

**CONSTRUCCION DE UNA ANTENA MICROSTRIP EN ESPIRAL  
MULTIBANDA**

**FABIAN RICARDO FLOREZ JAIMES**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERÍAS  
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRONICA  
BUCARAMANGA  
AÑO 2014**

**CONSTRUCCION DE UNA ANTENA MICROSTRIP EN ESPIRAL  
MULTIBANDA**

**FABIAN RICARDO FLOREZ JAIMES**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar por el título de  
Ingeniero Electrónico.**

**Director de tesis**

**Esp. FABIO ALONSO GUZMÁN SERNA  
Ingeniero Electrónico**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERÍAS  
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRONICA  
BUCARAMANGA  
SEPTIEMBRE 2014**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

**Bucaramanga, septiembre de 2014**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por brindarme la fuerza y la sabiduría para cumplir todos mis sueños y mis metas. A mi familia por el apoyo constante que han tenido conmigo para cumplir todo lo que me propongo.

Al ingeniero Fabio Alonso Guzmán Serna porque siempre estuvo pendiente en la realización de este proyecto. A la Universidad Pontificia Bolivariana por formarnos como seres humanos llenos de valores y virtudes para afrontar cada obstáculo que nos presenta la vida.

Por ultimo a cada una de las personas, amigos que aportaron de alguna forma en mi vida para poder hoy estar donde estoy.

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION .....	13
OBJETIVOS.....	14
I. CONCEPTOS BASICOS ANTENAS .....	15
1.1 Propiedades de las antenas .....	15
1.2 Parametros de las antenas .....	16
1.2.1 Diagrama de radiacion .....	16
1.2.2 Ancho de banda .....	17
1.2.3 Ganancia.....	18
1.2.4 Impedancia de entrada .....	18
II ANTENA MICROSTRIP .....	20
2.1 Analisis y sintesis de las antenas microstrip .....	21
2.2 Analisis de la antena microstrip .....	21
2.2.1 Modelo de cavidad .....	22
2.2.2 Metodo de los momentos .....	23
2.2.3 Modelo de linea de transmision .....	24
2.3 Sintesis de una antena microstrip en espiral .....	28
2.3.1 Simulador de antena Em Sonnet .....	28
2.3.2 Resultados de la simulacion .....	29
2.3.2.1 coeficiente de reflexion directa S11 .....	29
2.3.2.2 carta de smith .....	30
2.3.2.3 VSRW .....	31
2.3.2.4 Densidad de corriente .....	32
2.3.3 Tipos de alimentaci3n .....	33

2.3.3.1 Alimentacion por linea de microcita.....	33
2.3.3.2 Alimentacion coaxial .....	34
III. METODOLOGIA .....	35
3.1 Desarrollo del protecto.....	35
3.2 Caracteristicas de la antena en espiral.....	37
3.3 Construccion de las antenas .....	38
3.3.1 Antena número 1 .....	38
3.3.2 Antena número 2 .....	45
3.3.3 Antena numero 3.....	50
IV ANALISIS DE RESULTADOS .....	57
4.1 Antena1 .....	57
4.2 Antena2 .....	65
4.3 Antena3 .....	74
4.4 Antenas Diseñadas .....	82
4.5 Analisis potencia mitad .....	83
OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES.....	85
BIBLIOGRAFÍA .....	86

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de radiación .....	16
Figura 2. Diagrama de impedancia de entrada .....	19
Figura 3. Antena microstrip en espiral cuadrada .....	20
Figura 4. Análisis y síntesis de una antena microstrip .....	21
Figura 5. Geometría del parche microstrip (modelo de cavidad) .....	22
Figura 6. distribución de carga y la creación de la densidad de corriente en el ..... parche microstrip .....	23
Figura 7. Geometría de la espiral circular .....	24
Figura 8. Antena cuadrada con línea de alimentación .....	25
Figura 9. Fringing Effects de una antena de parche rectangular .....	25
Figura 10. Circuito equivalente a un parche microstrip .....	26
Figura 11. Coeficiente de reflexión directa S11 .....	30
Figura 12. Carta de Smith .....	31
Figura 13. VSRW .....	32
Figura 14. Densidad de corriente .....	33
Figura 15. Antena espiral cuadrada alimentada por línea de microcinta .....	34
Figura 16. antena en espiral (Vista superior) antena en espiral (vista lateral) .....	35
Figura 17. Sustrato RT/Duroid 5870 .....	36
Figura 18. Diagrama de flujo para el cálculo de las características de la antena ..... en espiral cuadrada .....	38
Figura 19. Diseño de la antena número 1 en el software EM sonnet .....	40
Figura 20. Construcción antena número 1 .....	40
Figura 21. Patrón de radiación en 2D Lab Volt antena número 1 .....	41
Figura 22. Patrón de radiación en el plano cartesiano Lab Volt antena número 1 .....	42
Figura 23. Patrón de radiación Em Sonnet antena número 1 .....	43

Figura 24. Carta smith de la antena numero 1 .....	43
Figura 25. Densidad de corriente antena numero 1 .....	44
Figura 26. Coeficiente de reflexión directa de la antena número 1 .....	44
Figura 27. Diseño de la antena número 2 en el software EM sonnet 2 .....	46
Figura 28. Construcción antena número 2 .....	46
Figura 29. Patrón de radiación en 2D Lab Volt antena número 2 .....	47
Figura 30. Patrón de radiación en el plano cartesiano Lab Volt antena número 2 .....	48
Figura 31. Patron de radiacion Em Sonnet antena numero 2 .....	49
Figura 32. Carta smith de la antena numero 2 .....	49
Figura 33. Densidad de corriente antena numero 2.....	50
Figura 34. Coeficiente de reflexión directa de la antena número 2 .....	50
Figura 35. Diseño de la antena número 3 en el software EM sonnet.....	52
Figura 36. Construcción antena número 3 .....	52
Figura 37. Patrón de radiación en 2D Lab Volt antena número 3 .....	53
Figura 38. Patrón de radiación en el plano cartesiano Lab Volt antena número 3 ...	54
Figura 39. Patron de radiacion Em Sonnet antena numero 3 .....	55
Figura 40. Carta smith de la antena numero 3 .....	55
Figura 41. Densidad de corriente antena numero 3.....	56
Figura 42. Coeficiente de reflexión directa de la antena número .....	56
Figura 43. Patrón de radiación y análisis de potencia mitad antena 1 .....	88
Figura 44. Patrón de radiación y análisis de potencia mitad antena 2.....	92
Figura 45. Patrón de radiación y análisis de potencia mitad antena 3.....	97



## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Características de la antena numero 1.....	39
Tabla 2. Características de la antena numero 2.....	45
Tabla 3. Características de la antena numero 3.....	51
Tabla 4. Error antena 1.....	57
Tabla 5. Datos específicos Error antena 1.....	65
Tabla 6. Error Antena 2.....	66
Tabla 7. Datos específicos Error antena 2.....	73
Tabla 8. Error Antena 3.....	74
Tabla 9. Datos específicos Error antena 3.....	81
Tabla 10. Análisis de las antenas construidas.....	82
Tabla 11. Error potencia mitad antena 1.....	83
Tabla 12. Resumen de errores antena uno.....	86
Tabla 13. Error potencia mitad antena 2.....	87
Tabla 14. Resumen de errores antena dos.....	90
Tabla 15. Error potencia mitad antena 3.....	91
Tabla 16. Resumen de errores antena uno.....	95

## GLOSARIO

**Ortogonales:** es sinónimo de perpendicular es decir que están separados 90 grados.

**Efecto de Fringing:** es el efecto que se da en los bordes de los parches gracias a su geometría finita

**Patrón de radiación:** propiedad de un parche para radiar él se cual se puede expresar gráficamente en coordenadas polares o cartesianas.

**Ancho de banda:** El ancho de banda puede ser considerado como la gama de frecuencias a cada lado de la frecuencia central.

**Ganancia:** se define como la relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección y la densidad de potencia que radiaría una antena isotrópica.

**Impedancia:** La impedancia de entrada de la antena se define como la relación de la tensión y corriente en los terminales de entrada.

**Admitancia:** Magnitud que expresa la facilidad de paso de una corriente eléctrica en un circuito; es inversa de la impedancia y se mide en *siemens*

**Microstrip:** Las antenas microstrip consisten, básicamente, en un conjunto formado por una superficie metálica radiante frente a otra que actúa como plano de tierra y separadas por un espacio dieléctrico de espesor muy pequeño.

**Directividad:** La Directividad de una antena se define como la relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección, a una distancia, y la densidad de potencia que radiaría a la misma distancia una antena isotrópica

**Longitud de onda:** es la distancia que hay en entre dos crestas o de dos valles de una onda.

## **RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO**

**TITULO:** CONSTRUCCION DE UNA ANTENA MICROSTRIP EN ESPIRAL MULTIBANDA

**AUTOR(ES):** FABIAN RICARDO FLOREZ JAIMES

**FACULTAD:** Ingeniería Electrónica

**DIRECTOR(A):** Esp. FABIO ALONSO GUZMAN SERNA

### **RESUMEN**

Este proyecto consiste en el diseño, construcción y posterior análisis de los resultados obtenidos de tres antenas microstrip en espiral multibanda. Los diseños se realizaron en el software llamado Em sonnet. Posteriormente se comparan los resultados obtenidos del patrón de radiación entre el kit de lab-volt junto al software LVADM-ANT y el patrón de radiación obtenido con el software de simulación de antenas Em sonnet.

**PALABRAS CLAVE:** microstrip, lab-volt, Em sonnet, patrón de radiación.

## **GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE**

**TITLE:** CONSTRUCTION OF A SPIRAL ANTENNA MICROSTRIP MULTIBAND

**AUTHOR(S):** FABIAN RICARDO FLOREZ JAIMES

**FACULTY:** Electronic Engineering

**DIRECTOR:** Esp. FABIO ALONSO GUZMAN SERNA

### **ABSTRACT**

This project involves the design, construction and subsequent analysis of the results obtained from three multiband microstrip spiral antennas. The designs were made in the software called Em sonnet. Subsequently the results of the radiation pattern are compared with the lab-volt kit next to LVADM-ANT software and the radiation pattern obtained with the antenna simulation software Em Sonnet.

**KEY WORDS:** Microstrip, lab-volt, Em sonnet, radiation pattern

## INTRODUCCION

Las antenas en los últimos años han tomado una gran importancia en las comunicaciones mundiales donde la evolución de la tecnología de las comunicaciones inalámbricas es de forma apresurada, en el capítulo I de este libro se explica las características más importantes de las antenas como lo son las propiedades las cuales abordan el diagrama de radiación, el ancho de banda, la ganancia y la impedancia de entrada.

Los dispositivos inalámbricos cada vez son más pequeños y versátiles dando más importancia a ciertos tipos de antenas como lo son las antenas microstrip las cuales se adaptan perfecto a las necesidades gracias a sus ventajas como lo son, bajo peso, bajo costo, modelables, versátiles, delgadas, con posibilidad de operación en diferentes bandas. En el capítulo II de este libro se abordara más a profundidad las características de funcionamiento de las antenas microstrip como lo son los modelos de análisis, tipos de alimentación y los diferentes resultados que se pueden obtener de la simulación en el software Em sonnet, diseñado para el análisis de antenas microstrip. Algunos ejemplos de la aplicación de dichas antenas los podemos encontrar en los dispositivos tecnológicos que a diario utilizamos como los computadores portátiles, televisores con conexión inalámbrica, teléfonos móviles, tabletas, entre otros.

Sabiendo la importancia que actualmente tienen las antenas microstrip el capítulo III de este proyecto estará enfocado en el diseño y fabricación de antenas en espiral multibanda con tecnología microstrip. Teniendo en cuenta el análisis de sus parámetros más importantes de los capítulos anteriores

Por último en el capítulo IV se hace un análisis de los resultados obtenidos de los patrones de radiación simulados en EM-sonnet y los patrones de radiación de LVADM-ANT. Posteriormente se hace la comparación de los resultados obtenidos de los patrones de radiación del campo eléctrico y por último el análisis de los errores obtenidos.

## OBJETIVOS

### **General.**

Diseñar y construir una antena microstrip en espiral multibanda y analizar su patrón de radiación.

### **Específicos.**

- Escoger un método o modelo matemático con el cual se pueda diseñar y desarrollar la antena.
- Hacer la construcción de la antena teniendo en cuenta todas las variables y parámetros predispuestos en el diseño de la antena.
- Comprobar experimentalmente los parámetros de la antena diseñada y posterior comparación con los resultados obtenidos en la etapa de diseño

# I. CONCEPTOS BASICOS DE ANTENAS

## INTRODUCCION

Las antenas es uno de los dispositivos más importante en las comunicaciones inalámbricas ya que es la encargada de tomar las ondas electromagnéticas que están en el espacio libre y transformarlas en ondas electromagnéticas que viajan por medio de las líneas de transmisión y viceversa. Una definición más científica de una antena la define IEEE como “aquella parte de un sistema transmisor o receptor diseñada específicamente para radiar o recibir ondas electromagnéticas” [1].

## 1.2 PROPIEDADES DE LAS ANTENAS

Las antenas son estructuras metálicas diseñadas para radiar y recibir energía electromagnética. Una antena es una estructura que representa la transición entre un dispositivo conductor (guía de onda o línea de transmisión) y el espacio libre [2].

Para conocer como una antena puede radiar, se debe considerar el principio de radiación: un cable conductor radia principalmente debido a la variación de la corriente con el tiempo o por una aceleración o desaceleración de las cargas eléctricas. Si no hay movimiento de las cargas en el cable, no ocurrirá la radiación, debido a que no hay un flujo de corriente. Cuando las cargas se están moviendo con velocidad uniforme a lo largo de un cable recto, no podría haber radiación, pero si es un cable curvado o doblado si podría radiar [3].

Debido a la variación de los campos eléctricos y magnéticos con el tiempo, se forman las ondas electromagnéticas, las cuales viajan entre los conductores. Cuando estas ondas se van aproximando al espacio abierto, se generan ondas espaciales en las terminales abiertas de las líneas eléctricas. Dentro de la línea de transmisión y la antena, las ondas electromagnéticas existen debido a las cargas, pero cuando entran al espacio libre, se forman lazos cerrados y se radian [3].

### 1.3 PARAMETROS DE LAS ANTENAS

Una antena formará parte de un sistema más amplio, de radiocomunicaciones o radar, por ejemplo, interesará, por lo tanto, caracterizarla con una serie de parámetros que la describan y permitan evaluar el efecto sobre el sistema de una determinada antena, o bien especificar el comportamiento deseado de una antena para incluirla en ese sistema [4].

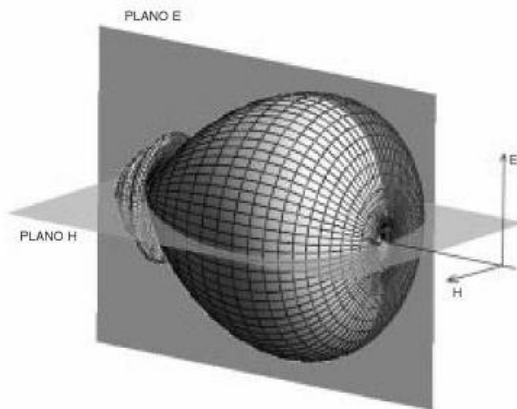
A efecto de definición de los parámetros, conviene diferenciarlos inicialmente según se relacionen con transmisión o recepción; posteriormente, como consecuencia del teorema de reciprocidad, estableceremos la equivalencia entre ambas situaciones [4].

#### 1.3.1 DIAGRAMA DE RADIACION

El diagrama de radiación es una representación gráfica de las propiedades de la radiación de la antena, en función de las distintas direcciones del espacio, a una distancia fija. Normalmente se emplea un sistema de coordenadas esféricas. Con la antena situada en el origen y manteniendo constante la distancia se expresará el campo eléctrico en función de las variables angulares ( $\theta$ ,  $\Phi$ ). Como el campo es una magnitud vectorial, habrá que determinar en cada punto de la esfera de radio constante el valor de dos componentes ortogonales [4].

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 [4].

**Figura 1. Diagrama de radiación**



FUENTE: CARDAMA, Aznar Ángel; JOFRE, Roca Lluís; RUIZ, Juan Manuel; ROMEU, Robert Jordi; BATALLER, Miguel Ferrando, Antenas: 2da Edición, Editorial Alfaomega.



El diagrama de radiación se puede representar en forma tridimensional utilizando técnicas graficas diversas, como las curvas de nivel o el dibujo en perspectiva. En la figura anterior se muestra el diagrama tridimensional de una antena y los planos E y H. los niveles se expresan en decibelios respecto al máximo de radiación [4].

### 1.3.2 ANCHO DE BANDA

El ancho de banda es la característica principal de la antena de banda ancha. El ancho de banda puede ser considerado como la gama de frecuencias a cada lado de la frecuencia central, en donde las características de la antena se encuentran dentro de un valor aceptable. El ancho de banda se puede describir en términos de porcentaje de la frecuencia central,  $f_c$ , de la banda [5].

$$BW = \frac{f_H - f_L}{f_C} \times 100 = 2 \frac{f_H - f_L}{f_H + f_L} \times 100 \quad (1.1)$$

Donde  $f_h$  es la frecuencia más alta de la banda y  $f_l$  es la frecuencia más baja de la banda. La frecuencia central puede se calcula a partir de [5]:

$$f_C = \frac{f_H + f_L}{2} \quad (1.2)$$

Para las antenas de banda ancha, el ancho de banda también se puede expresar como la relación de la frecuencia más alta a la frecuencia más baja, donde el rendimiento de la antena es aceptable. Se da a través de [5]:

$$BW = \frac{f_H}{f_L} \quad (1.3)$$

### 1.3.3 GANANCIA

La ganancia  $G$  de la antena está estrechamente relacionada con la Directividad, pero tiene en cuenta la eficiencia  $e_{rad}$  de radiación de la antena, así como sus propiedades direccionales, como se muestra [5].

$$G = e_{rad}D \quad (1.4)$$

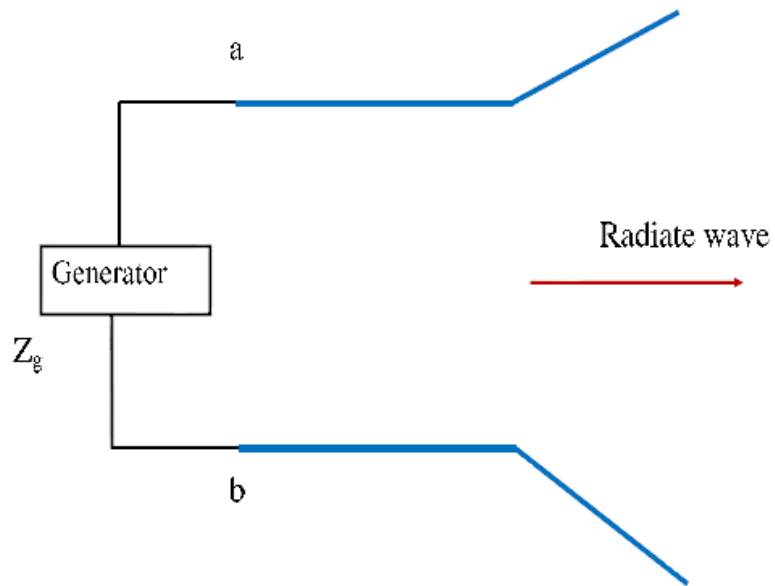
La eficiencia de radiación ( $e_{rad}$ ) se determina por la relación de la potencia radiada,  $P_{rad}$  a la potencia de entrada en los terminales de la antena, el  $P_{in}$  [5].

$$e_{rad} = \frac{P_{rad}}{P_{in}} = \frac{G}{D} \quad (1.5)$$

### 1.3.4 IMPEDANCIA DE ENTRADA

La impedancia de entrada de la antena se define como la relación de la tensión y corriente en los terminales de entrada a-b de la antena sin carga conectada, como se muestra en la figura 2. La impedancia de entrada de la antena se da en la ecuación 1.6 [5].

Figura 2. Diagrama de impedancia de entrada



FUENTE: C. A. Balanis, Antena Theory : Analysis and Design. 3<sup>rd</sup> ed. New York: Jhon Wiley and Sons, Hoboken, NJ,2005.

$$Z_A = R_A + jX_A \quad (1.6)$$

Dónde:

$Z_A$  Impedancia de la antena en los terminales a – b (ohm).

$R_A$  Resistencia de la antena en los terminales a – b (ohm).

$X_A$  Reactancia de la antena en los terminales a – b (ohm).

## II. ANTENAS MICROSTRIP

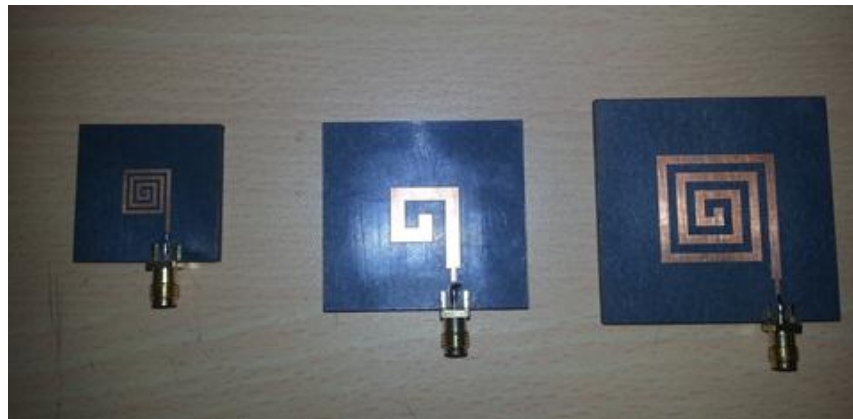
Conforme la tecnología avanza hacia la comunicación radioeléctrica se avanza también en la miniaturización de los componentes empleados en los dispositivos utilizados como lo son las antenas microstrip [8].

La microcinta puede desempeñar dos funciones las cuales son como línea de transmisión o como antena.

Las antenas microstrip consisten, básicamente, en un conjunto formado por una superficie metálica radiante frente a otra que actúa como plano de tierra y separadas por un espacio dieléctrico de espesor muy pequeño. La superficie del parche puede tener cualquier forma geométrica, que en este proyecto será de forma de espiral cuadrada, y si el dieléctrico separado (sustrato) es de naturaleza flexible la antena se puede adaptar a cualquier superficie un ejemplo se puede ver en la figura 3 [8].

La línea de microcinta es el medio de transmisión más común empleado en circuitos de radiofrecuencia y microondas. Esta es una línea de transmisión planar no homogénea, que se deriva de una línea de transmisión de alambres paralelos, la cual consiste de un plano de tierra y una línea conductora separados por un material dieléctrico. [2].

**Figura 3. Antena microstrip en espiral cuadrada**

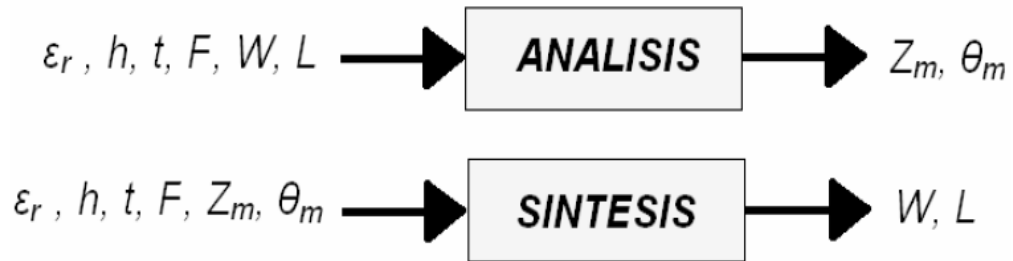


El diseño y la construcción de circuitos de microcinta requiere mayor cuidado que los circuitos impresos de bajas frecuencias, ya que se consideran con mayor peso las dimensiones físicas de cada tramo de línea, sus impedancias y longitudes eléctricas, al igual que la constante dieléctrica efectiva  $\epsilon_{eff}$  que rige todo el sistema. Las dimensiones físicas de la microcinta, están en función de la longitud de onda de la frecuencia de operación  $f_0$  y de la constante dieléctrica efectiva  $\epsilon_{eff}$ . Las dimensiones tienden a reducirse para longitudes de onda más pequeñas y también para constantes dieléctricas más altas.

## 2.1 ANALISIS Y SINTESIS DE LA ANTENA MICROSTRIP

Al cálculo de las características eléctricas de la antena microstrip, como  $\epsilon_{eff}$ , impedancia  $Z_m$  y longitud eléctrica  $\theta_m$ , se le conoce como análisis. Estas se calculan partiendo de las características del sustrato dieléctrico tales como su constante dieléctrica relativa  $\epsilon_r$ , espesor  $h$ , grosor  $t$ , frecuencia de operación  $F$ , ancho  $W$  y largo  $L$  de la línea. Por lo tanto, al procedimiento para determinar las características físicas tales como el ancho  $W$  y el largo  $L$  se conocen como síntesis y se calculan partiendo de los valores de la constante dieléctrica  $\epsilon_r$ , espesor  $h$ , grosor  $t$ , frecuencia de operación  $F$ , impedancia  $Z_m$  y longitud eléctrica  $\theta_m$  de la microcinta [2].

**Figura 4. Análisis y síntesis de una antena microstrip**



FUENTE: BUENROSTRO ROCHA Sergio: Metodología para el diseño y construcción de una antena de microcinta en las banda WiMax a 3.5Ghz, Tijuana-México, 2007, Trabajo de grado (Maestro en ciencias), Instituto Politécnico Nacional.

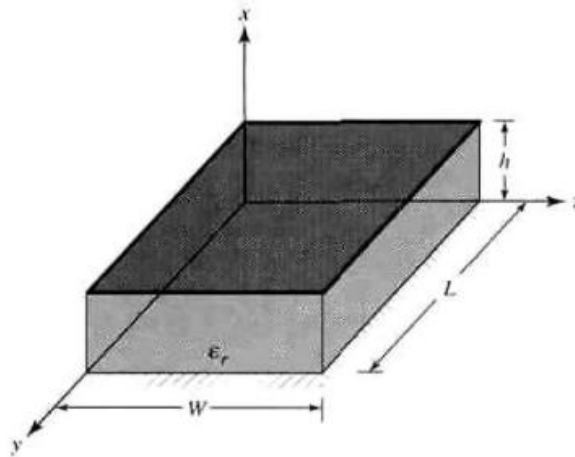
## 2.2 ANALISIS DE UNA ANTENA MICROSTRIP

Existen varios métodos de análisis para antenas microstrip, pero los más conocidos son el modelo de cavidad que está clasificado en los empíricos, el método de los momentos que está en los métodos de onda completa y el modelo de línea de transmisión se ubica en los métodos empíricos. El modelo de línea de transmisión es el menos preciso, y con él es más difícil modelar el acoplamiento. El método de los momentos (MoM) es un método numérico de onda completa que discretiza las ecuaciones integrales de los campos electromagnéticos, las técnicas de onda completa generalmente proporcionan la solución más precisa para las características de impedancia y de radiación pero una de las desventajas son que las técnicas de onda completa son numéricamente intensivos, por lo que requieren una cuidadosa programación para reducir costo de computación [10]. Sin embargo, el modelo de cavidad es más preciso, a costa de una mayor complejidad, aunque el acoplamiento sigue siendo difícil de modelar. A continuación se tratarán ambos modelos para analizar la configuración básica de una antena microstrip, el parche rectangular [11].

### 2.2.1 MODELO DE CAVIDAD

Una antena microstrip se puede ver como una cavidad llena de dieléctrico delimitada por dos conductores (arriba y abajo, parche y plano de masa), y por paredes magnéticas (para simular un circuito abierto), que son las caras restantes [11]. Este es un modelo aproximado, que, en principio, da lugar a una impedancia de entrada reactiva (de cero o infinito valor de la resonancia), y no irradia a cualquier potencia. Sin embargo, suponiendo que los campos reales son aproximados a los generados por un modelo de este tipo, la admitancia de entrada, el patrón calculado, y las frecuencias resonantes se comparan bien con las mediciones. Este es un enfoque aceptado, y es similar a los métodos de perturbación que han tenido mucho éxito en el análisis de guías de ondas, cavidades, y radiadores [3].

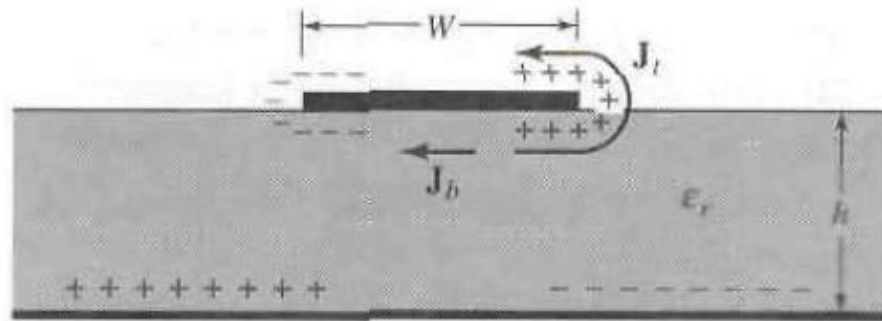
**Figura 5. Geometría del parche microstrip (modelo de cavidad)**



FUENTE: CONSTANTINE A. Balanis, Antenna Theory, Analysis And Design, segunda Edition, John Wiley and Sons.

Una interpretación física en la formación de los campos dentro de la cavidad y la radiación a través de sus paredes laterales, cuando se activa el parche microstrip, una distribución de carga se establece en la parte superior e inferior superficies del parche, así como en la superficie de la placa de masa. Como se muestra en la figura 6 la distribución de carga es controlada por dos mecanismos: un atractivo y un mecanismo de repulsión. El mecanismo atractivo es entre las correspondientes cargas opuestas en el lado inferior del parche y el plano de tierra, que tiende a mantener la concentración de cargas en la parte inferior del parche. El mecanismo de repulsión entre cargas iguales sobre la superficie inferior del parche, que tiende a empujar a algunas cargas de la parte inferior del parche, alrededor de sus bordes, que su superficie superior [3].

**Figura 6. distribución de carga y la creación de la densidad de corriente en el parche microstrip**



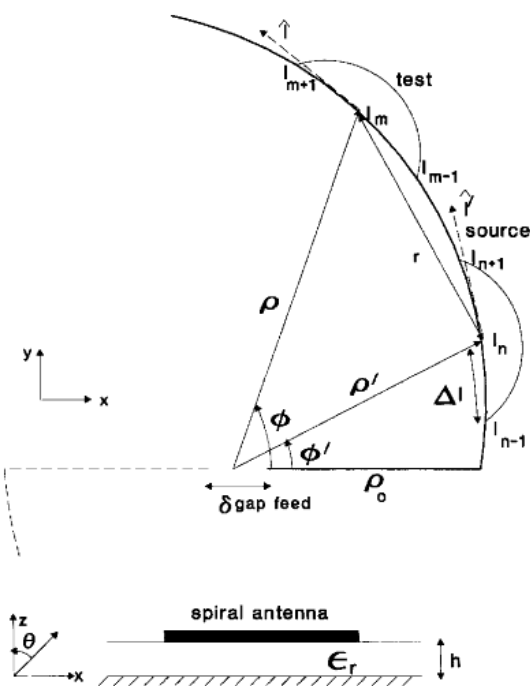
FUENTE: CONSTANTINE A. Balanis, Antenna Theory, Analysis And Design, segunda Edition, John Wiley and Sons

### 2.2.2 MÉTODO DE LOS MOMENTOS

El método de los momentos (MoM) es un método numérico de onda completa que discretiza las ecuaciones integrales de los campos electromagnéticos. Desde las ecuaciones integrales satisfacen la condición de radiación de forma automática, (MoM) es especialmente adecuado para resolver problemas abiertos, como los problemas de dispersión y radiación. La historia del desarrollo de (MoM) en electromagnetismo muestra que (MoM) no sólo surgió a partir de solución de problemas abiertos, si no también se convierte en la búsqueda sofisticada de mejores soluciones para este tipo de problemas. Por lo tanto, enseñar (MoM) por el estudio de caso de la resolución de problemas de dispersión no sólo es conciso, pero también captar lo esencial de este método. Como era de esperar, un montón de contenido se ha desarrollado a través de la investigación sobre (MoM) en los últimos 40 años. Incluso si sólo el problema de dispersión es considerada, no es posible enumerar todas las cuestiones pertinentes en un capítulo. Sin embargo, lo esencial en (MoM) para la solución de los problemas por lo general se encuentran en los siguientes cuatro aspectos [12]:

- 1) Elección de la base y funciones de prueba.
- 2) Manejo de singularidades.
- 3) La identificación de la relación entre las formas de discretizados integrante ecuaciones y sus representaciones numéricas.
- (4) La aceleración de la solución de las ecuaciones matriciales descritizadas en (MoM).

**Figura 7. Geometría de la espiral circular**



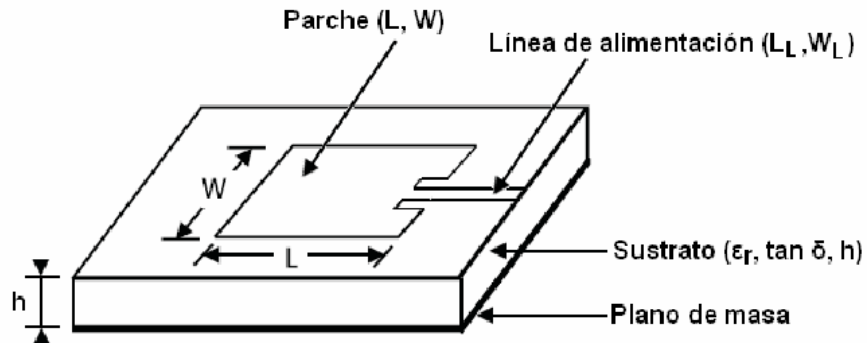
FUENTE: KHAMAS, Salam; COOK, Gregory. Moment-Method Analysis of Printed Wire Spirals Using Curved Piecewise Sinusoidal Subdomain Basis and Testing Functions. IEEE transactions on antennas and propagation. Junio, 1997. Vol. 45. N° 6. p. 1016-1022.

### 2.2.3 MODELO DE LINEA DE TRANSMISION

El modelo de línea de transmisión es el más sencillo para analizar las antenas Microstrip, aunque es el menos preciso [11]. El modelo de línea de transmisión se representara en la siguiente figura 8. Que consiste en una antena cuadrada con dos slots separados por una línea de transmisión baja impedancia y de longitud  $L_L$ .



**Figura 8. Antena cuadrada con línea de alimentación**



FUENTE: AVILA ABELLAN José: GNSS Array: Diseño de una antena con polarización circular Barcelona-España, 2009, Trabajo de grado (Ingeniería de telecomunicaciones), universidad de Barcelona.

Ya que se considera que los slots están separados por una línea de transmisión de longitud  $L_L$ , se debe tener en cuenta el efecto de Fringe presente en la línea. Este efecto consiste en el desbordamiento y curvatura de las líneas de campo en los extremos de la línea, por lo que la línea aparenta tener una longitud efectiva ( $L_{eff}$ ) mayor a la longitud física [11].

**Figura 9. Fringing Effects de una antena de parche rectangular**



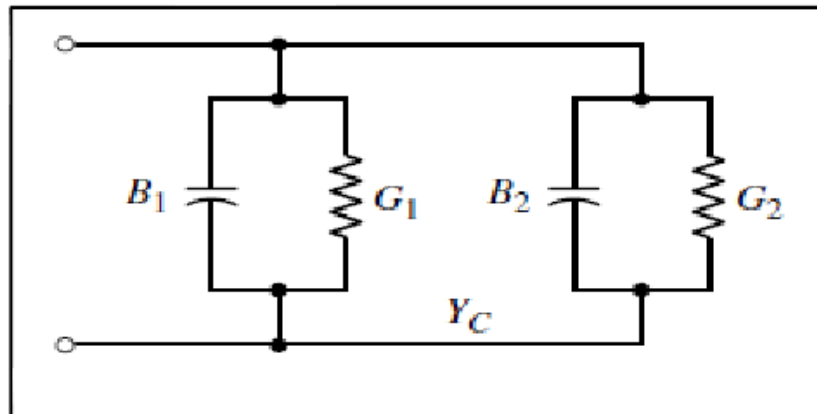
FUENTE: CONSTANTINE A. Balanis, Antenna Theory, Analysis And Design, segunda Edition, John Wiley and Sons

Este efecto es reducido para antenas microstrip, porque  $L \gg h$ , pero se debe tener en cuenta. Para poder calcular la longitud efectiva, se debe introducir otro parámetro, la constante dieléctrica relativa efectiva del sustrato dieléctrico ( $\epsilon_{reff}$ ). En una línea microstrip, entre línea y plano de masa se encuentra el dieléctrico (constante dieléctrica  $\epsilon_r$ ), y encima de la línea se encuentra aire (constante

dieléctrica igual a 1). Al propagarse la onda en la línea, la mayoría de las líneas de campo se encontrarán confinadas en el dieléctrico, mientras que una minoría saldrán desde la parte superior de la línea, por lo que también viajarán a través del aire, y la propagación será diferente [11].

En análisis más profundo del el modelo de líneas de transmisión se debe tener en cuenta que las ranuras son consideradas como admitancias “Y” complejas compuestas de una conductancia “G” y una susceptancia “B” en paralelo [3] como se muestra a continuación en la figura 10.

**Figura 10.Circuito equivalente a un parche microstrip**



FUENTE: C. A. Balanis, Antenna Theory : Analysis and Design. 3<sup>rd</sup> ed. New York: Jhon Wiley and Sons, Hoboken, NJ,2005.

La admitancia Y estaria dada por [16] :

$$Y1 = G1 + jB1$$

(2.1)

Donde por una ranura de anchura finita  $W$  [16] :

$$G_1 = \frac{a}{120\lambda_0} \left[ 1 - \frac{1}{24} (k_0 h)^2 \right]; \quad \frac{h}{\lambda_0} < \frac{1}{10} \quad (2.2)$$

$$B_1 = \frac{a}{120\lambda_0} [1 - 0.636 \ln(k_0 h)]; \quad \frac{h}{\lambda_0} < \frac{1}{10} \quad (2.3)$$

La admitancia total de entrada de la antena microstrip y la impedancia de entrada estan dadas por [16]:

$$Y_{in} = Y_1 + \tilde{Y}_2 = 2G_1 \quad (2.4)$$

$$Z_{in} = \frac{1}{Y_{in}} = R_{in} = \frac{1}{2G_1} \quad (2.5)$$

El calculo del ancho de la linea microstrip se conoce como  $W_0$  y se puede calcular mediante la siguiente ecuacion [9]:

$$Z_c = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{reff}}} \ln \left[ \frac{8h}{W_0} + \frac{W_0}{4h} \right]; \quad \frac{W_0}{h} > 1 \quad (2.6)$$

$$Z_c = \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_{reff}} \left[ \frac{W_0}{h} + 1.393 + 0.667 \ln \left( \frac{W_0}{h} + 1.444 \right) \right]} \frac{W_0}{h} > 1 \quad (2.7)$$

El modelo utilizado en este proyecto es el de wheeler, el cual es el metodo mas antiguo y mas utilizado para este calculo. Las ecuaciones para el calculo de la linea por este metodo estan dadas por las siguiente ecuaciones [17]:

$$Wl = \frac{4h}{\frac{e^A}{2} - e^{-A}} \quad ; \quad \frac{W}{h} \leq 2 \quad (2.8)$$

$$Wl = h \left[ \frac{\epsilon r - 1}{\pi * \epsilon r} \left( \log(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon r} \right) + \frac{2}{\pi} (B - 1 - \log(2B - 1)) \right] \quad ; \quad \frac{W}{h} \geq 2 \quad (2.9)$$

$$A = \sqrt{(2\epsilon r) + 1} * \frac{\pi Zm}{\eta} + \frac{\epsilon r - 1}{\epsilon r + 1} * \frac{0.23 + 0.11}{\epsilon r} \quad (2.10)$$

$$B = \frac{\pi * \eta}{2 * Zm * \sqrt{\epsilon r}} \quad (2.11)$$

## 2.3 SINTESIS DE UNA ANTENA MICROSTRIP EN ESPIRAL CUADRADA

### 2.3.1 SIMULADOR DE ANTENAS Em Sonnet

Em es un simulador de Sonnet (utiliza el método de los momentos) para todo tipo de estructuras planas como microcinta, líneas de cinta o circuitos coplanares (acopladores, las líneas que coincidan, filtros, lagunas, trozos, antenas de parche...). La estructura debe ser dividida en una enorme colección de "células" pequeñas. Las propiedades de cada celda son entonces analizadas y calculadas por el software y por fin la suma de todas las propiedades de la celda se encuentra en integración. Por lo tanto Sonnet utiliza una "caja" rectangular que consta de cuatro paredes (*materiales = sin pérdidas = con infinita conductividad*), pero la parte inferior y el material de la parte superior pueden ser definidos por el usuario. Son necesarios una gran cantidad de ajustes.

La distribución de campo en un cuadro de tal forma es bien conocido y por lo tanto la simulación y el cálculo da una alta precisión (al utilizar células muy pequeñas). Pero la simulación con células pequeñas implica tiempos de cómputo largo y

también archivos de datos grandes y este es el único problema grave para el usuario Sonnet Lite con restricción de memoria de 32 MB, así para el simulador Sonnet Lite se puede esperar una precisión de la simulación entre el 1% y el 5%. Pero teniendo cuidado:

En este caso, cuando se simulan estructuras que irradian como una antena de parche en la frecuencia de resonancia calculada es siempre un poco más alta que el valor de la frecuencia medida en el prototipo fabricado.

## 2.3.2 RESULTADOS DE LA SIMULACION

### 2.3.2.1 COEFICIENTE DE REFLEXION DIRECTA [S11]

Los parámetros de dispersión son los coeficientes de reflexión y transmisión entre la onda incidente y la reflejada. Estos parámetros describen completamente el comportamiento de un dispositivo bajo condiciones lineales en determinado rango de frecuencia. Cada parámetro es caracterizado por magnitud, ganancias o pérdidas en decibels y fase. A pesar de ser aplicables a cualquier frecuencia, los parámetros S son usados principalmente para redes que operan en radiofrecuencia (RF) y frecuencias de microondas. En general, para redes prácticas, los parámetros S cambian con la frecuencia a la que se miden, razón por la cual se debe especificar la frecuencia para cualquier medición de parámetros S, junto con la impedancia característica o la impedancia del sistema [23].

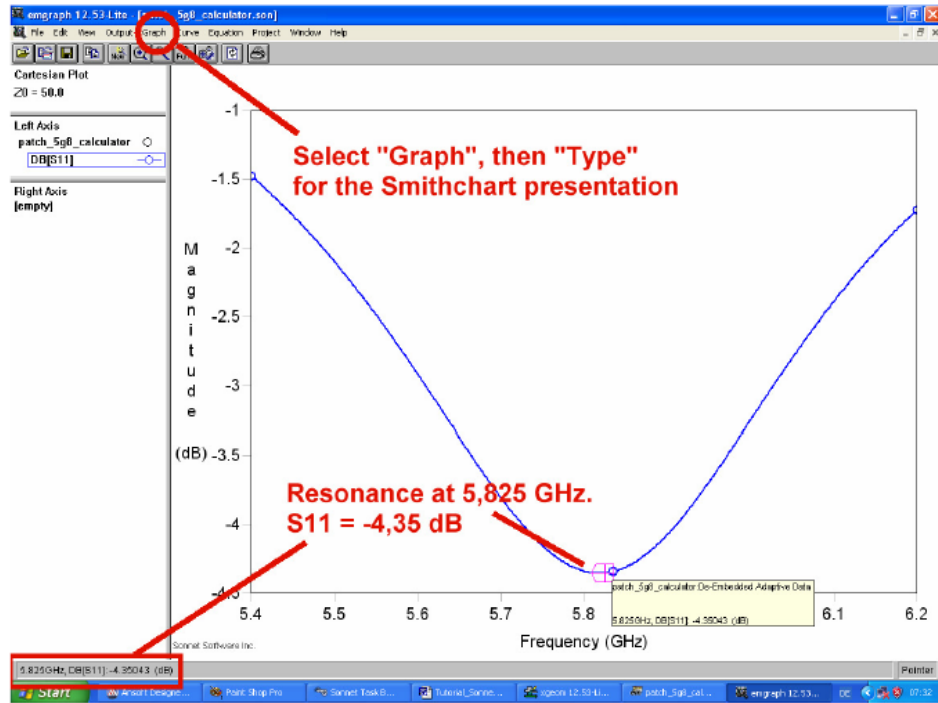
S11 Coeficiente de reflexión a la entrada o coeficiente de reflexión directa se puede calcular utilizando las ecuaciones 2.13 y 2.14.

$$S_{11} = \frac{V_1^-}{V_1^+} \Big|_{V_2^+ = 0} \quad S_{11} = \frac{Z + Z_0 - Z_0}{Z + Z_0 + Z_0} = \frac{Z}{Z + 2Z_0} = \frac{V_{\text{Reflejada}}}{V_{\text{Incidente}}} = \rho \angle \Phi \quad (2.13)$$

$$S_{11} = \frac{\text{Reflejada}}{\text{Incidente}} = \frac{b_1}{a_1} \Big|_{a_2 = 0} \quad (2.14)$$

S11 Coeficiente de Reflexión Directa o de Entrada, con el Puerto de salida, terminado con una carga similar a  $Z_L = Z_0$ , y haciendo  $a_2 = 0$  equivalente a  $E_{i2} = 0$  de (1) graficando como se muestra en la figura 11 [23].

Figura 11.coeficiente de reflexión directa [S11]

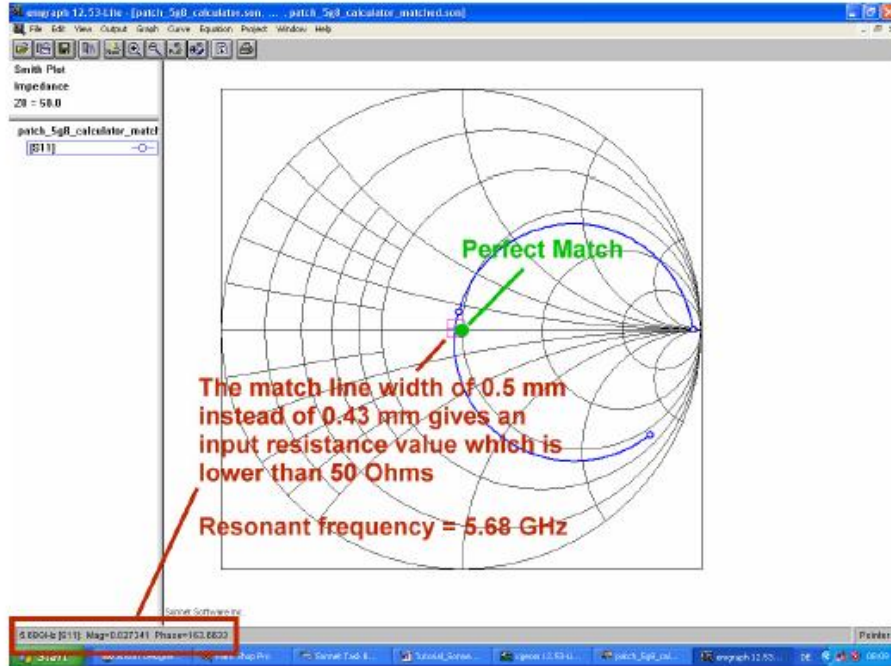


FUENTE: KRAUS, Gunthard. Design of Patch Antennas. [En línea]. 2011. [citado 11 de Julio de 2014]. Disponible en internet: [http://www.gunthard-kraus.de/Tutorial\\_Sonnet/pdf\\_English/Tutorial\\_Sonnet\\_e.pdf](http://www.gunthard-kraus.de/Tutorial_Sonnet/pdf_English/Tutorial_Sonnet_e.pdf).

### 2.3.2.2 CARTA DE SMITH

El análisis de las líneas de transmisión puede simplificarse utilizando algunos de los diferentes métodos gráficos, de los que el más importante es la *Carta de Smith* mostrada en la figura 12 y que es la más utilizada. La carta o diagrama de Smith se basa en dos conjuntos de círculos ortogonales, uno de ellos representa la relación  $R/Z_0$ , en que  $R$  es la componente resistiva de la impedancia característica. El segundo conjunto de círculos, representa la relación  $X/Z_0$ , en que  $X$  es la componente reactiva de la impedancia de la línea. Estas coordenadas se obtienen mediante una transformación correspondiente a una relación de onda estacionaria dada, o lo que es lo mismo a la magnitud del coeficiente de reflexión en la carga, para una línea de transmisión sin pérdidas [21].

**Figura 12. Carta de Smith**



FUENTE: KRAUS, Gunthard. Design of Patch Antennas. [En línea]. 2011. [citado 11 de Julio de 2014]. Disponible en internet: [http://www.gunthard-kraus.de/Tutorial\\_Sonnet/pdf\\_English/Tutorial\\_Sonnet\\_e.pdf](http://www.gunthard-kraus.de/Tutorial_Sonnet/pdf_English/Tutorial_Sonnet_e.pdf).

Exactamente en el punto de la frecuencia de resonancia no encuentra ningún componente inductiva o capacitiva, cuando en relación con la impedancia de entrada es sólo una resistencia. Así que con la magnitud de  $S_{11} = 1.05$  reemplazando el valor en la ecuación se puede obtener el valor de la impedancia [21].

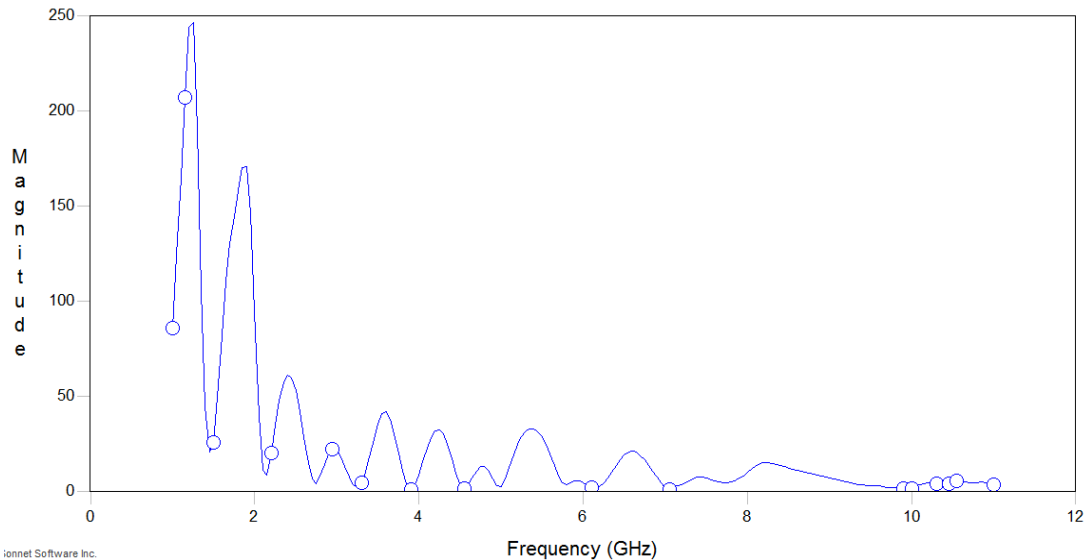
$$R_{rad} = \frac{1 + \Gamma}{1 - \Gamma} \cdot 50 \quad (2.15)$$

### 2.3.2.3 VSWR

VSWR representa Relación de onda, y también se conoce como relación de onda estacionaria (SWR). VSWR es una función del coeficiente de reflexión, que describe la potencia reflejada desde la antena. Si el coeficiente de reflexión se da por  $S_{11}$  o coeficiente de reflexión o la pérdida de retorno, entonces el VSWR se define por la expresión 13 [22]:

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (2.16)$$

**Figura 13. VSRW**



FUENTE: [Autor]

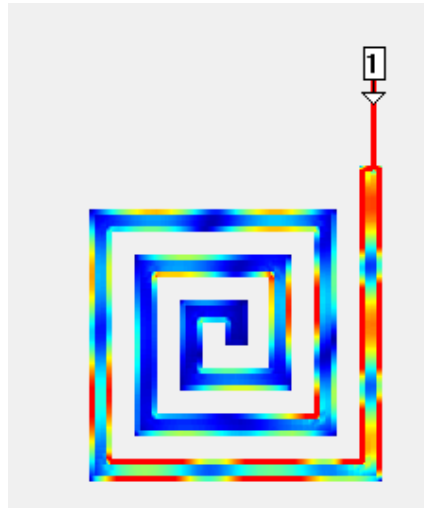
La VSWR es siempre un número real y positivo para las antenas. Cuanto menor sea VSWR, la antena está mejor adaptada a la línea de transmisión y más potencia se suministra a la antena. La VSWR mínimo es de 1,0. En este caso, ninguna energía se refleja desde la antena, que es ideal [22].

### 2.3.2.4 DENSIDAD DE CORRIENTE

El visor de la densidad de corriente le permite ver la distribución de densidad de corriente en su circuito. Al seleccionar la opción Densidad actual Em Sonnet calcula los datos de densidad de corriente para todos los niveles de metales en su circuito. Cuando se tiene metal grueso en un circuito que termina en el interior de una capa dieléctrica, a continuación, el visor de la densidad de corriente crea "subniveles" de metales con el fin de visualizar todos los datos de densidad de corriente como se observa en la figura 14 [19].



**Figura 14. Densidad de corriente**



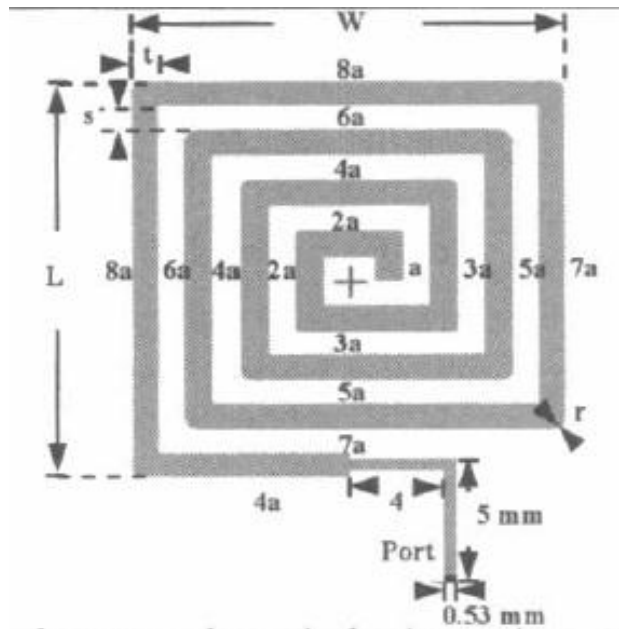
### **2.3.3 TIPOS DE ALIMENTACION**

En la actualidad existen diferentes formas de alimentar a un elemento radiador. Estos métodos se puede clasificar e dos categorías: los de contacto y los que no hacen contacto. Dentro de los métodos de contacto, la transferencia de potencial en el parche, se realiza por medio de una línea de microcinta o coaxial. Esta primera es la utilizada en la construcción de la antena en espiral de la cual se hablará en el siguiente capítulo. En el método de los que no hacen contacto, la transferencia de potencia se realiza mediante un acoplamiento electromagnético entre la línea microcinta y el parche (ranura).los más populares en esta categoría son el acoplamiento por apertura y el acoplamiento por proximidad [2].

#### **2.3.3.1 ALIMENTACION POR LINEA DE MICROCINTA**

Esta técnica de alimentación consiste en una cinta conductora conecta directamente al borde del parche radiador como se muestra en la figura 15. La línea es más angosta comparada con el parche y se tiene la ventaja de que la línea puede grabarse sobre el mismo sustrato (estructura planar). La impedancia presentada en el extremo del parche debe acoplarse a una impedancia característica de  $50 \Omega$  porque esta es la impedancia característica de la línea de alimentación por medio de un transformador de impedancias. La alimentación puede estar centrada descentrada a lo largo del ancho  $W$  y dependiendo de la ubicación del punto de alimentación, se determina el modo electromagnético. La introducción de la alimentación provoca un desplazamiento en la frecuencia de resonancia pero el patrón de radiación permanece inalterado [2].

**Figura 15. Antena espiral cuadrada alimentada por línea de microcinta**

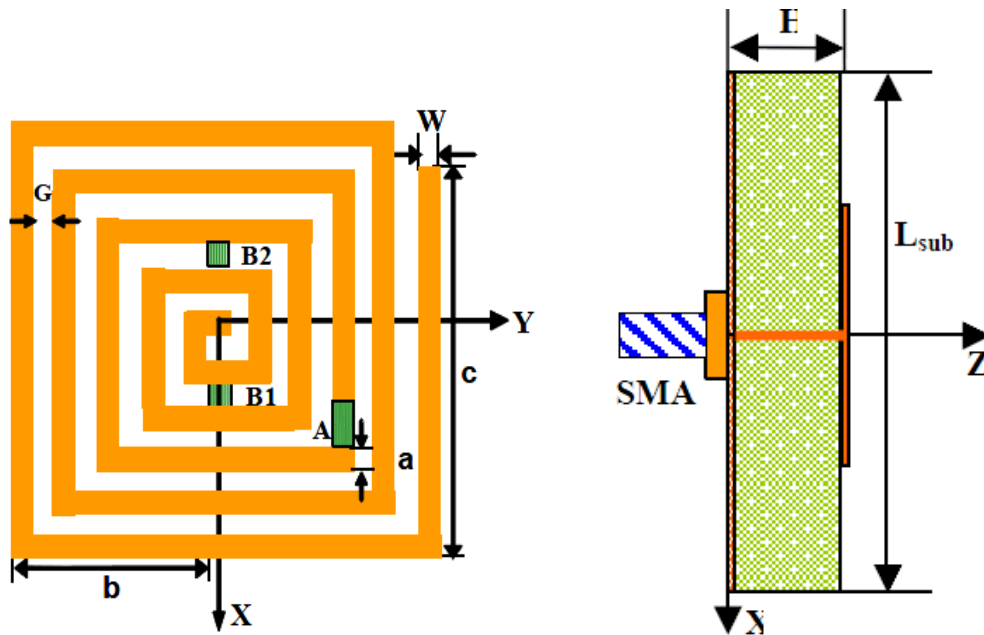


FUENTE: MADABY, Yasser; ELKAMCHOUCI, Hassan. Analysis of high gain multiband rounded corners dashed rectangular spiral microstrip patch antenna. IEEE transactions on antennas and propagation. 2005. p. 313-316.

### 2.3.3.2 ALIMENTACION COAXIAL

La alimentacion coaxial presentada en la figura 16, se tiene a la alimentacion perpendicular al plano de tierra, mientras que el conductor central del conector, atraviesa la tierra y el substrato sin tocarlos hasta el parche o la red de alimentacion, en donde se hace la soldadura. Su principal ventaja es que puede colocarse en cualquier punto dentro de un parche para acoplarse aun mas, aunque existen algunos puntos optimos. Este metodo es facil de realizar y tiene pocas radiaciones espurias, sin embargo, su mayor desventaja es que provee un ancho de banda estrecho y es dificil de modelar. Para dielectricos gruesos, la longitud de la linea central hace que la impedancia de entrada se vuelva mas inductiva y esto lleva problemas de acoplamiento[2].

Figura 16. antena en espiral (Vista superior) antena en espiral (vista lateral).



FUENTE: PAN, Helen; Bernhard, Jennifer; NAIR, Vijay. Reconfigurable Single-Armed Square Spiral Microstrip Antenna Design. IEEE transactions on antennas and propagation.2006. p. 180-183.

### III. METODOLOGIA

#### 3.1 DESARROLLO DEL PROYECTO

Este proyecto se desarrolló con el fin de conocer más a fondo las antenas microstrip, características, modelos de diseño, formas de alimentación, materiales utilizados en la construcción. Todo lo anterior enfocado en el diseño de forma en espiral cuadrada.

Se realizó el diseño y construcción de tres antenas en espiral utilizando un único sustrato RT/Duroid 5870 del cual se presentan sus características en la figura 17. Se tuvo como punto de referencia los artículos IEEE de diseño de antenas: [13], [14], [15]. Para diseñar las dimensiones de la antenas y para las medidas de la línea de alimentación se utilizó el modelo de WHEELER. Teniendo en cuenta que esta antena va a trabajar en un rango de 4GHz a 10GHz.

Por último se realiza la comparación de patrones de radiación a 10GHz obtenidos por el software de simulación de antenas EM sonnet y los resultados experimentales obtenidos con las antenas ya construidas y medidos con los dispositivos LVADM\_ANT en conjunto con el kit de lab-Volt proporcionados por la Universidad Pontificia Bolivariana.

**Figura 17. Sustrato RT/Duroid 5870**

PROPERTY	TYPICAL VALUE <sup>(1)</sup>				DIRECTION	UNITS <sup>(2)</sup>	CONDITION	TEST METHOD
	RT/duroid 5870		RT/duroid 5880					
<sup>(1)</sup> Dielectric Constant, $\epsilon_r$ Process	2.33 2.33 ± 0.02 spec.		2.20 2.20 ± 0.02 spec.		Z Z	N/A	C24/23/50 C24/23/50	1 MHz IPC-TM-650 2.5.5.3 10 GHz IPC-TM 2.5.5.5
<sup>(1)</sup> Dielectric Constant, $\epsilon_r$ Design	2.33		2.20		Z	N/A	8 GHz - 40 GHz	Differential Phase Length Method
Dissipation Factor, $\tan \delta$	0.0005 0.0012		0.0004 0.0009		Z Z	N/A	C24/23/50 C24/23/50	1 MHz IPC-TM-650, 2.5.5.3 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>7</sup>		2 X 10 <sup>7</sup>		Z	Mohm cm	C96/35/90	ASTM D257
Surface Resistivity	2 X 10 <sup>7</sup>		3 X 10 <sup>7</sup>		Z	Mohm	C/96/35/90	ASTM D257
Tensile Modulus	Test at 23°C	Test at 100°C	Test at 23°C	Test at 100°C	N/A	MPa (kpsi)	A	ASTM D638
	1300 (189)	490 (71)	1070 (156)	450 (65)	X			
ultimate stress	50 (7.3)	34 (4.8)	29 (4.2)	20 (2.9)	X	MPa (kpsi)	A	ASTM D638
	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 D638
	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			
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	4.0	4.3	8.5	8.4	X	%	A	ASTM D695
	3.3	3.3	7.7	7.8	Y			
Specific Heat	0.96 (0.23)		0.96 (0.23)		N/A	J/g/K (cal/g/°C)	N/A	Calculated
Moisture Absorption	0.02		0.02		N/A	%	.062" (1.6mm) D48/50	ASTM D570
Thermal Conductivity	0.22		0.20		Z	W/m/K	80°C	ASTM C518
Coefficient of Thermal Expansion	22 28 173		31 48 237		X Y Z	ppm/°C	0-100°C	IPC-TM-650, 2.4.41
Td	500		500		N/A	°C TGA	N/A	ASTM D3850
Density	2.2		2.2		N/A	gm/cm <sup>3</sup>	N/A	ASTM D792
Copper Peel	27.2 (4.8)		31.2 (5.5)		N/A	pli (N/mm)	1 oz (35µm) EDC foil after solder float	IPC-TM-650 2.4.8
Flammability	V-0		V-0		N/A	N/A	N/A	UL94
Lead-free Process Compatible	Yes		Yes		N/A	N/A	N/A	N/A

FUENTE: ROGERS Corporation. RT/Duroid 5880. [En línea]. [Citado el 6 de julio de 2014]. Disponible en internet <http://www.rogerscorp.com/documents/606/acm/RT-duroid-5870-5880-Data-Sheet.pdf>.

## 3.2 CARACTERISTICAS DE LA ANTENA EN ESPIRAL

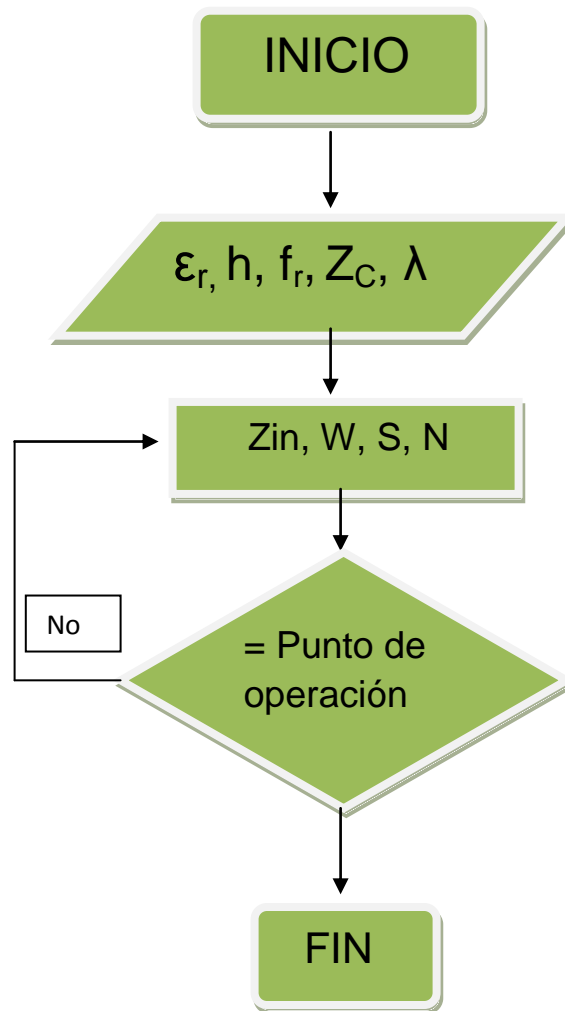
### Antena Espiral Cuadrada

Dimensiones : se tomó como punto de referencia los artículos científicos IEEE [14], [15], [17] para el diseño de antenas en espiral cuadrada. Las cuales se modificaron para poder obtener las frecuencias de trabajo necesarias, dichas modificaciones se basaron en la experiencias adquiridas en diseños anteriores, ya que este tipo de diseño de antena no cuenta con expresiones analíticas.

Impedancia de entrada: se obtiene por medio del análisis de los resultados obtenidos del software EM sonnet, el cual arroja como resultado la carta de Smith, de esta se obtiene el coeficiente de reflexión el cual es reemplazado en la ecuación 2.15 , se obtiene la impedancia de entrada.

Línea de alimentación: se utilizan las ecuaciones 2.8 y 2.9 del método de Wheeler para obtener una impedancia de  $Z_c=50\Omega$  ya que va conectada al puerto de alimentación, el cual cuenta con la misma impedancia y poder realizar un buen acople, el largo de la línea microstrip es determinada por el diseñador ya que esta no va a afectar el patrón de radiación de la antena.

**Figura 18. Diagrama de flujo para el calculo de las características de la atena en espiral cuadrada**



FUENTE: [Autor]

### 3.3 CONSTRUCCION DE LAS ANTENAS

Teniendo en cuenta el diagrama de las características de construcción mostradas en la figura 18. Se procede a calcular los parámetros y características importantes de la antena en espiral cuadrada y proceder con la construcción de dichas antenas.

**3.3.1 Antena número 1.** La antena número 1 es una antena en espiral cuadrada para su construcción se utilizando el sustrato RT/Duroid 5870 mostrado en la figura 17 y las características de la antena se muestran en la tabla 1. Los resultados del diseño en el software EM sonnet se pueden ver en la figura 19 y los resultados de la construcción se observa en la figura 20.

**Tabla 1. Características de la antena numero 1**

<b>características</b>	<b>valor</b>
Constante dieléctrica efectiva ( $\epsilon_r$ )	2.3
Grosor del sustrato (h)	3.175 mm
Ancho efectivo de la antena ( $a_e$ )	52 mm
Largo efectivo de la antena ( $l_e$ )	50 mm
Impedancia de alimentación ( $Z_c$ )	50 $\Omega$
Ancho de la línea (W)	2 mm
Ancho del espacio (S)	2 mm
Numero de vueltas	3
Frecuencia de trabajo (fr)	4 GHz
Frecuencia de trabajo (fr)	7 GHz
Frecuencia de trabajo (fr)	10 GHz
Ancho línea de alimentación	9 mm
Largo línea de alimentación	0.75 mm

FUENTE: [Autor]

Figura 19. Diseño de la antena número 1 en el software EM sonnet

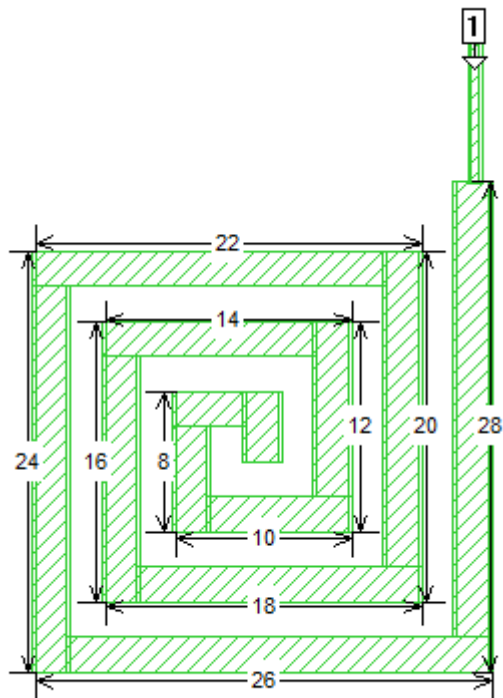
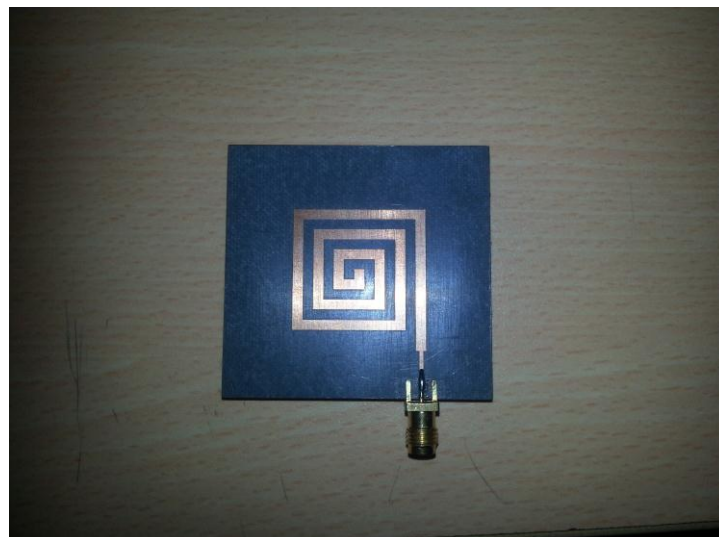


Figura 20. Construcción antena numero 1.



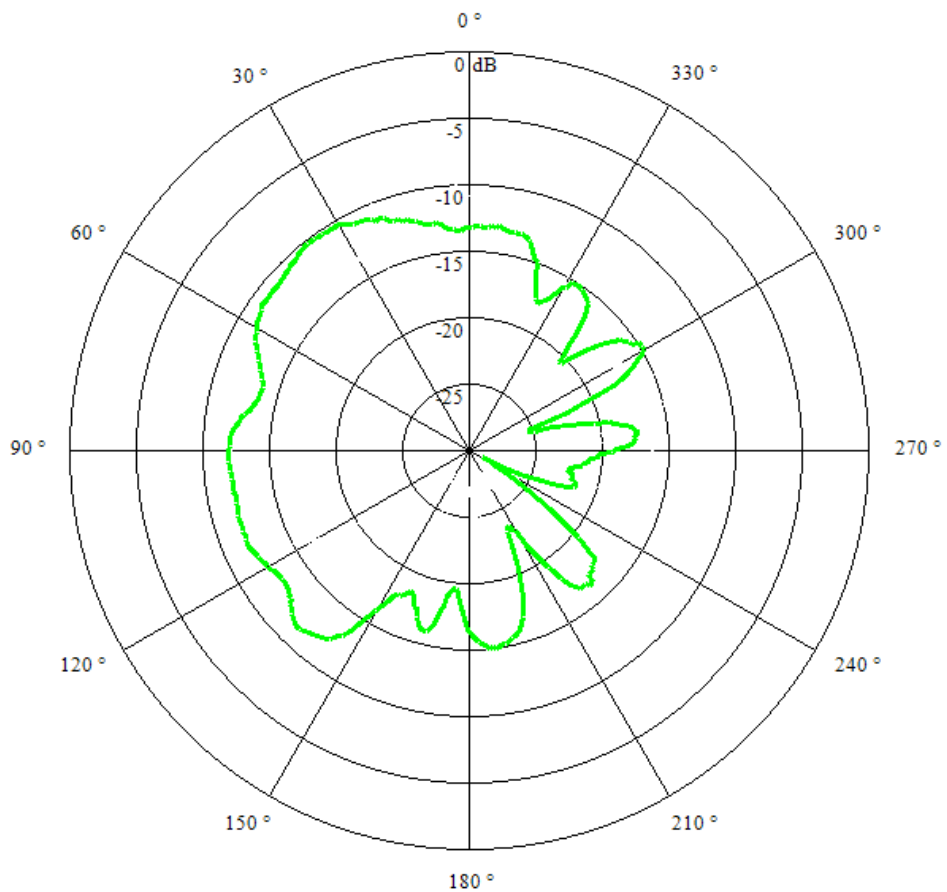
FUENTE:[Autor]



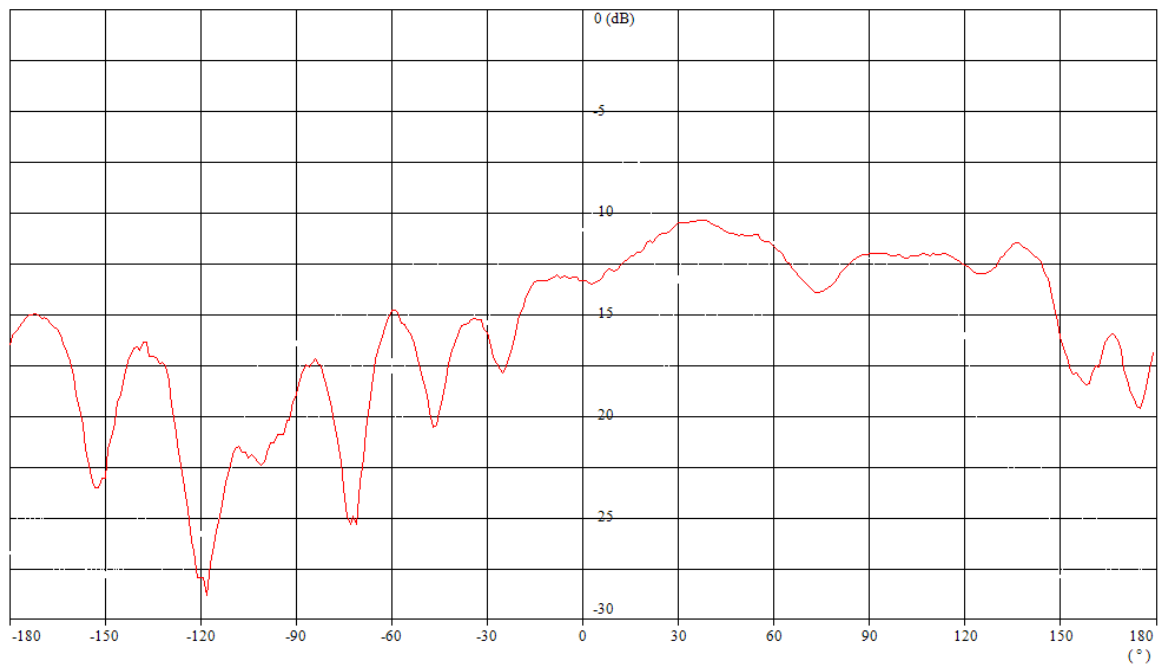
Para realizar las pruebas a la antena ya construida se utilizó el “Sistema didáctico y de medición en antenas” lab-volt, modelo 8092 [24].

Los resultados obtenidos se pueden observar en las figura 21 y 22 el cual muestra el patrón de radiación del campo eléctrico en coordenadas polares y cartesianas.

**Figura 21. Patrón de radiación en 2D Lab Volt antena número 1**



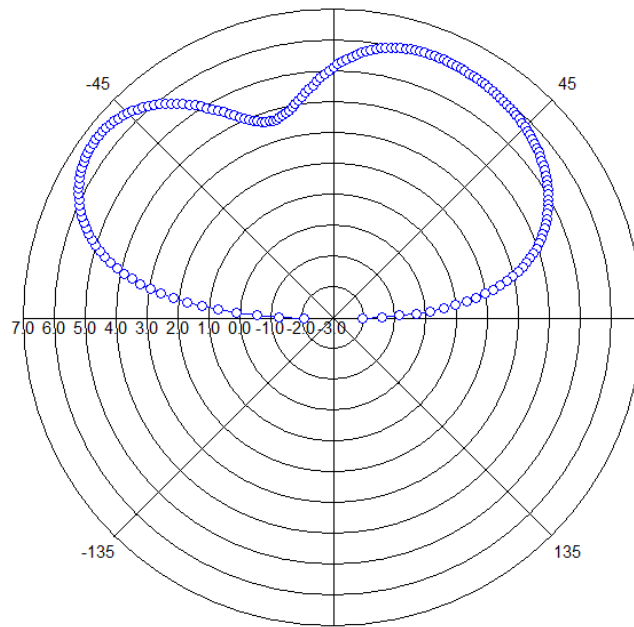
**Figura 22. Patrón de radiación en el plano cartesiano Lab Volt antenna número 1**



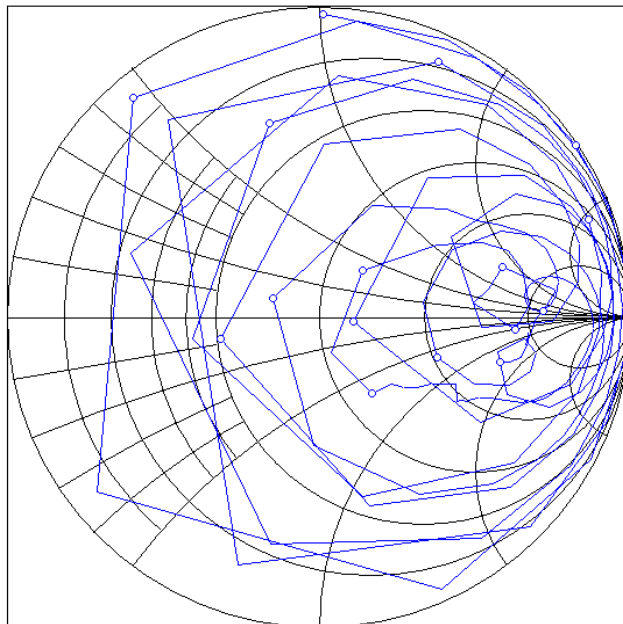
Para realizar las pruebas en el diseño de la antena se utilizó el software de “simulación de antenas” Em sonnet [19].

Los resultados obtenidos por este software fueron el patrón de radiación, este se puede ver en la figura 23. El simulador también arrojó como resultado parámetros importantes como la Carta de Smith, Densidad de corriente y coeficiente de reflexión los cuales se pueden observar en las figuras 24, figura 25 y figura 26 respectivamente.

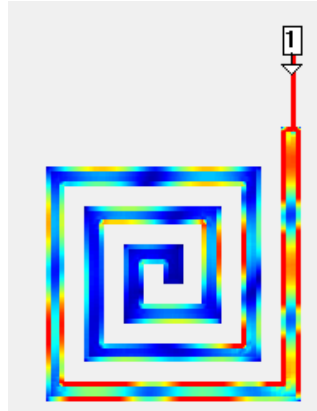
**Figura 23. Patrón de radiación Em Sonnet antenna numero 1**



**Figura 24. Carta smith de la antenna numero 1**

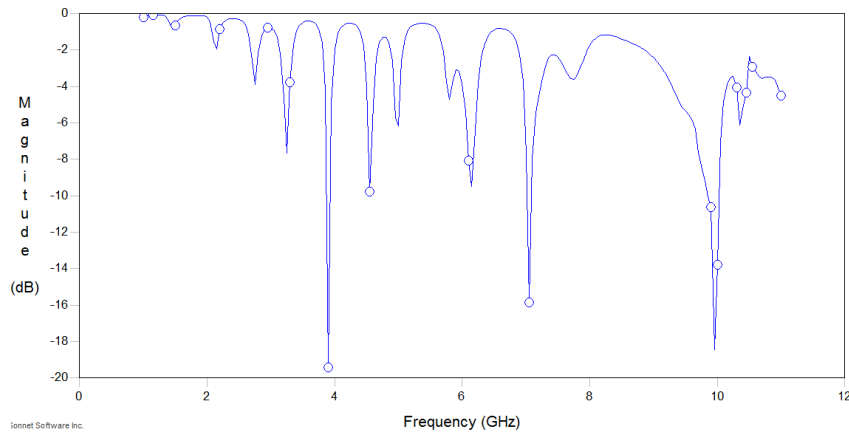


**Figura 25. Densidad de corriente antenna numero 1**



En la figura 25. Se observa la distribución de corriente en todo el espiral, también se muestra una transmisión de corriente óptima entre la línea de alimentación y la antena en espiral.

**Figura 26. Coeficiente de reflexión directa de la antena numero 1**



En la figura 26 se puede observar que tiene un buen acople de impedancias entre la línea de alimentación y la antena, ya que su coeficiente de reflexión es de -19 dB para 4GHz, -15dB y -18dB para 10GHz.

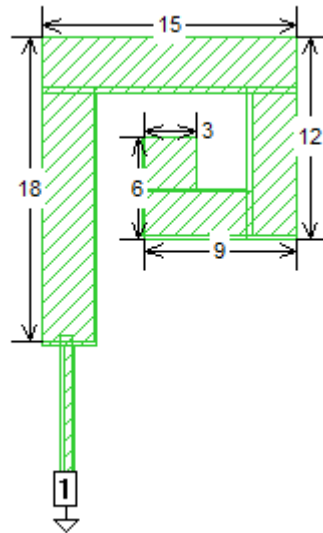
**3.3.2 Antena número 2.** La antena número 2 es una antena en espiral cuadrada para su construcción se utilizó el sustrato RT/Duroid 5870 mostrado en la figura 17 y las características de la antena se muestran en la tabla 2. Los resultados del diseño en el software EM sonnet se pueden ver en la figura 27 y los resultados de la construcción se pueden observar en la figura 28.

**Tabla 2. Características de la antena numero 2**

<b>Características</b>	<b>Valor</b>
Constante dieléctrica efectiva ( $\epsilon_r$ )	2.3
Grosor del sustrato (h)	3.175 mm
Ancho efectivo de la antena ( $a_e$ )	45 mm
Largo efectivo de la antena ( $l_e$ )	42 mm
Impedancia de alimentación ( $Z_c$ )	50 $\Omega$
Ancho de la línea (W)	3 mm
Ancho del espacio (S)	3 mm
Numero de vueltas	1
Frecuencia de trabajo (fr)	5 GHz
Frecuencia de trabajo (fr)	10.15GHz
Frecuencia de trabajo (fr)	10 GHz
Ancho línea de alimentación	9 mm
Largo línea de alimentación	0.75 mm

FUENTE: [Autor]

**Figura 27. Diseño de la antena número 2 en el software EM sonnet**



**Figura 28. Construcción antena numero 2.**

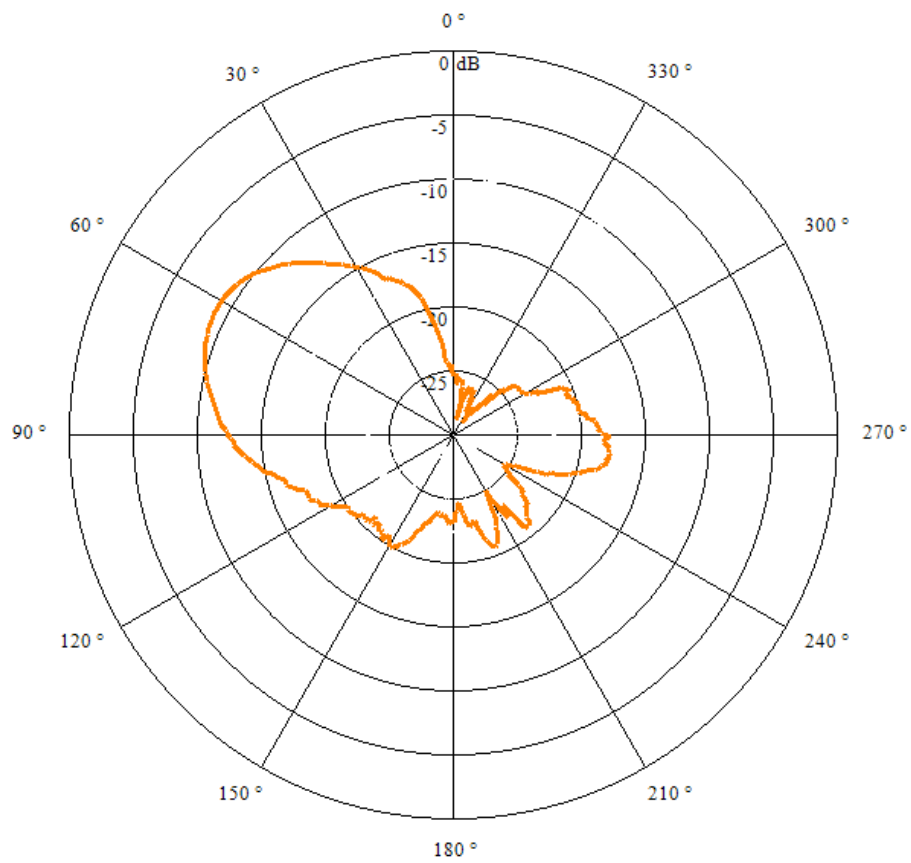


FUENTE: [Autor]

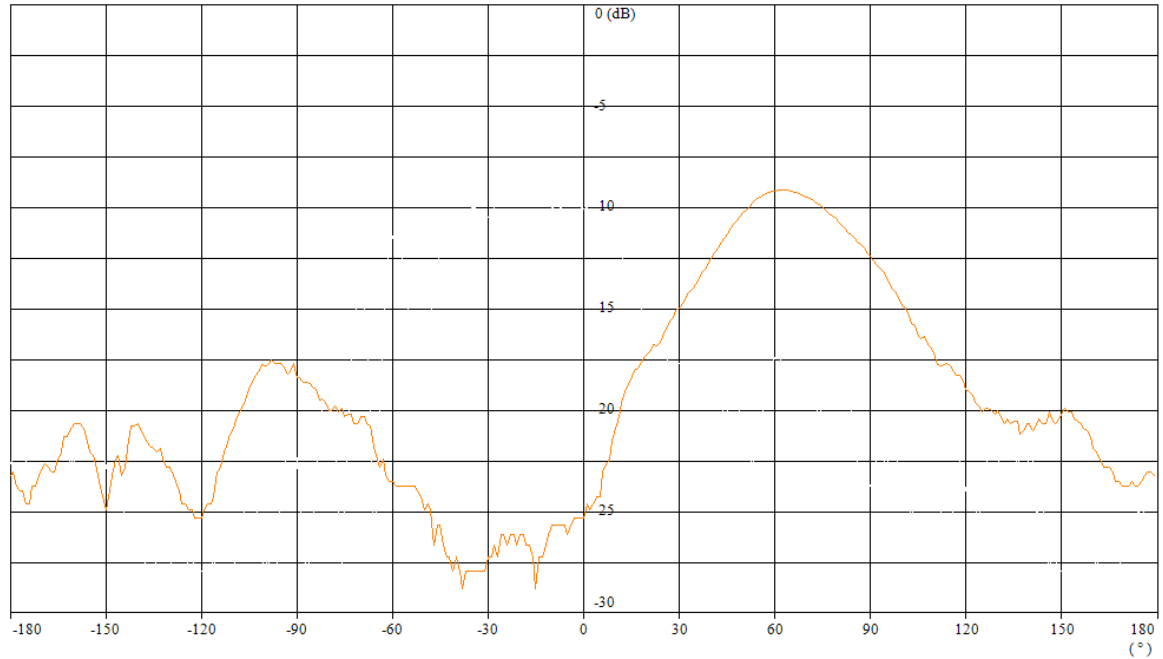
Para realizar las pruebas a la antena ya construida se utilizó el “Sistema didáctico y de medición en antenas” lab-volt, modelo 8092 [24].

Los resultados obtenidos se pueden observar en las figura 29 y 30 el cual muestra el patrón de radiación del campo eléctrico en coordenadas polares y cartesianas.

**Figura 29. Patrón de radiación en 2D Lab Volt antena número 2**



**Figura 30. Patrón de radiación en el plano cartesiano Lab Volt antenna número 2**

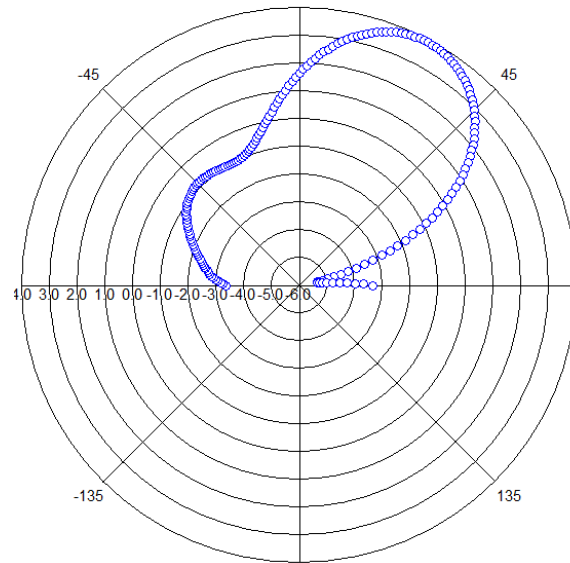


Para realizar las pruebas en el diseño de la antena se empleó el software de “simulación de antenas” Em sonnet [19].

Los resultados obtenidos por este software fueron el patrón de radiación el cual se puede ver en la figura 31, el cual se analiza en el siguiente capítulo de este proyecto. El simulador también arrojó como resultado parámetros importantes como la carta de Smith, Densidad de corriente y coeficiente de reflexión los cuales se pueden observar en las figuras 32, figura 33 y figura 34 respectivamente.

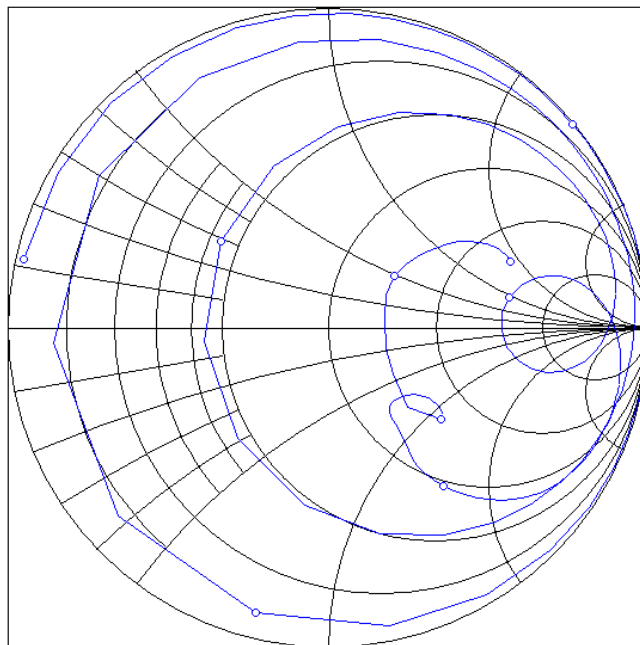


**Figura 31. Patron de radiacion Em Sonnet antenna numero 2**



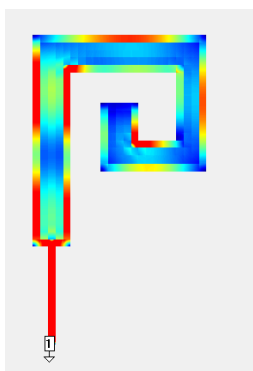
FUENTE:[Autor]

**Figura 32. Carta smith de la antenna numero 2**



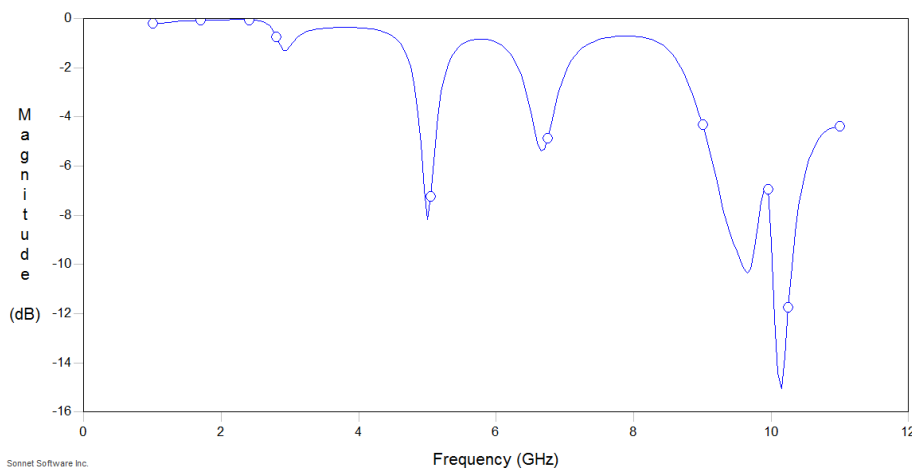
FUENTE:[Autor]

**Figura 33. Densidad de corriente antenna numero 2**



En la figura 3 se observa la distribución de corriente en todo el espiral también se nota la buena transmisión de corriente entre la línea de alimentación y la antena en espiral.

**Figura 34. Coeficiente de reflexión directa de la antena numero 2**



En la figura 34 se observa que hay un buen acople de impedancias entre la línea de alimentación, ya que su coeficiente de reflexión es de -8 dB para 5 GHz y -15dB para 10GHz.

**3.3.3 Antena número 3.** La antena número 3 es una antena en espiral cuadrada. Para su construcción se utilizó el sustrato RT/Duroid 5870 mostrado en la figura 17 y las características de la antena se muestran en la tabla 3. Los resultados del diseño en el software EM sonnet se pueden ver en la figura 35 y los resultados de la construcción se puede observar en la figura 36.

**Tabla 3. Características de la antena numero 3**

<b>características</b>	<b>Valor</b>
Constante dieléctrica efectiva ( $\epsilon_r$ )	2.3
Grosor del sustrato (h)	3.175 mm
Ancho efectivo de la antena ( $a_e$ )	32 mm
Largo efectivo de la antena ( $l_e$ )	31 mm
Impedancia de alimentación ( $Z_c$ )	50 $\Omega$
Ancho de la línea (W)	0.75 mm
Ancho del espacio (S)	0.75 mm
Numero de vueltas	3.5
Frecuencia de trabajo (fr)	7 GHz
Frecuencia de trabajo (fr)	10 GHz
Frecuencia de trabajo (fr)	5GHz
Ancho línea de alimentación	9 mm
Largo línea de alimentación	0.75 mm

FUENTE: [Autor]

Figura 35. Diseño de la antena número 3 en el software EM sonnet

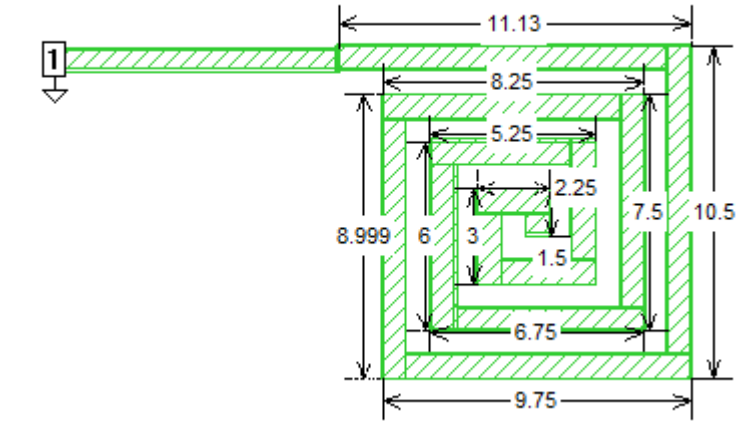


Figura 36. Construcción antena número 3.

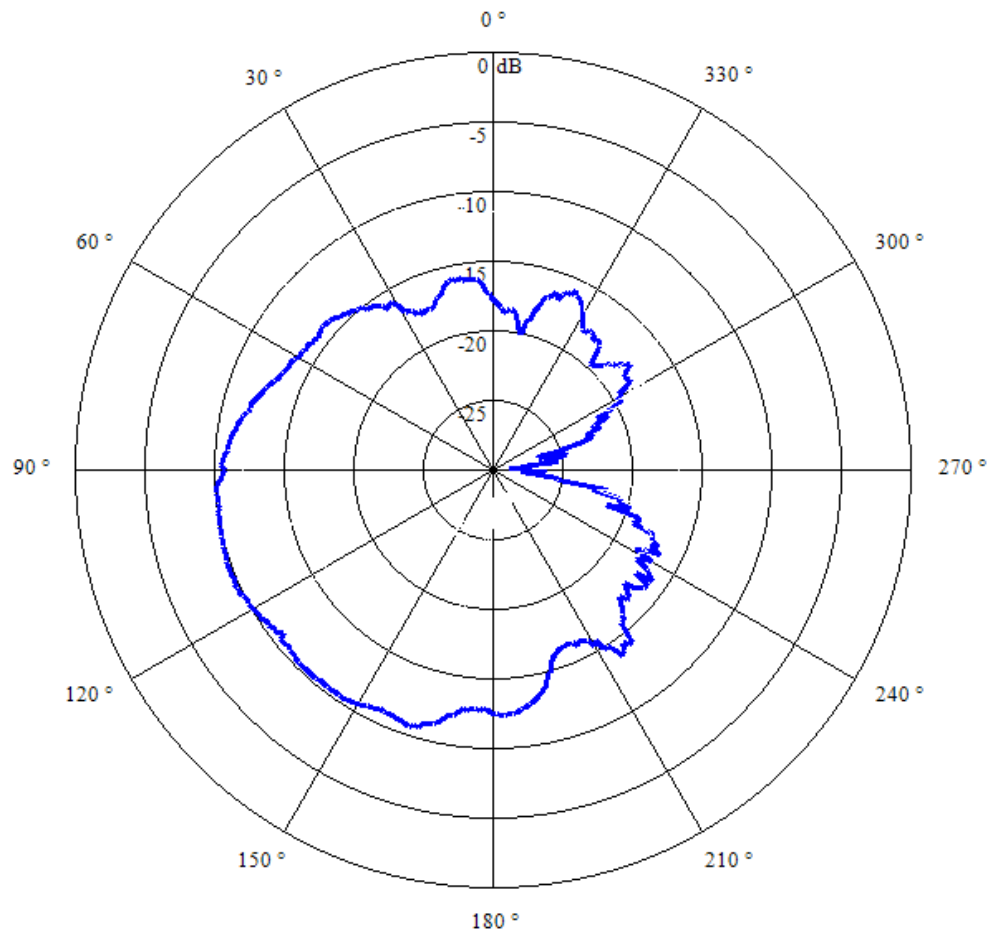


FUENTE: [Auto].

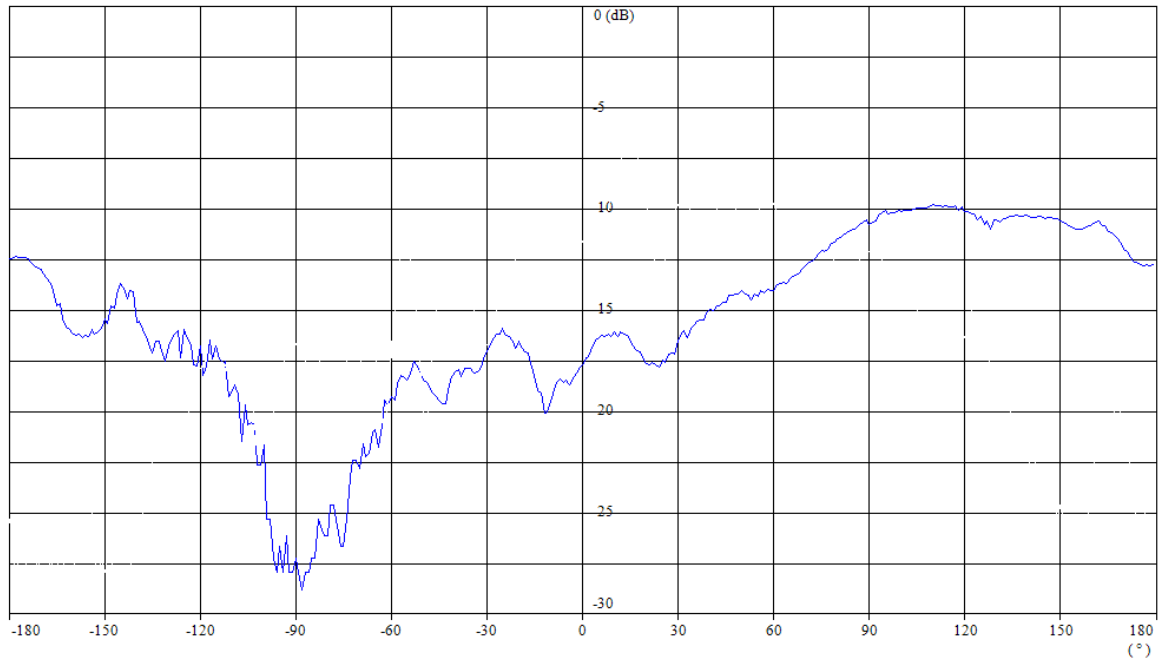
Para realizar las pruebas a la antena ya construida se utilizó el “Sistema didáctico y de medición en antenas” lab-volt, modelo 8092 [24].

Los resultados obtenidos se pueden observar en las figura 37 y 38 el cual muestra el patrón de radiación del campo eléctrico en coordenadas polares y cartesianas.

**Figura 37. Patrón de radiación en 2D Lab Volt antena número 3**



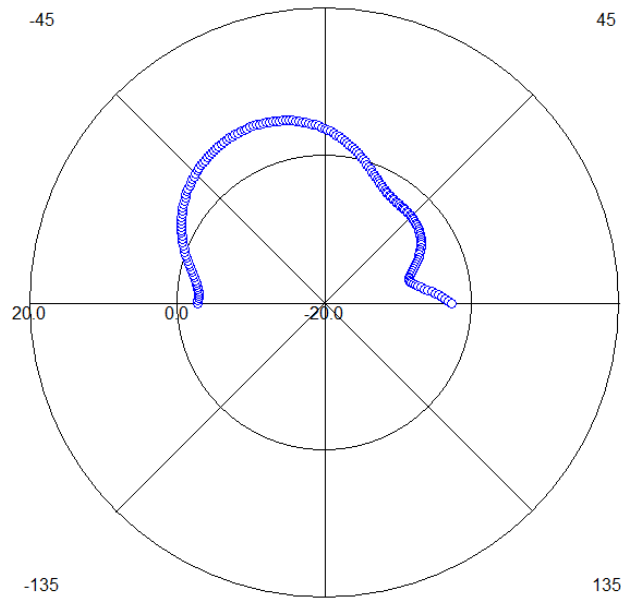
**Figura 38. Patrón de radiación en el plano cartesiano Lab Volt antenna número 3**



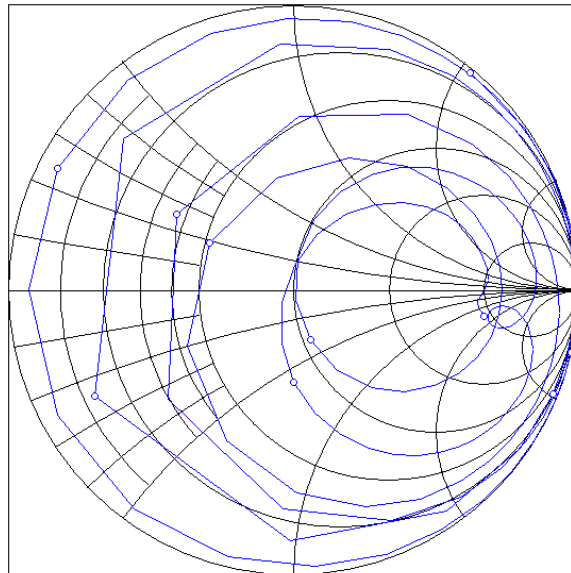
Para realizar las pruebas en el diseño de la antena se utilizó el software de “simulación de antenas” Em sonnet [19].

Los resultados obtenidos por este software fueron el patrón de radiación el cual se puede ver en la figura 39. El simulador también arrojó como resultado parámetros importantes como la Carta de Smith, Densidad de corriente y coeficiente de reflexión los cuales se pueden observar en las figuras 40, figura 41 y figura 42 respectivamente.

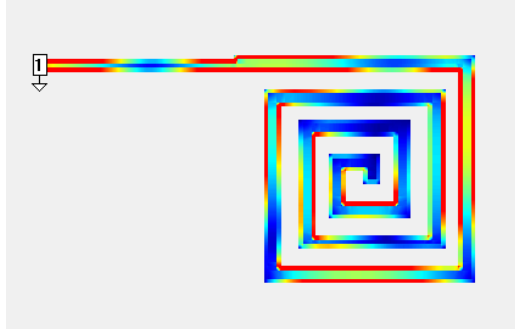
**Figura 39. Patrón de radiación Em Sonnet antenna número 3**



**Figura 40. Carta smith de la antenna número 3**

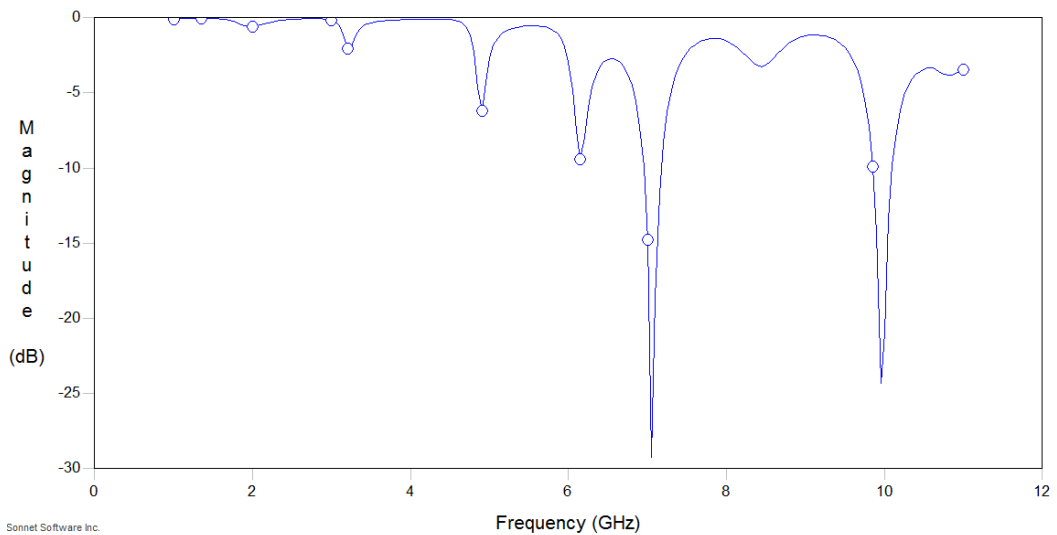


**Figura 41. Densidad de corriente antenna numero 3**



En la figura 41. Se puede observar la distribución de corriente en todo el espiral también se puede ver la buena transmisión de corriente entre la línea de alimentación y la antena en todas sus vueltas.

**Figura 42. Coeficiente de reflexión directa de la antena número 3**



En la figura 42. se puede observar un buen acople de impedancias entre la línea de alimentación y la antena, ya que su coeficiente de reflexión es de -29 dB para 7 GHz y -24dB para 10GHz.



#### IV. ANALISIS DE RESULTADOS

El análisis de resultados consiste en la comparación del patrón de radiación grado a grado desde 0 a 180 grados, ya que el simulador de antenas Em Bonnet supone un plano de tierra infinito y por lo tanto no muestra el patrón de radiación desde los 181 a 359 grados como se puede observar en las figuras 23, 31, 39.

La comparación se realiza entre los resultados obtenidos teóricamente con el simulador de antenas Em Sonnet y los obtenidos prácticamente con el software LVDAM-ANT utilizando las antenas ya construidas mencionadas anteriormente, cada antena con características de diseño diferentes como se observa en las tablas 1, 2, 3 y posteriormente se analizaran los resultado.

##### 4.1 ANTENA 1.

La antena número uno es una antena en forma en espiral cuadrada construida sobre el sustrato de referencia RT/Duroid 5870 producido por la empresa americana ROGERS Corporation. Esta antena en espiral cuenta con 3 vueltas la cual tiene 3 frecuencias de funcionamiento a saber 4, 7 y 10 GHz como se observa en la tabla 1. Para esta antena se analizó en la frecuencia de 10Ghz la cual es la frecuencia de funcionamiento de los equipos Lab-volt y los resultados se pueden ver a continuación en la tabla 4.

**Tabla 4. Error antena 1**

Grados	Normalizado Em Sonnet	Normalizado Lab-Volt	Error%
0	0.27059	0.504421977	86.4175685
1	0.27689	0.504421977	82.1741866
2	0.28334	0.486849805	71.8255881
3	0.28994	0.484340739	67.0489842
4	0.29172	0.496889706	70.3337297
5	0.29266	0.501911331	71.4982655
6	0.32771	0.519490967	58.5226176
7	0.36322	0.54964844	51.3285623
8	0.39888	0.574800318	44.1029365

9	0.43444	0.564736685	29.993215
10	0.46964	0.562222213	19.7134663
11	0.50429	0.574800318	13.9810793
12	0.53823	0.599969261	11.4699684
13	0.57133	0.627678134	9.8634265
14	0.60347	0.640280094	6.10037161
15	0.63458	0.662974768	4.47506043
16	0.66460	0.670543566	0.89438002
17	0.69349	0.693258176	0.0336434
18	0.72122	0.698307972	3.17720218
19	0.74777	0.710935171	4.92607315
20	0.77312	0.769079083	0.52259124
21	0.79725	0.789325258	0.99443717
22	0.82016	0.771610271	5.919477
23	0.84182	0.81718051	2.92717826
24	0.86222	0.845056993	1.99106004
25	0.88135	0.86027044	2.39127723
26	0.89916	0.862807676	4.04324431
27	0.91565	0.875489617	4.3859296
28	0.93077	0.903408141	2.94018862
29	0.94451	0.931345885	1.39338374
30	0.95681	0.966929922	1.05764979
31	0.96765	0.974558694	0.71397798
32	0.97699	0.969473629	0.7692479
33	0.98479	0.974558694	1.03913061

34	0.99102	0.989821767	0.12133266
35	0.99565	0.987276955	0.84136996
36	0.99865	0.997700064	0.09550428
37	1.00000	1	0
38	0.99968	0.997468065	0.22083666
39	0.99767	0.992366283	0.53169737
40	0.99398	0.974558694	1.95422404
41	0.98862	0.949135025	3.99399284
42	0.98160	0.933886291	4.8607236
43	0.97295	0.921185302	5.32011429
44	0.96270	0.8983302	6.6867755
45	0.95092	0.872953278	8.19920336
46	0.93766	0.862807676	7.98314492
47	0.92300	0.865344425	6.24703748
48	0.90704	0.850127373	6.27431763
49	0.88986	0.842521515	5.32014503
50	0.87160	0.845056993	3.04499591
51	0.85237	0.842521515	1.15490298
52	0.83231	0.837452146	0.61817688
53	0.81157	0.839987842	3.5015098
54	0.79031	0.845056993	6.92666732
55	0.76871	0.852664143	10.9221342
56	0.74692	0.809582291	8.39004385
57	0.72512	0.784263494	8.15569739
58	0.70351	0.779201895	10.758698

59	0.68226	0.769079083	12.7245167
60	0.66156	0.741260742	12.0472861
61	0.64158	0.710935171	10.8097377
62	0.62250	0.693258176	11.3662787
63	0.60449	0.673066538	11.3442663
64	0.58771	0.627678134	6.80125303
65	0.57230	0.610042371	6.59553116
66	0.55840	0.57731654	3.38850203
67	0.54612	0.552162617	1.10586102
68	0.53558	0.522003001	2.53567778
69	0.52686	0.511955249	2.82934146
70	0.52002	0.486849805	6.37943258
71	0.51512	0.469286434	8.89714315
72	0.51217	0.454238562	11.3102213
73	0.51117	0.441703662	13.5903757
74	0.51213	0.441703662	13.7509526
75	0.51498	0.446717535	13.2558687
76	0.51969	0.451731109	13.0764203
77	0.52616	0.464270405	11.7629071
78	0.53431	0.4793216	10.2917615
79	0.54402	0.494380122	9.12519206
80	0.55517	0.514467566	7.331531
81	0.56761	0.552162617	2.72179395
82	0.58120	0.572284522	1.53356987
83	0.59577	0.589899462	0.98500018

84	0.61116	0.617599591	1.05422925
85	0.62719	0.637759593	1.68446734
86	0.64371	0.650364759	1.03361212
87	0.66054	0.668020823	1.13301809
88	0.67751	0.673066538	0.65515992
89	0.69446	0.675589669	2.71674505
90	0.71124	0.685685554	3.59258059
91	0.72771	0.688210034	5.42740411
92	0.74373	0.685685554	7.80442017
93	0.75919	0.685685554	9.68191016
94	0.77398	0.683160897	11.7341878
95	0.78801	0.680637699	13.6261701
96	0.80121	0.673066538	15.9939093
97	0.81351	0.670543566	17.5744693
98	0.82488	0.665498376	19.3215433
99	0.83527	0.673066538	19.4193387
100	0.84468	0.668020823	20.9141733
101	0.85310	0.652886968	23.4687484
102	0.86054	0.650364759	24.4237949
103	0.86703	0.665498376	23.2438671
104	0.87259	0.662974768	24.0225443
105	0.87728	0.662974768	24.4279814
106	0.88112	0.675589669	23.3261274
107	0.88418	0.683160897	22.735428
108	0.88652	0.675589669	23.7931283

109	0.88819	0.670543566	24.5045566
110	0.88925	0.680637699	23.4597473
111	0.88977	0.675589669	24.0715889
112	0.88980	0.678114452	23.7903514
113	0.88940	0.683160897	23.1884109
114	0.88861	0.680637699	23.4046489
115	0.88750	0.670543566	24.4456894
116	0.88609	0.65793047	25.749217
117	0.88443	0.642801675	27.3204247
118	0.88255	0.632717724	28.3080022
119	0.88047	0.610042371	30.7140133
120	0.87821	0.599969261	31.682852
121	0.87579	0.587382495	32.9309704
122	0.87321	0.564736685	35.3260863
123	0.87047	0.552162617	36.5672117
124	0.86757	0.547134373	36.9350646
125	0.86451	0.542106981	37.2933077
126	0.86128	0.544620519	36.7658378
127	0.85785	0.554676798	35.3410725
128	0.85422	0.557192164	34.771817
129	0.85037	0.584865495	31.2219894
130	0.84627	0.592416301	29.9970015
131	0.84192	0.645322786	23.3508742
132	0.83728	0.668020823	20.2156792
133	0.83235	0.693258176	16.7107436

134	0.82710	0.726094254	12.2120895
135	0.82152	0.76402048	6.99897224
136	0.81559	0.769079083	5.70256665
137	0.80930	0.771610271	4.65688497
138	0.80264	0.741260742	7.64683661
139	0.79560	0.718513612	9.68860785
140	0.78817	0.708410517	10.1193302
141	0.78035	0.683160897	12.4544112
142	0.77214	0.655408395	15.1174527
143	0.76353	0.645322786	15.481391
144	0.75452	0.627678134	16.8114662
145	0.74513	0.544620519	26.9092255
146	0.73534	0.519490967	29.3538663
147	0.72517	0.449225085	38.0522402
148	0.71461	0.376585852	47.3017032
149	0.70366	0.314053762	55.368755
150	0.69234	0.264052936	61.8606595
151	0.68063	0.234043185	65.61368
152	0.66854	0.2090143	68.7354993
153	0.65605	0.181441238	72.3435152
154	0.64317	0.173910178	72.9606601
155	0.62989	0.176421293	71.9917209
156	0.61619	0.166373058	72.9995086
157	0.60204	0.161344067	73.2006244
158	0.58745	0.153794215	73.819847

159	0.57237	0.156311885	72.6902553
160	0.55678	0.176421293	68.313989
161	0.54066	0.191474525	64.5847524
162	0.52396	0.188967014	63.9350528
163	0.50667	0.22403455	55.7830065
164	0.48875	0.24905026	49.043204
165	0.47017	0.264052936	43.8385088
166	0.45091	0.276553399	38.6672909
167	0.43095	0.271553247	36.9877624
168	0.41030	0.256551761	37.4727888
169	0.38897	0.226536924	41.7602241
170	0.36699	0.183950512	49.8759974
171	0.34441	0.163858887	52.4235796
172	0.32132	0.14118937	56.0589088
173	0.29781	0.131082284	55.9841143
174	0.27402	0.120949478	55.8613958
175	0.25012	0.118411532	52.658918
176	0.22630	0.133611242	40.9592429
177	0.20277	0.15127564	25.396044
178	0.17976	0.183950512	2.33247947
179	0.15750	0.221531761	40.6553051
180	0.13624	0.24404842	79.1357049

Para resumir el análisis se especifican los datos como error mínimo, el error máximo, error promedio y la desviación estándar los cuales se presentaran a continuación en la tabla 5.



**Tabla 5. Datos específicos Error antena 1**

Error Mínimo %	Error Máximo %	Error Promedio %	Desviación Estándar
0	86,4175	22,9245	0.228

Según los datos de la tabla 5 se puede observar un error mínimo del 0% y un error máximo de 90.84%, error promedio de 22,9245. Estos datos se obtienen de la comparación del patrón de radiación obtenido teóricamente por el simulador de antenas Em sonnet, Y el patrón de radiación obtenido prácticamente con la construcción de la antena en el sustrato RT/Duroid 5870 y probada en el medidor de antenas LVDAM-ANT con el equipo de Lab-volt

En el patrón de radiación de las figuras 21 y 23 se puede observar que son dos graficas no del todo simétricas, ya que el simulador Em Sonnet además de considerar el plano de tierra infinito no incluye factores de interferencia el cual no tiene presente ningún tipo de error, bajo estas condiciones el patrón de radiación del simulador se puede considerar como ideal. Y el patrón de radiación obtenido prácticamente con la antena construida con el sustrato RT/Duroid 5870 y probada en el medidor de antenas LVDAM-ANT en el equipo de Lab-volt incluye factores de error como el ruido generado por el cable de alimentación, marcos metálicos cerca del lugar de pruebas, teléfonos celulares que causan interferencias entre otros.

A pesar de las diferencias en la geometría del patrón de radiación se obtiene un promedio de error muy bueno del 22,9245%. Además en la figura 21 se puede observar una magnitud de radiación de -10dB en 37 grados aproximadamente.

Otro dato específico es la desviación estándar, la cual muestra que tan alejado están las muestras tomadas grado a grado del promedio del total de valor obtenidos. El cual tiene un valor del 0,228 el cual es aceptable ya que no están muy dispersas del valor de magnitud promedio.

#### **4.2 ANTENA 2.**

La antena número dos es una antena en forma en espiral cuadrada construida sobre el sustrato de referencia RT/Duroid 5870 producido por la empresa americana ROGERS Corporation. Esta antena en espiral cuenta con 1 vueltas la cual tiene 2 frecuencias de funcionamiento a saber 5 y 10 GHz como se observa en la tabla 2. Para esta antena se analizó en la frecuencia de 10GHz la cual es la frecuencia de funcionamiento de los equipos Lab-volt y los resultados se pueden ver a continuación en la tabla 6.

**Tabla 6. Error Antena 2**

Grados	Normalizado Em Sonnet	Normalizado Lab-volt	Error %
0	0.187845845	0.048317327	74.278203
1	0.175206468	0.045084671	74.2676905
2	0.163520898	0.04174831	74.4691287
3	0.152934154	0.045084671	70.5202079
4	0.143585606	0.048393151	66.2966558
5	0.135603764	0.048393151	64.3128262
6	0.129101864	0.051329366	60.2411892
7	0.124174633	0.044798338	63.9231163
8	0.12089624	0.058917716	51.2658825
9	0.119319464	0.058686053	50.8160272
10	0.119476069	0.06652102	44.3227244
11	0.121377831	0.076243864	37.1846873
12	0.125018437	0.089760012	28.2025804
13	0.13037555	0.101281914	22.3152547
14	0.137413292	0.110851073	19.3301673
15	0.146084462	0.120397342	17.5837451
16	0.156332832	0.128021497	18.109654
17	0.168095057	0.144548603	14.0078206
18	0.181302455	0.154979016	14.5190744
19	0.19588234	0.167118643	14.6841708
20	0.211759257	0.182008261	14.0494429
21	0.2288558	0.204243338	10.7545721
22	0.247093308	0.221221789	10.470344

23	0.266392286	0.239885446	9.95030297
24	0.286672817	0.26241273	8.46263935
25	0.30785464	0.277381122	9.89867119
26	0.329857356	0.303017632	8.13676695
27	0.35260037	0.324930815	7.84728477
28	0.376003003	0.349317948	7.09703259
29	0.399984345	0.37735395	5.65782031
30	0.424463301	0.397622453	6.32347907
31	0.449358514	0.420584148	6.40343185
32	0.474588342	0.448302128	5.53874005
33	0.500070862	0.480344586	3.94469618
34	0.525723846	0.515610675	1.92366599
35	0.551464842	0.527415513	4.36099042
36	0.577211206	0.537422568	6.89325458
37	0.602880154	0.563698527	6.499074
38	0.628388965	0.588474841	6.35181817
39	0.653655058	0.624062074	4.52730895
40	0.678596193	0.647811868	4.53647186
41	0.703130647	0.65028824	7.51530429
42	0.727177455	0.669597618	7.91826493
43	0.750656651	0.692918091	7.69174035
44	0.773489527	0.726696218	6.0496371
45	0.795598911	0.762925094	4.1068202
46	0.816909576	0.770149256	5.72405095
47	0.837348289	0.779628488	6.89316518

48	0.85684448	0.794296959	7.29975179
49	0.875330239	0.814718916	6.92439497
50	0.89274096	0.826720868	7.39521261
51	0.909015407	0.840246864	7.56516805
52	0.924096227	0.874651207	5.35063536
53	0.937930252	0.888392329	5.28162121
54	0.950468749	0.897210402	5.60337697
55	0.961667799	0.920459533	4.28508324
56	0.971488585	0.937905538	3.45686486
57	0.979897629	0.959239602	2.10818225
58	0.986867037	0.972821589	1.42323609
59	0.992374861	0.988350076	0.40557101
60	0.996405066	0.990291383	0.61357409
61	0.998947943	0.998058046	0.08908346
62	1	1	0
63	0.999564372	0.999539589	0.00247939
64	0.997650554	0.998058046	0.04084515
65	0.994274683	0.988350076	0.59587221
66	0.989459225	0.980585123	0.89686387
67	0.983233378	0.979864672	0.34261503
68	0.975632439	0.977877154	0.23007792
69	0.966698093	0.959752164	0.71852105
70	0.956477889	0.954812729	0.17409296
71	0.945025197	0.951665225	0.70262978
72	0.932398948	0.933410969	0.1085394

73	0.918663249	0.91111207	0.82197469
74	0.90388692	0.909529522	0.62425964
75	0.888143386	0.87845395	1.09097655
76	0.871509962	0.851543621	2.29100552
77	0.854067528	0.824652348	3.44412807
78	0.83590015	0.797781388	4.56020518
79	0.817094276	0.772997163	5.39682067
80	0.797738579	0.744104447	6.72327164
81	0.777923088	0.702984744	9.63313022
82	0.757738856	0.690514655	8.87168459
83	0.73727718	0.635845936	13.7575455
84	0.716629263	0.616200292	14.0140761
85	0.695885496	0.588718794	15.4000483
86	0.675134998	0.569544418	15.639921
87	0.654464965	0.551466201	15.7378576
88	0.63396019	0.527964717	16.7195788
89	0.613702605	0.506227694	17.5125396
90	0.593770709	0.494225216	16.764972
91	0.574239163	0.477100531	16.9160584
92	0.555178304	0.465210919	16.2051334
93	0.536653878	0.414746663	22.7161715
94	0.518726561	0.399504706	22.9835646
95	0.501451708	0.369048887	26.4039027
96	0.484879091	0.348130361	28.2026454
97	0.469052685	0.325328342	30.6414071

98	0.454010468	0.312034705	31.2714733
99	0.439784313	0.302892068	31.1271324
100	0.426399926	0.292975902	31.2908179
101	0.413876798	0.285972913	30.9038547
102	0.402228236	0.28272089	29.7113267
103	0.391461417	0.281270963	28.148484
104	0.38157754	0.278820627	26.9294972
105	0.372571924	0.276289831	25.842552
106	0.364434274	0.274995065	24.5419312
107	0.357148857	0.274370807	23.1774646
108	0.350694806	0.269416941	23.1762388
109	0.34504645	0.269023736	22.0326029
110	0.340173591	0.268774399	20.9890459
111	0.336041925	0.267162132	20.4973809
112	0.332613409	0.262369834	21.1186843
113	0.329846655	0.261178787	20.8181187
114	0.327697346	0.260810397	20.4111965
115	0.326118709	0.26350316	19.2002321
116	0.325061896	0.263141836	19.0486984
117	0.324476467	0.248101791	23.5378165
118	0.324310817	0.217984142	32.7854236
119	0.324512607	0.214969032	33.756339
120	0.325029204	0.217984142	32.9339828
121	0.32580809	0.220998792	32.1690287
122	0.326797281	0.214969032	34.2194552

123	0.327945702	0.199881178	39.0505268
124	0.329203561	0.19383933	41.1187019
125	0.330522694	0.19383933	41.3537002
126	0.331856917	0.181743087	45.2345039
127	0.333162279	0.163557664	50.9075082
128	0.334397363	0.162754086	51.329136
129	0.335523547	0.158039956	52.8975068
130	0.336505188	0.15243437	54.700737
131	0.337309835	0.149290406	55.7408676
132	0.337908381	0.14246786	57.8383173
133	0.33827518	0.139370193	58.7997581
134	0.338388164	0.133097501	60.6672116
135	0.338228932	0.130037586	61.5533817
136	0.337782748	0.134715603	60.117678
137	0.337038563	0.136166069	59.5992613
138	0.335989058	0.138741025	58.7066834
139	0.334630509	0.140503098	58.0124662
140	0.332962799	0.148256895	55.4734357
141	0.330989307	0.140503098	57.5505629
142	0.328716765	0.144382614	56.0768937
143	0.32615513	0.144382614	55.73192
144	0.32331742	0.124925156	61.3614521
145	0.320219543	0.128829375	59.7684221
146	0.316880047	0.111605578	64.7798658
147	0.313319918	0.111605578	64.3796735

148	0.309562285	0.109651582	64.5785075
149	0.30563219	0.111605578	63.4836967
150	0.301556208	0.111921855	62.8852426
151	0.29736214	0.109065125	63.3224578
152	0.293078671	0.110074292	62.4420667
153	0.288734922	0.113166244	60.8061807
154	0.284360032	0.114884014	59.5990994
155	0.27998273	0.11552764	58.7375837
156	0.275630761	0.117764638	57.2744939
157	0.271330399	0.120356098	55.642236
158	0.267105846	0.115923077	56.6003221
159	0.262978621	0.120425068	54.2072784
160	0.258966957	0.118499604	54.2414192
161	0.255085113	0.117764638	53.8331986
162	0.251342722	0.114687187	54.3701978
163	0.247744222	0.111605578	54.9512893
164	0.244288248	0.105428712	56.8424954
165	0.24096719	0.10233281	57.5324716
166	0.237766861	0.096124457	59.5719703
167	0.234666461	0.083629577	64.362365
168	0.231638681	0.080486659	65.2533599
169	0.22865031	0.074173009	67.5605034
170	0.225663149	0.067816582	69.9478702
171	0.222635407	0.067816582	69.5391747
172	0.219523584	0.067816582	69.1073819



173	0.216284767	0.064619843	70.1227951
174	0.212879325	0.058183106	72.6685032
175	0.209273811	0.058183106	72.1976174
176	0.205443883	0.054939778	73.2580122
177	0.201376943	0.054939778	72.7179402
178	0.197074423	0.054939778	72.1223195
179	0.192553148	0.058183106	69.7833527
180	0.187845845	0.054939778	70.7527319

Para resumir el análisis se especifican los datos como error mínimo, el error máximo, error promedio y la desviación estándar los cuales se presentaran a continuación en la tabla 7.

**Tabla 7. Datos específicos Error antena 2**

Error Máximo %	Error Mínimo %	Error Promedio %	Desviación Estándar
74,4691	0	30,9589	0.2511

Según los datos de la tabla 7 se puede observar un error mínimo de 0% y un error máximo, un error promedio de 30.9589%, el cual es un error de consideración ya que es una diferencia en la comparación del patrón de radiación obtenido teóricamente por el simulador de antenas Em sonnet.

En el patrón de radiación de las figuras 29 y 31 se observa que no son totalmente simétricos, aunque no es una buena aproximación se puede predecir el comportamiento del patrón, como se explicó en la antena anterior se cuentan con errores de simulador y errores de interferencia en el lugar de pruebas.

Esta antena presenta un error promedio mayor que la antena número uno ya que en la comparación del patrón de radiación se presenta diferencias en la parte baja del lóbulo principal, el error es aceptable. En la figura 29 se puede observar una magnitud de -9dB en 62 grados, mejor que la antena uno.

Otro dato específico es la desviación estándar, el cual nos muestra que tan alejado están las muestras tomadas grado a grado del promedio de estas. El cual tiene un valor del 0,228 el cual es aceptable ya que no están muy dispersas del valor de magnitud promedio.

### 4.3 ANTENA 3.

La antena número dos es una antena en forma en espiral cuadrada construida sobre el sustrato de referencia RT/Duroid 5870 producido por la empresa americana ROGERS Corporation. Esta antena en espiral cuenta con 3.5 vueltas la cual tiene 3 frecuencias de funcionamiento a saber 5, 7 y 10 GHz como se observa en la tabla 3. Para esta antena se analizó en la frecuencia de 10GHz la cual es la frecuencia de funcionamiento de los equipos Lab-volt y los resultados se pueden ver a continuación en la tabla 8.

**Tabla 8. Error Antena 3**

Grados	Normalización Em Sonnet	Normalización Lab-volt	Error %
0	0.203828049	0.134885293	33.8239786
1	0.190755078	0.128255382	32.7643678
2	0.177996403	0.139300476	21.7397244
3	0.165724553	0.145917574	11.9517471
4	0.154103722	0.154730383	0.40664899
5	0.143283743	0.161333888	12.5974832
6	0.133395072	0.174527794	30.8352634
7	0.124545227	0.176725248	41.8964443
8	0.116816679	0.196489614	68.2033895
9	0.110266263	0.199756353	81.1581775
10	0.10492586	0.203850415	94.2804331
11	0.100804084	0.20521051	103.573608
12	0.097888746	0.203210713	107.593539
13	0.096149718	0.207210901	115.508589

14	0.095541995	0.205563782	115.155421
15	0.096008677	0.208357242	117.019177
16	0.097483826	0.212787739	118.280044
17	0.099895004	0.213210506	113.434604
18	0.10316549	0.209210559	102.791222
19	0.107216155	0.223552844	108.50668
20	0.111966965	0.211849089	89.2067792
21	0.117338269	0.198684323	69.3261068
22	0.12325172	0.189903776	54.0779931
23	0.129631052	0.187708353	44.8019975
24	0.136402625	0.176725248	29.5614718
25	0.143495829	0.163534203	13.9644301
26	0.150843419	0.161333888	6.95454217
27	0.158381702	0.165733614	4.64189431
28	0.166050706	0.161333888	2.84058908
29	0.173794283	0.156932033	9.70241964
30	0.181560198	0.170131449	6.29474367
31	0.189300184	0.165733614	12.4493121
32	0.196969983	0.181119662	8.04707407
33	0.204529411	0.185512253	9.29800636
34	0.211942351	0.181119662	14.5429586
35	0.219176837	0.211849089	3.34330414
36	0.226205054	0.231587759	2.37956878
37	0.233003378	0.238165911	2.21564724
38	0.239552396	0.218429655	8.81758699

39	0.245836935	0.244743744	0.44468107
40	0.251846069	0.255706401	1.53281402
41	0.257573121	0.266669656	3.53163201
42	0.263015651	0.268862108	2.22285517
43	0.268175446	0.268862108	0.25604959
44	0.27305847	0.292985144	7.2975852
45	0.277674788	0.301759256	8.67362426
46	0.28203853	0.299565365	6.21434054
47	0.286167722	0.317117055	10.8151029
48	0.290084228	0.314922434	8.56241206
49	0.293813533	0.330284809	12.4130691
50	0.297384605	0.330284809	11.0631835
51	0.300829639	0.35663306	18.5498413
52	0.304183868	0.354436631	16.5205221
53	0.307485232	0.363223217	18.1270444
54	0.310774148	0.363223217	16.8769083
55	0.314093106	0.376406921	19.8392814
56	0.317486382	0.363223217	14.40592
57	0.320999615	0.354436631	10.4165283
58	0.324679429	0.336870204	3.75471147
59	0.328573004	0.3610261	9.87698197
60	0.332727617	0.352240752	5.86459734
61	0.337190221	0.37420932	10.9786989
62	0.34200696	0.367617011	7.48816678
63	0.347222708	0.37860435	9.03790033

64	0.352880619	0.37420932	6.04416896
65	0.359021588	0.37420932	4.23031157
66	0.365683885	0.400589535	9.5453073
67	0.372902698	0.409388463	9.78425877
68	0.380709618	0.411587901	8.11071784
69	0.38913241	0.404988415	4.07470678
70	0.398194449	0.42919297	7.78476992
71	0.407914545	0.440201583	7.91514758
72	0.41830656	0.444606287	6.2871899
73	0.429379189	0.457822993	6.62440213
74	0.441135753	0.475455198	7.77979222
75	0.453574058	0.499715246	10.1728015
76	0.466686236	0.515164111	10.3876805
77	0.480458741	0.52620334	9.52102533
78	0.494872361	0.539456711	9.00926239
79	0.509902264	0.568191327	11.4314187
80	0.525518076	0.590313343	12.3297885
81	0.541684145	0.581462351	7.34343188
82	0.558359684	0.596953634	6.9120229
83	0.575499066	0.645687829	12.1961558
84	0.593052093	0.647905401	9.24932365
85	0.610964449	0.676741173	10.7660478
86	0.629178067	0.687838689	9.32337358
87	0.647631457	0.714487442	10.3231529
88	0.666260427	0.725597203	8.90594329

89	0.68499808	0.743381245	8.52311373
90	0.703775879	0.756725903	7.52370533
91	0.722523784	0.763399023	5.65728628
92	0.741170715	0.792334561	6.90311227
93	0.759645454	0.819065437	7.82206794
94	0.777876625	0.839126816	7.8740239
95	0.795793558	0.799016228	0.40496313
96	0.813326586	0.821293905	0.9795965
97	0.830407582	0.832439347	0.24467081
98	0.846970104	0.890443976	5.13286969
99	0.86295034	0.908308964	5.25622644
100	0.878286732	0.930654754	5.96251997
101	0.89292094	0.90384217	1.2230903
102	0.906797729	0.906075944	0.07959722
103	0.919865189	0.910543294	1.01339802
104	0.932075299	0.9328882	0.08721411
105	0.943383639	0.926184695	1.8231124
106	0.953749972	0.937360395	1.71843532
107	0.963137956	0.93959479	2.44442298
108	0.971515091	0.93959479	3.28562068
109	0.9788535	0.953010532	2.64012626
110	0.985128948	0.964193723	2.12512532
111	0.990321539	0.966430439	2.41245896
112	0.994415081	0.966430439	2.8141812
113	0.99739761	0.957483283	4.00184707

114	0.9992608	0.982092739	1.71807618
115	1	1	0
116	0.999614472	0.993283909	0.63330046
117	0.99810639	0.991045286	0.70745006
118	0.995481712	0.977617349	1.79454458
119	0.991749363	0.991045286	0.07099342
120	0.986921213	0.975379672	1.16944915
121	0.981012235	0.975379672	0.57415835
122	0.974039791	0.984330631	1.05651122
123	0.966024342	0.930654754	3.66135582
124	0.956988513	0.975379672	1.92177419
125	0.946957151	0.926184695	2.19360044
126	0.935957776	0.919480662	1.76045485
127	0.924019678	0.894910492	3.15027765
128	0.911174275	0.899376633	1.29477337
129	0.897455049	0.841357557	6.25072993
130	0.88289716	0.872586722	1.1677961
131	0.867537697	0.801243649	7.64163311
132	0.851415486	0.823522748	3.27604307
133	0.834570743	0.752276681	9.86064544
134	0.817045652	0.839126816	2.70256187
135	0.798883698	0.834667686	4.47924871
136	0.780129946	0.812380705	4.13402401
137	0.760830908	0.852506306	12.0493788
138	0.741034502	0.848046371	14.4408753

139	0.720790127	0.870355344	20.7501756
140	0.700148317	0.879282845	25.5852259
141	0.67916123	0.883746283	30.1231937
142	0.657882129	0.879282845	33.6535538
143	0.636365528	0.879282845	38.1726077
144	0.614667312	0.881514783	43.4133174
145	0.592844478	0.879282845	48.3159374
146	0.570955221	0.859198678	50.4844242
147	0.549059003	0.861429222	56.8919219
148	0.527216349	0.854904494	62.1543975
149	0.505488796	0.850543637	68.26162
150	0.483939121	0.85027733	75.6992344
151	0.462631003	0.846181644	82.9063853
152	0.441629144	0.846181644	91.6045747
153	0.420999124	0.828742479	96.8513548
154	0.400807368	0.826562313	106.224331
155	0.381121009	0.81131144	112.875024
156	0.362007653	0.78220142	116.073172
157	0.343535374	0.758800485	120.879869
158	0.325772249	0.71043541	118.077326
159	0.308786164	0.698257485	126.129784
160	0.292644337	0.661018478	125.877761
161	0.277412772	0.548199456	97.6114696
162	0.263155596	0.535720913	103.575725
163	0.249934228	0.487287869	94.966441



164	0.237806375	0.492905427	107.271747
165	0.22682484	0.501334509	121.022754
166	0.21703616	0.410505141	89.1413581
167	0.208479049	0.413856328	98.5121911
168	0.201182739	0.395992171	96.8320805
169	0.195165212	0.395992171	102.901003
170	0.190431473	0.370344245	94.476385
171	0.186971967	0.364773769	95.095433
172	0.184761303	0.354751794	92.0054619
173	0.183757434	0.341398493	85.7875822
174	0.183901536	0.320277625	74.1571235
175	0.185118664	0.292375246	57.939367
176	0.187319369	0.291421507	55.5746788
177	0.190402264	0.273691053	43.7435919
178	0.194257456	0.241992887	24.573281
179	0.198770723	0.260406368	31.0084122
180	0.203828049	0.252662972	23.9588827

Para resumir el análisis se especifican los datos como error mínimo, el error máximo, error promedio y la desviación estándar los cuales se presentaran a continuación en la tabla 9.

**Tabla 9. Datos específicos Error antena 3**

Error Mínimo %	Error Máximo %	Error Promedio %	Desviación Estándar
0	126,1297	31,4445	0,3933

Según los datos de la tabla 9 se puede observar un error mínimo de 0% y un error máximo de 126,1297% el cual es un error de consideración ya que es una diferencia en la comparación del patrón de radiación obtenido teóricamente por el simulador de antenas Em sonnet. El simulador Em Sonnet además de considerar el plano de tierra infinito no incluye factores de interferencia el cual no tiene presente ningún tipo de error, bajo estas condiciones el patrón de radiación del simulador se puede considerar como ideal. Y el patrón de radiación obtenido prácticamente con la antena construida con el sustrato RT/Duroid 5870 y probada en el medidor de antenas LVDAM-ANT en el equipo de Lab-volt incluye factores de error como el ruido generado por el cable de alimentación, marcos metálicos cerca del lugar de pruebas, teléfonos celulares que cusan interferencias entre otros.

En el patrón de radiación de las figuras 37 y 39 se observa que no son simétricos, aunque no es una buena aproximación se puede predecir el comportamiento del patrón.

A pesar de las diferencias en los patrones de radiación en algunos puntos se obtiene un promedio de error considerable, esta antena presenta un error promedio mayor que la antena número uno y que la antena dos. La comparación del patrón de radiación presenta algunas diferencias en la parte externas de lóbulo principal, es ahí donde se presenta la mayor diferencia y por ende el mayor error atendiendo a lo anterior el error sigue siendo aceptable. En la figura 37 se observa la magnitud máxima de radiación en -10dB en 115 grados aproximadamente.

#### 4.4 Análisis antenas diseñadas

Para resumir el análisis general de las antenas diseñadas y construidas anteriormente se especifican los datos de error mínimo, error máximo, error promedio y desviación obtenidos anteriormente en el análisis de cada una de las antenas en espiral cuadradas los cuales se presentan a continuación en la tabla 10.

**Tabla 10 Análisis de las antenas construidas**

Antena	% Error Mínimo	% Error Máximo	% Error Promedio	Desviación Estándar
1	0	86,4175	22,9245	0.228
2	0	74,4691	30,9589	0.2511
3	0	126,1297	31,4445	0,3933

En la tabla 10, se puede observar el error mínimo, el error máximo, error promedio y desviación estándar, que son los valores obtenidos de la comparación del patrón de radiación en el campo eléctrico de las tres antenas. Los errores máximos son de consideración. Estos errores máximos están presentes en las partes externas de los lóbulos principales de cada una de las antenas en espiral sin importar la geometría que éstas tengan. Las antenas construidas presentan una simetría aceptable basada en el error promedio obtenido por cada una de las antenas ya que dicho error es relativamente bajo como se observa en la tabla 10. Las tres antenas presentan magnitudes máximas de radiación que están en el rango de -9dB a 12dB el cual se considera un buen rango de trabajo.

En la tabla 10 se observa que para las tres antenas en espiral utilizadas se obtienen valores de patrón de radiación cercanos a pesar de las diferentes geometrías de las antenas. El error promedio tiene un rango del 20% al 31% un rango cercano y la desviación estándar tiene un rango de 0,2 a 0,4 se considera un buen rango para la precisión de las medidas.

#### 4.5 Análisis potencia mitad

La potencia mitad se halla tomando el valor de la magnitud máxima de radiación descrita anteriormente en las tablas 4, 6, 8 para cada una de las antenas y se hace un barrido hacia la derecha hasta encontrar 0 grados y hacia la izquierda hasta encontrar 180. Se localizan la magnitud de patrón de radiación que es igual a -3dB los cuales equivalen a 0.5 en la tabla de magnitud, las cuales se pueden observar en las tablas 11, 12, 13.

**Tabla 11. Error potencia mitad antena 1**

Magnitud	Error %
0.50429	13.9810793
0.53823	11.4699684
0.57133	9.8634265
0.60347	6.10037161
0.63458	4.47506043

0.66460	0.89438002
0.69349	0.0336434
0.72122	3.17720218
0.74777	4.92607315
0.77312	0.52259124
0.79725	0.99443717
0.82016	5.919477
0.84182	2.92717826
0.86222	1.99106004
0.88135	2.39127723
0.89916	4.04324431
0.91565	4.3859296
0.93077	2.94018862
0.94451	1.39338374
0.95681	1.05764979
0.96765	0.71397798
0.97699	0.7692479
0.98479	1.03913061
0.99102	0.12133266
0.99565	0.84136996
0.99865	0.09550428
1.00000	0
0.99968	0.22083666

0.99767	0.53169737
0.99398	1.95422404
0.98862	3.99399284
0.98160	4.8607236
0.97295	5.32011429
0.96270	6.6867755
0.95092	8.19920336
0.93766	7.98314492
0.92300	6.24703748
0.90704	6.27431763
0.88986	5.32014503
0.87160	3.04499591
0.85237	1.15490298
0.83231	0.61817688
0.81157	3.5015098
0.79031	6.92666732
0.76871	10.9221342
0.74692	8.39004385
0.72512	8.15569739
0.70351	10.758698
0.68226	12.7245167
0.66156	12.0472861
0.64158	10.8097377

0.62250	11.3662787
0.60449	11.3442663
0.58771	6.80125303
0.57230	6.59553116
0.55840	3.38850203
0.54612	1.10586102
0.53558	2.53567778
0.52686	2.82934146

La potencia mitad para la antena número uno tiene un rango de 58 grados está entre los límites de 11 grados – 69 grados la cual muestra el rango efectivo de la antena como se puede observar en la figura 46.

**Tabla 12. Resumen de errores antena uno**

%Error promedio potencia	Desviación Estándar	%Error promedio potencia mitad	Desviación Estándar potencia mitad
22,9245	0.228	4.74036401	0,039

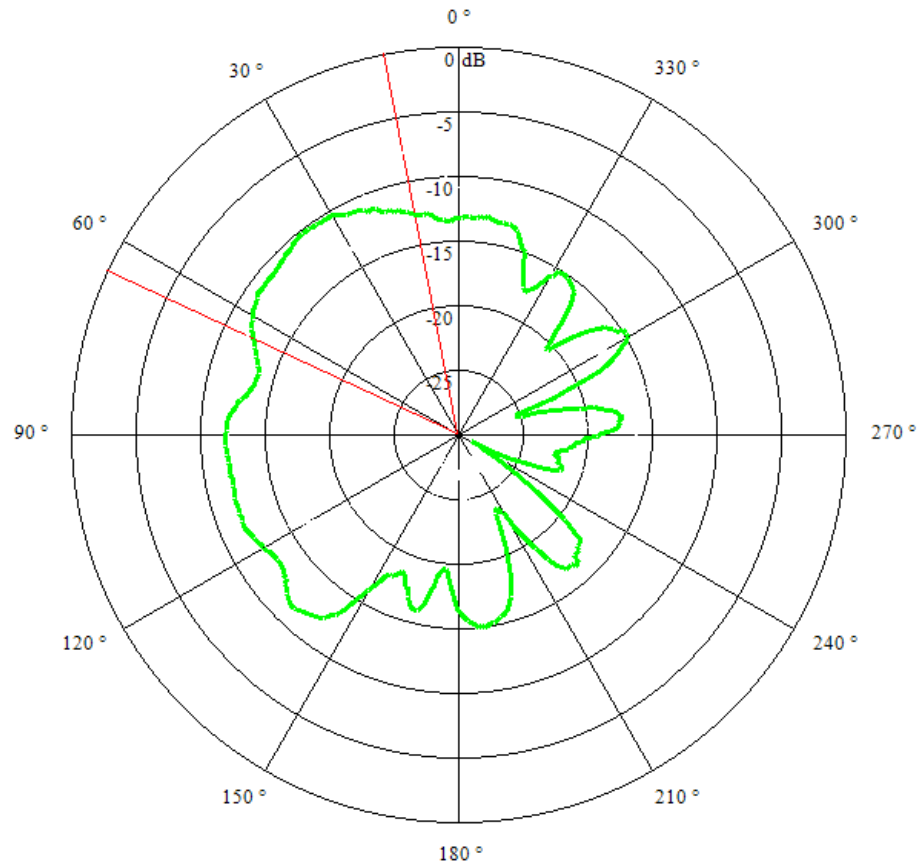
En la tabla 12. Se observa la comparación entre los errores promedio de la potencia normal que es del 22,9245 %y la potencia mitad que es 4,7403 %de la antena uno. La cual tiene una gran mejoría ya que al tomar la potencia mitad se está tomando la parte con mayor magnitud de radiación del lóbulo principal el cual tiene una simetría muy buena ya que la comparación de los dos patrones de radiación da un error bajo.

También queda demostrado que la mayor agrupación de errores están en la parte externa del lóbulo principal. Ya que con la potencia mitad se están obviando estos datos y se observa la reducción de error promedio.

Otra característica a comparar es la desviación estándar la cual se puede observar que tiene una disminución entre la desviación estándar del error promedio y la

desviación de error de promedio de la potencia mitad la cual es del 0.039. El cual indica que hay más proximidad de la muestras con el valor promedio.

**Figura 43. Patrón de radiación y análisis de potencia mitad antena 1**



FUENTE:[Autor]

En la figura 46 se puede observar la delimitación del rango de operación de la potencia mitad analizada anteriormente.

**Tabla 13. Error potencia mitad antena 2**

Magnitud	Error %
0.515610675	1.92366599
0.527415513	4.36099042

0.537422568	6.89325458
0.563698527	6.499074
0.588474841	6.35181817
0.624062074	4.52730895
0.647811868	4.53647186
0.65028824	7.51530429
0.669597618	7.91826493
0.692918091	7.69174035
0.726696218	6.0496371
0.762925094	4.1068202
0.770149256	5.72405095
0.779628488	6.89316518
0.794296959	7.29975179
0.814718916	6.92439497
0.826720868	7.39521261
0.840246864	7.56516805
0.874651207	5.35063536
0.888392329	5.28162121
0.897210402	5.60337697
0.920459533	4.28508324
0.937905538	3.45686486
0.959239602	2.10818225
0.972821589	1.42323609



0.988350076	0.40557101
0.990291383	0.61357409
0.998058046	0.08908346
1	0
0.999539589	0.00247939
0.998058046	0.04084515
0.988350076	0.59587221
0.980585123	0.89686387
0.979864672	0.34261503
0.977877154	0.23007792
0.959752164	0.71852105
0.954812729	0.17409296
0.951665225	0.70262978
0.933410969	0.1085394
0.91111207	0.82197469
0.909529522	0.62425964
0.87845395	1.09097655
0.851543621	2.29100552
0.824652348	3.44412807
0.797781388	4.56020518
0.772997163	5.39682067
0.744104447	6.72327164
0.702984744	9.63313022

0.690514655	8.87168459
0.635845936	13.7575455
0.616200292	14.0140761
0.588718794	15.4000483
0.569544418	15.639921
0.551466201	15.7378576
0.527964717	16.7195788
0.506227694	17.5125396

La potencia mitad para la antena número dos tiene un rango de 55 grados está entre los límites de 34 grados a 89 grados la cual nos muestra que el rango efectivo de la antena como se puede observar en la figura 47.

**Tabla 14. Resumen de errores antena dos**

%Error promedio potencia	Desviación Estándar	%Error promedio potencia mitad	Desviación Estándar potencia mitad
30,9589	0.2511	5.265087	0.048274

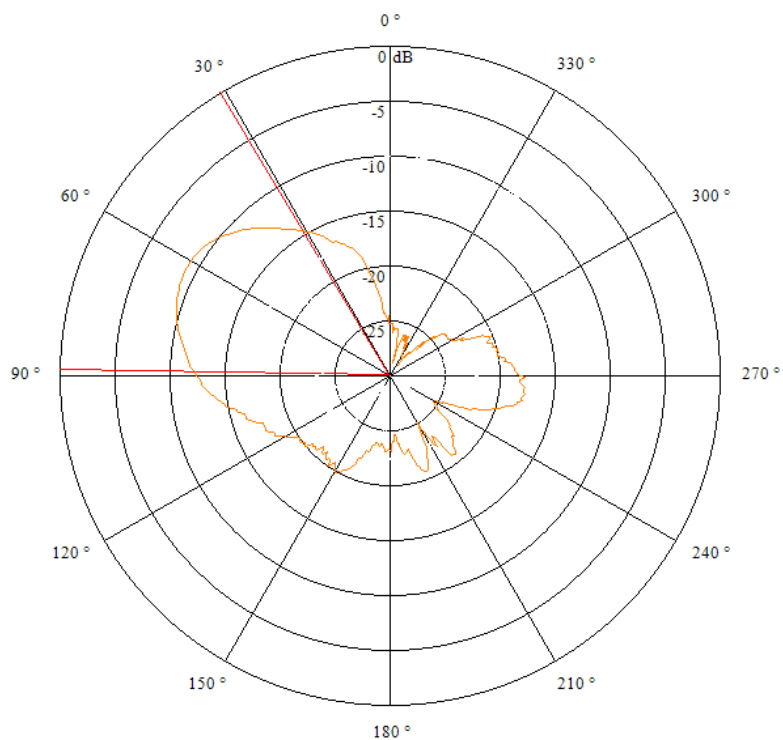
En la tabla 14. Se observa la comparación entre los errores promedio de la potencia normal que es del 30,9589 % y la potencia mitad que es 5,2650 % de la antena dos. La cual tiene una gran mejoría ya que al tomar la potencia mitad se está tomando la parte con mayor magnitud de radiación del lóbulo principal el cual tiene una simetría muy buena ya que la comparación de los dos patrones de radiación da un error bajo.

También queda demostrado que la mayor agrupación de errores están en la parte externa del lóbulo principal. Ya que con la potencia mitad se están obviando estos datos y se observa la reducción de error promedio. Esta antena presenta un mayor

mejoría en comparación con la antena anterior ya que la reducción del error es muy grande ya que pasa del 30.95% a 5.265%.

Otra característica a comparar es la desviación estándar la cual se puede observar que tiene una disminución grande entre la desviación estándar del error promedio 0.2511 y la desviación de error de promedio de la potencia mitad la cual es del 0.0482. El cual indica que hay más proximidad de la muestras con el valor promedio.

**Figura 44. Patrón de radiación y análisis de potencia mitad antena 2**



**Tabla 15. Error potencia mitad antena 3**

Magnitud	Error %
0.509902264	11.4314187
0.525518076	12.3297885
0.541684145	7.34343188

0.558359684	6.9120229
0.575499066	12.1961558
0.593052093	9.24932365
0.610964449	10.7660478
0.629178067	9.32337358
0.647631457	10.3231529
0.666260427	8.90594329
0.68499808	8.52311373
0.703775879	7.52370533
0.722523784	5.65728628
0.741170715	6.90311227
0.759645454	7.82206794
0.777876625	7.8740239
0.795793558	0.40496313
0.813326586	0.9795965
0.830407582	0.24467081
0.846970104	5.13286969
0.86295034	5.25622644
0.878286732	5.96251997
0.89292094	1.2230903
0.906797729	0.07959722
0.919865189	1.01339802
0.932075299	0.08721411

0.943383639	1.8231124
0.953749972	1.71843532
0.963137956	2.44442298
0.971515091	3.28562068
0.9788535	2.64012626
0.985128948	2.12512532
0.990321539	2.41245896
0.994415081	2.8141812
0.99739761	4.00184707
0.9992608	1.71807618
1	0
0.999614472	0.63330046
0.99810639	0.70745006
0.995481712	1.79454458
0.991749363	0.07099342
0.986921213	1.16944915
0.981012235	0.57415835
0.974039791	1.05651122
0.966024342	3.66135582
0.956988513	1.92177419
0.946957151	2.19360044
0.935957776	1.76045485
0.924019678	3.15027765

0.911174275	1.29477337
0.897455049	6.25072993
0.88289716	1.1677961
0.867537697	7.64163311
0.851415486	3.27604307
0.834570743	9.86064544
0.817045652	2.70256187
0.798883698	4.47924871
0.780129946	4.13402401
0.760830908	12.0493788
0.741034502	14.4408753
0.720790127	20.7501756
0.700148317	25.5852259
0.67916123	30.1231937
0.657882129	33.6535538
0.636365528	38.1726077
0.614667312	43.4133174
0.592844478	48.3159374
0.570955221	50.4844242
0.549059003	56.8919219
0.527216349	62.1543975
0.505488796	68.26162

La potencia mitad para la antena número uno tiene un rango de 70 grados está entre los límites de 79 grados a 149 grados la cual nos muestra que el rango efectivo de la antena como se puede observar en la figura 46.

**Tabla 16. Resumen de errores antena tres**

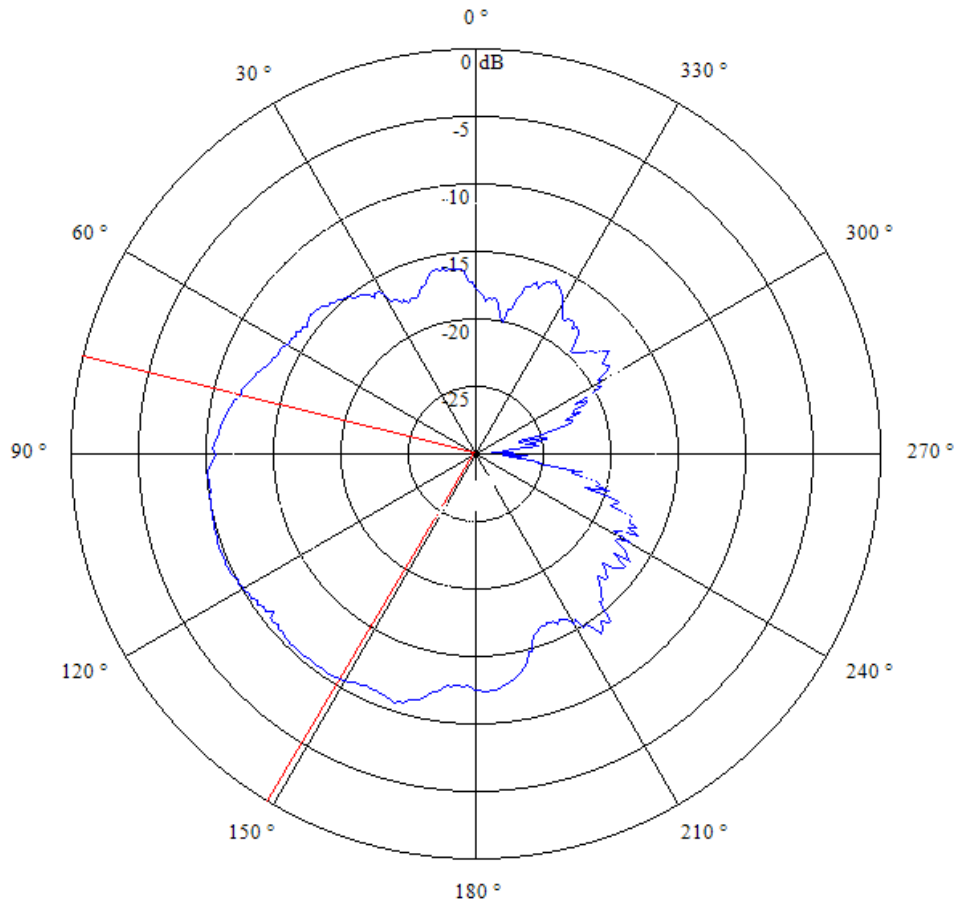
%Error promedio potencia	Desviación Estándar	%Error promedio potencia mitad	Desviación Estándar potencia mitad
31,4445	0,3933	10.595063	0,1571

En la tabla 16. Se observa la comparación entre los errores promedio de la potencia normal que es del 31,4445 % y la potencia mitad que es 10,5950 % de la antena tres. La cual tiene una mejoría ya que al tomar la potencia mitad se está tomando la parte con mayor magnitud de radiación del lóbulo principal el cual tiene una simetría no tan perfecta ya que la comparación de los dos patrones de radiación da un error no tan bajo.

El cambio de los errores tiene una disminución en el error promedio ya que no se tiene en cuenta varios de los datos de la parte externa del lóbulo principal pero el error sigue siendo considerable ya que al ser el lóbulo principal más ancho toma más datos los cuales dan más cabida a valores erróneos y por tal motivo la reducción del error promedio no es tan grande como las anteriores antenas. También queda demostrado que la mayor agrupación de errores están en la parte externa del lóbulo principal. Ya que con la potencia mitad se están obviando estos datos y se observa la reducción de error promedio.

Otra característica a comparar es la desviación estándar la cual se puede observar que tiene una disminución entre la desviación estándar del error promedio 0,3933 y la desviación de error de promedio de la potencia mitad la cual es del 0.15. El cual indica que hay más proximidad de las muestras con el valor promedio.

**Figura 45. Patrón de radiación y análisis de potencia mitad antenna 3**



FUENTE:[Autor]

Se puede observar que esta potencia mitad tiene un rango mayor en comparación de 70 grados ya que el patrón de radiación de la antena número tres tiene un área efectiva más grande, ya que el lóbulo principal también es amplio.



## OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES

- Se analizo el patrón de radiación de tres antenas en espiral cuadrada multibanda con diferentes geometrías el cual dio como resultado un error menor al 40% de la comparación de los patrones de radiación.
- Se puede incrementar la banda de la antena, incrementando el número de vueltas del espiral, con el inconveniente que unas frecuencias presentan una disminución en la ganancia.
- Se pudo observar al analizar la potencia mitad una disminución en el error promedio del 30% al 5% en la antena número 2, teniendo en cuenta que el ángulo solido de potencia mitad es el valor efectivo.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] IEEE Standard Definitions of Terms for Antennas, Std 145-1983, Revision of ANSI/IEEE Std 145-1973.
- [2] BUENROSTRO ROCHA Sergio: Metodología para el diseño y construcción de una antena de microcinta en las banda WiMax a 3.5Ghz, Tijuana-México, 2007, Trabajo de grado (Maestro en ciencias), Instituto Politécnico Nacional.
- [3] CONSTANTINE A. Balanis, Antenna Theory, Analysis And Design, segunda Edition, John Wiley and Sons.
- [4] CARDAMA, Aznar Ángel; JOFRE, Roca Lluís; RUIZ, Juan Manuel; ROMEU, Robert Jordi; BATALLER, Miguel Ferrando, Antenas: 2da Edición, Editorial Alfaomega
- [5] KALYANY, Vinayagamoorthy design and implementation of wideband baluns for archimedean spiral antennas, August 2011, thesis (master of engineering) the science and engineering faculty of queenland university of technology.
- [6] C. A. Balanis, Antenna Theory : Analysis and Design. 3<sup>rd</sup> ed. New York: John Wiley and Sons, Hoboken, NJ,2005.
- [7] HERNANDEZ RUEDA, José Abel Antenas: principios básicos, análisis y diseño, universidad autónoma de baja california, 1998.
- [8] GARCIA Domínguez Armando, Cálculo de Antenas: Antenas de última generación para tecnología digital y métodos de medición, cuarta edición, editorial marcombo.
- [9] GOMEZ TIBADUIZA, José Alberto y MOLINA GOMEZ, José Oswaldo: construcción de una antena microstrip anillo circular; Trabajo de Grado [Ingeniero Electrónico].-- Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga. -- Escuela de Ingenierías. -- Facultad de Ingeniería Electrónica, 2013. -- Director: Guzmán Serna, Fabio Alonso.
- [10] RAMESH GARG, Prakash Bhartia, INDER BAHL, Apisak Ittipiboon. Microstrip Antenna Design Handbook. Artech House, 2001. 845p.

- [11] AVILA ABELLAN jose: GNSS Array: Diseño de una antena con polarización circular Barcelona-españa, 2009, Trabajo de grado (Ingeniería de telecomunicaciones), universidad de barcelona.
- [12] SHENG, xin-quiring; SONG,wei; Essentials of computational electromagnetics, Editorial Wiley.
- [13] KHAMAS, Salam; COOK, Gregory. Moment-Method Analysis of Printed Wire Spirals Using Curved Piecewise Sinusoidal Subdomain Basis and Testing Functions. IEEE transactions on antennas and propagation. Junio, 1997. Vol. 45. N° 6. p. 1016-1022.
- [14] MADABY, Yasser; ELKAMCHOUCHI, Hassan. Analysis of high gain multiband rounded corners dashed rectangular spiral microstrip patch antenna. IEEE transactions on antennas and propagation. 2005. p. 313-316.
- [15] PAN, Helen; Bernhard, Jennifer; NAIR, Vijay. Reconfigurable Single-Armed Square Spiral Microstrip Antenna Design. IEEE transactions on antennas and propagation. 2006. p. 180-183.
- [16] QUINTERO, Gustavo; SARMIENTO, Luis; análisis del patrón de radiación de una antena tipo parche de arreglo matricial de parches rectangulares, Bucaramanga, 2012, trabajo de grado (ingeniero electrónico), Universidad Pontificia Bolivariana, Escuela ingenierías, facultad de ingeniería electrónica.
- [17] WHEELER H.A. Transmission line properties of a strip on dielectric sheet on a plane. IEEE MTT.25 (8). Pp. 631-647. 1977.
- [18] ROGERS Corporation. RT/Duroid 5880. [en línea]. [Citado el 6 de julio de 2014]. Disponible en internet <http://www.rogerscorp.com/documents/606/acm/RT-duroid-5870-5880-Data-Sheet.pdf>.
- [19] Sonnet. SONNET USER´S GUIDE. Abril 2013.
- [20] KRAUS, Gunthard. Design of Patch Antennas. [en línea]. 2011. [citado 6 de Julio de 2014]. Disponible en internet: [http://www.gunthard-kraus.de/Tutorial\\_Sonnet/pdf\\_English/Tutorial\\_Sonnet\\_e.pdf](http://www.gunthard-kraus.de/Tutorial_Sonnet/pdf_English/Tutorial_Sonnet_e.pdf).
- [21] PEREZ, Constantino. Líneas de transmisión. [en línea]. [Citado el 6 de julio de 2014]. Disponible en internet : [http://personales.unican.es/perezvr/pdf/CH9ST\\_Web.pdf](http://personales.unican.es/perezvr/pdf/CH9ST_Web.pdf)

- [22] Log periodic antenna. [en línea]. [Citado el 6 de julio de 2014]. Disponible en internet : <http://www.antenna-theory.com/definitions/vswr.php>
- [23] COLOMBO, Juan C.; Medición de Parámetros de Dispersión "S", 2012; universidad tecnológica nacional facultad regional Tucumán (ingeniería electrónica).
- [24] Lab-volt <http://www.labvolt.com/> [citado el 6 de julio de 2012].

## TRABAJOS DE ANTENAS EN LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

- [26] MARTÍNEZ CAMPOS, Sergio y JIMÉNEZ BERMÚDEZ, rosa. Análisis de la simulación del patrón de radiación de una antena tipo parche. Trabajo de grado [Ingeniero Electrónico]. Bucaramanga. Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga. Escuela de Ingenierías y Administración. Facultad de Ingeniería Electrónica, 2012. Director: Guzmán Serna, Fabio Alonso.
- [27] ORTEGA LEÓN, Eduardo Rafael. Diseño y elaboración de una guía de prácticas de laboratorio basada el equipo de medición de espectro de radicación de LAB-VOLT. Trabajo de Grado [Ingeniero Electrónico]. Bucaramanga. Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga. Escuela de Ingenierías. Facultad de Ingeniería Electrónica, 2012. Director: Guzmán Serna, Fabio Alonso.
- [28] GARCIA OTERO, Gabriel Enrique y LAMUS AVENDAÑO, Roxana. Elaboración de un software para la simulación del patrón de radiación una antena microcinta circular con la herramienta Matlab. Trabajo de grado. [Ingeniero Electrónico]. Bucaramanga. Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga. Escuela de Ingenierías. Facultad de Ingeniería Electrónica, 2012. Director: Guzmán Serna, Fabio Alonso.
- [29] QUINTERO RODRIGUEZ, Gustavo de José y SARMIENTO LOPEZ, Luis Carlos. Análisis del patrón de radiación de una antena tipo parche de arreglo matricial de parches rectangulares. Trabajo de Grado [Ingeniero Electrónico]. Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga. Escuela de Ingenierías. Facultad de Ingeniería Electrónica, 2012. Director: Guzmán Serna, Fabio Alonso.
- [30] GOMEZ TIBADUIZA, José Alberto y MOLINA GOMEZ, José Oswaldo. Análisis del patrón de radiación de una antena microstrip anillo circular. Trabajo de Grado [Ingeniero Electrónico]. Bucaramanga. Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga. Escuela de Ingenierías. Facultad de Ingeniería Electrónica, 2013. Director: Guzmán Serna, Fabio Alonso.

- [31] ACELA GARCÍA, Edgar Giovanni y RIVERA MORA, José Leonardo. Diseño y construcción de una antena triangular tipo parche. Trabajo de Grado [Ingeniero Electrónico]. Bucaramanga. Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga. Escuela de Ingenierías. Facultad de Ingeniería Electrónica, 2013. Director: Guzmán Serna, Fabio Alonso.
- [32] ALVAREZ PIZARRO, Yuli Andrea y MURILLO NIÑO, Adriana María. Arreglo lineal de parche rectangular para una antena Microstrip. Trabajo de Grado [Ingeniero Electrónico]. Bucaramanga Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga. Escuela de Ingenierías. Facultad de Ingeniería Electrónica, 2012. Director: Guzmán Serna, Fabio Alonso.