

ANTENA HELICOIDAL CUADRIFILAR DE BANDA ANCHA PARA
INSTRUMENTACIÓN

Presentado por.
JUAN SEBASTIÁN RODRÍGUEZ PÁEZ

Dirigido por
Carlos Iván Páez Rueda



PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA
BOGOTÁ DC
MAYO 2013

AGRADECIMIENTOS

El Autor quiere agradecer al ingeniero Carlos Iván Páez Rueda, por toda su colaboración y asesoría a lo largo del curso del posgrado y el desarrollo de este trabajo de investigación. De la misma forma a Omar Álvarez, Camilo Rodríguez, Guillermo Estrada, Michel Rincón, Arturo Fajardo, Walter Rodríguez, Jhovan Olarte, Jairo Correa, Carlos Serrato, Francisco Rosado y mis demás amigos y familiares, ya que sin su colaboración no hubiese sido posible la realización de este trabajo.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	7
2. OBJETIVOS.....	9
2.1. Objetivo General	9
2.2. Objetivos Específicos	9
3. ESPECIFICACIONES.....	10
4. MARCO CONCEPTUAL	11
4.1. Antenas.....	11
4.2. Antena Dipolo y monopolo	15
4.3. Antena Helicoidal	16
4.4. Antenas de banda ancha	18
4.4.1. Antenas con mangas	19
4.4.2. Antena bicónica	19
4.4.3. Antena Bow-Tie	20
4.4.4. Dipolo doblado	20
5. DESARROLLO	22
5.1. Descripción General.....	22
5.2. Desarrollo teórico	22
5.2.1. Antena Monopolo.....	23
5.2.2. Antena Cage	24
5.2.3. Antena Cage con mangas.....	25
5.2.4. Antena Helicoidal Cuadrifilar.....	26
5.2.5. Antena Helicoidal Cuadrifilar con Mangas	27
5.3. Desarrollos de diseño.....	28
5.3.1. Simulación de un anillo	29
5.3.2. Simulación de dos anillos.....	33
5.3.3. Simulación de tres anillos	34
5.3.4. Resultados seleccionados	35
5.4. Proceso de fabricación.....	40
5.4.1. Plano de tierra.....	40
5.4.2. Sistema de Mangas	41
5.4.3. Antena Helicoidal Cuadrifilar.....	42
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS	44
7. CONCLUSIONES	50
8. BIBLIOGRAFÍA.....	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Principio de funcionamiento de una antena [10].....	11
Figura 2 Patrones de radiación: a) Isotrópica b) Omnidireccional c) Directiva.....	12
Figura 3 Modelo de la un sistema de comunicaciones [5].....	13
Figura 4 Tipos de polarización: a) Lineal b) Circular c) Elíptica.....	14
Figura 5 Campos de una antena [5].....	15
Figura 6 Dipolo: a) Forma b) Patrón de radiación [11].....	16
Figura 7 Monopolo: a) Forma b) Patrón de radiación [11].....	16
Figura 8. Antena Helicoidal [5].....	17
Figura 9. Modos de operación de la antena helicoidal: (a) Normal, (b) Axial [5].....	18
Figura 10. Antena Helicoidal Cuadrifilar [12].....	18
Figura 11. Monopolo con mangas [5].....	19
Figura 12 Geometría de la antena bicónica.....	20
Figura 13 Antena Bow-Tie [15].....	20
Figura 14 Ejemplo de dipolo doblado [16].....	21
Figura 15 Técnica de mangas diseñada.....	22
Figura 16 Modelo del Dipolo.....	23
Figura 17 Respuesta del Monopolo.....	24
Figura 18 Modelo de la Antena Cage.....	25
Figura 19 Resultado de la antena Cage.....	25
Figura 20 Modelo de la antena Cage con Mangas.....	26
Figura 21 Respuesta de la antena Cage con Mangas.....	26
Figura 22 Modelo de la antena Helicoidal Cuadrifilar.....	27
Figura 23 Respuesta antena Helicoidal Cuadrifilar.....	27
Figura 24 Modelo de la antena Helicoidal Cuadrifilar con Mangas.....	28
Figura 25 Respuesta Helicoidal con Mangas.....	28
Figura 26 Antena Cage con Manga.....	29
Figura 27 Conjunto de resultados para un anillo con radio de 3cm.....	30
Figura 28 Conjunto de resultados para un anillo con radio de 4cm.....	30
Figura 29 Conjunto de resultados para un anillo con radio de 5cm.....	30
Figura 30 Variaciones de radio con altura fija de 2cm.....	31
Figura 31 Variaciones de radio con altura fija de 3cm.....	31
Figura 32 Variaciones de radio con altura fija de 4cm.....	32
Figura 33 Variaciones de radio con altura fija de 5cm.....	32
Figura 34 Variaciones de radio con altura fija de 6cm.....	32
Figura 35 Variaciones de radio con altura fija de 7cm.....	33
Figura 36 Modelo de antena Cage con dos mangas.....	33
Figura 37 Resultados de VSWR con uno de los anillos fijo con radio de 3cm.....	34
Figura 38 Resultados de VSWR con uno de los anillos fijo con radio de 4cm.....	34
Figura 39 Modelo de la antena Helicoidal Cuadrifilar con 3 Mangas.....	35
Figura 40 Resultados de la antena con 3 Mangas.....	35
Figura 41 Antena seleccionada No 1.....	36
Figura 42 VSWR de la antena seleccionada No 1.....	36
Figura 43 Directividad total de la antena No 1 en la frecuencia central del rango elegido	37
Figura 44 Planos E y H de la antena No 1.....	37
Figura 45 Crosspolarización en la antena No 1.....	37
Figura 46 Antena seleccionada No 2.....	38
Figura 47 VSWR de la antena seleccionada No 2.....	39
Figura 48 Directividad total de la antena No 2 en la frecuencia central del rango elegido	39

Figura 49 Planos E y H de la antena No 2	39
Figura 50 Crosspolarización en la antena No 2.....	40
Figura 51 Plano de tierra: a) Vista total, b) Detalle de conexiones	41
Figura 52 Detalle del punto de alimentación	41
Figura 53 Bases de las antenas fabricadas	42
Figura 54 Efectos del grosor de los anillos.....	42
Figura 55 Antena Helicoidal Cuadrifilar	43
Figura 56 Efectos del diámetro de las hélices y grosor de las cruces	43
Figura 57 Implementación de la antena helicoidal cuadrifilar: a) vista superior, b) vista lateral c) Conexión.....	44
Figura 58 Vista total de la implementación de la antena helicoidal cuadrifilar	44
Figura 59 VSWR de la Antena Helicoidal Cuadrifilar.....	45
Figura 60 Implementación de la antena con mangas No 1: a) vista superior, b) vista lateral c) Conexión	45
Figura 61 Vista total de la implementación de la antena con mangas No 1.....	46
Figura 62 VSWR de la Antena No 1. Medida y simulada	46
Figura 63 Implementación de la antena con mangas No 2: a) vista superior, b) vista lateral c) Conexión	47
Figura 64 Vista total de la implementación de la antena con mangas No 2.....	47
Figura 65 VSWR de la Antena No 2. Medida y simulada	47
Figura 66 Comparación de las tres antenas medidas	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Evaluación Comparativa de los resultados.....	49
---	----

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 – Planos de construcción de las mangas y patrón de diseño de la helicoidal.

Anexo 2 – Archivos de simulación realizados en HFSS

Anexo 3 – Datos medidos utilizando el VNA

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el gran desarrollo de los sistemas de comunicación ha generado una necesidad de crear circuitería cada vez más sofisticada en los front-end de RF. En el caso de las antenas, se han producido dos necesidades generales: antenas miniaturizadas para el uso en dispositivos portables como es el caso de celulares [1] y antenas con un mayor ancho de banda para poder captar las diferentes bandas de operación de los sistemas [2].

En el desarrollo de antenas de banda ancha se encuentran dos tipos de soluciones básicas a los problemas. El primero consiste en las antenas que buscan el funcionamiento en varias bandas de frecuencia [3], este tipo de antenas son especialmente importantes en las aplicaciones celulares, donde el creciente número de tecnologías y bandas de operación hacen necesario el diseño de antenas que las soporten. El segundo se basa en antenas de un ancho de banda amplio [4], generalmente usadas para realizar pruebas de compatibilidad electromagnética, apoyar la gestión del espectro y realizar certificación de sistemas de comunicación a nivel regional y nacional, como lo son los sistemas de radiodifusión y televisión terrestre.

Por lo general, las técnicas de diseño de antenas de banda ancha, consisten en la modificación estructural de una antena de banda angosta, el uso de arreglos de antenas con sus redes de alimentación, y el uso de redes de acople para modificar la impedancia a la entrada del sistema [5]. En el caso de las antenas de cable (wire antenna), las técnicas más comunes en el diseño de antena de banda ancha son: el diseño de dipolos bicónicos o con estructuras cilíndricas [6], donde debido a la construcción de los elementos constitutivos de la antena, la impedancia a la entrada de la antena cambia, permitiéndole el comportamiento de banda ancha; la adición de mangas a las antenas, como es el caso de las antenas monopolo [4], donde los elementos parásitos que se agregan en campo cercano de la antena, permiten cambiar la impedancia en la entrada.

Las soluciones de banda ancha son de gran importancia en la medición de radiaciones no ionizantes, de acuerdo a las normativas de la UIT [7, 8], las transmisiones de campos electromagnéticos no deben superar, por motivos de seguridad, ciertos umbrales. Debido a esto, la constante supervisión, monitoreo y medición de los diferentes transmisores que se encuentran en las bandas de HF, VHF y UHF, se ha vuelto una tarea necesaria y constante de las organizaciones gubernamentales encargadas de la regulación del espectro.

Para verificar estos límites, la UIT ha definido dos tipos de instrumentos para realizar estas mediciones [7, 8, 9]: antenas de banda ancha, con las que se busca la medición de bandas amplias de frecuencia no tan selectivas, y las antenas de banda angosta, con las que se busca ya realizar una medida discriminada en frecuencia.

Estas antenas pueden ser tanto omnidireccionales, donde la medida es independiente de la dirección, como directivos, en cuyo caso son generales dispositivos que trabajan en un modo axial y la medida resultará para una dirección fija.

Por esta razón, en el desarrollo de este trabajo de investigación se busca el diseño e implementación de una antena omnidireccional de banda ancha, con tamaño reducido, para ser usada como antena de instrumentación en la medición de radiaciones no ionizantes, en transmisiones de en la banda baja de UHF.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Diseñar, simular e implementar una antena helicoidal cuadrifilar con mangas para la banda baja de UHF.

2.2. Objetivos Específicos

- Diseñar y simular una antena helicoidal cuadrifilar de tamaño reducido.
- Diseñar, simular una antena helicoidal cuadrifilar con mangas de tamaño reducido para operar en la banda de UHF.
- Fabricar una antena helicoidal cuadrifilar con mangas en la banda de UHF:
- Medir los parámetros de desempeño de la antena helicoidal cuadrifilar con mangas diseñada.

3. ESPECIFICACIONES

La intención del presente trabajo de grado fue mezclar estos dos tipos de técnicas de diseño de antenas para lograr una antena reducida de banda ancha. Las medidas de desempeño de la antena que se diseñó fueron:

- Operación en la banda baja de UHF (300MHz – 1GHz).
- Polarización Vertical.
- VSWR menor de 3.5 en la banda de operación.
- Alto de la antena de 18 cm.
- Impedancia de entrada referida a 50Ω .
- Patrón de radiación omnidireccional.

4. MARCO CONCEPTUAL

4.1. Antenas

Uno de los procesos más importantes en las radiocomunicaciones y radiodifusiones, es la forma de transportar una señal desde el punto de origen a los diversos puntos de destino remotos. Para lograr esta comunicación entre estos puntos, se hace necesario que la señal viaje a través del espacio libre. Una antena, es un transductor que cumple la función de convertir las señales de que viajan en medios guiados (tales como cables, guías de onda, etc) a señales que viajen por medios no guiados (aire) y viceversa.

La antena funciona propagando campos eléctricos y magnéticos a partir de una la distribución de corrientes de una estructura. Dependiendo de esta corriente se alteran los campos alrededor de la antena y empiezan a generar ondas electromagnéticas que viajan por el medio. La Figura 1 muestra el principio de funcionamiento de una antena.

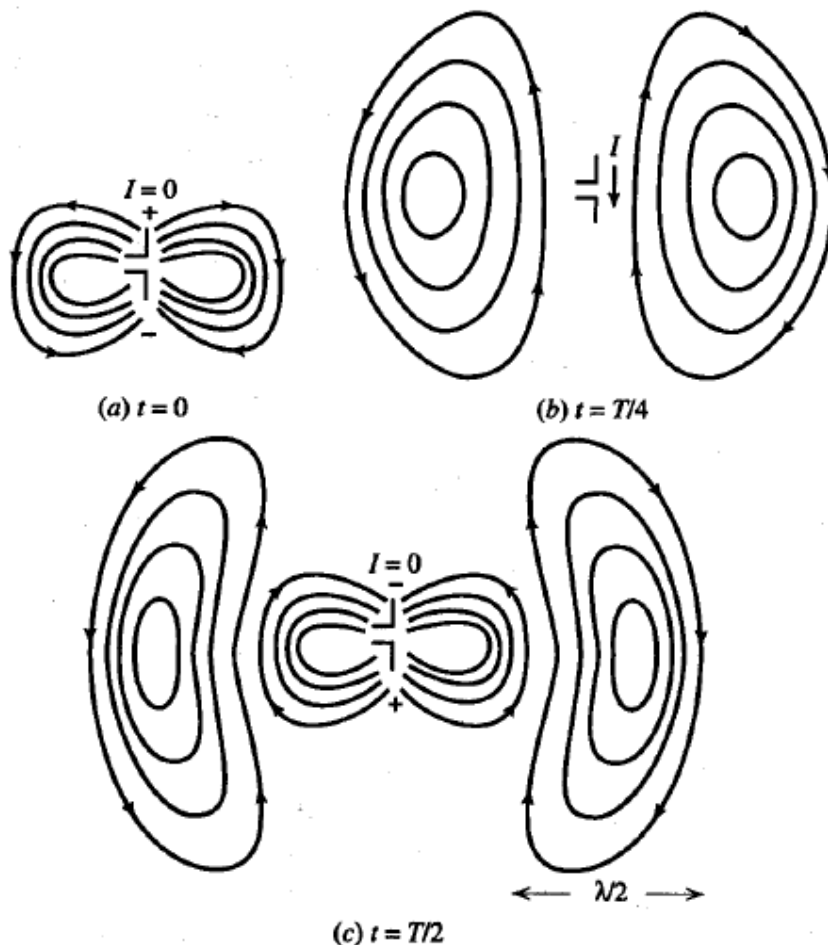


Figura 1 Principio de funcionamiento de una antena [10]

Las características básicas de una antena son:

Patrón de radiación: es una función matemática que describe las propiedades de radiación de una antena en función de las coordenadas espaciales. Es un valor normalizado y generalmente se determina únicamente en campo lejano. De acuerdo a su patrón de radiación las antenas pueden ser:

Isotrópicas (Figura 2a): que hace referencia a antenas que radian de igual manera hacia todas las direcciones. Generalmente estas antenas se usan como referencia teórica de algunos parámetros de mérito de las antenas, sin embargo existen implementaciones de arreglos que se usan para emular este comportamiento.

Omnidireccionales: que son antenas que sobre un plano, radian de igual manera sin importar a dirección. Estas son antenas que se utilizan mucho en soluciones de radiodifusión

Directivas: son antenas que radian principalmente en una sola dirección determinada. Una de sus aplicaciones es en el uso de algunas técnicas de radiolocalización.

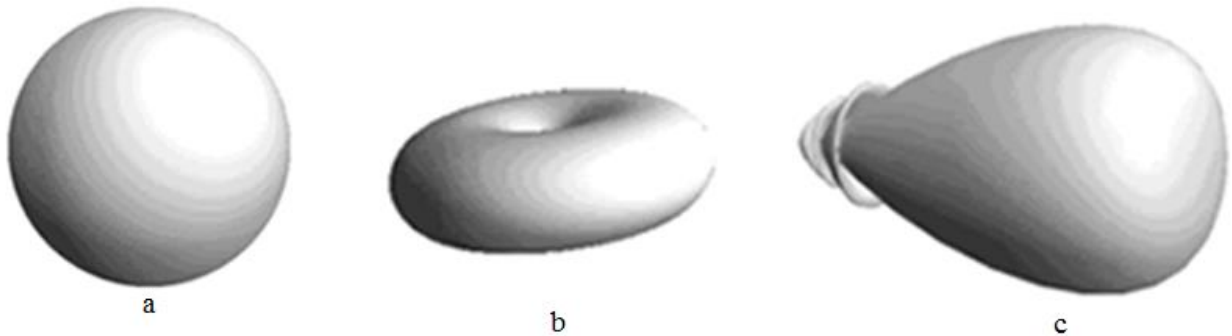


Figura 2 Patrones de radiación: a) Isotrópica b) Omnidireccional c) Directiva

Directividad: es la razón entre la intensidad de radiación en una dirección dada de la antena y la intensidad de radiación promedio sobre todas las direcciones.

$$D(\theta, \phi) = \frac{U(\theta, \phi)}{\bar{U}_{promedio}}$$

Eficiencia: es la relación entre la potencia que consume la antena y la potencia que radia

$$\eta_r = \frac{P_{rad}}{P_{in}}$$

Ganancia: La ganancia de una antena se define como la relación entre la densidad de potencia a una distancia dada y la densidad de potencia que radiaría

a esa misma distancia una antena isotrópica. La ganancia de potencia está dada por:

$$G(\theta, \phi) = \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{P_{in}} = \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{\frac{P_{rad}}{\eta_r}} = \eta_r D(\theta, \phi)$$

Impedancia: Un sistema de comunicaciones puede representarse como el modelo mostrado en la Figura 3, está formado por un generador (fuente de información), una línea de transmisión y la antena que es representada como la carga del sistema con una impedancia Z_A .

La impedancia de la antena Z_A , está formada por la resistencia R_L , que representa las pérdidas de conducción y dieléctrico asociadas con la antena, la resistencia de radiación R_r y la componente imaginaria X_A , que representan la energía en la antena. Idealmente se busca que toda la energía producida por la fuente sea desarrollada sobre la R_r la cual representa la energía radiada por la antena.

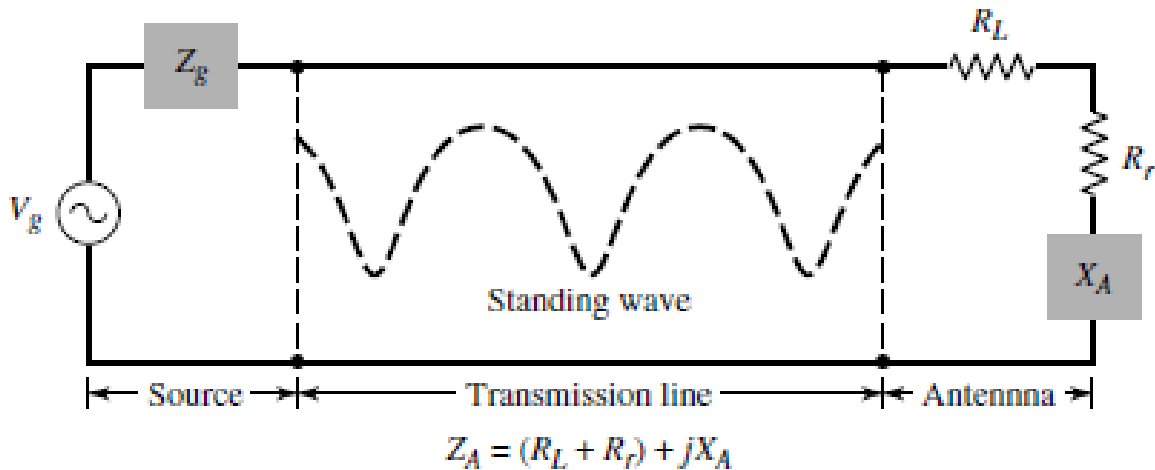


Figura 3 Modelo de la un sistema de comunicaciones [5]

Polarización: es la figura que va trazando el vector de campo eléctrico a una cierta distancia de la antena, al variar en el tiempo y dirección. La polarización puede ser lineal (Figura 4a), circular (Figura 4b) y elíptica (Figura 4c).

La polarización lineal puede tomar distintas orientaciones (horizontal, vertical, $+45^\circ$, -45°). Las polarizaciones circular o elíptica pueden ser a derechas o izquierdas, según el sentido de giro del campo. Por lo general, la polarización circular, puede ser considerada como un caso particular de la elíptica.

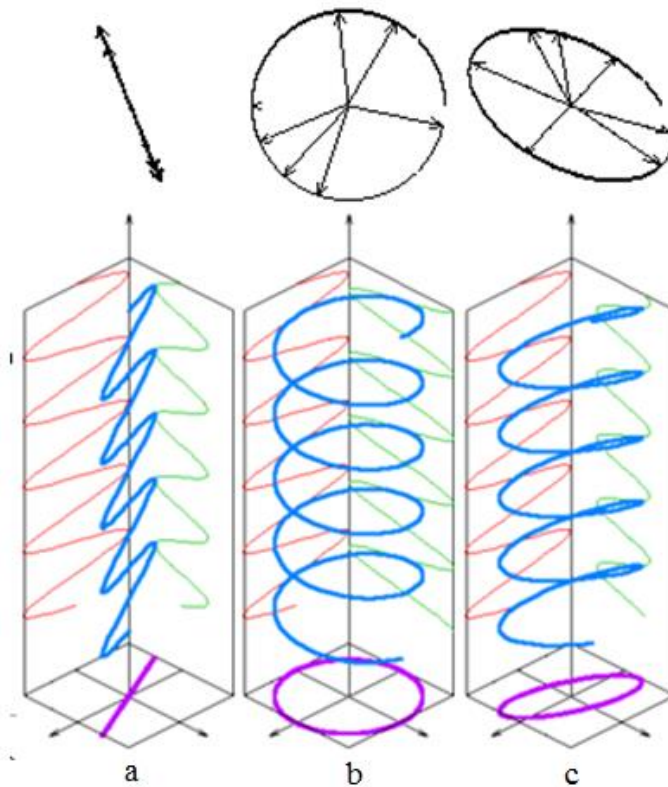


Figura 4 Tipos de polarización: a) Lineal b) Circular c) Elíptica

Reflexión y VSWR: el coeficiente de reflexión en la entrada de una antena referido a una impedancia de referencia η_0 se define como

:

$$\Gamma_L = \frac{Z_A - \eta_0}{Z_A + \eta_0} \quad 0 \leq |\Gamma_L| \leq 1$$

Este parámetro indica que tanta de la potencia que llega a la antena se reflejará. Lo que se busca es que este valor sea tan cercano a cero como sea posible. La relación de onda estacionaria (VSWR o ROE) se relaciona con el coeficiente de reflexión como:

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma_L|}{1 - |\Gamma_L|} \quad VSWR \geq 1$$

Campos o regiones de una antena: Los campos de una antena son presentados en la Figura 5 y se definen a continuación:

1. Región de Campo Cercano Reactivo ($R < R_1$): En donde cualquier objeto (diferente a la antena) cambia las propiedades electromagnéticas del dispositivo.
2. Región de Campo Cercano de Radiación (Fresnell). ($R_1 < R < R_2$): En donde los campos electromagnéticos no forman una onda TEM, hay transitorios especiales en la radiación. La dirección de la radiación no es radial.
3. Región de Campo Lejano de Radiación (Fraunhofer) ($R > R_2$): Región de operación normal de la antena, donde los campos electromagnéticos tienen una forma de movimiento TEM y se mueven en dirección radial.

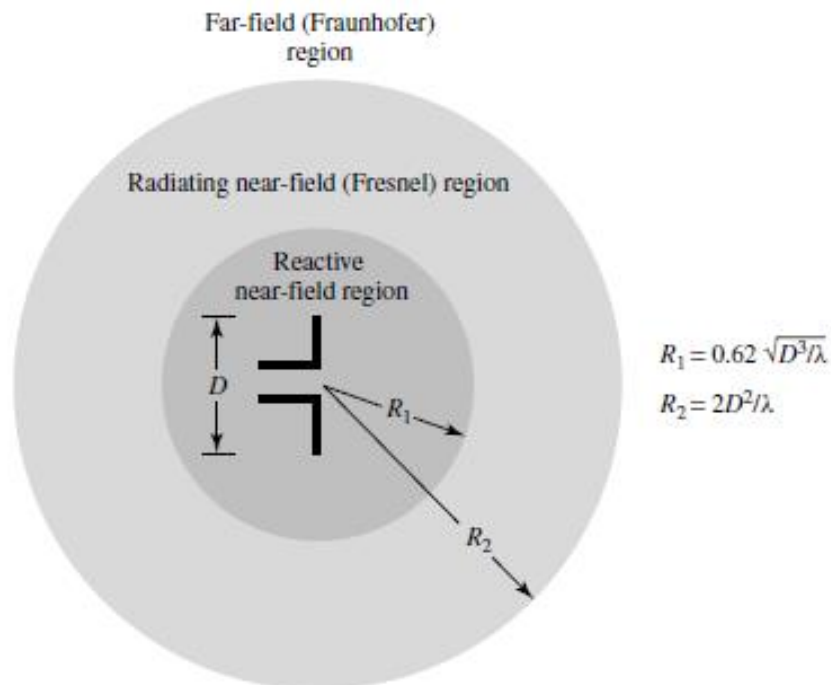


Figura 5 Campos de una antena [5]

4.2. Antena Dipolo y monopolo

Las antenas dipolo y monopolo son antenas conformadas por hilos conductores, son las implementaciones más simples de antenas omnidireccionales.

La antena dipolo es una antena formada por dos alambres rectos y colineales, que son alimentados diferencialmente. Su funcionamiento en frecuencia depende en su totalidad de su dimensión, esta antena debe tener una longitud total de $\lambda/2$. La Figura 6 muestra su forma básica y su patrón de radiación.

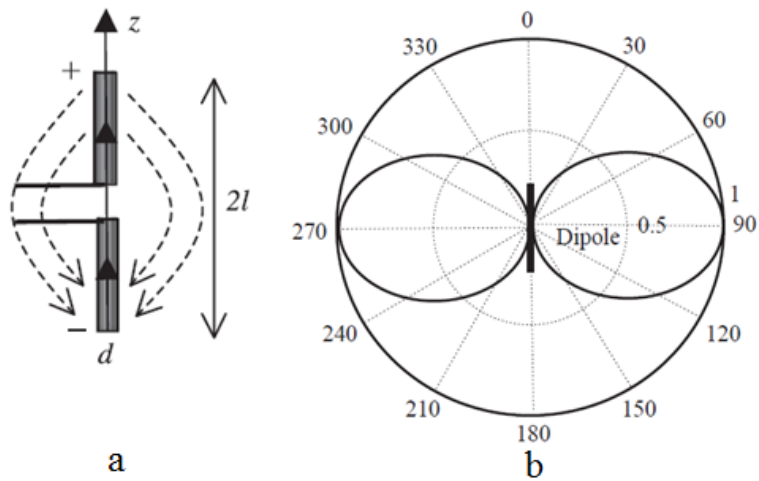


Figura 6 Dipolo: a) Forma b) Patrón de radiación [11]

Un monopolo es lo que resulta al fijar un dipolo a un plano de tierra. Esta antena está formada por un alambre conductor apoyado sobre un plano de tierra. Por lo general es de la mitad del tamaño de un dipolo, el plano de tierra reemplaza la otra mitad del dipolo, dándole un punto de referencia para generar los campos electromagnéticos. Su forma y patrón se observan en la Figura 7.

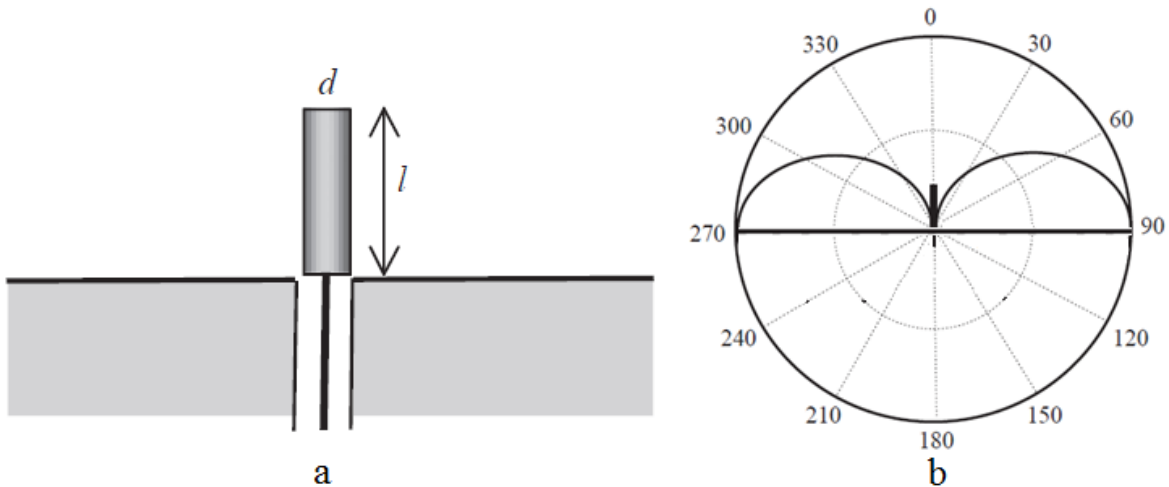


Figura 7 Monopolo: a) Forma b) Patrón de radiación [11]

4.3. Antena Helicoidal

La antena helicoidal es una antena formada por un alambre conductor enrollado en forma espiral y con un plano de tierra similar al de los monopolos. Al tratarse de un monopolo enrollado en forma espiral, ésta también cuenta con la ventaja de ser una antena que permite reducir el tamaño de la antena [5]. La Figura 8, muestra la antena helicoidal y sus medidas básicas: D – diámetro, N – número de vueltas, S – espaciado entre vueltas, L – altura de la antena, L_n – Largo del cable, α – ángulo de inclinación, a – radio del alambre.

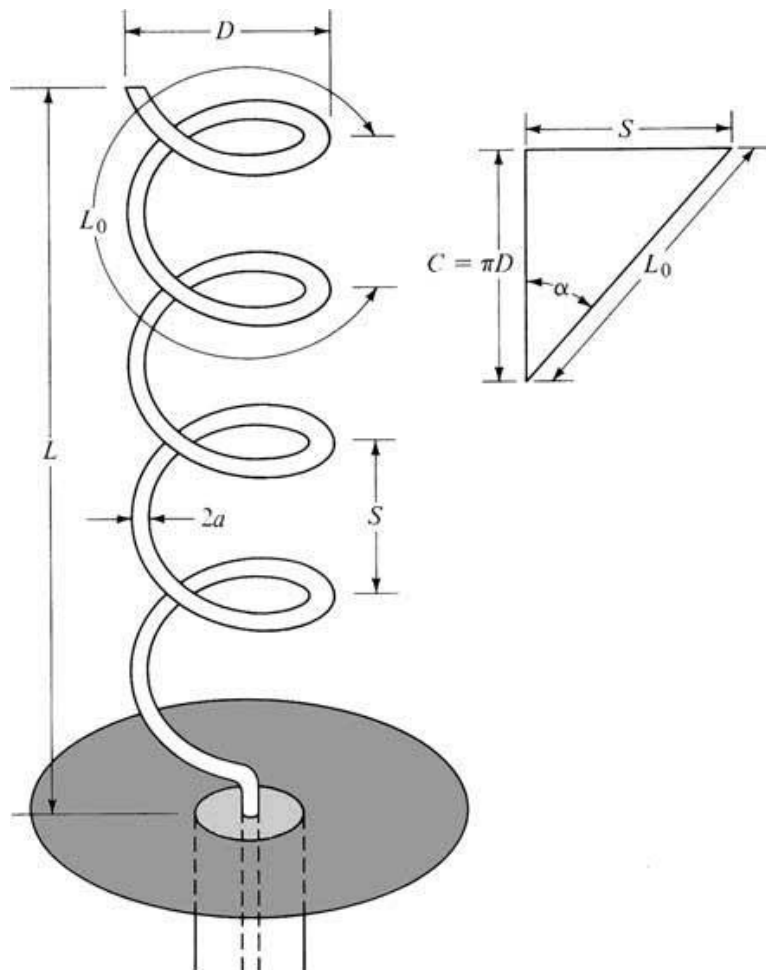


Figura 8. Antena Helicoidal [5]

La antena helicoidal tiene dos modos de operación básicos:

- Modo normal: ocurre cuando se cumple la condición de que $C \ll \lambda$. En este caso la antena puede ser modelada como una serie de pequeños dipolos y loops. Para este modo de operación la antena describe un comportamiento omnidireccional. La Figura 9 (a), muestra el patrón de radiación de la antena en el modo normal
- Modo axial: ocurre cuando se cumple la condición de que $C \approx \lambda$. En este modo, la antena presenta un comportamiento direccional y requiere de un análisis más detallado. La Figura 9 (b) muestra el patrón de radiación en este modo de operación.

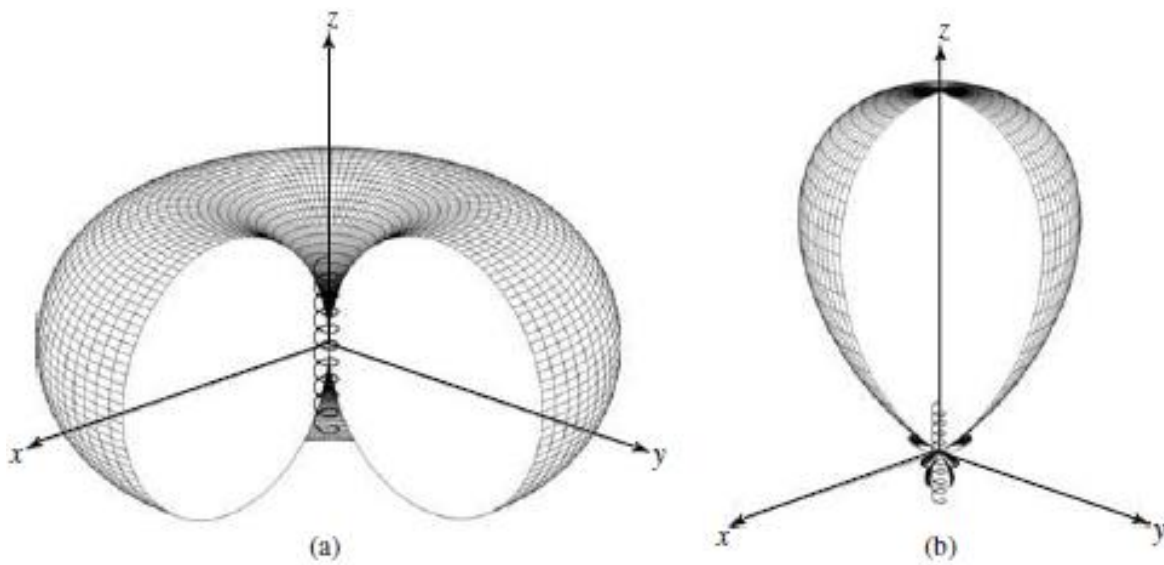


Figura 9. Modos de operación de la antena helicoidal: (a) Normal, (b) Axial [5]

La antena helicoidal cuadrifilar, mostrada en la Figura 10, es una modificación de la antena helicoidal en la que se juntan cuatro hélices con el propósito de mejorar la respuesta de la impedancia de entrada de la antena permitiendo el diseño de antenas de tamaño reducido con un mayor ancho de banda [4].

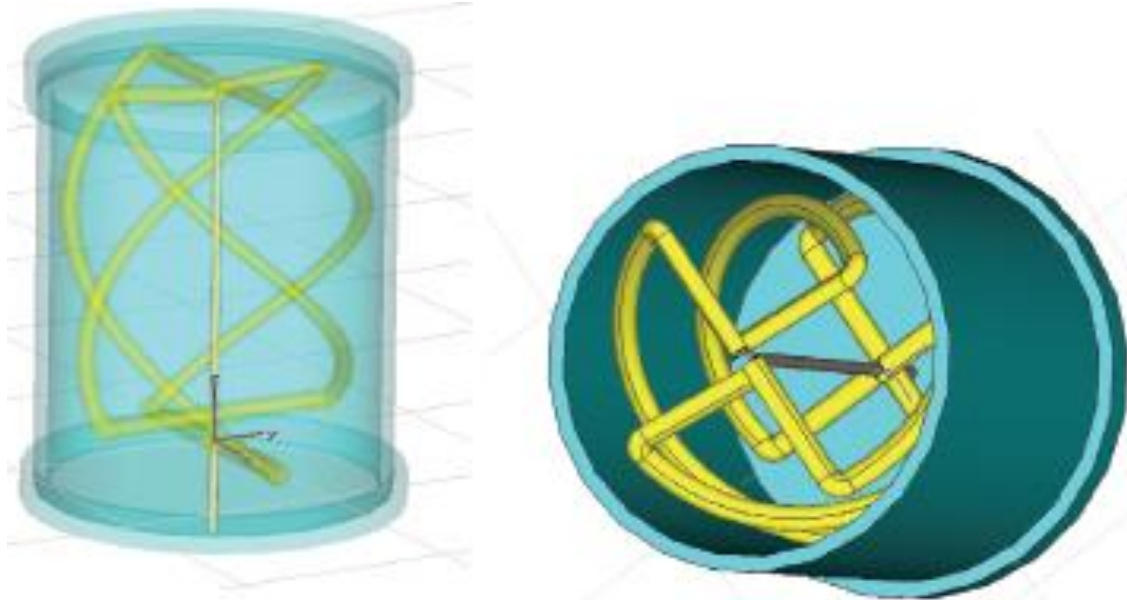


Figura 10. Antena Helicoidal Cuadrifilar [12]

4.4. Antenas de banda ancha

En os últimos años han surgido aplicaciones que han empezado a requerir el diseño de antenas con un muy gran desempeño en frecuencia: Medidas de

radiaciones no ionizantes, instrumentación EMC, sistemas de monitoreo, radares sistemas de comunicación de alta y baja velocidad, entre otros [13].

A continuación se muestra una descripción general de las técnicas más usadas en el diseño de antenas de banda ancha.

4.4.1. Antenas con mangas

La técnica de mangas, es una técnica de diseño de antenas de banda ancha, la cual es común en el diseño de monopolos de banda ancha. Esta técnica consiste en colocar un conductor continuo en forma de manga alrededor de la antena para modificar de esta forma la impedancia de la antena [5], como se muestra en la Figura 11.

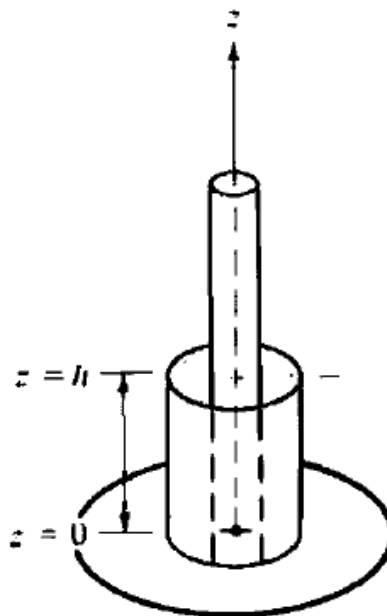


Figura 11. Monopolo con mangas [5]

4.4.2. Antena bicónica

La antena bicónica, es una modificación de la antena dipolo, que consiste en reemplazar los alambres que conforman el dipolo, por unos conos conductores. Un ejemplo se muestra en la [5]. En este caso lo que ocurre es que las corrientes se mueven a lo largo de la superficie del cono, debido esta nueva estructura, los campos y por ende la impedancia se ve alterada con respecto a la de un dipolo tradicional. Este tipo de antenas también se implementa basándose en un monopolo. Generalmente, esta antena se utiliza en aplicaciones GPR (Ground Penetrating Radar) [14]

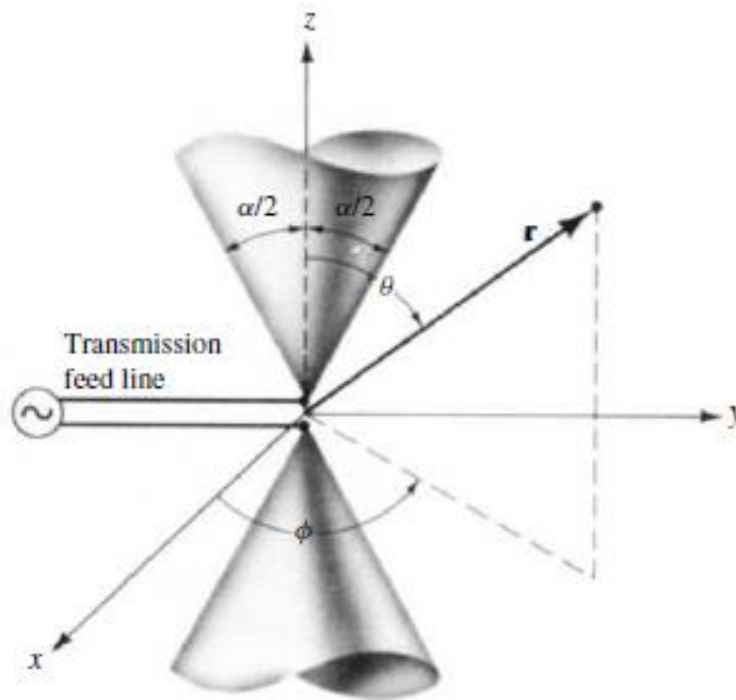


Figura 12 Geometría de la antena bicónica

4.4.3. Antena Bow-Tie

La antena bicónica (Figura 13) se ha considerado como una antena con una buena respuesta de banda ancha, pero su estructura puede llegar a ser muy grande y en algunas ocasiones difícil de implementar. Como alternativa surgen antenas como la antena Bow-Tie, que es una implementación que sigue el principio de la antena bicónica, pero es construida sobre una lámina conductora pero que termina teniendo un ancho de banda más angosto que la bicónica.

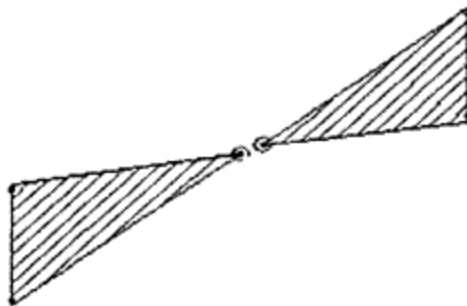


Figura 13 Antena Bow-Tie [15]

4.4.4. Dipolo doblado

La técnica del dipolo doblado consiste en modificar la forma del dipolo convencional para formar un loop rectangular muy delgado. Al utilizar este tipo de estructura, la antena empieza también a comportarse como un transformador de

impedancias lo que le permite alterar la impedancia de entrada, resultando al final en una alteración del ancho de banda. La Figura 13Figura 14 muestra la antena dipolo doblado.

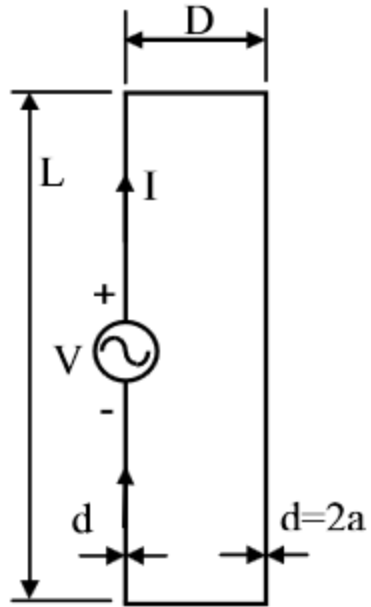


Figura 14 Ejemplo de dipolo doblado [16]

5. DESARROLLO

5.1. Descripción General

Con este trabajo de grado de investigación se buscó la implementación de una antena con propiedades de banda ancha, que para acoger el rango de la banda baja de UHF. Todo esto utilizando la técnica de mangas.

La técnica de mangas, como se comentó con anterioridad, consiste en colocar alrededor de la antena una cantidad determinada de objetos conductores. Estos elementos conductores influyen directamente en la forma en que se distribuye la corriente y se generan los campos eléctricos y magnéticos, modificando de esta forma la respuesta en frecuencia de la antena. En particular, lo que se busca con esta técnica es modificar la impedancia a la entrada de la antena, permitiéndole de esta forma tener un mayor ancho de banda.

Durante el presente trabajo de investigación, se usó una técnica de mangas con la antena helicoidal cuadrifilar, la cual, para este tipo de desarrollos, da un par de grandes ventajas: La primera es en cuanto el tamaño, esta antena se basa en la helicoidal, que tiende a ser un dipolo de tamaño reducido. La segunda es que estas antenas tienden a tener funcionamiento en múltiples bandas.

El trabajo de investigación buscó manipular la impedancia de una antena helicoidal cuadrifilar, utilizando la técnica de mangas (mostrada en la Figura 15), para diseñar una antena que funcione en la banda baja de UHF.

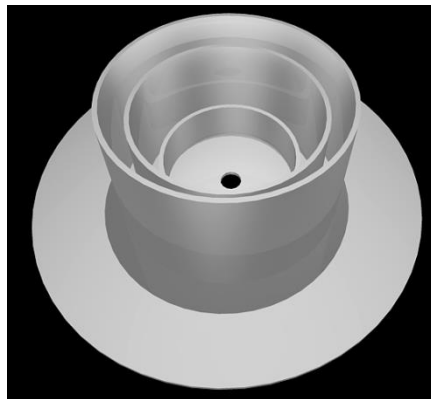


Figura 15 Técnica de mangas diseñada

5.2. Desarrollo teórico

Cuando se trabaja en el diseño de componentes en alta frecuencia, uno de los procesos más importantes es el proceso de simulación, ya que es aquí donde se puede verificar completamente el comportamiento de los campos. Para realizar el proceso de diseño de la antena, se buscó realizar una serie de simulaciones para poder sacar dos resultados importantes. El primero es verificar si la plataforma de

simulación usada, HFSS IE Designer, basada en el método de los momentos, es una herramienta suficiente para poder describir correctamente los problemas de RF en este tipo de antenas. El segundo es para utilizar esta serie de antenas como referencia y poder percibir los cambios al aplicar las técnicas de banda ancha elegidas.

5.2.1. Antena Monopolo

La antena monopolo, mostrada en la Figura 16, es la más sencilla y base de las antenas con plano a tierra. De acuerdo a la documentación estudiada, debe presentar un comportamiento como el mostrado en la Figura 17. Usando el software HFSS se realizó la simulación del comportamiento de esta antena, para verificar la correcta funcionalidad del simulador, y para servir como referencia de los efectos de los distintos tipos de antenas y la técnica de mangas para aumentar el ancho de banda de una antena.

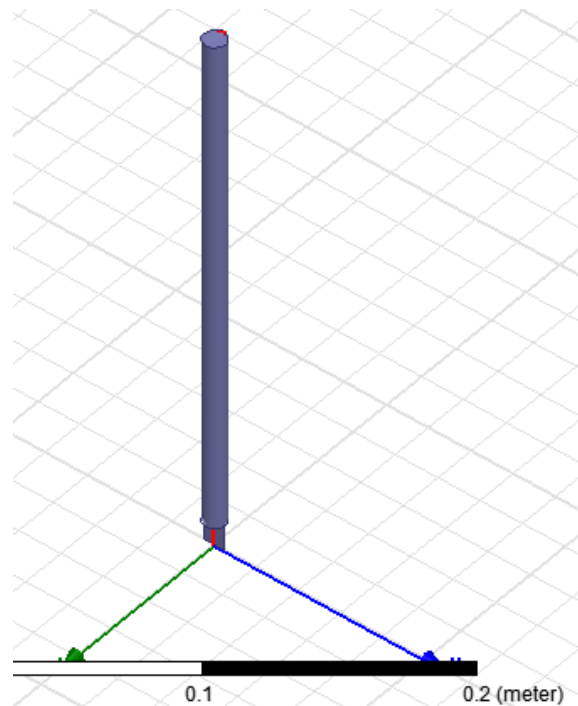


Figura 16 Modelo del Dipolo

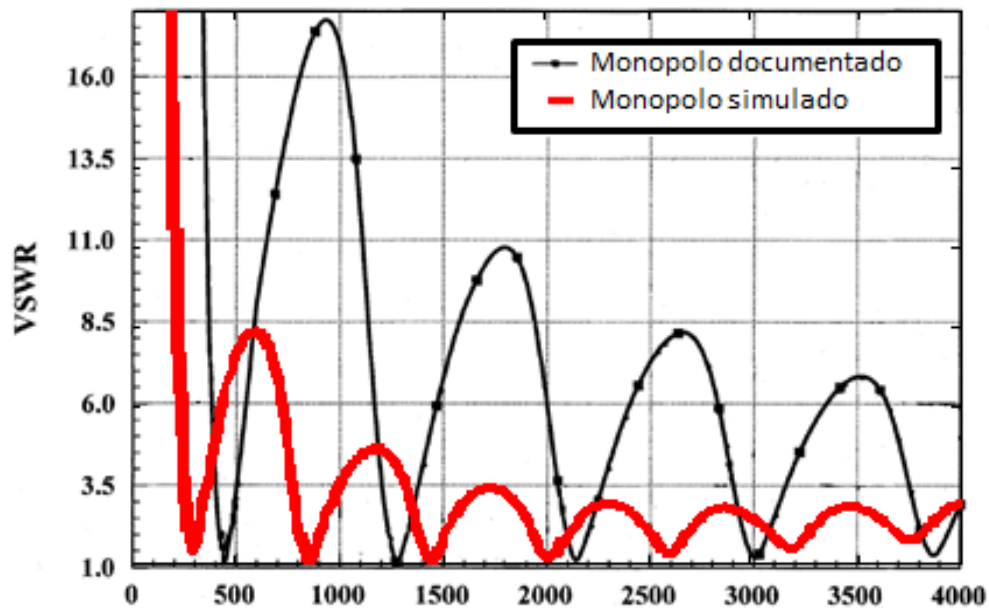


Figura 17 Respuesta del Monopolo

En general se observa que a pesar de que los valores de VSWR tienden a ser mayores en lo documentado, la simulación logra aproximarse bastante a la tendencia de los resultados obtenidos en [4].

5.2.2. Antena Cage

En la Figura 18 se muestra la forma de la antena tipo Cage, una antena conformada por 4 secciones verticales unidas en los extremos. De acuerdo a [4], el comportamiento básico de una antena cage es el mostrado en la Figura 19. Al comparar los datos documentados con la simulación, se observa que los comportamientos se acercan bastante. Con estos resultados se puede apreciar como esta antena, en particular, puede tener un ancho de banda más amplio que la antena dipolo convencional, pero sigue presentando varios puntos de desacople.

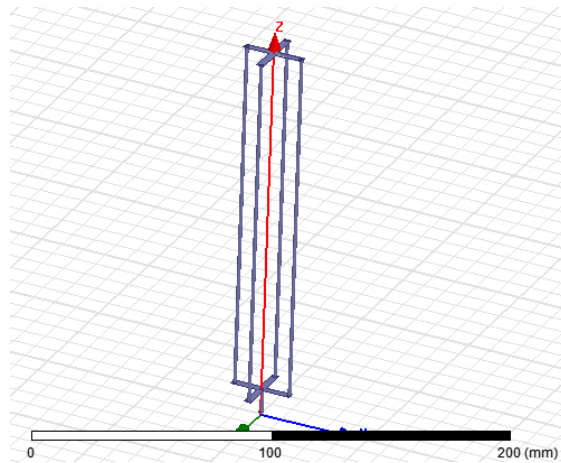


Figura 18 Modelo de la Antena Cage

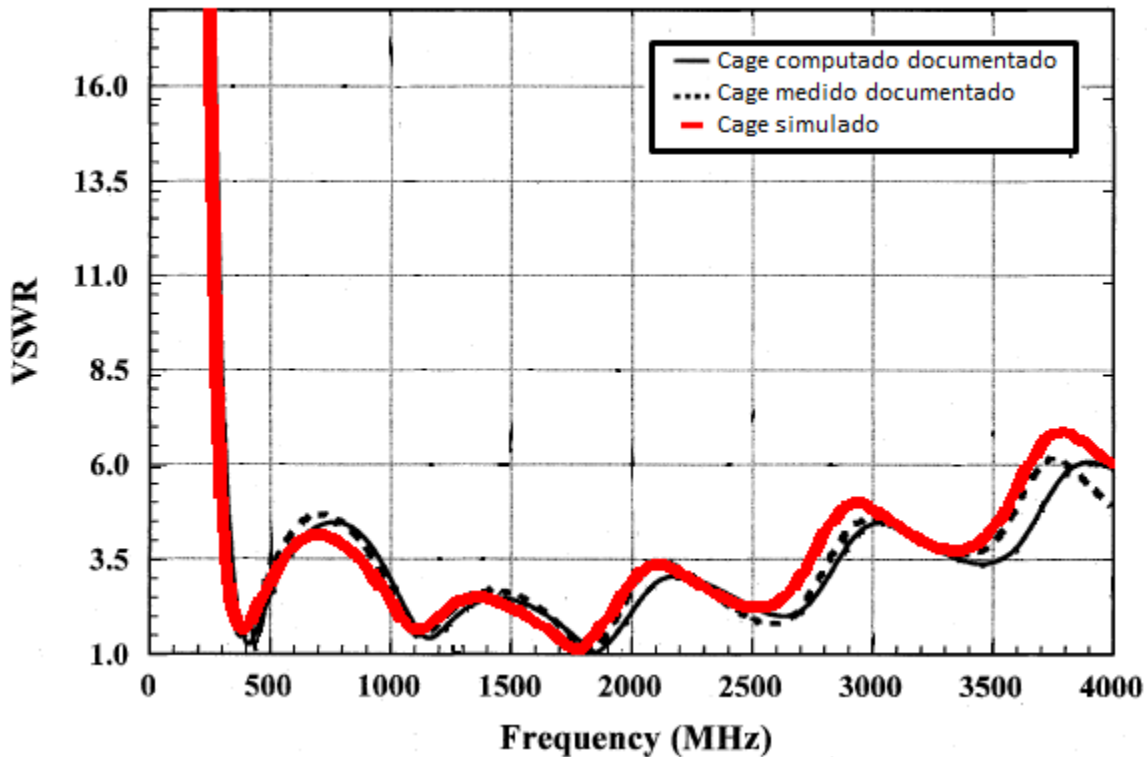


Figura 19 Resultado de la antena Cage

5.2.3. Antena Cage con mangas

La Figura 20 muestra el resultado de colocar unos alambres conductores alrededor de la antena cage. Estos alambres están funcionando como mangas de esta antena. La Figura 21 muestra los resultados documentados y los resultados de la simulación realizada, nuevamente se ve como se acercan estos dos resultados. Al comparar estos resultados con los mostrados en la sección anterior, se observa la funcionalidad de la técnica de mangas, la cual modifica la respuesta en impedancia de la antena Cage, resultando en un mejor comportamiento en banda ancha.

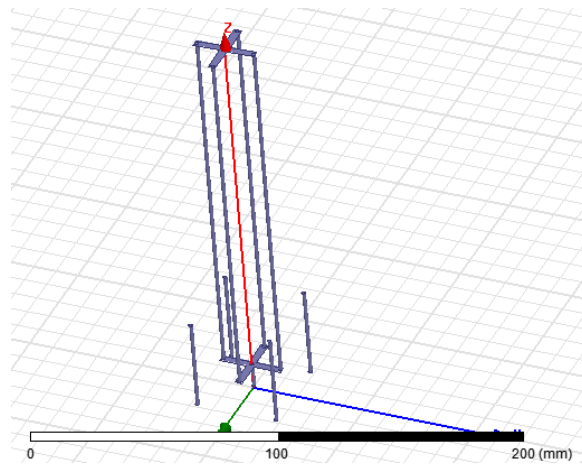


Figura 20 Modelo de la antena Cage con Mangas

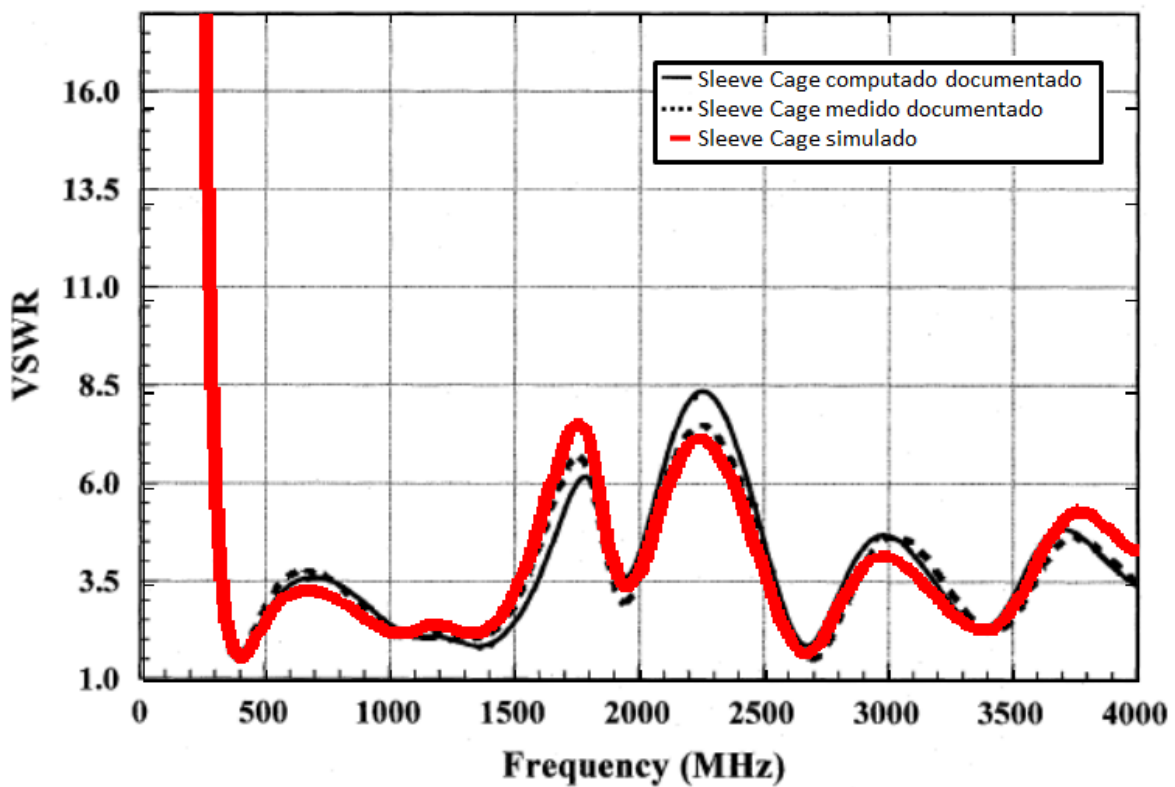


Figura 21 Respuesta de la antena Cage con Mangas

5.2.4. Antena Helicoidal Cuadrifilar

La Figura 22 muestra la estructura de la antena helicoidal cuadrifilar. Esta antena, como se muestra en la Figura 23, tiene por defecto un mejor comportamiento en banda ancha que las antenas mostradas anteriormente, además de poder llegar a ser de un tamaño reducido, razones por la era tan atractiva en aplicaciones como celulares. Al

comparar con los resultados de la simulación, se observa nuevamente que estos resultados están bastantes aproximados.

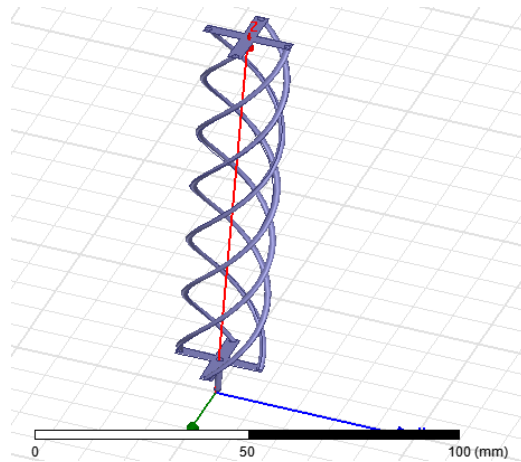


Figura 22 Modelo de la antena Helicoidal Cuadrifilar

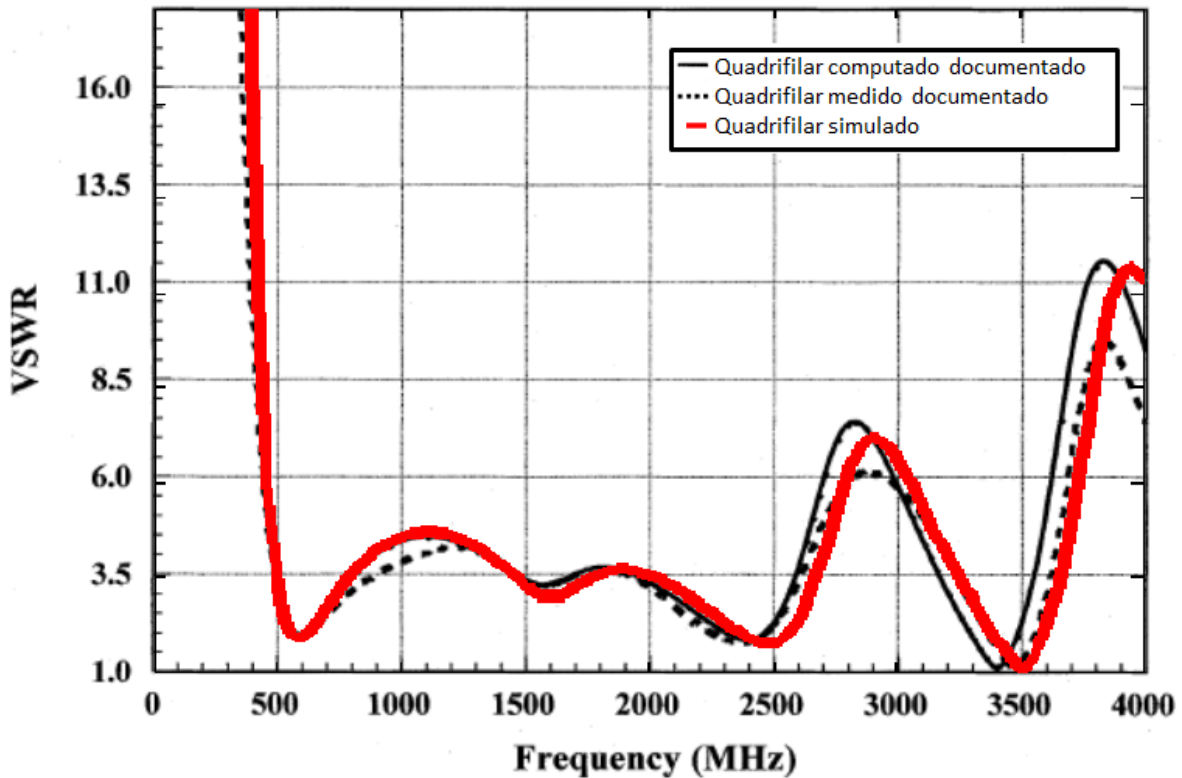


Figura 23 Respuesta antena Helicoidal Cuadrifilar

5.2.5. Antena Helicoidal Cuadrifilar con Mangas

La Figura 24, muestra la estructura de la antena helicoidal cuadrifilar al agregar unos alambres conductores. En este caso, la respuesta en frecuencia mejora con respecto a los de la helicoidal cuadrifilar, tanto en los documentados, como en los obtenidos tras realizar la simulación (Figura 25).

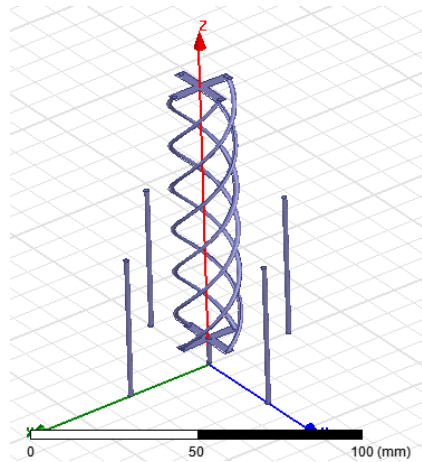


Figura 24 Modelo de la antena Helicoidal Cuadrifilar con Mangas

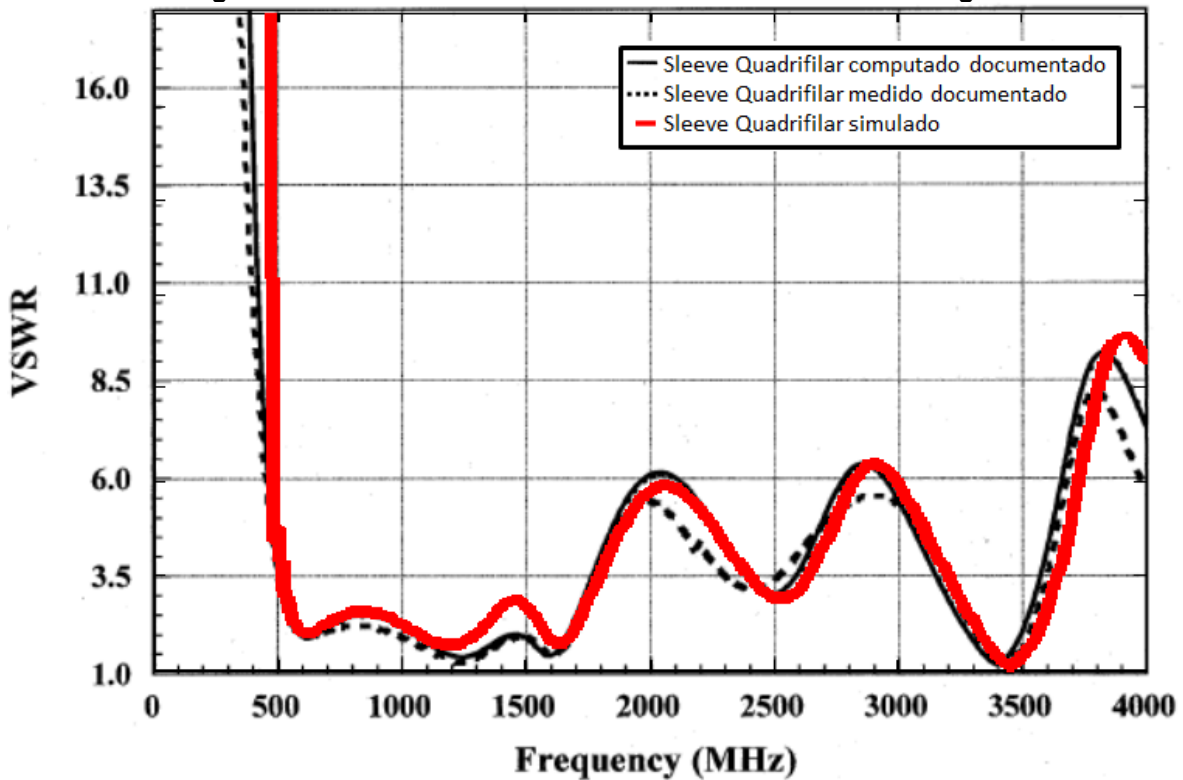


Figura 25 Respuesta Helicoidal con Mangas

5.3. Desarrollos de diseño

El proceso de diseño fue basado en un proceso de optimización, que consistió en evaluar las características de acople de la antena en presencia de anillos de distintos altos y radios. Una vez realizado un barrido, se procedió a colocar una segunda etapa de mangas para mejorar la respuesta en frecuencia, haciendo generando un nuevo barrido. Por último se colocó un tercer anillo y se realizó un último proceso de simulación. A partir de los resultados se escogieron las distancias que en general mostraron los mejores resultados y se realizó un último

proceso de simulación para encontrar los valores más adecuados para la construcción de los prototipos.

Para evitar tiempos de simulación muy largos, se realizó una primera etapa de pruebas sobre una antena Cage, que cuenta con una estructura más sencilla que la Helicoidal Cuadrifilar y permitía ver los efectos de las mangas a implementar en este tipo de implementaciones de antenas.

5.3.1. Simulación de un anillo

El primer paso del desarrollo de la antena fue realizar un estudio de los efectos del tipo de manga que se usaría en una antena Cage como la expuesta en la sección 5.2.2. La Figura 26 muestra el modelo utilizado en la simulación.

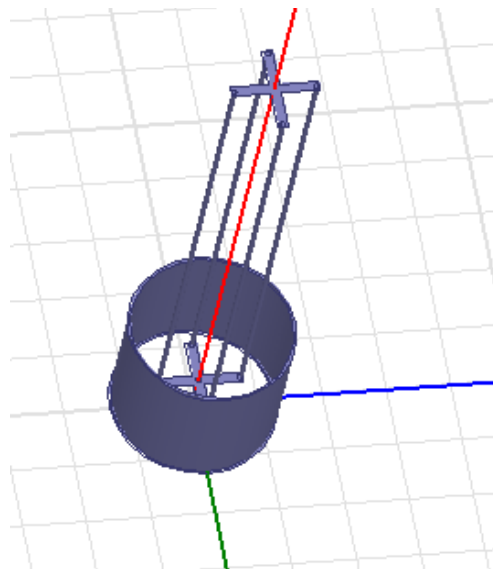


Figura 26 Antena Cage con Manga

Las Figura 27, Figura 28 y Figura 29, muestran algunos de los resultados obtenidos del barrido, se observan los efectos de la presencia de la manga en la antena Cage. A pesar de que algunos resultados empiezan a mejorar el comportamiento de la antena en las frecuencias de interés, por lo que estos se usarán para el segundo paso del proceso de diseño.

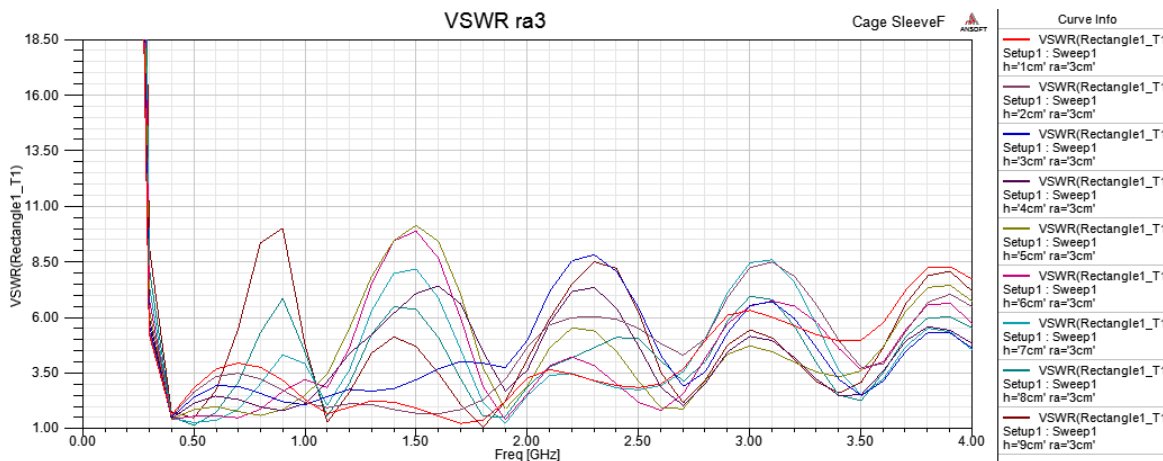


Figura 27 Conjunto de resultados para un anillo con radio de 3cm

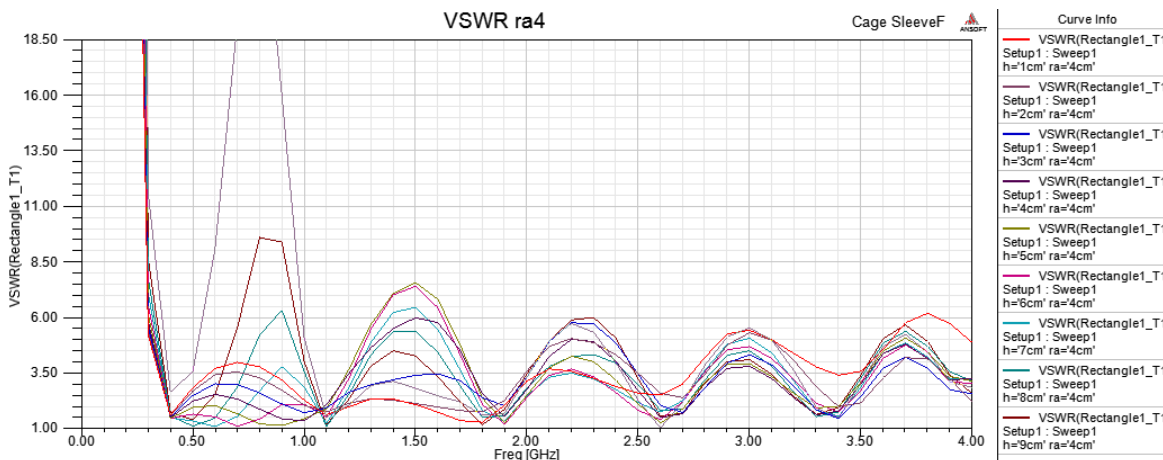


Figura 28 Conjunto de resultados para un anillo con radio de 4cm

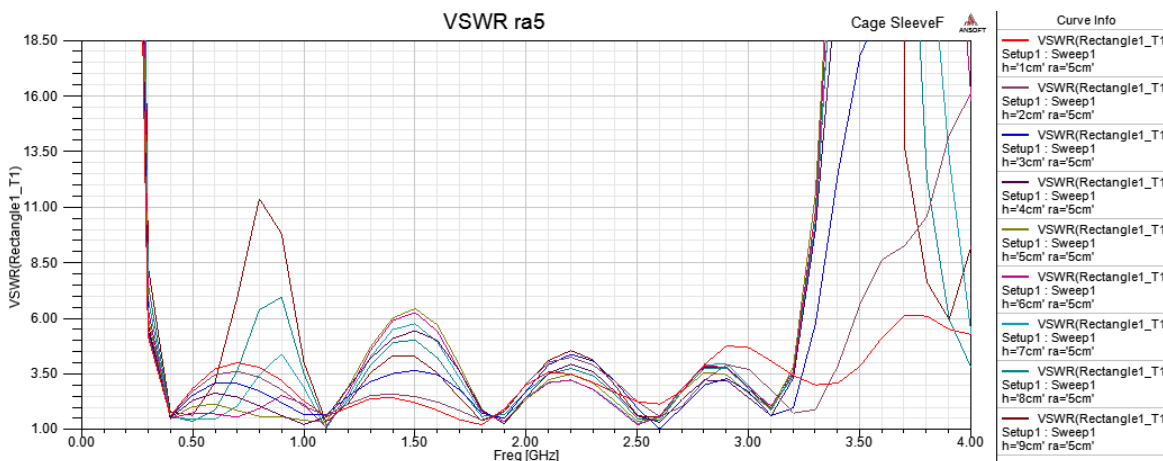


Figura 29 Conjunto de resultados para un anillo con radio de 5cm

Las Figura 30 Figura 35, muestran los resultados del VSWR dejando la altura fija y variando el radio. En estas graficas se logra apreciar que para alturas muy pequeñas y con radios muy alejados, las variaciones son bastante despreciables,

y para alturas muy altas con radios muy cercanos, empiezan a afectar de manera negativa el resultado del acople.

Para la altura de 2cm, se puede ver que los radios más cercanos, muestran resultados que permanecen debajo de 3.5 durante un buen ancho de banda. Las alturas más altas presentan resultados de VSWR y con alturas entre 4cm y 6cm presentan en la banda de interés resultados con VSWR bastante bajo.

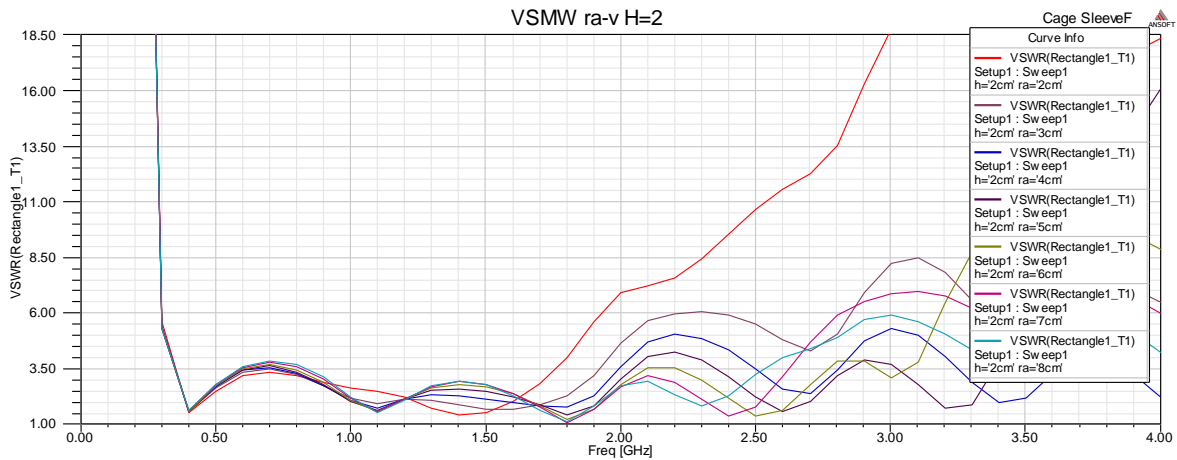


Figura 30 Variaciones de radio con altura fija de 2cm

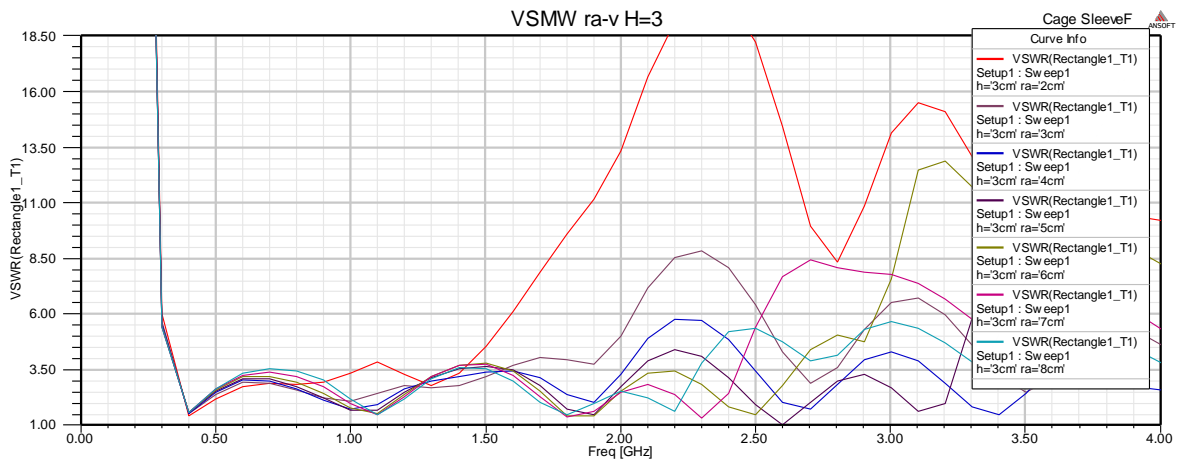


Figura 31 Variaciones de radio con altura fija de 3cm

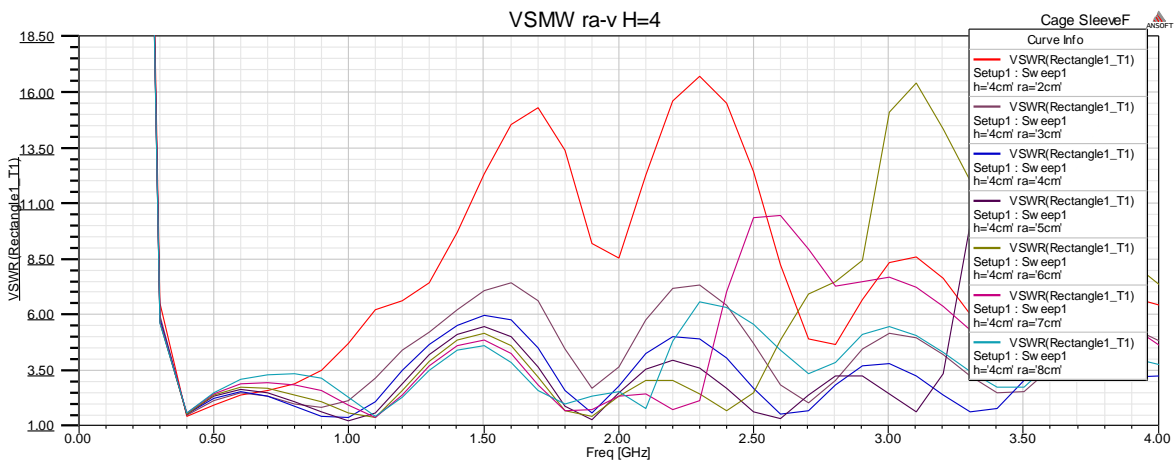


Figura 32 Variaciones de radio con altura fija de 4cm

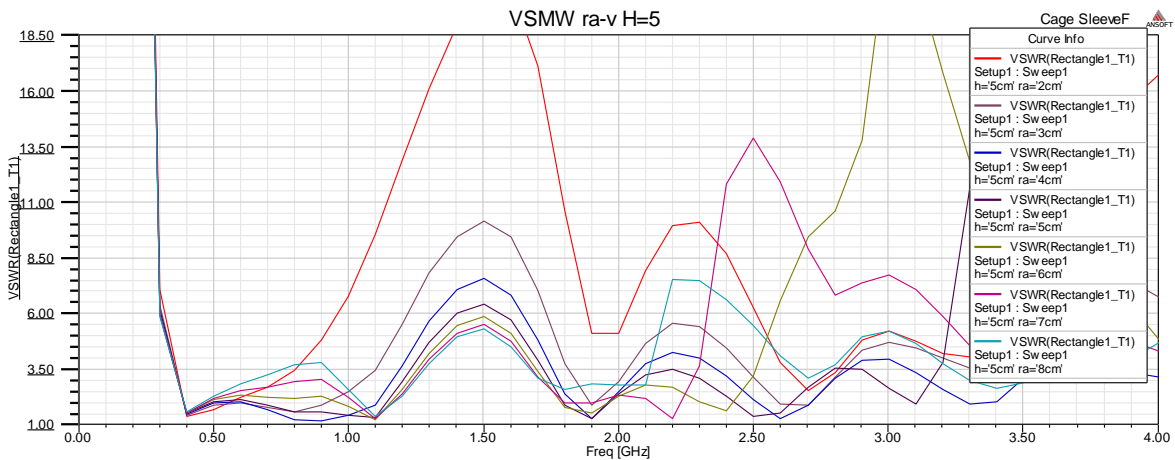


Figura 33 Variaciones de radio con altura fija de 5cm

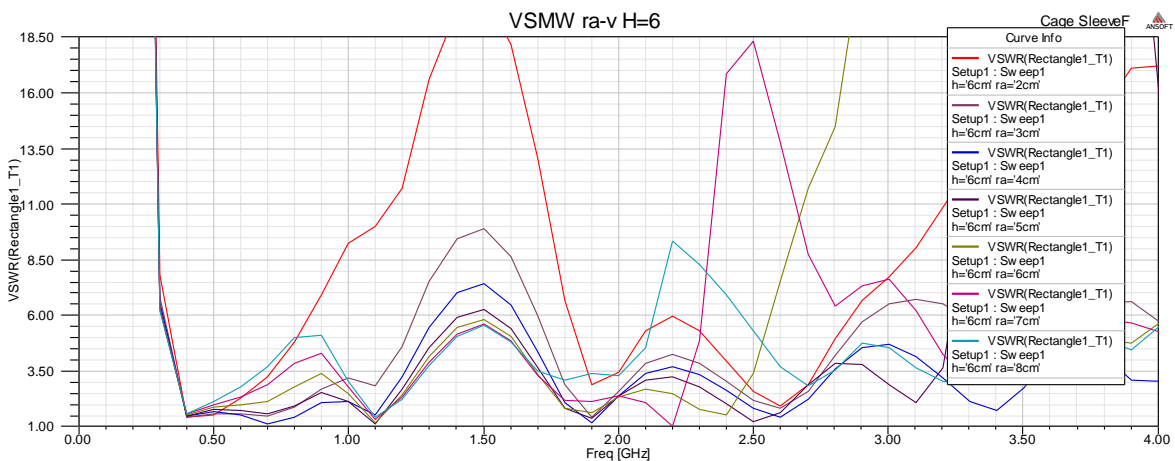


Figura 34 Variaciones de radio con altura fija de 6cm

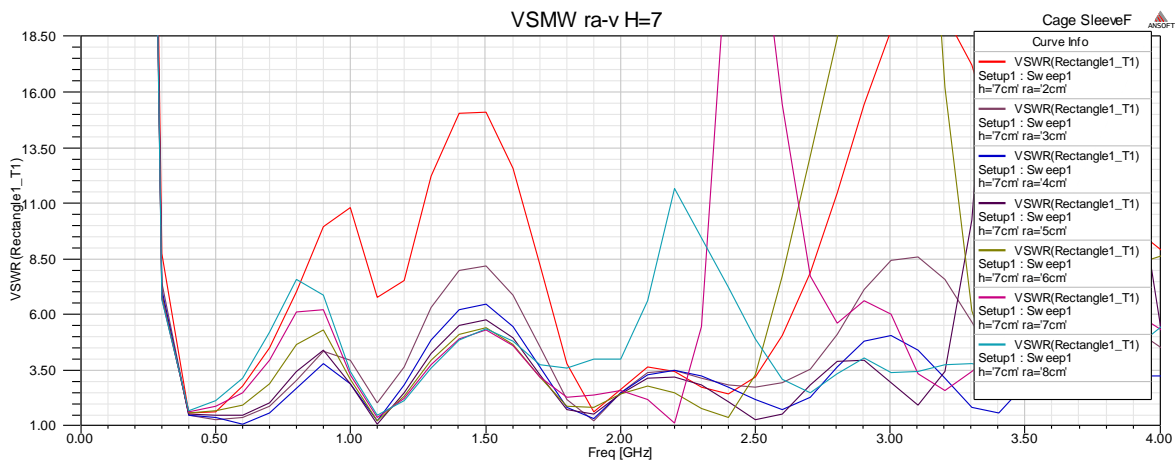


Figura 35 Variaciones de radio con altura fija de 7cm

5.3.2. Simulación de dos anillos

Una vez escogidos varios valores con un solo anillo se procedió a buscar la forma de mejorar el ancho de banda utilizando un segundo anillo para modificar la impedancia de entrada de la antena. La Figura 36, muestra el modelo usado.

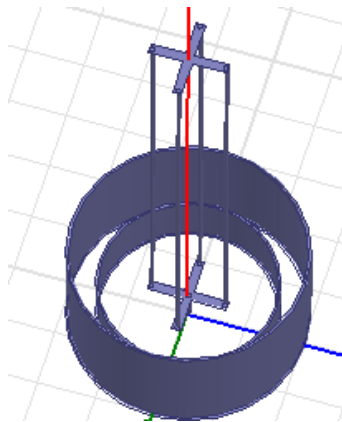


Figura 36 Modelo de antena Cage con dos mangas

Algunos de los resultados son mostrados en las Figura 37 Figura 38, en este barrido se observó que a pesar de que el segundo anillo afectaba el comportamiento de la antena, la variación que producía era en general de menor cantidad que la del primer anillo. Por esta razón y para lograr obtener un resultado con el mejor ancho de banda se optó por utilizar tres anillos.

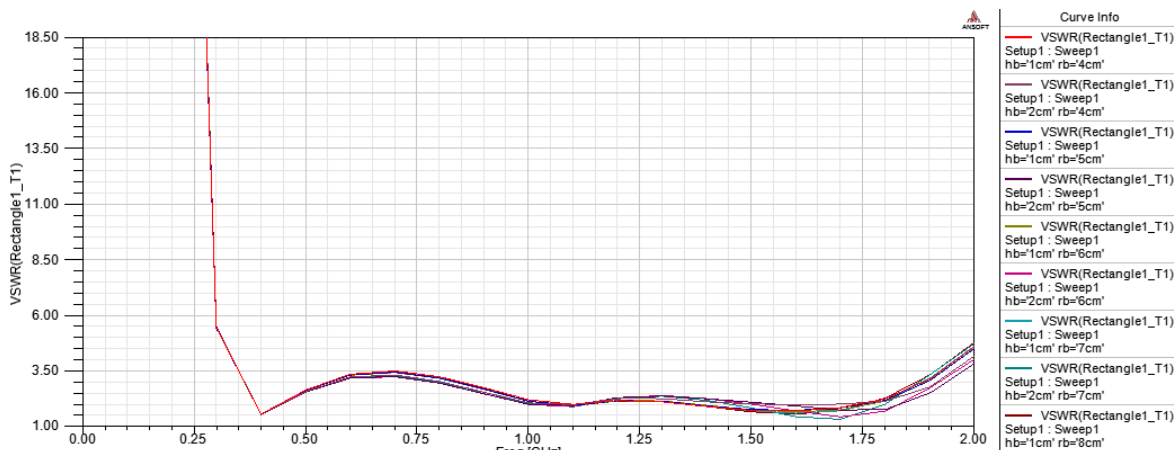


Figura 37 Resultados de VSWR con uno de los anillos fijo con radio de 3cm

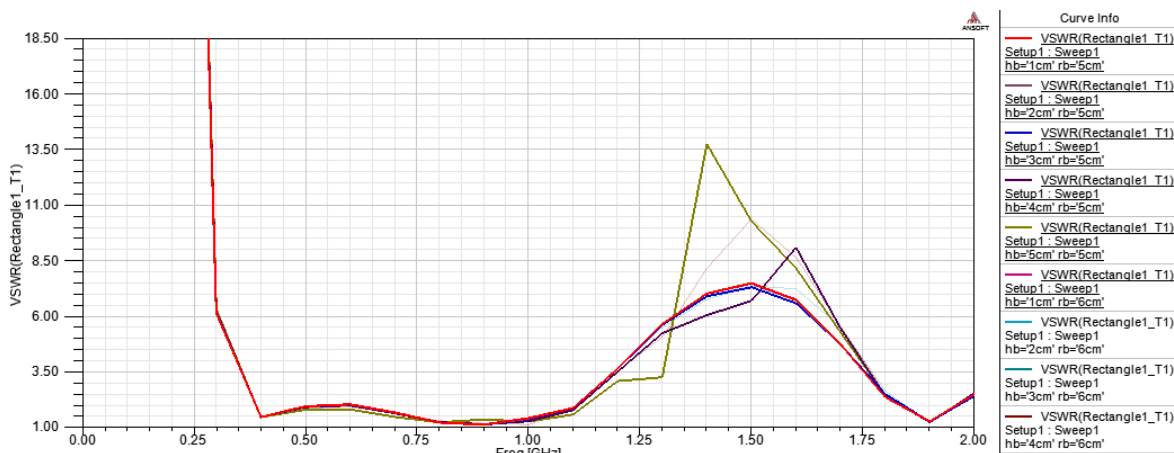


Figura 38 Resultados de VSWR con uno de los anillos fijo con radio de 4cm

5.3.3. Simulación de tres anillos

Una vez realizadas las simulaciones para uno y dos anillos se procedió a hacer una nueva simulación, esta vez utilizando tres anillos y la antena helicoidal cuadrifilar a diseñar para verificar el funcionamiento de la antena.

A partir de los resultados obtenidos en las pruebas anteriores, se seleccionaron tres radios para los anillos y la simulación consistió en encontrar las alturas más adecuadas para los mismos. Los radios seleccionados fueron 3, 4 y 5cm. El modelo de la antena diseñada se muestra en la Figura 39.

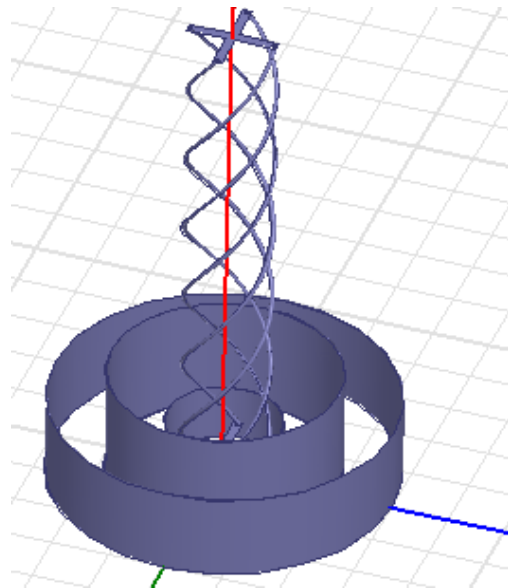


Figura 39 Modelo de la antena Helicoidal Cuadrifilar con 3 Mangas

El barrido obtenido se puede observar en la Figura 40. Una vez terminado este barrido se buscaron los resultados que parecieran más prometedores, buscando uno con un ancho de banda lo más amplio posible y uno que tuviera el mejor acople en el ancho de banda de interés.

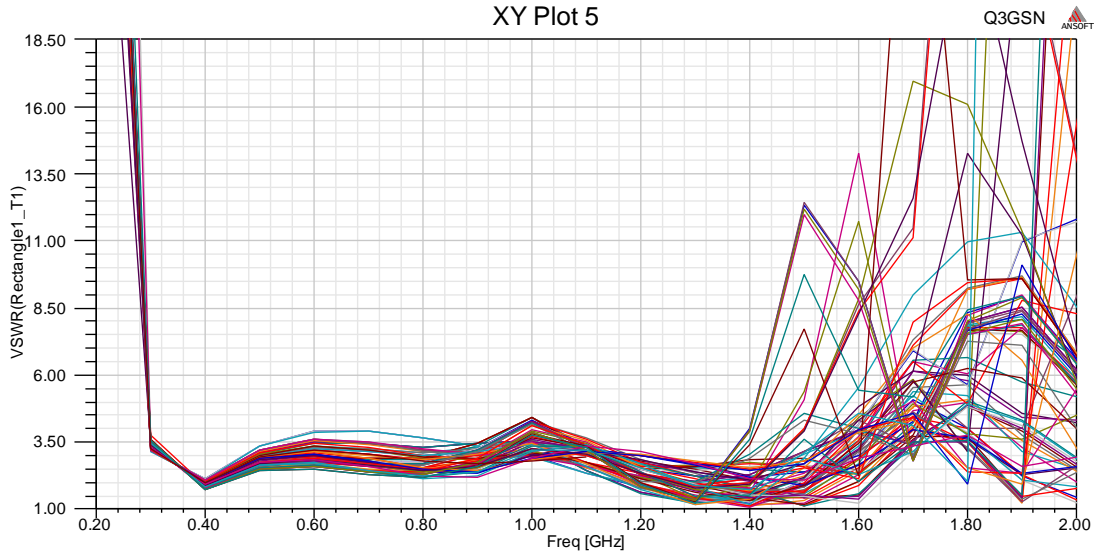


Figura 40 Resultados de la antena con 3 Mangas

5.3.4. Resultados seleccionados

El primero de los dos resultados seleccionados contaba con las siguientes medidas:

Radio de anillo interno: 3cm
Radio de anillo medio: 4cm

Radio de anillo externo: 5cm
Altura de anillo interno: 2cm
Altura de anillo medio: 2cm
Altura de anillo externo: 4cm

El modelo se puede observar en Figura 41 se muestra el modelo de simulación de la antena, y de la Figura 42 a la Figura 45, se muestran los resultados de radiación y acople de la antena.

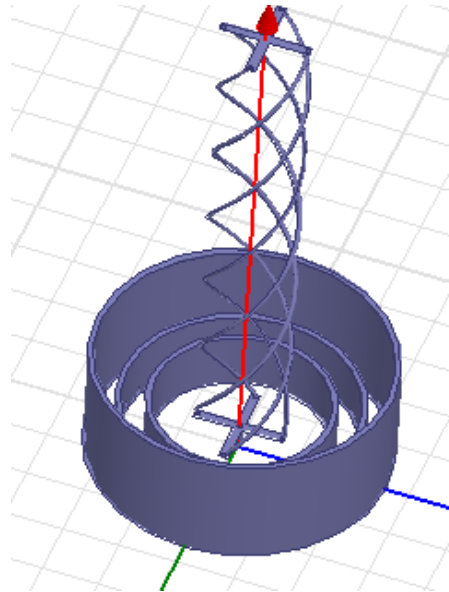


Figura 41 Antena seleccionada No 1

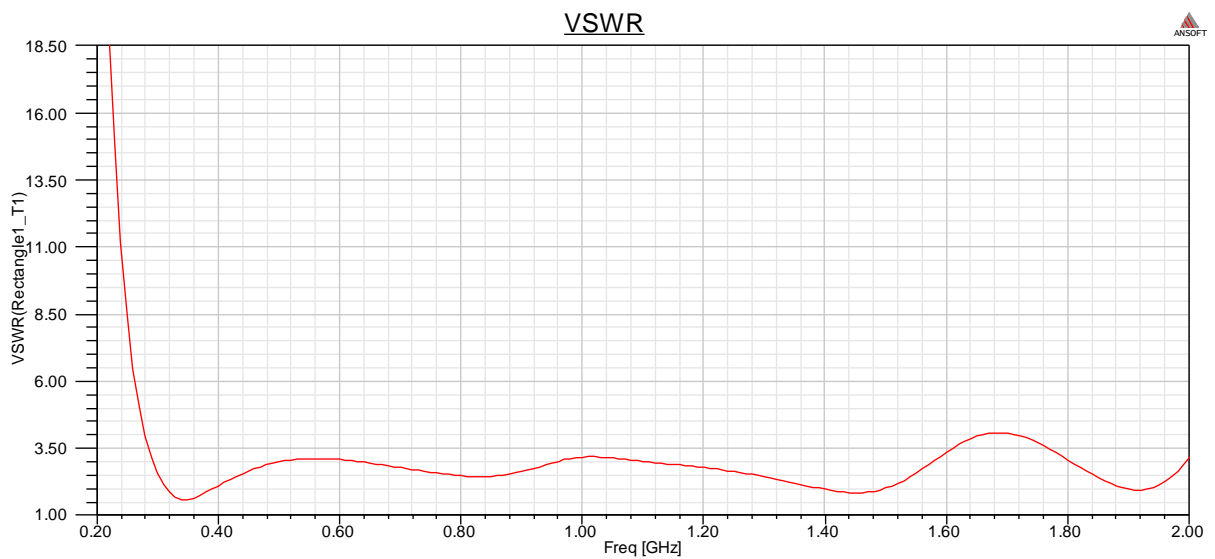


Figura 42 VSWR de la antena seleccionada No 1

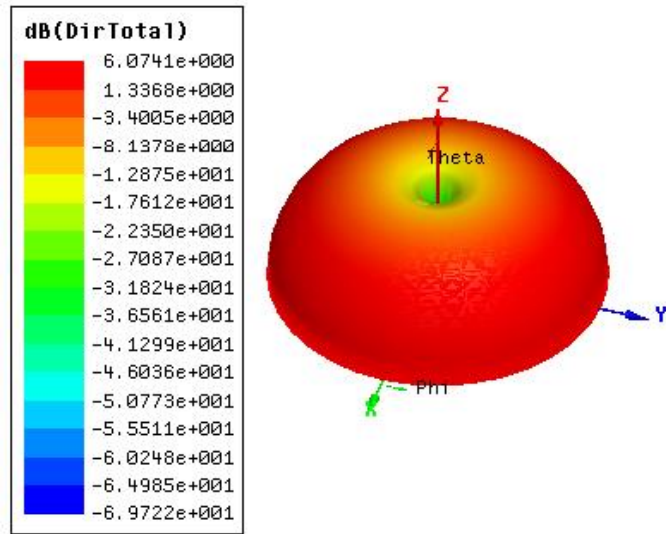


Figura 43 Directividad total de la antena No 1 en la frecuencia central del rango elegido

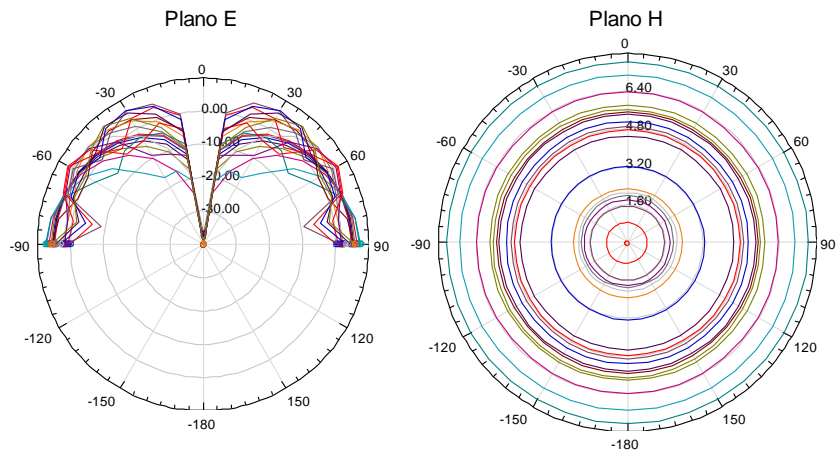


Figura 44 Planos E y H de la antena No 1

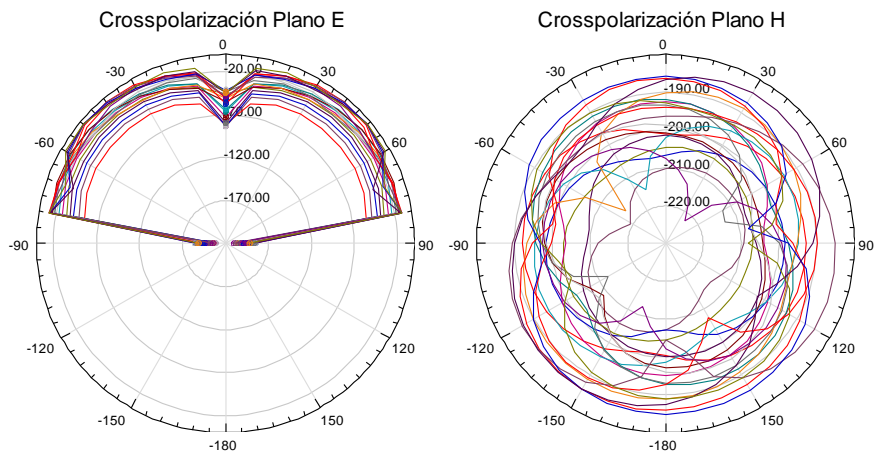


Figura 45 Crosspolarización en la antena No 1

Los resultados muestran un ancho de banda desde los 280MHz hasta los 1.6GHz, de acuerdo al límite de 3.5 definido en el trabajo. Se observa también que a pesar de que en algunos casos deja de comportarse del todo como una antena totalmente omnidireccional, sigue tratando de mantener este comportamiento durante todo su ancho de banda, además de tener una crosspolarización en general baja durante su rango de funcionamiento. Esta antena fue seleccionada porque mostraba un buen funcionamiento de banda ancha.

Las medidas del segundo resultado fueron:

Radio de anillo interno: 3cm

Radio de anillo medio: 4cm

Radio de anillo externo: 5cm

Altura de anillo interno: 2cm

Altura de anillo medio: 5cm

Altura de anillo externo: 6cm

Su modelo se muestra en la Figura 46, se muestra el modelo de la segunda antena. Desde la Figura 47 hasta la Figura 50 se observan los resultados obtenidos

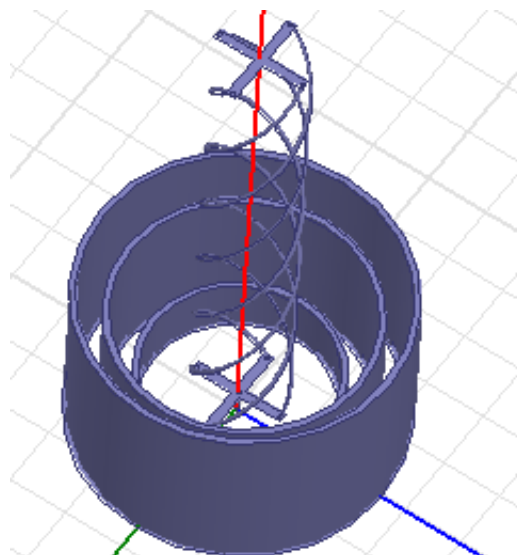


Figura 46 Antena seleccionada No 2

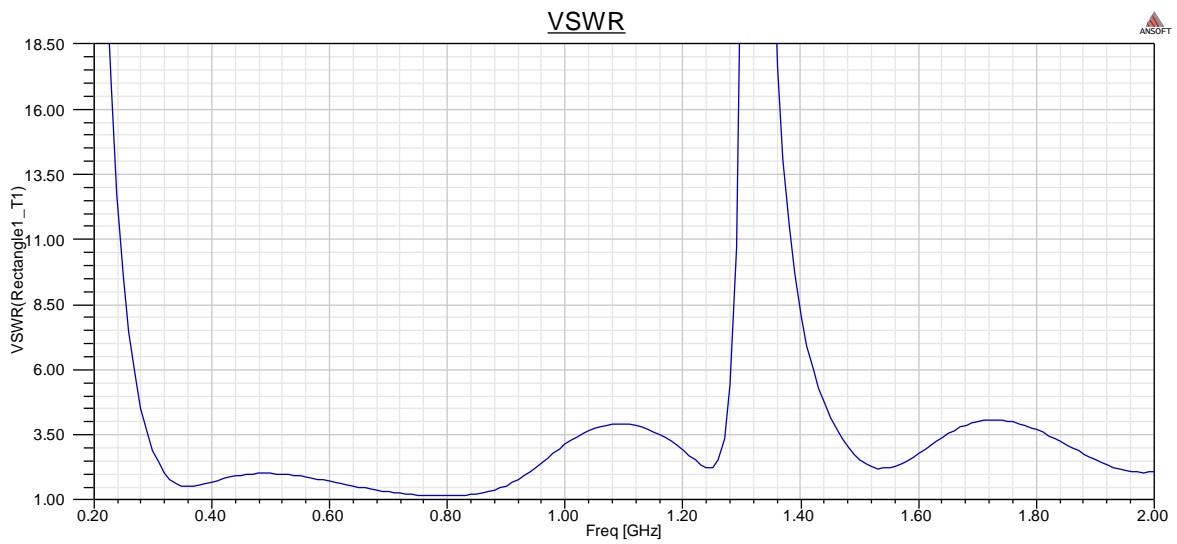


Figura 47 VSWR de la antena seleccionada No 2

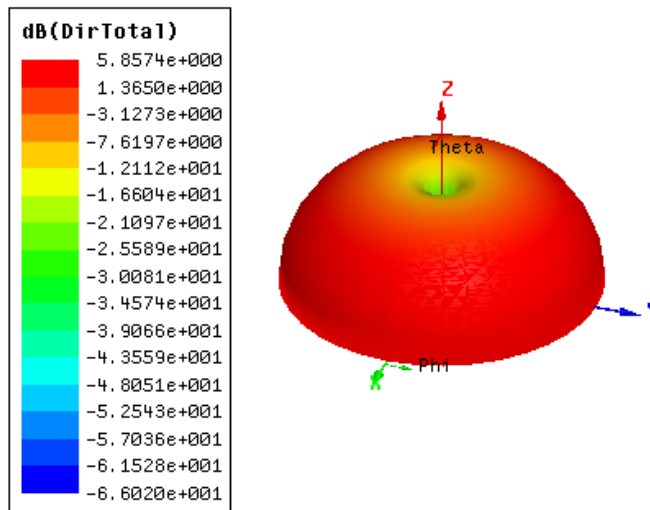


Figura 48 Directividad total de la antena No 2 en la frecuencia central del rango elegido

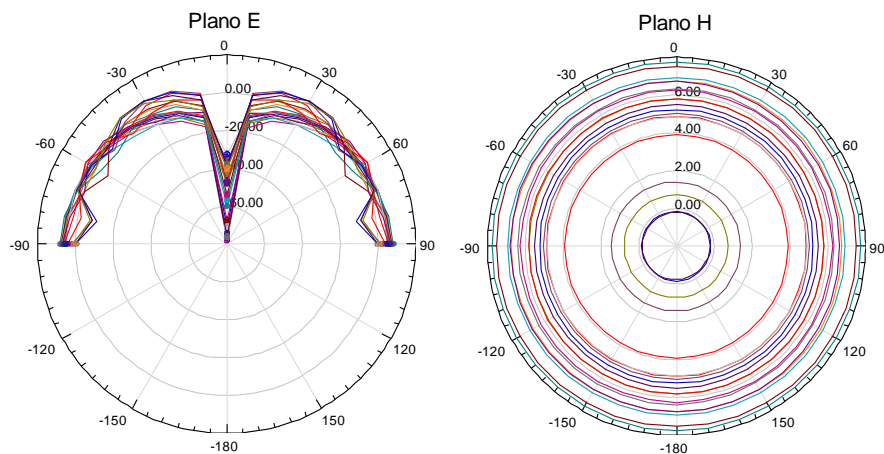


Figura 49 Planos E y H de la antena No 2

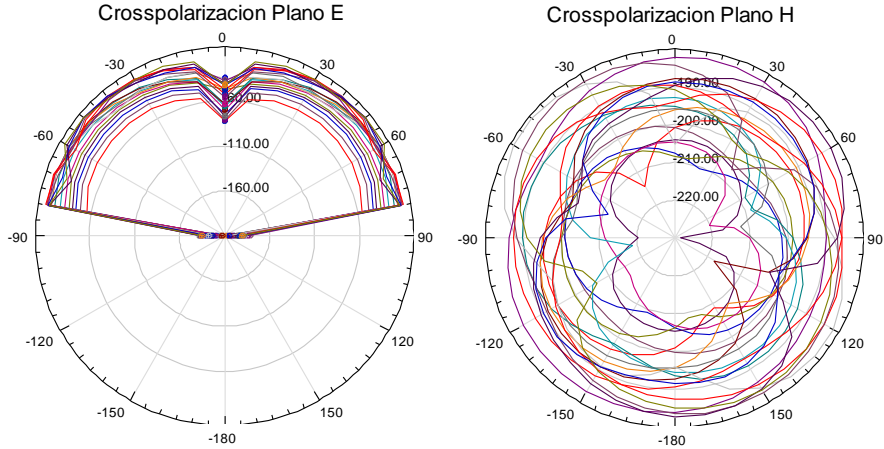


Figura 50 Crosspolarización en la antena No 2

En este caso se puede observar también que las propiedades de radiación de la antena, presentan un buen comportamiento omnidireccional en el rango deseado. De nuevo en altas frecuencias el comportamiento direccional tiende a dañarse un poco, pero las crosppolarizaciones se muestran unos valores bajos. Esta solución presentó un acople muy bueno específicamente en el rango deseado, siendo esta la razón por la que se escogió.

5.4. Proceso de fabricación

El proceso de fabricación se dividió en tres partes: selección del plano de tierra, diseño de las mangas y diseño de la antena helicoidal. Cada una de las partes trajo consigo unos desafíos que ocasionaron cambios en los resultados.

5.4.1. Plano de tierra

El plano de tierra es una superficie conductora, la cual servirá como voltaje de referencia para la creación de los campos de las antenas monopolos. Para funcionar correctamente, el plano de tierra debe tener una distancia de por lo menos $\lambda/2$ alrededor de la antena.

El plano de tierra usado (Figura 51a) está formado por dos láminas, usadas para tener una mejor conductividad, de un tamaño de 1,25m x 1,25m. Como se observa en la Figura 51b, las láminas cuentan con una serie de tornillos que las conectan una a la otra, el propósito de estos es asegurar una uniformidad en las corrientes del plano de tierra.

Para lograr una uniformidad en la radiación, el punto de alimentación se encuentra en el centro del plano (Figura 52). En este punto se pondrá la antena y haciendo uso de tuercas y arandelas, se realiza una conexión mecánica entre el plano y la tierra del conector.



a b
Figura 51 Plano de tierra: a) Vista total, b) Detalle de conexiones



Figura 52 Detalle del punto de alimentación

5.4.2. Sistema de Mangas

Las mangas fueron construidas utilizando láminas de acero inoxidable que se doblaron para dar la forma a los anillos. La Figura 53, muestra el resultado de la fabricación de las piezas.

En la simulación se consideró un grosor muy pequeño en el diseño de las mangas, pero al fabricarlas, las láminas contaban con cierto grosor. Por esta razón, se realizó una nueva simulación para verificar que este grosor no afectaría de manera negativa los resultados medidos, el resultado de esta simulación se muestra en la Figura 54. Se puede observar que en general el comportamiento no se altera muy drásticamente, a pesar de que los valores se modifican en ambos casos, la forma de la gráfica se sigue manteniendo y el ancho de banda no sufre grandes cambios.



Figura 53 Bases de las antenas fabricadas

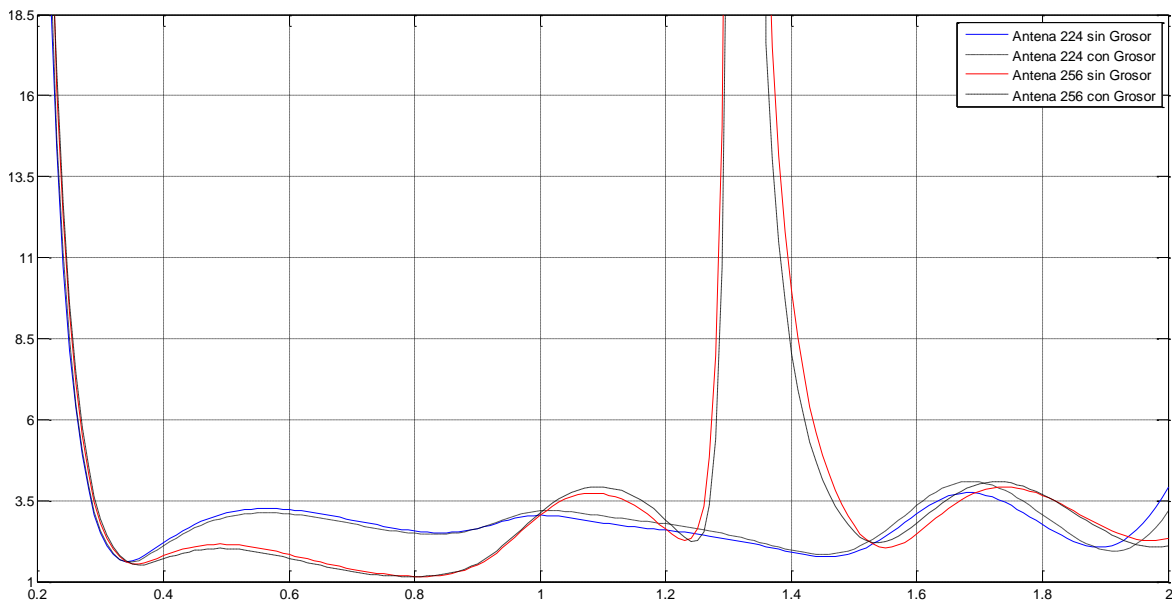


Figura 54 Efectos del grosor de los anillos

5.4.3. Antena Helicoidal Cuadrifilar

Para la construcción de la antena helicoidal, se trabajó un tubo de PVC como base y un alambre de cobre de 1.32mm de diámetro. De esta fabricación surgieron otros dos cambios: al tener un tubo de PVC como molde se eligió el que tuviera el diámetro exterior más cercano al puesto en la simulación. El tubo elegido tenía un diámetro de 4mm más que el simulado. El otro problema fue que al ser fabricada manualmente, las 4 hélices, a pesar de que se siguieron los planos quedaron con algunos desperfectos menores de separación.

Para fabricar las cruces que conectaban las cuatro hélices se utilizaron trozos de baquela. Estas cruces también sufrieron cambios con respecto a lo simulado, ya que para mayor facilidad en la fabricación y mejor estructura mecánica de la

antena, se dejaron un poco más gruesas las líneas de las cruces. La Figura 55, muestra la antena helicoidal cuadrifilar construida.



Figura 55 Antena Helicoidal Cuadrifilar

De igual manera para ver los posibles cambios producidos a los efectos de la construcción, se realizaron nuevas simulaciones aumentando el diámetro de las hélices y de las cruces. La Figura 56 muestra las comparaciones de las simulaciones con los cambios expuestos. En este caso se observa que este tipo de cambios son mucho más delicados porque al ser de la estructura radiante, modifican completamente los resultados esperados.

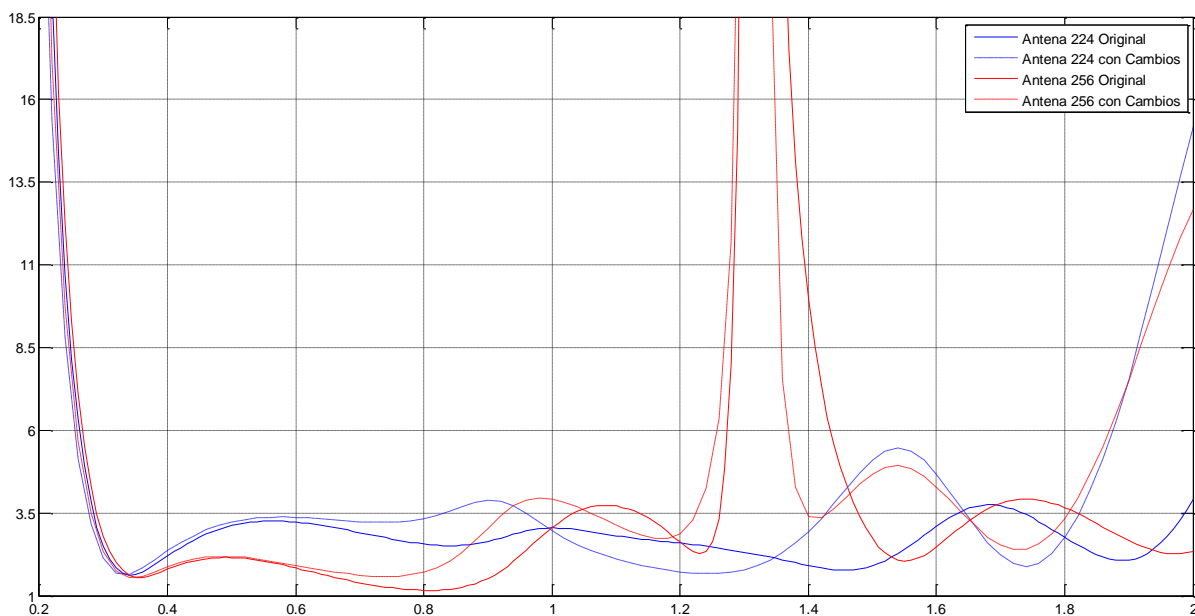


Figura 56 Efectos del diámetro de las hélices y grosor de las cruces

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Debido a la disponibilidad de herramientas, las medidas tomadas durante esta etapa del trabajo de investigación, se basaron principalmente en el acople de la antenas diseñadas.

El primer paso del análisis de los resultados fue la medición de la antena helicoidal cuadrifilar sola. La Figura 57 muestra la antena implementada sobre el plano de tierra. La Figura 59 muestra los resultados medidos de la antena helicoidal cuadrifilar sin ninguna de las mangas, se puede apreciar que en este caso no tiene un comportamiento de banda ancha.

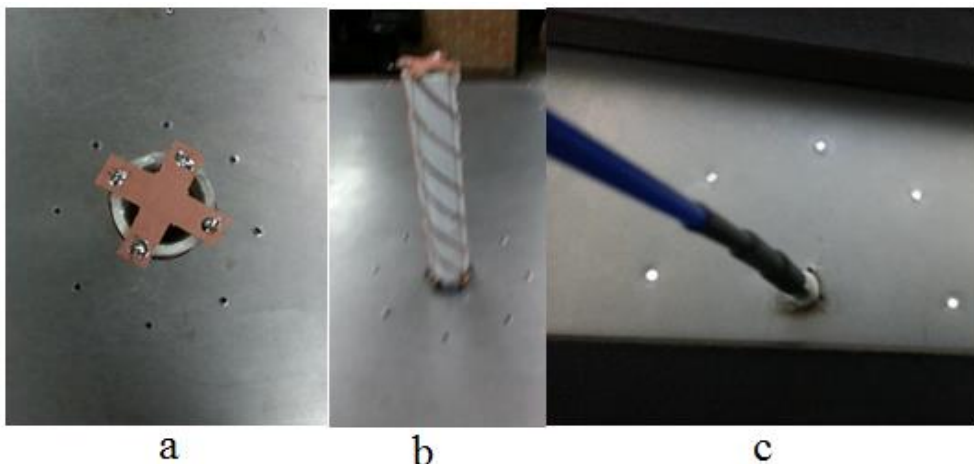


Figura 57 Implementación de la antena helicoidal cuadrifilar: a) vista superior, b) vista lateral
c) Conexión

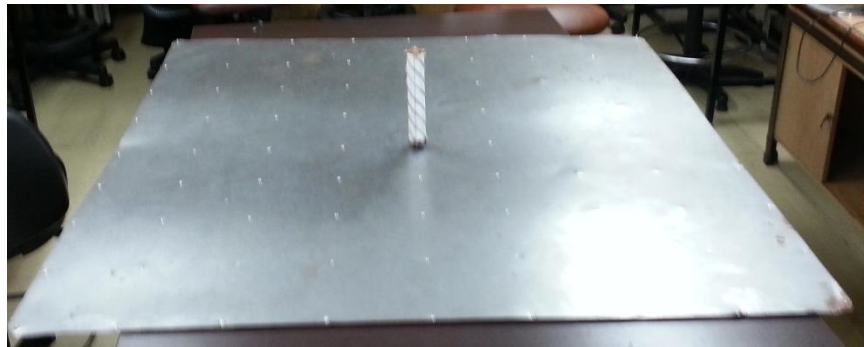


Figura 58 Vista total de la implementación de la antena helicoidal cuadrifilar

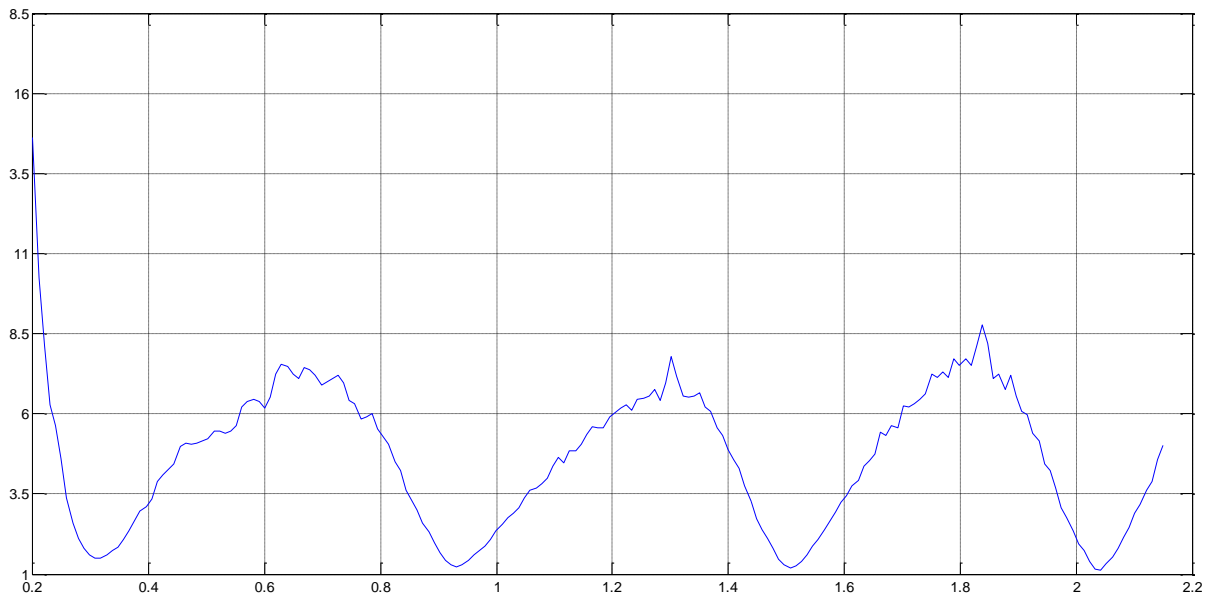


Figura 59 VSWR de la Antena Helicoidal Cuadrifilar

La Figura 60 muestra la primera antena implementada sobre el plano de tierra. El resultado y su comparación con la simulación se muestran en la Figura 62. De los resultados se puede ver que la antena presenta cambios en los acoples y un corrimiento en frecuencia. Estos cambios son el producto de las diferencias expuestas en el numeral 5.4. A pesar de que la forma de la gráfica intenta mantenerse, existen cambios de frecuencia, que pueden asumirse como variaciones en el largo de la antena. Los cambios en los niveles de acople se pueden dar también debido a que en la simulación se trabajó con materiales PEC (Perfect Electric Conductor) en tanto las hélices como las mangas, al colocar materiales reales con un nivel de resistencia puede cambiar la impedancia general de la antena.

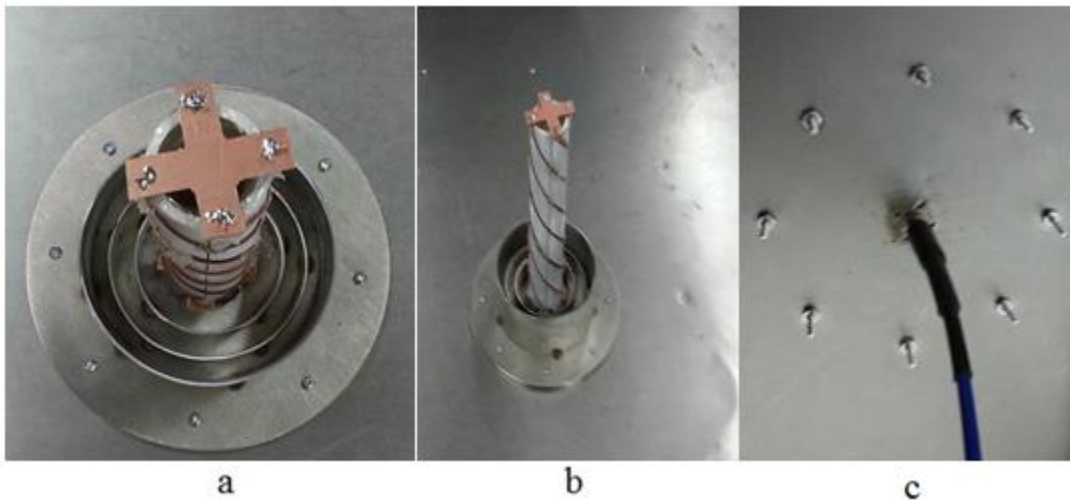


Figura 60 Implementación de la antena con mangas No 1: a) vista superior, b) vista lateral c) Conexión



Figura 61 Vista total de la implementación de la antena con mangas No 1

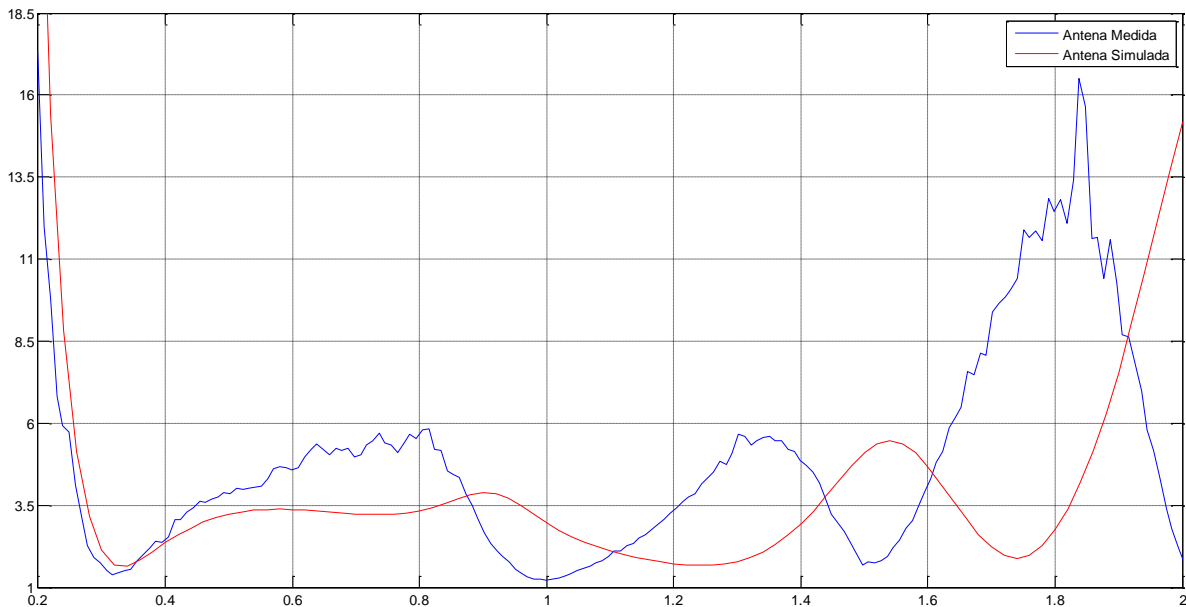


Figura 62 VSWR de la Antena No 1. Medida y simulada

La implementación de la segunda antena seleccionada se muestra en la Figura 63 y sus resultados comparados con la simulación se observan en la Figura 65. De nuevo se puede apreciar un corrimiento general en la frecuencia y que el acople se daña un poco, todo esto de nuevo producido por las diferencias explicadas. En esta antena también se muestra que el ancho de banda se logra mantener, funcionando desde 270MHz y 1.08GHz, que es un ancho de banda un poco mayor al objetivo.

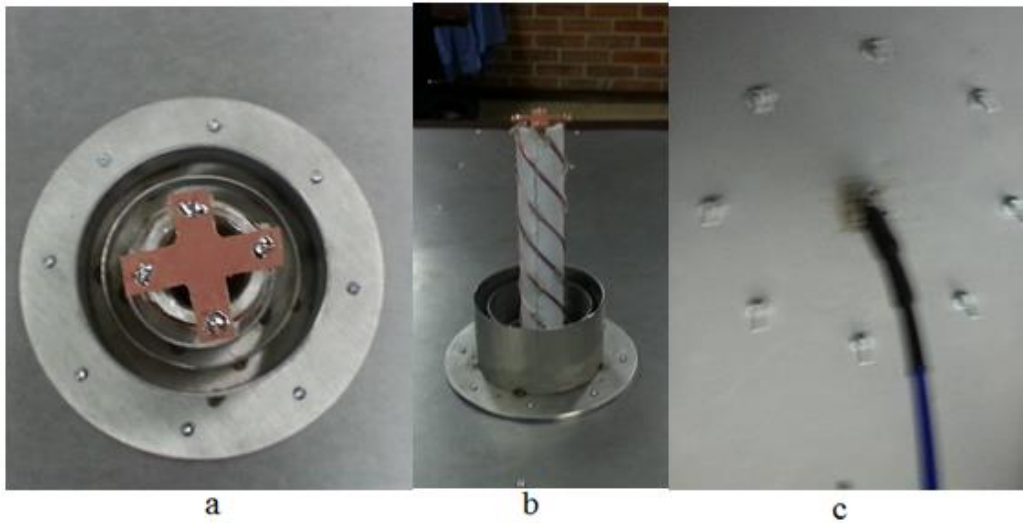


Figura 63 Implementación de la antena con mangas No 2: a) vista superior, b) vista lateral c) Conexión



Figura 64 Vista total de la implementación de la antena con mangas No 2

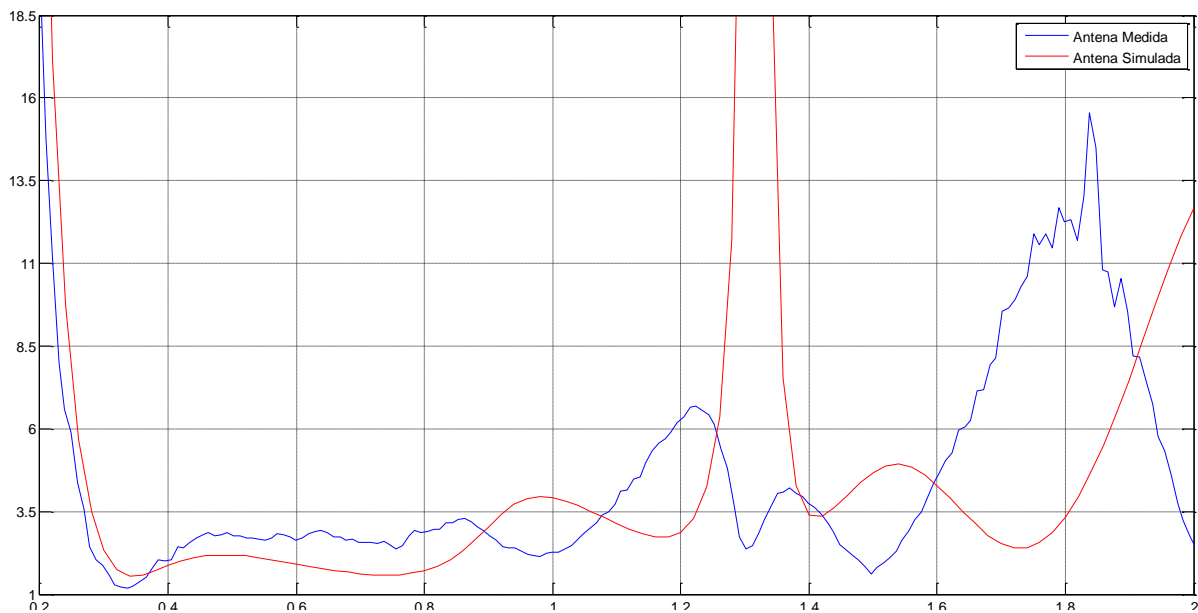


Figura 65 VSWR de la Antena No 2. Medida y simulada

La Figura 66 muestra una comparación del VSWR de las tres antenas medidas. De esta gráfica se puede apreciar claramente el efecto de las mangas en el comportamiento de la antena convencional. Las tres antenas cuentan claramente, en el rango mostrado, con las tres subidas de los valores medidos, pero se puede ver como las antenas con mangas ejercen cambios en la impedancia de entrada de la antena, haciendo que los valores dentro del rango de frecuencias de interés empiecen a descender.

De igual manera muestra otra condición importante del comportamiento de la antena cuando se agregan las mangas: a pesar de que los valores en el ancho de banda de interés disminuyen, a más altas frecuencias tienen un efecto totalmente contrario empeorando el acople en estos rangos de frecuencias.

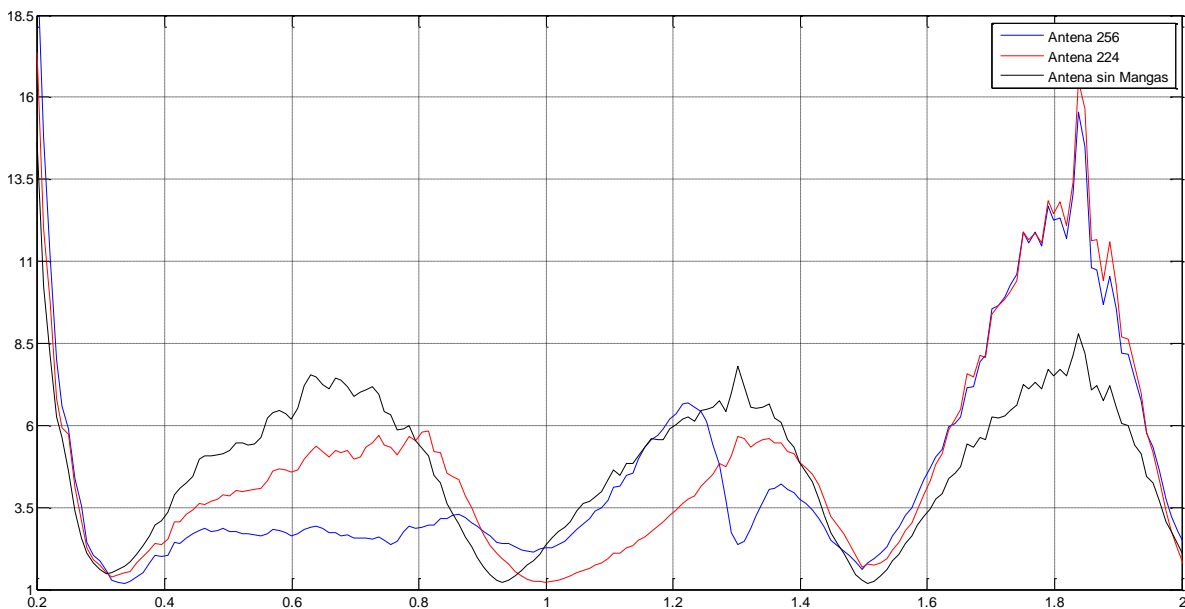


Figura 66 Comparación de las tres antenas medidas

La Tabla 1 muestra a manera comparativa los resultados más relevantes de la comparación. En cuanto al ancho de banda, se puede ver que con las mangas se ha logrado aumentar su valor en gran medida, hasta lograr el comportamiento de banda ancha buscado en este desarrollo.

De igual manera se colocó el valor de VSWR en la frecuencia central del rango de interés (650MHz), Se nota también la diferencia entre el colocar las mangas reduce el valor de VSWR medido en la antena sin mangas en un 72% con las mangas 224 y 39% para las mangas 256.

	FL (MHz)	FU (MHz)	BW (MHz)	BW 1:n	Valor en 650MHz
Helicoidal Cuadrifilar	260	410	150	1:2	7,247
Antena 224	260	450	190	1:2	5,204
Antena 256	260	1087	827	1:5	2,868

Tabla 1 Evaluación Comparativa de los resultados

Debido a los detalles de fabricación mencionados con anterioridad, no se logró llegar a un resultado tan sustancial como el presentado en la simulación pero aun así se nota el que las mangas son una herramienta válida en el diseño de antenas de banda ancha.

En ambos casos logra mejorar hasta cierto punto el acople de la antena permitiéndole un mayor ancho de banda que la antena convencional, aunque en uno de los casos no logró el ancho de banda indicado.

7. CONCLUSIONES

La técnica de mangas es una técnica efectiva para la modificación del ancho de banda de una antena. En los resultados obtenidos y simulados, se pudo observar que se logró una gran mejora en el funcionamiento en frecuencia de la antena sin afectar mucho la radiación de la misma.

La antena diseñada logro también una gran reducción en el tamaño de la antena comparada con un monopolo trabajando a 300MHz y con un mejor desempeño en frecuencia, teniendo como única limitante en cuando a portabilidad al plano de tierra. Uno de los futuros desarrollos basados en este trabajo, es la modificación del plano de tierra, cambiando la lámina por alguna estructura novedosa que permita mejorar la estructura de la antena, para hacerla más compacta y portátil.

A pesar de que las magas cumplieron con el objetivo de incrementar el ancho de banda de la antena, también generan un efecto diferente en las altas frecuencias, donde los valores de VSWR se incrementan en ambas implementaciones.

8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] D. Lamensdorf y M. A. Smolinski, «Dual-Band Quadrifilar Helix Antenna,» The MITRE Corporation, Bedford.
- [2] S. H. Zainud-Deen, H. A. Malhat1 y H. Kamal, «Octafilar Helical Antenna for Portable UHF-RFID Reader,» *International Journal of Radio Frequency Identification and Wireless Sensor Networks*, vol. 1, nº 2, pp. 13-20, 2011.
- [3] R. Pansomboon, C. Phongcharoenpanich y R. Phudpong, «Design of a dual-band quadrifilar helical antenna for radio beacon receiver,» de *International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communications Systems (ISPACS)*, 2011.
- [4] W.-b. S.-C. a. S.-H. Antennas, «Wide-band Sleeve-Cage and Sleeve-Helical Antennas,» *IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION*, vol. 50, nº 10, pp. 1409-1414, 2002.
- [5] C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*, John Wiley & Sons, Inc, 1997.
- [6] K.-H. Kim, J.-U. Kim y S.-O. Park, «An Ultrawide-Band Double Discone Antenna With the Tapered Cylindrical Wires,» *IEEE Transactions on antennas and propagation*, vol. 53, nº 10, pp. 3403-3406, 2005.
- [7] R. K. UIT, *Orientacion sobre el cumplimiento de los limites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos*, 2000.
- [8] o. N. R. H. IEEE Standards Coordinating Committee 28, *IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields 3kHz to 300GHz*, 1998.
- [9] R. K. UIT, *Directrices sobre la medición y la predicción numérica de los campos electromagnéticos para comprobar que las instalaciones de telecomunicaciones cumplen los límites de exposición de las personas*, 2003.
- [10] W. L. Stutzman y G. L. Thiele, *Antenna Theory and Design*, John Wiley & Sons Inc, 1998.
- [11] Y. Huang y K. Boyle, *Antennas from theory to practice*, John Wiley & Sons Ltd, 2008.
- [12] C.-F. Huang y Y.-T. Huang, «A Compact and Wideband Quadrifilar Helical Antenna Designed for RFID Readers,» de *The 2009 International Symposium on Antennas and Propagation*, Bangkok, 2009.
- [13] Z. N. Chen, «UWB antennas: Design and application,» de *Information, Communications & Signal Processing, 2007 6th International Conference on*, Singapore, 2007 .
- [14] D. Yu, W. Zhai, G. Xie y L. Zhang, «A novel omni-directional UWB biconical antenna with band-notched,» de *Radar (Radar), 2011 IEEE CIE International Conference on (Volume:2)*, Chengdu, 2011.

- [15] F. Guangyou y M. Pipan, «Designing of a low frequency ultra wideband(UWB) antenna and its application in ground penetrating radar(GPR) system,» de *Ground Penetrating Radar. Proceedings of the Tenth International Conference on*, Delft, 2004.
- [16] H. Visser, «Analytical Equations for the Analysis of Folded Dipole Array Antennas,» de *Microwave Conference. EuMC 2008. 38th European* , Amsterdam, 2008.