

ANTENA IMPRESA INDEPENDIENTE DE LA FRECUENCIA

López Francisco Solano. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura,
franslopz@gmail.com

Paola Luciana Schlesinger, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura,
pupelu@gmail.com

Valdez Alberto Daniel. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura,
dvaldez@exa.unne.edu.ar

Miranda Carlos Arturo, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura,
cartuomiranda@gmail.com

Chiozza Juan Ángel, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura,
titochiozza@gmail.com

Miranda Carlos Víctor, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura,
carlitos22@gmail.com

Bava Alberto, Facultad de Ingeniería, ULP, albertobava@yahoo.com.ar

Resumen— Las numerosas aplicaciones de enlaces para comunicaciones por ondas electromagnéticas y los avances tecnológicos han requerido la exploración y la utilización de la mayor parte del espectro electromagnético, como así el amplio requerimiento de un ancho de banda mayor, que han exigido el diseño de antenas que operen en rangos amplios de frecuencia.

La antena espiral equiangular posee una configuración geométrica cuya superficie puede ser descrita por ángulos. Con esta condición se cumplen los requisitos constructivos necesarios para ser usadas como antenas independientes de la frecuencia.

Para diseñar una antena de dimensiones finitas debemos especificar la longitud del brazo de la espiral. La frecuencia más baja de operación ocurre cuando la longitud de brazo total es comparable a la longitud de onda; para todas las frecuencias por encima de esta, el patrón de radiación y las características de impedancia son independientes de la frecuencia.

Con el fin del estudio de esta antena se utilizó el software MatLab para el cálculo en forma automática de los parámetros constructivos y el modelo geométrico, teniendo en cuenta criterios específicos de diseño, como ser ancho de banda, dimensiones, separación entre bornes de alimentación etc. Se la simuló utilizando el software CST Studio en el rango de frecuencia de 0,8 - 8GHz, desarrollando luego un prototipo donde se verificaron los parámetros de la misma.

Palabras clave— ancho de banda, equiangular, simulación.

1. Introducción

Las antenas en general presentan un comportamiento muy variable con la frecuencia según su configuración, de forma que sólo pueden ser empleadas en un margen estrecho de estas. Los dipolos delgados presentan impedancias de entrada que varían rápidamente con la frecuencia y, por tanto, sólo pueden adaptarse a los transmisores o receptores en márgenes de frecuencias pequeños. Las bocinas están limitadas en banda por la guía que las alimenta.

El comportamiento de las agrupaciones de antenas está en gran parte determinado por la frecuencia, ya que el margen visible del factor de la agrupación está ligado al espaciado de los elementos, medido en términos de la longitud de onda.

El interés por obtener antenas de banda ancha se originó, durante y después de la Segunda Guerra Mundial, por la necesidad de reducir y simplificar el número de sistemas radiantes embarcados en aeronaves, comunicaciones en distintas bandas de frecuencias, sistemas de radionavegación, etc.

Por antenas de banda ancha se entienden, habitualmente, aquellas antenas que mantienen alguno de sus parámetros: impedancia, directividad, etc., constantes o con variaciones pequeñas en un margen de frecuencias grande.

Otro concepto asociado a las antenas de banda ancha es el de antenas independientes de la frecuencia; en este caso se trata de antenas con un comportamiento que no varía con la frecuencia. Teóricamente, esto puede conseguirse con ciertas antenas de dimensión infinita. En la realización práctica de una antena independiente de la frecuencia es necesario acotar sus dimensiones, lo que producirá una variación de los parámetros con la frecuencia; con todo, es posible conseguir mantener las especificaciones de la antena dentro de dimensiones pequeñas de variación en márgenes de frecuencias.

Actualmente las antenas de banda ancha en sus distintas configuraciones se utilizan para estudiar el espectro radioeléctrico en rangos de frecuencia de interés. Como en el estudio de las radiaciones no ionizantes generadas por servicios de telecomunicaciones o las emisoras de FM, bandas de telefonía celular, televisión digital y Wi-Fi.

La técnica utilizada para fabricar la antena es en circuito impreso, consistente en una placa metálica de espesor muy delgado dispuesto sobre un sustrato dieléctrico de bajas pérdidas colocado encima de un plano metálico, que aprovecha las ventajas constructivas de las antenas de microstrip, donde podemos citar: fabricación sencilla y económica, robustas y fácilmente combinables con circuitos integrados de microondas.

1.1 Antenas independientes de la frecuencia

En el modelo a escala de una antena, las características, como impedancia, diagrama de radiación, polarización, etc. son invariante al cambio de las dimensiones físicas, si se realiza un cambio a la frecuencia de operación o longitud de onda. Por ejemplo, si todas las dimensiones físicas son reducidas en un factor de dos, el rendimiento de la antena permanecerá sin alterar si la frecuencia de operaciones es aumentada por un factor de dos. En otras palabras, el rendimiento es invariante si las dimensiones eléctricas permanecen sin alterar.

Las características del modelado a escala de una antena, también indican que si la forma de la antena fuera completamente especificada por ángulos, su funcionamiento tendría que ser independiente de la frecuencia [1].

Este trabajo considera el diseño y construcción de una antena de banda ancha, en particular una estructura independiente de la frecuencia como lo es la Antena de Espiral Equiangular Planar - AEPP, para el diseño de la misma se desarrollo un programa basado en Matlab para el cálculo automático de los parámetros constructivos y el modelo geométrico de la misma. Mediante el software CST Microwave Studio®-CST MWS, se simulo el funcionamiento de los modelos resultantes del programa para el análisis y optimización de los diseños. Con el modelo que verifco las especificaciones más convenientes se construyó la antena y se realizaron los ensayos más relevantes para constatar con los resultados de la simulación.

La AEPP diseñada deberá tener un rango de operación en frecuencia de 0.8GHz-8GHz (ancho de banda 1:10) dentro de este intervalo de frecuencia deberá ser poco directiva y tener polarización circular-elíptica ya que la misma estará destinada al estudio del espectro electromagnético de señales de procedencia, polarización y frecuencia desconocidas.

2. Materiales y Métodos

2.1 Antena de Espiral Equiangular

El espiral equiangular es una configuración geométrica cuya superficie puede ser descrita por ángulos. Con esta condición se estaría cumpliendo con todos los requisitos constructivos impuestos que pueden ser usados para diseñar antenas independientes de la frecuencia. Ya que una curva en espiral a lo largo de su superficie se puede extender hasta el infinito, es necesario designar la longitud del espiral para especificar una antena de dimensiones finita. La frecuencia más baja de operación ocurre cuando la longitud total del espiral es comparable a la longitud de onda. Para todas las frecuencias por encima de esta, el patrón de radiación y las características de impedancia son independientes de la frecuencia [2].

2.2 Espiral Plano

La geometría de la antena se describe en función los ángulos (θ) y (φ), el espiral queda definido por, el radio (ρ), el radio inicial del espiral (r_0) y la velocidad de expansión del espiral (v_{exp}), para que la geometría se dibuje en una superficie plana infinitesimal se debe imponer que la misma varíe según la siguiente función:

$$\rho = \begin{cases} r_0 e^{v_{exp} \varphi} & \text{para } \theta = \frac{\pi}{2} \\ 0 & \text{para } \theta \neq \frac{\pi}{2} \end{cases} \quad (1)$$

De esta forma las dimensiones de las superficies resultantes quedan descriptas únicamente en función de ángulos, requisito necesario para ser una estructura autoescalable independiente de la frecuencia.

2.3 Criterios de diseño de una AEEP

La separación entre las terminales de alimentación (d_{sep}) limita la frecuencia máxima (f_{max}) de funcionamiento, ya que para distancias de separación comparables a la longitud de onda mínima (λ_{min}) existe un desfase entre los brazos de la antena, un criterio práctico que se puede adoptar es $d_{sep} < \lambda/10$ [3].

La longitud total del espiral (L_T) está relacionada con la frecuencia mínima (f_{min}) para la cual se desea tener una polarización elíptica tornándose a polarización circular a medida que aumenta la frecuencia. Para bajas frecuencias tales que L_T es pequeña comparada con la longitud de onda (λ), el campo irradiado se polariza linealmente [4].

La velocidad de expansión (v_{exp}) debe ser una función logarítmica del coeficiente de expansión (C_{exp}), como criterio práctico para que no se produzcan cambios bruscos de dimensiones del espiral conforme a la selección de un C_{exp} mayor o menor respectivamente [5].

Se considera el factor de alargamiento (f_{al}) $f_{al}=15\%$ de la longitud del espiral, tal que L_T sea ligeramente mayor que la longitud de onda máxima (λ_{max}) de la f_{min} con el fin de mejorar la respuesta en baja frecuencia [6].

2.4 Parámetros de diseño del modelo geométrico de una AEEP

Los parámetros iniciales necesarios para crear el modelo se tienen en cuenta considerando los criterios mencionados, se debe especificar los valores de: f_{max} , f_{min} , r_0 y el C_{exp} , una vez seleccionado estos valores según el requerimiento, los cálculos correspondientes y el procesamiento de datos se realizan por medio de un programa desarrollado en MatLab del cual se obtienen como argumento de retorno parámetros constructivos, el modelo geométrico y datos informativos necesarios a tener en cuenta para la simulación y posterior ensayo de la antena. Con el propósito de facilitar la interacción usuario programa se creó un aplicativo ejecutable Graphical User Interfase (GUI) que se muestra en la Figura 1.

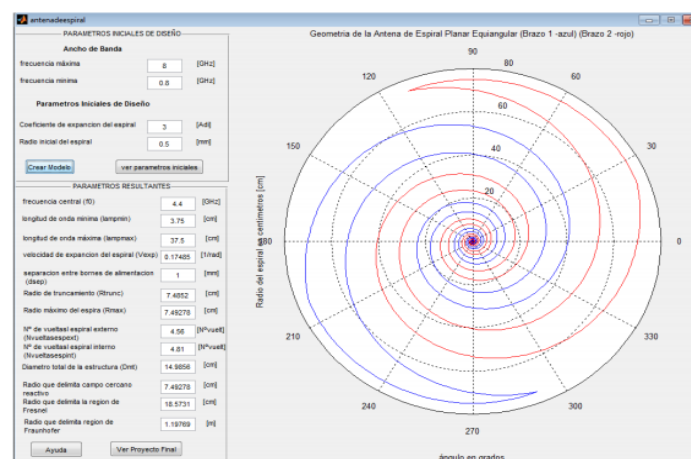


Figura 1. GUI diseño modelo de la AEEP

Los argumentos resultantes son: la frecuencia central (f_0), λ_{min} , λ_{max} , v_{exp} , d_{sep} , radio de truncamiento (R_{trunc}), radio máximo del espiral (R_{max}), número de vueltas del espiral externo

($N_{\text{vueltasespext}}$), número de vueltas del espiral interno ($N_{\text{vueltasespint}}$), radio que delimita campo cercano reactivo, radio que delimita la región de Fresnel y el radio que delimita la región de Fraunhofer, los mismos se pueden observar en la captura de pantalla según la Figura 2.

El aplicativo es intuitivo, se debe introducir los parámetros iniciales en los casilleros, según corresponda. Los parámetros más fuertemente ligados a la forma y dimensiones de la antena son C_{exp} y el r_0 .

En el programa aplicativo se pueden ir variando los valores de los parámetros iniciales de diseño a fin de analizar los resultados que se obtienen para los parámetros constructivos y el modelo geométrico, a raíz de esto inferir el diseño más conveniente. Como resultado de pruebas sucesivas se optó por un $C_{\text{exp}} = 3$, para el cual se tiene un modelo de espiral con superficie conductora más reducida con el propósito de disminuir las pérdidas óhmicas por efecto pelicular. También se debe asumir una relación de compromiso entre la longitud del espiral y el diámetro total de la estructura teniendo en cuenta que las pérdidas de retorno se tornan más significativas a medida que la longitud total de la espira se aproxima a la longitud eléctrica de la frecuencia mínima de operación λ_{min} . Estas consideraciones surgen de las simulaciones para distintos parámetros constructivos.

La antena fue proyectada para implementarse sobre una placa de circuito impreso de doble capa, el material del sustrato fue en este caso una placa de baquelita no siendo el más adecuado debida a sus pérdidas $\epsilon \approx 5$ con una altura de sustrato $h = 4\text{mm}$, pero si el disponible en el mercado local. La ventaja de una placa de doble laminado de cobre es que permite introducir por uno de los brazos de la AEEP soldada al cobre, la malla del cable coaxial que alimenta la antena hasta el centro de la estructura vinculando el conductor central del cable coaxial al brazo complementario del lado opuesto. Este artificio se realiza para balancear y simetrizar la alimentación de la antena dado que se alimenta con una línea de transmisión desbalanceada [7].

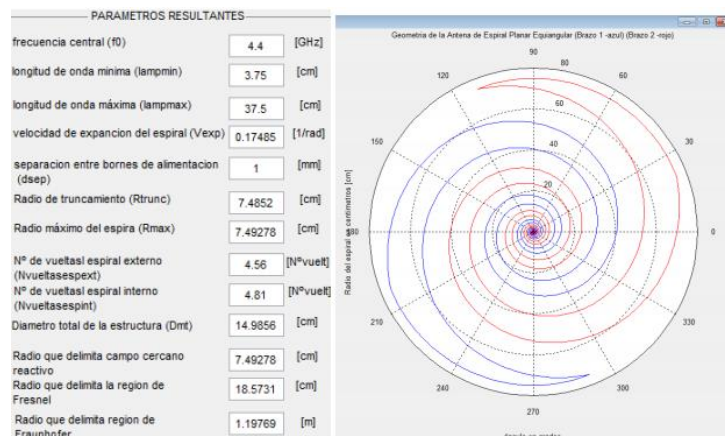


Figura 2. Parámetros constructivos resultantes AEEP 0.8-8GHz

3. Resultados y Discusión

3.1 Simulación

A partir de los parámetros constructivos obtenidos según el cálculo de diseño se crea el modelo en 3D, que se muestra en la Figura 3, mediante el software CST MWS, el mismo fue

adoptado según el resultado de analizar el funcionamiento de diversos diseños con distintas variantes.

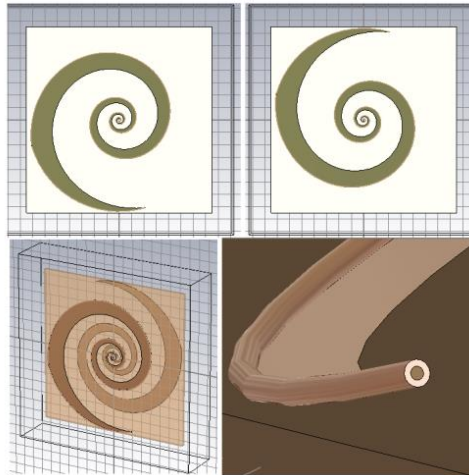


Figura 3. Modelo AEEP 3D dibujada en CST MWS

Se realizó la simulación obteniéndose el diagrama de radiación en 3D que se observa en la Figura 4, el diagrama en coordenadas polares para $\phi=90^\circ$ y $\phi=270^\circ$ se muestra en la Figura 5 y la relación de onda estacionaria dentro del ancho de banda proyectado se observa en la Figura 6.

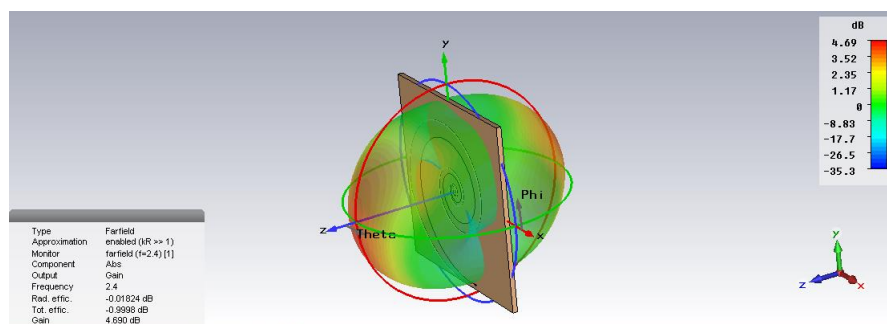


Figura 4. Diagrama de radiación en 3D para $f=2.4\text{GHz}$.

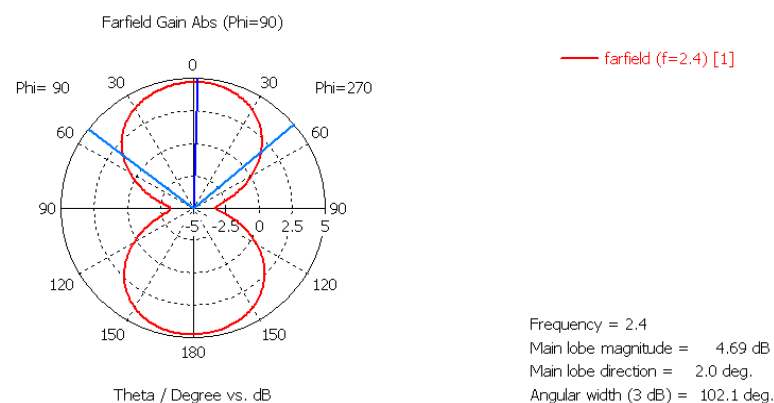


Figura 5. Diagrama polar de radiación para $f=2.4\text{GHz}$

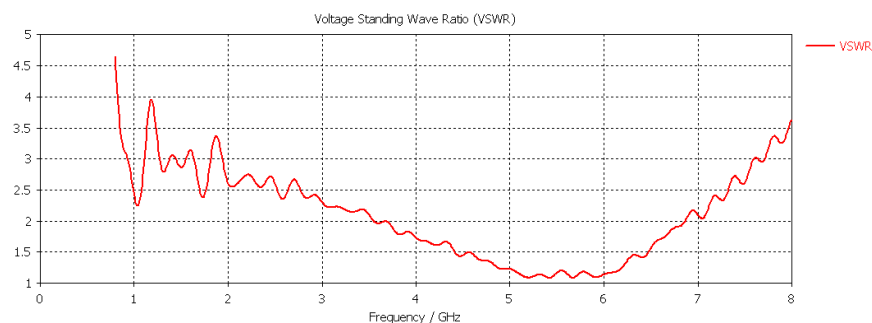


Figura 6. Relación de onda estacionaria en el ancho de banda proyectado

3.2 Construcción

Teniendo en cuenta el modelo creado a partir de los parámetros iniciales de diseño por medio del aplicativo desarrollado en MatLab, posteriormente simulado con el CST MWS y verificado su desempeño se construye la AEEP con una placa de cobre impresa, el sustrato utilizado fue baquelita de espesor 4mm y permitividad $\epsilon \approx 5$.

Se imprimió el modelo con una impresora láser con el fin de plasmar la geometría de los brazos de la antena en la lámina de cobre por medio de la técnica de termotransferencia del tóner, para tener una referencia de la posición exacta del brazo del espiral, previamente en la placa se dibujó unos ejes cartesianos a partir de los cuales se controló la distancia desde el centro de coordenadas a los puntos en que el espiral cruza a los ejes para conservar la exactitud del modelo impreso.

Una vez que los brazos de la antena estaban debidamente orientados se cubrió con varias capas de tinta indeleble cuidadosamente para asegurar la protección de zona de interés contra el ataque del cloruro férrico concentrado. Posteriormente al recubrimiento de la superficie que conforma el modelo de la antena con la tinta indeleble, se coloca cuidadosamente la placa en el recipiente que contiene cloruro férrico concentrado.

Debido a que la AEEP debe ser simétrica tanto en la distribución de corriente como en la geometría, para conservar la simetría en la geometría de la antena se coloca un falso cable coaxial, el conductor central no está conectado a la alimentación, en el otro brazo de la espiral. La superficie del brazo de la AEEP se va reduciendo gradualmente conforme a la aproximación al origen de coordenadas, acompañada a esta reducción de superficie, también la separación entre los radios del espiral se vuelve más estrecha a razón de cada vuelta hasta llegar al radio mínimo próximo al origen de coordenadas.

Por este motivo el cable coaxial que se utilizó para el montaje superficial en la antena fue un micro coaxial de diámetro $\theta = 1.37\text{mm}$, impedancia característica mínima $Z_0 = 50\ \Omega$, resistencia en continua máxima $R_0 = 20\ \Omega$, rango de frecuencia de DC a 6GHz y relación de onda estacionaria, ROE o según sus siglas en inglés, VSWR: 1.5:1 máximo. La antena diseñada y construida se muestra en la Figura 7.

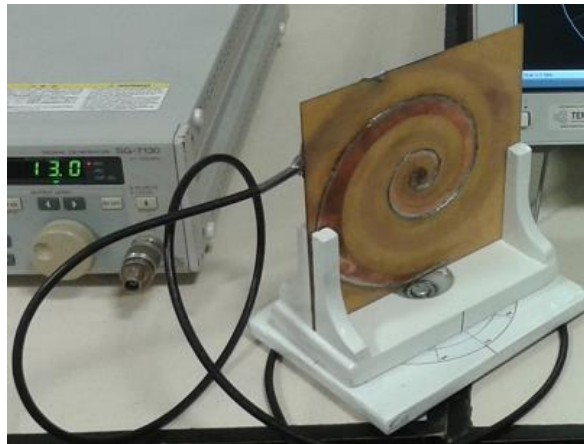


Figura 7. AEEP construida

3.3 Mediciones

Utilizando un Analizador Vectorial de Redes, Marca Agilent Technologies, modelo E5062A, que utiliza una impedancia de referencia de 50 ohm, se procedió a medir la relación de onda estacionaria (ROE) mediante el parámetro S_{11} . Como se puede apreciar en la imagen de la Figura 8, para un barrido en frecuencia de 2.7GHz a 2.9GHz la ROE fluctúa entre 1.84 a un máximo de 4.15 y para un barrido en frecuencia de 2.9GHz a 3GHz la ROE varia de un mínimo de 1.64 a un máximo de 3.53. La tendencia que posee la ROE es decreciente con el aumento de la frecuencia siendo elevado el valor por debajo de la frecuencia mínima de operación, mejorando notablemente a medida que aumenta la frecuencia.

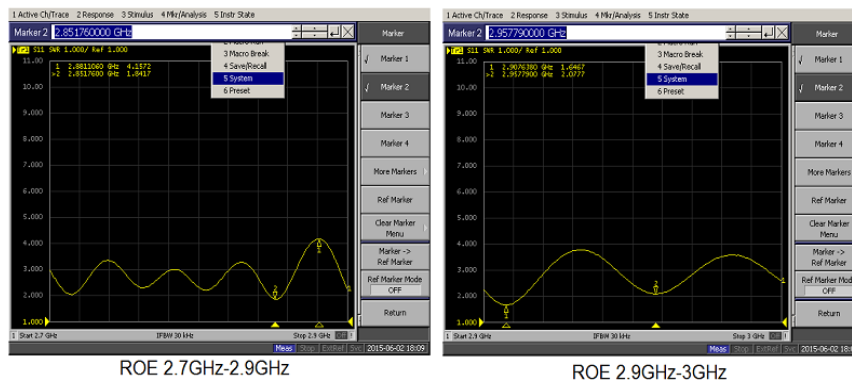


Figura 8. ROE medido para las frecuencias 2.7GHz-2.9GHz y 2.9GHz-3GHz

Con el fin de comprobar la polarización circular que posee la antena diseñada se midió la recepción de la intensidad de campo eléctrico para disposiciones ortogonales de la antena sonda como se muestra en la Figura 9.

Se observa en el analizador de espectro que los niveles de recepción permanecieron prácticamente invariantes en la antena de polarización lineal (sonda), cuando se orientó según las dos direcciones ortogonales del espacio, como resultado de este procedimiento se determinó el coeficiente de desacoplo de polarización entre la antena construida y la sonda,

comprobando efectivamente que la AEEP posee polarización circular a la frecuencia ensayada.



Figura 9. Comprobación de la polarización circular AEEP.

4. Conclusiones y recomendaciones

Se ha concretado el objetivo de diseñar, calcular y construir una Antena de Espiral Equiangular Planar impresa que cumpla con las características de diseño para ser independiente de la frecuencia. La antena se utilizara para estudiar el espectro radioeléctrico en distintas bandas de frecuencia, características de los servicios de telecomunicaciones actuales como ser las de telefonía celular y Wi Fi.

Mediante la utilización de software específico, como MatLab y CST Studio fue calculada y optimizado su prestación.

En la etapa de construcción de la antena surgieron inconvenientes con los materiales disponibles en el mercado local, ya que poseen características constructivas que no son las óptimas, como ser el dieléctrico utilizado, la baquelita, que presenta perdidas elevadas.

Para futuras implementaciones de esta antena debemos utilizar materiales óptimos en su funcionamiento para mejorar la relación de onda estacionaria en el ancho de banda de utilización y su diagrama de radiación. Además mediante algún método conocido debemos obtener la ganancia de la antena diseñada, para garantizar su utilización como antena patrón.

5. Referencias

- [1]BALANIS C. A, 2005, *Antenna Theor yAnalysis Desing*, Third Edition 611p.
- [2] BALANIS C. A, 2005, *Antenna Theory Analysisi sDesing*, Third Edition 614p.
- [3]BALANIS C. A, 2005, *Antenna Theory Analysis Desing*, Third Edition 615p
- [4] BALANIS C. A, 2005, *Antenna Theory Analysis Desing*, Third Edition 118p.
- [5] Criterio practico asumido a partir de los resultados obtenidos de los modelos geométricos calculados con MatLab.

[6] Correcciones derivadas del análisis de las simulaciones realizadas con el software CST MWS.

[7] CARDAMA A. A, 2002, Antenas, 2da Edición.