo eléctrico al variar el tiempo campo de radiación.

### 2.3 Antenas Microstrip

Una antena microstrip o antena parche consiste en un parche radiante en una cara de un sustrato dieléctrico, el cual tiene un plano de masa en la cara opuesta del parche, La forma de los parches pueden tener la forma rectangular, cuadrada y redonda.

Se toma en cuenta de manera general un parche rectangular de longitud  $L$  y amplitud  $W$  ( $L > W$ ) que esta alimentado mediante una línea microstrip. El parche se debe diseñar para que el diagrama de radiación sea máximo en  $\theta = 0$  ya que es cero para  $\theta > 90^\circ$ . (Roig Díaz, 2015)

La longitud de la antena viene dada por:

$$L = \frac{\lambda_s}{2}, \quad \lambda_s = \frac{c}{f\sqrt{\epsilon_{reff}}} = \frac{\lambda}{\sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad \text{Ec. (2.1)}$$

$\lambda_s$  es la longitud de onda de la frecuencia de operación en el sustrato dieléctrico

$\epsilon_r$  es la permitividad eléctrica efectiva del sustrato

La antena microstrip tiene un ancho de banda estrecho, en la disposición básica se tiene polarización lineal pero estas características son básicas del parche; se pueden mejorar con técnicas de ensanchamiento de ancho de banda, y alimentación para obtener polarización circular, además son fáciles de construir y tienen menor coste y peso. (Roig Díaz, 2015)

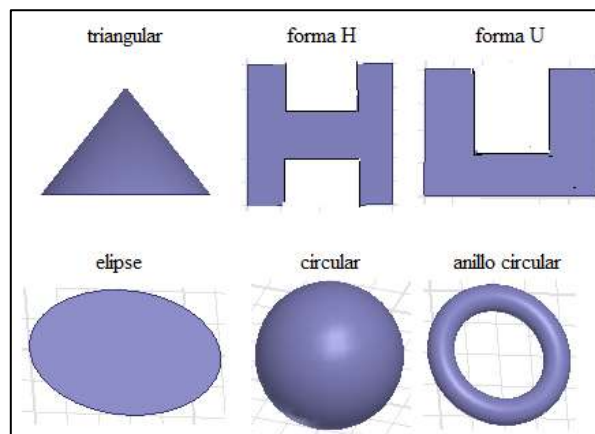
### 2.3.1 Tipos de geometría de una antena Microstrip

La antena en su configuración básica se basa en un parche ubicado sobre uno de los lados de un sustrato dieléctrico, el cual tiene un plano de tierra sobre el otro lado. La geometría del parche puede tomar casi cualquier forma, pero por lo general se utiliza geometrías regulares para simplificar el análisis y la predicción del rendimiento de la antena, en la figura 2.1 se muestra las geometrías más comunes del mismo.

Los sustratos más utilizados son los que poseen un grosor elevado ya que proporcionan mejores resultados en términos de ancho de banda y eficiencia, en cambio los sustratos con grosor reducido y constantes dieléctricas elevadas son más deseables en circuitos de microondas porque los campos quedan más confinados en la estructura lo que hace que se minimice la radiación indeseada y el acoplamiento, además permita obtener dispositivos más compactos.

Por otro lado, debido a que las antenas microstrip se integran con otros circuitos de microondas se debe alcanzar un compromiso a la hora de elegir un sustrato para obtener un rendimiento en la antena. (Ramirez, 2013)

Figura 2.1 Tipos de geometría de una antena Microstrip

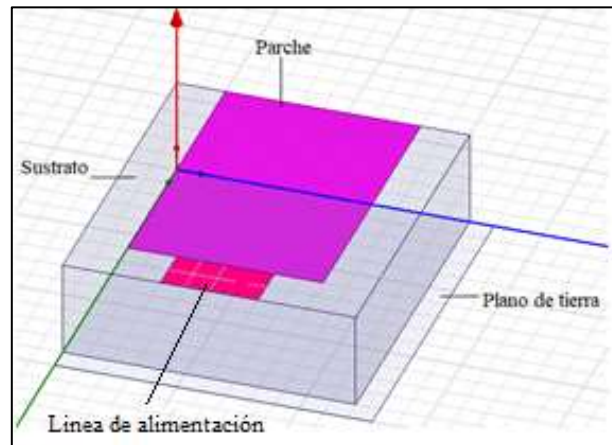


Geometría de los elementos radiantes de una antena Microstrip (Ramirez, 2013)

### 2.3.2 Estructura de una antena Microstrip

Existen muchas formas y tipos de antenas tipo parche, el más básico es el mostrado en la Figura 2.2. Una antena microstrip se compone de cuatro elementos: el sustrato, el plano de tierra, el parche y la línea de alimentación.

Figura 2.2 Elementos de una antena Microstrip



Estructura principal de una antena Microstrip y sus elementos. (Gardana, 2010)

El sustrato dieléctrico se define mediante su constante dieléctrica  $\epsilon_r$ , la tangente de pérdidas ( $\tan \delta$ ), y su altura ( $h$ ).

El plano de tierra es una capa metálica que está impresa en la otra cara del sustrato donde está impreso el parche cuya dimensión es superior al parche y al sustrato, (Gardana, 2010)

### 2.4 Técnicas de alimentación

Las técnicas de alimentación más comunes son cuatro las cuales se dividen en técnicas por contacto y técnicas sin contacto, y son: coaxial, por línea microstrip, por acoplamiento de proximidad y por acoplamiento de apertura.

#### 2.4.1 Técnicas por contacto

- Alimentación coaxial, (probe feed) (BW: 2-5%, facilidad de matching) se accede desde la parte inferior del parche utilizando un cable coaxial.

- Alimentación por línea microstrip, (line feed) (BW: 2-5%, facilidad de fabricación) el parche es alimentado con una línea de 50ohm en el sustrato.

#### **2.4.2 Técnicas sin contacto**

- Alimentación por acoplamiento de proximidad (BW: sobre 13%) se necesitan dos sustratos dieléctricos superpuestos, su funcionamiento se basa en la transferencia de energía entre la línea y el parche.
- Alimentación por acoplamiento de apertura (Cross Polarization Level) (BW: 2-5%) bajo CPL se compone de dos sustratos, la línea se acopla a través de la ranura electromagnéticamente, la ranura se debe encontrar en el centro del parche para que se realice el acoplamiento entre la corriente y campo magnético.

### **2.5 Parámetros de las antenas**

Los parámetros básicos de la antena microstrip son: diagramas de radiación, ancho de banda, ganancia, eficiencia y directividad.

#### **2.5.1 Diagrama de radiación**

El diagrama de radiación es la distribución espacial de una cantidad que caracteriza al campo electromagnético generado por la antena; determina la región de campo lejano en función de las direcciones del espacio, y para ello se utiliza coordenadas esféricas  $\theta$  (ángulo polar o colatitud) y  $\varphi$  (ángulo azimut).

La antena habitualmente se sitúa en el origen de coordenadas, y las propiedades que miden una antena son medidas en todas las direcciones del espacio. El campo magnético se deriva del campo eléctrico, generalmente el diagrama de radiación se representa en función del campo magnético.

El diagrama de radiación se lo muestra con una representación 3D, pero es más común que se lo muestre por cortes que siguen los meridianos ( $\varphi$  constante) o los

paralelos ( $\theta$  constante), los cortes se pueden representar en coordenadas polares o cartesianas. (Abellán, 2009)

Figura 2.3 Diagrama de radiación

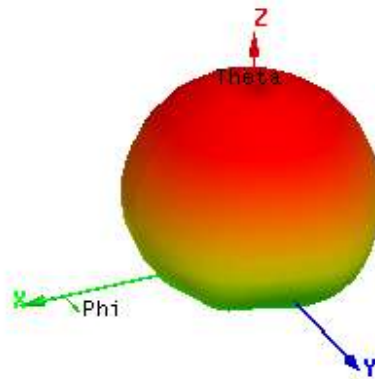


Diagrama de radiación de una antena Microstrip en 3D .(Gardana, 2010)

### 2.5.2 Directividad

La directividad  $D(\theta, \phi)$ , es la propiedad que tiene una antena de transmitir o recibir energía irradiada en una dirección dada (desde la antena), y la intensidad de radiación promediada en todas las direcciones. Mide que tan direccional es el patrón de radiación de una antena. (Curotto, 2012)

La directividad está dada por la ecuación:

$$D(\theta, \phi) = \frac{K(\theta, \phi)}{K_{AV}} = \frac{K(\theta, \phi)}{P_r/4\pi} = \frac{P(\theta, \phi) \cdot r^2}{P_r/4\pi} = \frac{P(\theta, \phi)}{P_r/4\pi r^2} \quad \text{Ec. ( 2.2)}$$

Si no es especificada la dirección angular, se sobreentiende que la directividad se refiere a la dirección de máxima radiación, resultando la directividad máxima de la antena, a partir del diagrama de radiación normalizado y de la directividad máxima se obtiene la directividad. (Ávila, 2009)

La directividad máxima se obtiene de:

$$D = \frac{P_{max}}{P_r/4\pi r^2} \rightarrow D(\theta, \phi) = D \cdot t(\theta, \phi) \quad \text{Ec. (2.3)}$$

### 2.5.3 Ganancia

La ganancia  $G(\theta, \phi)$  es la relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección y a una distancia dada, y la densidad de potencia que radiaría a esa misma distancia una antena isótropa que radiara la misma potencia que la entregada a la antena no isótropa.

Como se ve, las definiciones de directividad y ganancia son muy parecidas, sólo que en el caso de la ganancia la comparación se hace con la potencia entregada a la antena y no con la potencia radiada, esto permite introducir las pérdidas de la antena (o la eficiencia) a la directividad. (Curotto, 2012)

La ganancia se puede definir como se muestra a continuación:

$$G(\theta, \phi) = \frac{P(\theta, \phi)}{P_{entregada}/4\pi r^2} = \frac{P(\theta, \phi)}{(P_r/\eta)/4\pi r^2} = \eta \frac{P(\theta, \phi)}{P_r/4\pi r^2} = \eta \cdot D(\theta, \phi) \quad \text{Ec. (2.4)}$$

### 2.5.4 Polarización

La polarización indica la orientación del vector en un punto fijo del espacio al transcurrir el tiempo. Si se toma un punto cualquiera del espacio y se imagina un plano perpendicular a la dirección de propagación desde la antena al punto citado con la variación del vector E, paralelo al plano se observará como describe una curva sobre el plano. (Jaramillo, 2015)

Hay dos tipos de polarización: Polarización lineal, donde el vector del campo eléctrico se mantiene en el mismo plano del eje de la antena todo el tiempo. El campo eléctrico posiciona a la antena en una orientación vertical, horizontal o en algún intervalo entre los dos. En la polarización circular en cambio, el vector del campo eléctrico rota con un movimiento en la dirección de la propagación haciendo una vuelta completa para cada ciclo de Radio Frecuencia. (Emilio Monachesi, 2011)



### 2.5.5 Adaptación

Hasta el momento se ha estudiado el caso en que la antena estaba funcionando como transmisora, por lo que en adelante se mostrarán los parámetros en recepción. La línea de transmisión o carga conectada a la antena, y la antena tienen unos valores de impedancia ( $Z_L$  y  $Z_A$ , respectivamente) que permiten la mayor transferencia de potencia.

Se tomará el caso en que la antena actúa de receptora, y a ella está conectada una impedancia de carga; para que haya máxima transferencia de potencia se debe cumplir que  $Z_L = Z_{LA}$ . (Abellán, 2009)

La máxima transferencia de potencia será:

$$P_{Lmax} = \frac{|V_{ca}|^2}{4R_A} \quad \text{Ec. (2.5)}$$

$V_{ca}$  es el voltaje en bornes de la antena. Si no se cumple la condición de adaptación, se tendrá que la potencia entregada a la carga es:

$$P_L = P_{Lmax}(1 - |\rho|^2) \quad \text{Ec. (2.6)}$$

Donde  $\rho$  es el coeficiente de reflexión que se calcula como:

$$\rho = \frac{Z_L - Z_A}{Z_L + Z_A} \quad \text{Ec. (2.7)}$$

### 2.5.6 Impedancia

Si la antena se conecta a un transmisor para radiar la máxima potencia posible, se adaptan para una máxima transferencia de potencia, por lo que se deben tener en cuenta las impedancias de transmisor y antena. La impedancia de entrada de la antena ( $Z_A$ ) está definida por la relación entre la tensión y corriente en los terminales de entrada de la antena. (Abellán, 2009)

La impedancia de entrada es la suma de la resistencia de radiación más la resistencia de pérdida.

$$Z_A(\omega) = R_A(\omega) + j.X_A(\omega) \quad \text{Ec. (2.8)}$$

La resistencia que disipa óhmicamente la misma potencia que la radiada por la antena es la resistencia de radiación. La resistencia que disipa óhmicamente la misma potencia que se pierde por la antena es la resistencia de pérdidas. Por lo tanto, se puede definir la potencia radiada y la potencia de pérdidas como:

$$P_{radiada} = |I|^2 R_r \quad \text{Ec. (2.9)}$$

$$P_{pérdidas} = |I|^2 R_\Omega \quad \text{Ec. (2.10)}$$

Debido a que la antena radia potencia y otra se pierde en la propia antena se define la potencia entregada como la suma de estas dos.

$$P_{entregada} = P_{radiada} + P_{pérdidas} = I^2 R_r + I^2 R_\Omega \quad \text{Ec. (2.11)}$$

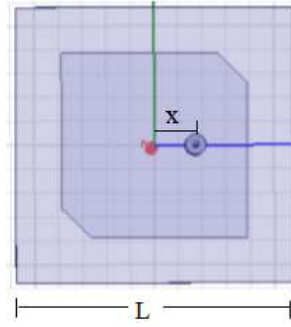
## 2.6 Antena Microstrip con polarización circular

Una antena parche rectangular radia en su mayor parte con polarización lineal. Se puede conseguir polarización circular mediante dos alimentaciones en el mismo parche o mediante una sola, como se detalla a continuación.

### 2.6.1 Polarización circular con una única alimentación

La técnica más común es la alimentación en diagonal con un parche casi rectangular; esta geometría genera dos modos ortogonales desfasados 90° como se muestra en la figura 2.4, con frecuencias de resonancia muy cercanas, lo que hace que la antena sea de polarización circular en las frecuencias cercanas a las frecuencias de resonancia. La relación W/L suele ser de 1.01. Dependiendo en que diagonal se de la alimentación, la polarización será a derechas o a izquierda. (Gardana, 2010)

Figura 2.4 Antena parche con esquinas modificadas



Geometría de una antena Microstrip con dos modos ortogonales (Gardana, 2010)

La constante dieléctrica efectiva  $\epsilon_{reff}$  es la constante dieléctrica de una línea microstrip ya que todas las líneas del campo se propagan en el sustrato.

La constante dieléctrica se expresa como:

$$\epsilon_{reff} \begin{cases} \frac{\epsilon_{r+1}}{2} + \frac{\epsilon_{r-1}}{2} \left(1 + 12 \frac{h}{W}\right)^{-1/2} & \text{para } \frac{W}{h} > 1 \\ \frac{\epsilon_{r+1}}{2} + \frac{\epsilon_{r-1}}{2} \left[ \left(1 + 12 \frac{h}{W}\right)^{-1/2} + 0.04 \left(1 - \frac{W}{h}\right)^2 \right] & \text{para } \frac{W}{h} \leq 1 \end{cases} \quad \text{Ec. (2.12)}$$

La impedancia característica en función del sustrato es la siguiente:

$$Z_o \begin{cases} \frac{\eta_0}{\sqrt{\epsilon_{reff}}} \cdot \frac{1}{\frac{W}{h} + 1.393 + 0.667 \cdot \ln\left(\frac{W}{h} + 1.444\right)} & \text{para } \frac{W}{h} > 1 \\ \frac{\eta_0}{2\pi\sqrt{\epsilon_{reff}}} \ln\left(\frac{8h}{W} + 0.25 \frac{W}{h}\right) & \text{para } \frac{W}{h} \leq 1 \end{cases} \quad \text{Ec. (2.13)}$$

El ancho de banda de la antena depende de la adaptación de la impedancia y se obtiene mediante la ecuación:

$$W = \frac{1}{2f_r \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_{r+1}}} = \frac{c}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_{r+1}}} \quad \text{Ec. (2.14)}$$

Mediante  $\Delta L$  se obtiene de la ecuación que derivara la longitud real de la antena.

$$\Delta L: 0.412h \frac{(\epsilon_{ref} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264\right)}{(\epsilon_{ref} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8\right)} \quad \text{Ec. (2.15)}$$

La longitud real del parche se obtiene considerando la longitud efectiva y el valor de  $\Delta L$ .

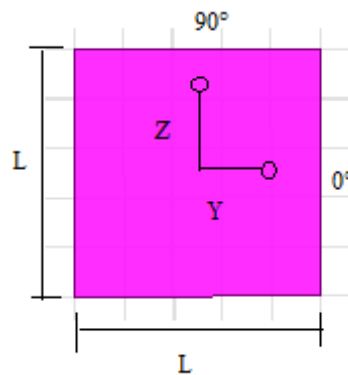
$$L = \frac{1}{2f r \sqrt{\epsilon_{reff}} \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} - 2\Delta L \quad \text{Ec. (2.16)}$$

### 2.6.2 Polarización circular con doble alimentación

Se debe excitar dos modos ortogonales en las dimensiones que no son la altura dentro del parche desfasados a  $90^\circ$ . La forma para conseguir excitar un modo en cada dimensión es mediante dos alimentaciones situadas en los dos extremos del parche adyacentes y desfasadas a  $90^\circ$ . (Gardana, 2010)

En la figura 2.5 se muestra un parche cuadrado con doble alimentación con desfase de  $90^\circ$  para conseguir la polarización circular.

Figura 2.5 Polarización circular con doble alimentación



Antena parche con doble alimentación .(Gardana, 2010)



## CAPÍTULO 3

### DISEÑO Y SIMULACIÓN DE LA ANTENA

#### 3.1 Consideraciones de diseño para antenas Microstrip

Para entender el funcionamiento de una antena parche se ha partido de un modelo básico de antena plana rectangular con alimentación por línea microstrip, para posteriormente realizar el diseño con una geometría casi cuadrada con polarización circular.

##### 3.1.1 Elección del tipo de antena

Para este proyecto se tiene en cuenta la antena de menor costo y que su configuración sea menos compleja, pero que sus características pueden ser mejoradas notablemente con las técnicas de ensanchamiento de ancho de banda, y la alimentación para obtener polarización circular. La tabla 3.1 presenta determinadas características de las antenas.

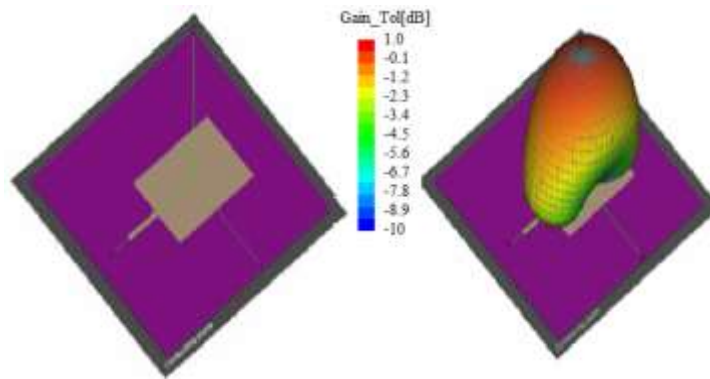
Tabla 3.1 Características de las antenas

	Parches Microstrip	Helicoidales	Espirales Cónicas
Ancho de haz	Entre 90 y 140°	> 60°(a 3dB)	Entre 130° y 145°(a 6 dB)
Ancho de banda	Estrecho (5%). Configuración Básica Muy ancho (70%). Técnicas ampliación ancho de banda	Ancho (40%)	Muy ancho
Polarización	Lineal Circular. Técnicas de alimentación	Circular	Circular
Rechazo a polarización	17 dB. Configuración Normal 4 dB Peor caso con la utilización de ciertas técnicas	15 dB	> 20 dB

Principales características de diferentes antenas (Abellán, 2009)

Dado que una antena tipo parche es más asequible y más realizable en el proyecto, es seleccionada como el tipo de antena a ser diseñada; un modelo base se muestra en la figura 3.1.

Figura 3.1 Modelo de antena parche



Alimentación doble -por cable coaxial para polarización circular (Ávila, 2009)

### 3.1.2 Elección de la forma del parche.

De acuerdo con el análisis anterior, se escoge el diseño de una antena simétrica con ángulo de corte triangular de esquina está principalmente la antena Microstrip rectangular con el parche de corte diagonal. Un parámetro del mismo triangulo isósceles en ángulo recto es de unidad simple y separada dando como resultado una onda circularmente polarizada.

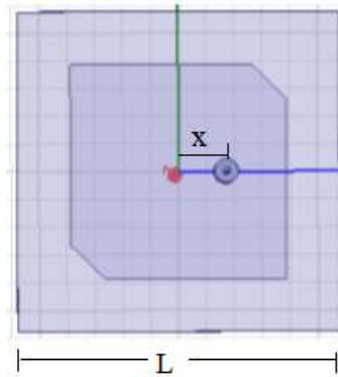
De acuerdo con la estructura de la antena de corte triangular de ángulo simétrico la cual está basada en un punto alimentado circularmente polarizado, primero se necesita resolver la calidad del factor  $Q_r$  [3.1] de la antena Microstrip para luego resolver la unidad simple y separada  $\Delta_s$  de la antena microstrip [3.2].

Basada en el cálculo de la resistencia a la radiación, el valor Q y la eficiencia de la antena, la fórmula de cálculo de Q y un tipo de antena Microstrip con una señal simple se puede calcular una celda separada.

$$Q_r \approx Q_r = \frac{c\sqrt{\epsilon_r}}{4f_r h} \quad \text{Ec. (3.1)}$$

$$|\Delta_s/s|Q_r=1/2 \quad \text{Ec. (3.2)}$$

Figura 3.2 Antena Microstrip rectangular con corte diagonal



Antena con parche con cortes diagonales (Ávila, 2009)

### 3.1.3 Sustratos de bajas pérdidas y de bajo costo

El costo de producción masiva de antenas está directamente relacionado a los costos de sustratos y conectores. A raíz de este inconveniente, se comenzaron a utilizar materiales en los sustratos como:

- Sustratos de cerámica
- Sustratos de ferromagnéticos
- Sustrato de semiconductores
- Sustratos sintéticos
- Sustratos compuestos
- Sustratos de bajas pérdidas y bajo costo

Siendo el epoxy/vidrio (FR4) ampliamente utilizado en circuitos digitales de baja frecuencia por sus características de bajo costo, disponibilidad y facilidad de fabricación.

En la Tabla 3.2 se listan algunos de los sustratos de bajas pérdidas y bajo costo, donde los coeficientes de pérdida se comparan con otros materiales estándar cuyo costo puede llegar a ser 3 veces mayor o más.



Tabla 3.2 Características de los sustratos

Material	Constante Dieléctrica a 1 GHz	Constante de Pérdida	Fabricante
<b>R03003</b>	3	0,0013	Rogers Corp
<b>R03006</b>	6,15	0,0013	Rogers Corp
<b>R03010</b>	10.2	0,0013	Rogers Corp
<b>R04003</b>	3.38	0,0022	Rogers Corp
<b>TLC-32</b>	3.2	0,003	Taconic Plastics
<b>HT-2</b>	4.3	0,0033	Hewlett-Packard
<b>Polyguide</b>	2.32	0,0005	Shawinigan Research
<b>Epoxy/glass</b>	4.4	0.01	----

Características de los sustratos de bajo costo (Curotto, 2012)

### 3.2 Frecuencia de operación

Las frecuencias típicas para los sistemas de telemetría incluyen la banda S (2.2 – 2.3 GHz), la banda C (3.7 – 4.2 GHz) y la banda Ku (11.7 – 12.2 GHz). La antena diseñada funcionará en un rango de frecuencia libre sin licencia que corresponde con la frecuencia  $f_r = 2.4$  GHz la cual es la frecuencia de resonancia exclusiva para facilitar el diseño, además que es una banda libre sin licencia.

### 3.3 Constante dieléctrica del sustrato

La constante dieléctrica es uno de los parámetros más sensibles en las antenas Microstrip y este es tomado del sustrato. Uno de los materiales usados más comúnmente es el FR4 pero este soporta un rango de 2 a 4 GHz y no puede manejar altas potencias a frecuencias de microondas, su coeficiente dieléctrico es  $\epsilon_r=4.4$ .

Otro material dieléctrico pero muy costoso es el Rogers/RT duroid 5880 tm con coeficiente dieléctrico  $\epsilon_r=2.2$

### 3.4 Ancho del sustrato dieléctrico (h)

Las antenas que se utilizan por ejemplo en los teléfonos requieren ser ligeras y de tamaño compacto por lo cual se debe establecer una restricción de diseño a su altura; por lo tanto, si se requiere una alta directividad o un ancho de banda grande, se deberá elegir un sustrato grueso y/o de baja permeabilidad. Pero el hecho de escoger un sustrato grueso repercutirá en una baja eficiencia, y la elección de una baja

permeabilidad repercutirá en unas dimensiones de antena mayores. De esta forma se establece un compromiso entre ancho de banda, directividad, eficiencia y tamaño de la antena.

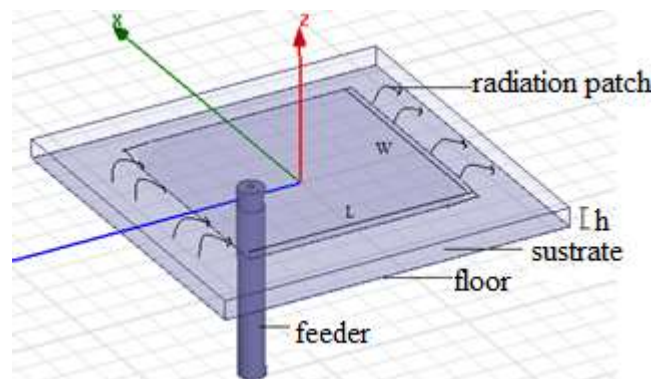
La altura del sustrato de la antena es de 1.6mm la cual es una altura comercial común para el sustrato FR-4. Este es determinado por:

$$h \leq \frac{0.3 * c}{2\pi f_r \sqrt{\epsilon_r}} \quad \text{Ec. (3.3)}$$

### 3.5 Dimensiones de la antena

La frecuencia de resonancia viene determinada por la geometría del parche, en el caso de la antena rectangular vendrá dada por dimensión de mayor longitud (ver figura 3.3).

Figura 3.3 Dimensiones de la antena microstrip



Elementos y dimensiones de una antena Microstrip (Ávila, 2009)

Mientras en la antena casi rectangular el diámetro del parche determinará la frecuencia de resonancia, al introducir modificaciones en la geometría de la antena se busca excitar otros modos generando radiaciones fundamentales, consiguiendo de esta manera un diagrama de radiación máximo.

Estos modos deben tener un coeficiente de reflexión ( $S_{11}$ ) inferior a los -20 dB en las bandas de trabajo de la antena para obtener un buen nivel de adaptación y obtener la máxima transferencia de potencia y para garantizar la polarización circular.

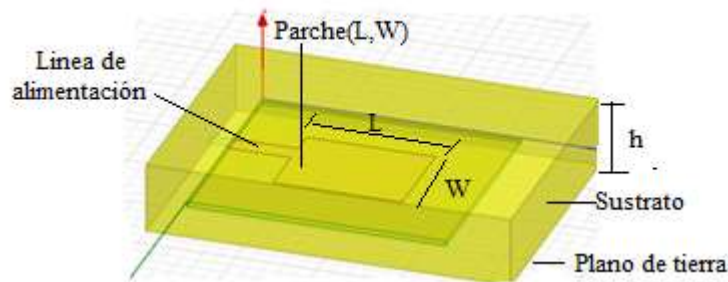
Se conseguirá con una ubicación del punto de alimentación óptimo, donde estén bien adaptadas las impedancias y la eficiencia de la antena sea la adecuada, dependiendo únicamente de la constante dieléctrica del sustrato y del grosor de este, ya predefinidos.

También se analizará el parámetro S21 que representa la potencia recibida en la antena y debe tender a cero para que se garantice el acoplamiento de la alimentación ya que será alimentada mediante la línea microstrip.

### 3.5.1 Cálculos de modelo básico de antena plana rectangular con alimentación por línea microstrip ('line feed').

En la figura 3.4 se puede observar la estructura de la antena diseñada para que presente polarización lineal.

Figura 3.4 Antena lineal alimentada por línea microstrip



Antena plana rectangular con alimentación por línea microstrip. (Liliana Chimborazo)

Se utiliza la frecuencia de resonancia y los parámetros del sustrato.

$$f_r: 2,4\text{Ghz}$$

$$\epsilon_{r1}=4.4$$

$$h_1: 1.6\text{mm}$$

$$c: 3*10^8\text{m/s}$$

Para el cálculo de los parámetros de la antena se utilizan las fórmulas del capítulo 2, de tal manera se obtiene los siguientes resultados:

Utilizando la ecuación Ec. (2.4), se determina el ancho de banda  $W$ :

$$W = \frac{1}{2f_r \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_{r+1}}} = \frac{c}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_{r+1}}}$$

$$W = \frac{3 * 10^8 m/s}{2 * 2.4 GHz} \sqrt{\frac{2}{4.4 + 1}}$$

$$W = \frac{3 * 10^{10} cm}{4.8 * 10^9} \sqrt{0.37037037}$$

$$W = 2,3 \text{ cm}$$

Por medio de la ecuación Ec. (2.5), se tiene la constante dieléctrica  $\epsilon_{ref}$ :

$$\epsilon_{ref} = \frac{\epsilon_{r+1}}{2} + \frac{\epsilon_{r-1}}{2} \left(1 + 12 \frac{h}{W}\right)^{-1/2}$$

$$\epsilon_{ref} = \frac{4.4 + 1}{2} + \frac{4.4 - 1}{2} \left(1 + 12 \frac{1.6}{3.8}\right)^{-1/2}$$

$$\epsilon_{ref} = 4.1845$$

Con la ecuación Ec. (2.6), se obtiene  $\Delta L$ :

$$\Delta L: 0.412(1,6) \frac{(\epsilon_{ref} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264\right)}{(\epsilon_{ref} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8\right)}$$

$$\Delta L: 0.412h \frac{(4.1845 + 0.3) \left(\frac{3.8}{1.6} + 0.264\right)}{(4.1845 - 0.258) \left(\frac{3.8}{1.7} + 0.8\right)}$$

$$\Delta L: 0.0378 \text{ cm}$$

Y con la ecuación Ec. (2.7), se logra obtener la longitud real de la antena L:

$$L = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_{reff}}} - 2\Delta L$$

$$L = \frac{3.8}{2(2.4)\sqrt{4.1845}} - 2(0.0378)$$

$$L=2.91\text{cm}$$

Con los resultados obtenidos  $W=2.3\text{cm}$  y  $L=2.91\text{ cm}$  de los cálculos realizados [3.13 a 3.17] se buscó  $W$  hasta llegar a un valor para que su resonancia este alejada de los 2.4 GHz y a la vez sea una medida de ancho admisible para tener niveles de radiación aceptables, el valor de  $L$  es un valor aceptable que proporciona un mejor acoplamiento a la frecuencia de 2.4 GHz. En la figura 3.4 se muestra la estructura de la antena diseñada y simulada en el software de simulación HFSS ((High Frequency Electromagnetic Field Simulation).

### 3.5.2 Cálculo de modelo básico de antena plana casi rectangular con alimentación de polarización circular

Con los cálculos realizados anteriormente se obtuvieron los datos  $W=2.3\text{ cm}$ ,  $\epsilon_{reff}=4.1845$ ,  $\Delta L: 0.0378\text{cm}$ ,  $L=2.91\text{cm}$ ,  $c:10,1\text{mm}$ , con la Ec. (3.1) se encuentra el factor de calidad  $Q_r$  para obtener la unidad simple con la Ec. (3.2)

$$Q_r \approx Q_r = \frac{c\sqrt{\epsilon_r}}{4f_r h}$$

$$Q_r \approx Q_r = \frac{3 * 10^8 \sqrt{4.4}}{4(2.4)1.6}$$

$$Q_r \approx Q_r = 27,164$$

$$|\Delta_s/s|_{Q_r=1/2}$$

$$\Delta_s=101.79\text{mm}^2$$

Mediante la modificación de las esquinas del parche se consigue polarización circular; si se alimenta el parche desde un lateral (introduciendo o no el punto de alimentación para la adaptación) y se recortan dos esquinas opuestas del parche, la polarización resultante es circular. La geometría mostrada en la Figura 3.2 radia con polarización

LHCP (Left Hand Circular Polarized). Si las esquinas recortadas fueran las opuestas, la polarización sería RHCP (Right Hand Circular Polarized).

## CAPÍTULO 4

### ANÁLISIS Y RESULTADOS

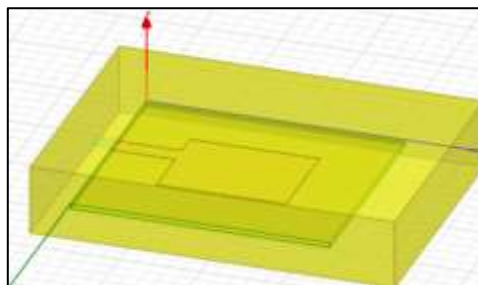
#### 4.1 Antena rectangular con alimentación por línea Microstrip

La antena rectangular es simulada con el software HFSS de ANSYS es un software libre, permite la creación de la estructura que se desea estudiar a la cual se incorporan los campos y excitaciones que afectan el diseño.

Luego se decide el rango de frecuencia pertinentes y los parámetros que pueden ser variables. Con esta información se crea una malla adaptiva que permite que se calcule iterativamente la solución., con el sustrato de materia FR4 ( $\epsilon_r = 4.4$ , con grosor del parche  $h = 1.6$  mm y  $\tan \delta = 0.001$ .) con una superficie plana de cobre para la tierra.

La disposición de alimentación de la Microstrip se da sobre un parche de  $12.45$  mm  $\times$   $16$  mm. El borde del parche microstrip está conectado directamente a la tira conductora. No se necesita ningún elemento coincidencia para la alimentación y el parche. La geometría es mostrada en la figura 4.1.

Figura 4.1 Antena rectangular con alimentación por línea Microstrip

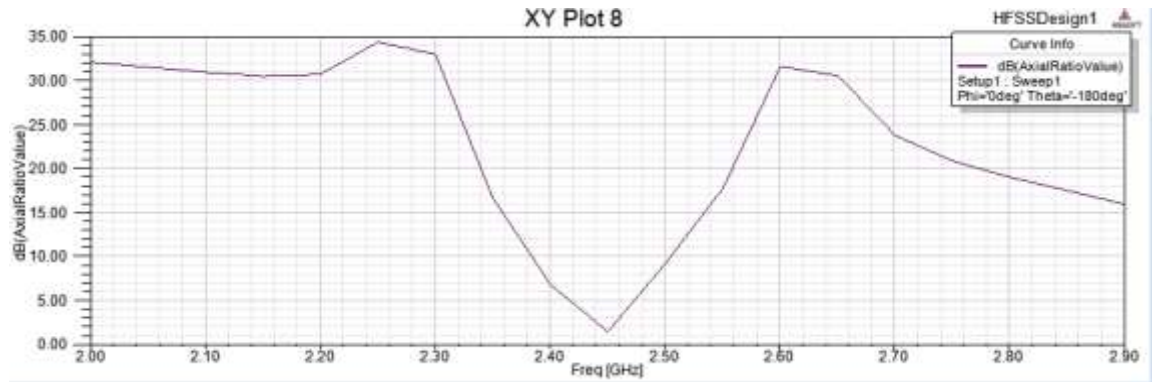


Antena rectangular simulada en el software HFSS. (Liliana Chimborazo)

La pérdida de retorno demostrada por  $S_{11}$  se muestra en la figura 4.2, la cual se obtiene utilizando el software HFSS. La figura 4.3 demuestra que la pérdida de

retorno es de -7,8 dB a 2.45 GHz. Tomando la diferencia entre los puntos m1 y m2 se puede determinar el ancho de banda.

Figura 4.2 Pérdida de retorno de la antena rectangular



Pérdida de retorno de la antena rectangular. (Liliana Chimborazo)

El diagrama de radiación 2D de la antena de parche rectangular se muestra en la figura 4.3. Se hace una variación de ángulos y se ve la intensidad de campo relativa de las ondas de radio emitidas.

Figura 4.3 Diagrama de radiación

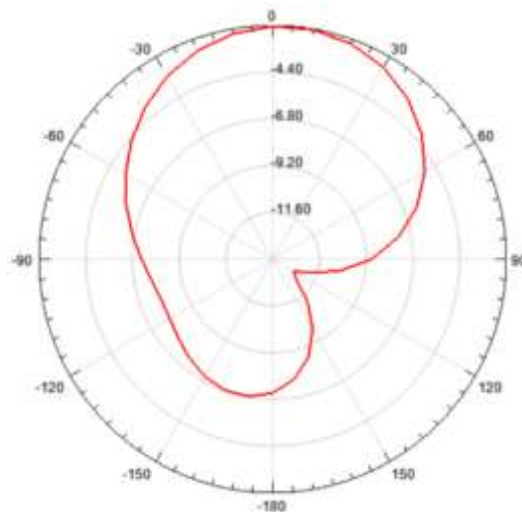
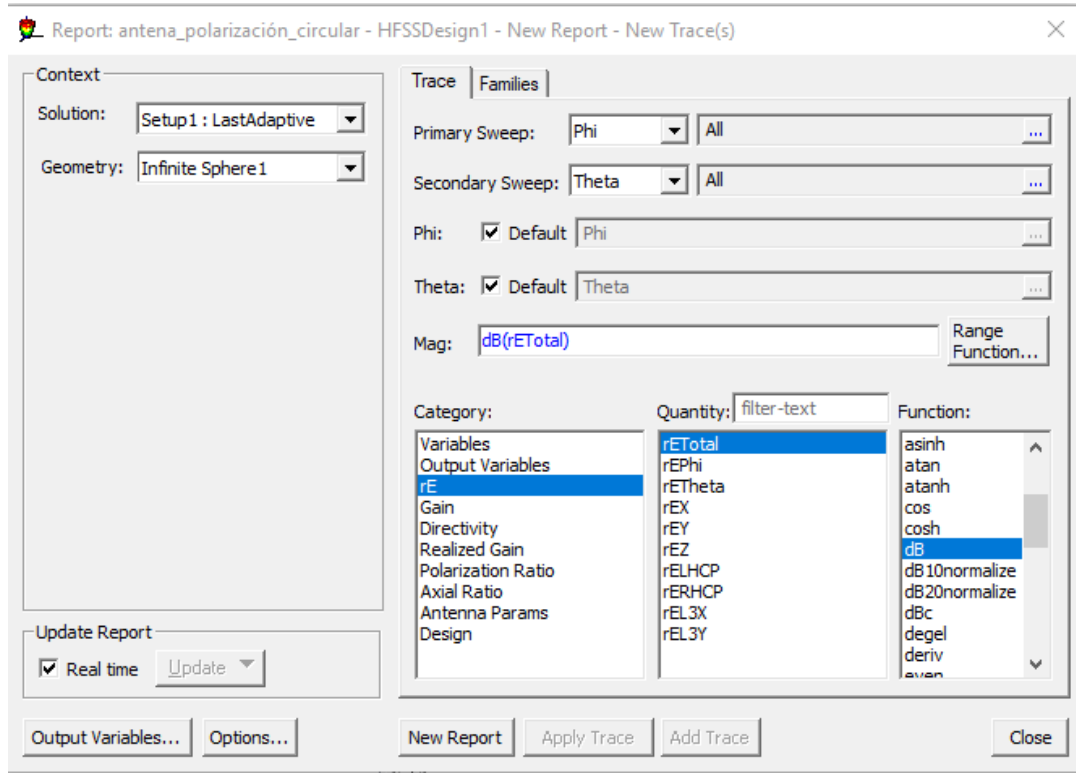


Diagrama de radiación 2D de la antena de parche rectangular. (Liliana Chimborazo)

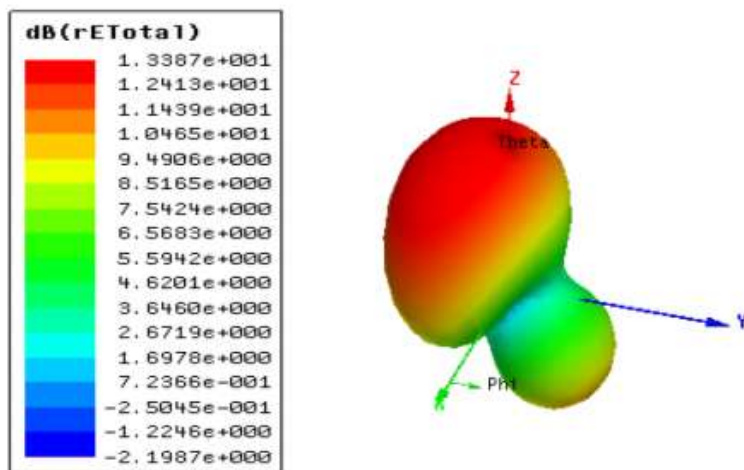
La figura 4.4 muestra la ventana de cómo obtener los resultados del patrón de radiación en 3D para pérdidas totales de la antena de parche rectangular, también se muestran los campos H y E en la figura 4.5.

Figura 4.4 Ventana de pérdidas total en 3D



Venta para obtener los resultados del parámetro de radiación. (Liliana Chimborazo)

Figura 4.5 Patrón de radiación de pérdidas totales



Patrón de radiación en 3D. (Liliana Chimborazo)



## 4.2 Antena casi rectangular con alimentación por polarización circular

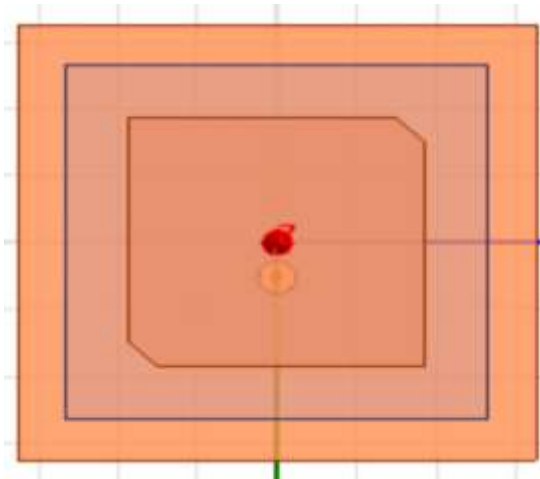
Basado en los análisis matemáticos del apartado 3.5.2 se procede a realizar la respectiva simulación del modelo de antena Microstrip casi rectangular para 2.4 GHz como frecuencia central, haciendo uso del software HFSS.

Luego de una optimización continua y finalmente ajustar el tamaño de la superficie de tierra GND los parámetros de dimensión de la misma son 130mm x 130mm. El diámetro interno de la línea de alimentación coaxial está dado por  $r=1$  mm y el diámetro exterior está configurado para L.

La distancia desde el borde del parche de radiación es  $d=104$  mm, su longitud del parche es  $L=74.6$  mm, y su amplitud es  $W=74.0$ . La longitud de la superficie de tierra  $L_{GND} = 106.1$  mm, con ancho de  $L_{GND} = 106.1$  mm.

El modelo de la antena Microstrip en HFSS se muestra en la figura 4.6 a continuación.

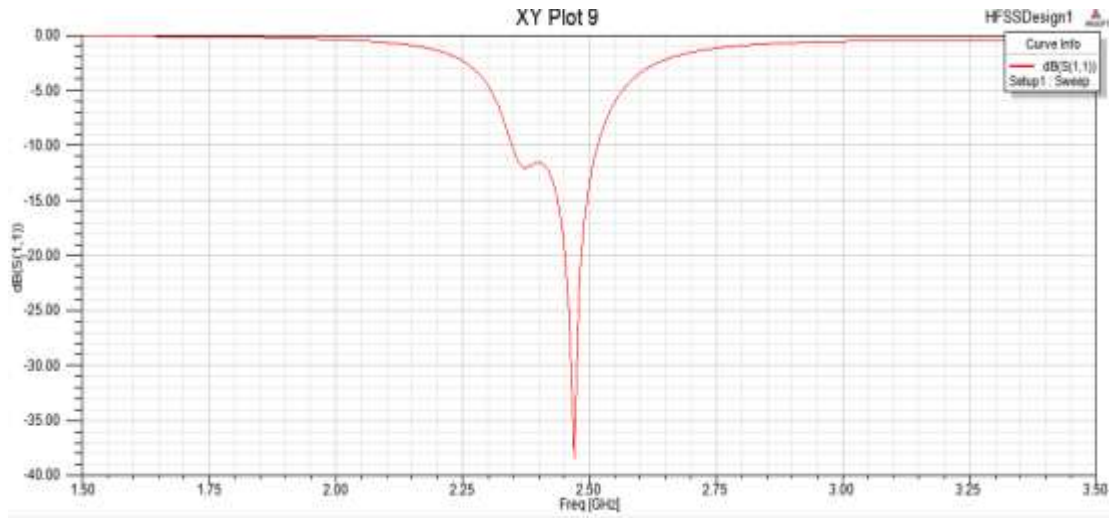
Figura 4.6 Antena casi rectangular con alimentación por polarización circular



Antena rectangular con polarización circular simulada en el software HFSS. (Liliana Chimborazo)

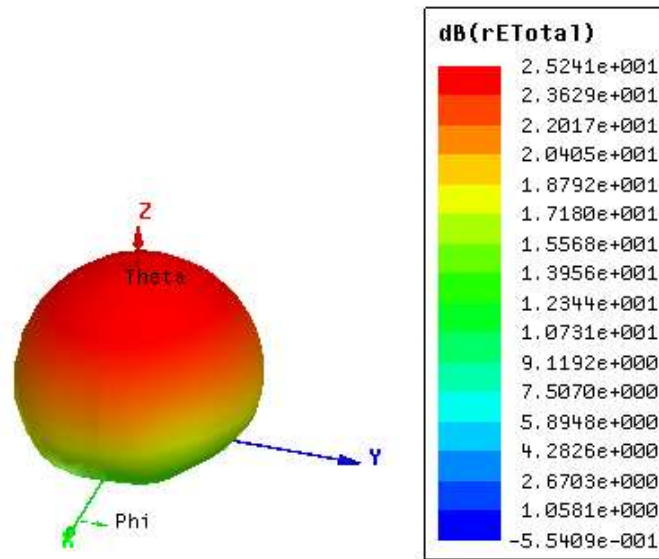
A través de las simulaciones en HFSS se obtiene el coeficiente de reflexión de la estructura y la ganancia de la antena Microstrip como se muestra en la figura 4.7 y 4.8.

Figura 4.7 Curva coeficiente de reflexión vs Frecuencia



Pérdidas de retorno. (Liliana Chimborazo)

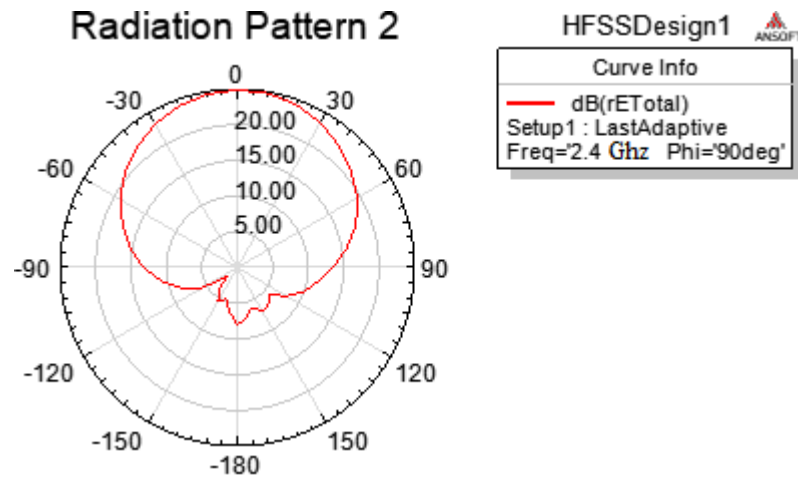
Figura 4.8 Ganancia total de la antena



Patrón de radiación en 3D. (Liliana Chimborazo)

Los resultados muestran en la figura 4.9, que la frecuencia de la curva en el centro es de 2.39 GHz mientras que el coeficiente de reflexión alcanza un mínimo de -13.06 dB. En el rango de frecuencia desde 2GHz a 3GHz el coeficiente de reflexión es menor que -10 dB.

Figura 4.9 Diagrama de radiación



Ganancia del campo magnético E y H, Ganancia de polarización circular derecha. (Liliana Chimborazo)

Comparada con la antena microstrip rectangular con alimentación lineal, el rendimiento de este nuevo tipo de antena microstrip es significativamente mejor.

A través del análisis en el HFSS se puede determinar que la ganancia de la antena con polarización circular derecha es mucho más grande que una alimentada por polarización circular izquierda, llegando a alcanzar los 4.86dB de acuerdo a la frecuencia de diseño 2.4GHz.

### 4.3 Discusión de resultados

Los siguientes puntos pueden ser analizados desde los resultados de la simulación:

El rendimiento de la antena de parche casi rectangular optimizada con la alimentación de polarización circular es mucho mejor en comparación con el de una antena de parche rectangular con alimentación por línea microstrip. Los parámetros simulados se consiguen con un sustrato que tiene un elevado valor tangente de pérdida. Al aplicar un mejor sustrato o entrehierro entre el parche y el plano de tierra, se esperan valores más altos.

Diferentes formas de parches de antenas fueron diseñadas y comparadas entre sí, tomando como principal parámetro el ancho de banda. Las figuras de retorno de pérdidas 4.2, 4.7 muestran esta comparación y la antena de parche casi rectangular tiene un ancho de banda cercanamente igual a la máxima permisible para el diseño.



## CONCLUSIONES

Este trabajo demuestra la comparación de simulación entre la antena microstrip de parche rectangular, y la antena microstrip de parche cuasi rectangular en el software HFSS. La frecuencia de resonancia y el patrón de radiación patrón tienen un efecto significativo en el cambio del modo de alimentación. La naturaleza de la Antena también es modificada por el cambio del sustrato dieléctrico.

Este análisis muestra el efecto de la alteración de la forma de parche de rectangular a casi rectangular, obteniendo resultados como una reducción del tamaño del parche, uso para la comunicación inalámbrica mediante la polarización circular, la mejora de ganancia y el diagrama de radiación.

Se observó que la capacidad de utilizar diferentes diseños de parches de Antena con las mismas características de rendimiento no tenía un gran impacto en la radiación y eficiencia.

En este trabajo se ha discutido los principios básicos a considerar para el diseño de las antenas microstrip y analizadas desde dos ángulos. el mecanismo de radiación y el campo de radiación haciendo buen uso las fórmulas para calcular la forma, tamaño y los parámetros característicos de las antenas microstrip.

## **RECOMENDACIONES**

Para futuros trabajos se recomienda afinar los parámetros de las antenas microstrip diseñados en sustratos con una alta constante dieléctrica, ya que el empleo de sustratos con altas constantes dieléctricas da lugar a una escasa eficiencia y ancho de banda demasiado estrecho.

Investigar más a profundidad sobre los paquetes de simulación e interacción con otros softwares de optimización que ofrece el software usado HFSS y así, brinde mayor exactitud en los resultados de las futuras investigaciones.

Las diferentes características de implementación, forma, materiales y costos de las antenas microstrip permiten continuar investigando acerca de estas antenas ya que en la actualidad la variedad de aplicaciones es muy amplia.

Para el software de simulación utilizar la versión HFSS 13.0 para Windows 10 debido que para Windows 5 y Windows 8 no es compatible.

## LISTA DE REFERENCIAS

- Abellán, Á. J. (Septiembre de 2009). Obtenido de [https://ddd.uab.cat/pub/trerecpro/2009/hdl\\_2072\\_48084/PFC\\_\\_JoseAvilaAbellan.pdf](https://ddd.uab.cat/pub/trerecpro/2009/hdl_2072_48084/PFC__JoseAvilaAbellan.pdf)
- ANSYS. (Enero de 2009). *An introduction to HFSS*. Obtenido de <https://wenku.baidu.com/view/28639d70a417866fb84a8e51.html>
- Ávila, J. (Septiembre de 2009). *Diseño de una antena*. Obtenido de [file:///F:/T-s/PDF/PFC\\_\\_JoseAvilaAbellan%20\(1\).pdf](file:///F:/T-s/PDF/PFC__JoseAvilaAbellan%20(1).pdf)
- Curotto, F. (2012). *Antenas, Polarización y Diagramas de Radiación*. Obtenido de [https://www.ucursos.cl/usuario/9553d43f5ccbf1cca06cc02562b4005e/mi\\_blog/r/Informe\\_Antenas.pdf](https://www.ucursos.cl/usuario/9553d43f5ccbf1cca06cc02562b4005e/mi_blog/r/Informe_Antenas.pdf)
- Emilio Monachesi, A. M. (2011). *Conceptos generales de Antenas*. Obtenido de [http://www.edutecne.utn.edu.ar/wlan\\_frt/antenas.pdf](http://www.edutecne.utn.edu.ar/wlan_frt/antenas.pdf)
- Jaramillo, D. A. (Enero de 2015). *Diseño, simulación y comparación de antenas microcintas a una*. Obtenido de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/3116/1/T-UCSG-POS-MTEL-31.pdf>
- L., V. T., & M., P. M. (2009). *Manual introductorio a HFSS*. Obtenido de [file:///C:/Users/LENOVO/Downloads/manual\\_HFSS.pdf](file:///C:/Users/LENOVO/Downloads/manual_HFSS.pdf)
- Ramirez, A. M. (2013). Obtenido de <http://www.tesisred.net/bitstream/handle/10803/125904/mra1de1.pdf?sequence=1>
- Roig Díaz, F. J. (Febrero de 2015). *Diseño de una antena de parche de banda ancha*. Obtenido de [https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/23016/TFG\\_Francisco\\_Javier\\_Roig\\_Diaz\\_2015.pdf?sequence=1](https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/23016/TFG_Francisco_Javier_Roig_Diaz_2015.pdf?sequence=1)

Roig, F. (2015). *Banda ancha con polarización icrcular*. Obtenido de [http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/23016/TFG\\_Francisco\\_Javier\\_Roig\\_Diaz\\_2015.pdf?sequence=1](http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/23016/TFG_Francisco_Javier_Roig_Diaz_2015.pdf?sequence=1)

Sanchez, C. M. (2013). *Herramienta de optimización*. Obtenido de [https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/17347/PFC\\_Carlos-Mariano\\_Lentisco\\_Sanchez.pdf?sequence=1](https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/17347/PFC_Carlos-Mariano_Lentisco_Sanchez.pdf?sequence=1)