



17 del 24 al 28 de noviembre de 2014
**CONVENCIÓN CIENTÍFICA
DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA



DISEÑO DE UNA ANTENA IMPRESA PARA CUBRIR LA BANDA DE TELEVISIÓN DIGITAL

**Ing. Glenda Remigio Sol¹ Ing. Falconeri Hernández Villalobo², Ing. Danelys Rodríguez Avila³, DrC.
Francisco Marante Rizo⁴**

ISPJAE, calle 114 No. 11901 e/ Ciclovía y Rotonda Marianao, La Habana, Cuba

¹evangelinasol@infomed.sld.cu

²falcohv90@gmail.com

³danelys@electronica.cujae.edu.cu

⁴marante@electronica.cujae.edu.cu

RESUMEN

En este trabajo se diseña en HFSS (*High Frequency Structure Simulator*) de Ansoft una antena Dipolo Impreso de Banda Ancha para operar en la banda de televisión digital, aprovechando no solo las ventajas de las antenas Yagi clásicas como su directividad, sino también las de la tecnología impresa, como son la miniaturización, bajo peso, costo, perfil y fácil fabricación. La alimentación se realiza mediante una línea de transmisión de 75Ω . Los brazos del elemento conductor (dipolo) se encuentran en ambas caras del sustrato, esta configuración logra un desfase de 180° entre las señales que llegan al dipolo, lográndose convertir la señal de entrada de no balanceada a balanceada. El plano tierra se encuentra truncado y realiza la función de elemento reflector. Para cumplir con las exigencias requeridas por este tipo de servicio, en la simulación se toma como criterio fundamental pérdidas de retorno por debajo de -10 dB en el rango de operación, lo que equivale a un valor de razón de onda estacionaria inferior a 2 y máxima estabilidad en el patrón de radiación.

Palabras claves: tecnología impresa, televisión digital.

DESIGN OF A PRINTED ANTENNA TO OPERATE IN THE DIGITAL TELEVISION BAND

ABSTRACT

The purpose of this paper is to design a Wide Band Printed Dipole using HFSS Ansoft to operate in the digital television band. This will be done by taking advantage not only of the classic Yagi antennas benefits such as their directivity but also of the printed technology advantages like miniaturization, low weight, cost, profile and easy manufacture. The supply is done through a transmission line of 75Ω . Arms of the conductive element (dipole) are placed on both faces of substratum. This configuration achieves a phase lag of 180° between the signals that arrives the dipole, accomplishing the conversion of the sign from an unbalanced one to a balanced one. The earth plane is truncated it executes the reflective element function. To fulfill with the required demands for this type of service, return losses below -10 dB between the range of operation is taken as the main criteria in the simulation. This is the equivalent of Voltage Standing Wave Ratio below 2 and maxim stability on the radiation pattern.

Key Words: digital television, printed technology.



17 del 24 al 28 de noviembre de 2014
**CONVENCIÓN CIENTÍFICA
DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA



1. INTRODUCCIÓN

Con el objetivo de cubrir la banda de televisión digital (470-890 MHz) se diseñan estructuras cuyo principio de funcionamiento es similar al de las antenas tradicionales de alambre para televisión, haciendo uso de la tecnología impresa. Debido a que estas antenas no cuentan con una metodología de diseño se utiliza como referencia estructuras conocidas como son los dipolos.

La banda de radiodifusión comercial de televisión digital europea se extiende desde 470 a 890 MHz (canales del 14 al 69, cada uno de 8 MHz) y la cubana de 470-806 MHz (canales del 14 al 69, cada uno de 6 MHz), el cual está incluido en el rango europeo, es por eso que para ampliar la utilidad de este diseño, se ha definido el primero como el ancho de banda que necesita tener una antena receptora doméstica. Es común encontrar en la bibliografía existente que la banda utilizada para radiodifusión, designada por la UIT, es la banda de 470-960 MHz, sin embargo la sub-banda de 890 a 960 MHz no se usa para las transmisiones de televisión, sino para otros servicios de radiodifusión. [1] [2]

2. DISEÑO DEL DIPOLO Y DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN

El sustrato utilizado para el diseño de la antena es de bajo costo, metalizado en ambas caras, típico en la fabricación de circuitos impresos, con el cual se pretende conseguir una antena impresa de adecuadas características de radiación y con buenas características en cuanto al ancho de banda de funcionamiento. Las características del mismo se muestran a continuación:

Sustrato de doble capa de FR4 (fibra de vidrio) con características:

- permitividad $\epsilon_r = 4.4$.
- tangente de pérdidas $\alpha = 0.02$
- grosor o altura del sustrato $h = 1.5$ mm
- grosor o altura de la capa de cobre conductor $t = 0.035$ mm.
- dimensiones de la placa utilizada 200x300 mm

Se comienza con el cálculo de la línea de alimentación con impedancia característica $Z_0 = 75 \Omega$ (utilizada por los sistemas de televisión), la cual puede ser obtenida por una macro del software CST Microwave Studio. Para el sustrato utilizado, con una línea de ancho $w = 1.267$ mm se logra $Z_0 = 75.02 \Omega$. El ancho de la línea de alimentación se ha mantenido fijo para asegurar que la impedancia de entrada sea de 75Ω . El ancho de la línea de alimentación supone un cambio en la impedancia de entrada, lo cual permite ajustar las pérdidas de retorno por debajo de los -10dB. Además de la línea de alimentación se utiliza un tramo de línea microcinta de longitud $\lambda/4$ como adaptador de impedancias.

Se comienza el trabajo con el clásico dipolo de media longitud de onda ($\lambda/2$) debido a las características que ofrece en cuanto a radiación, distribución de corriente y ganancia. Teniendo en cuenta la presencia del sustrato la longitud del dipolo ($\lambda_g/2$) resultó ser de 123.7 mm. [3]

El diseño que se propone está basado en un dipolo antipodal impreso en las dos caras del sustrato. Esta antena de dipolo fue propuesta por F.J Henraiz [4]. Cada brazo del dipolo se imprime en una cara distinta del sustrato, esta configuración permite la alimentación del dipolo mediante un conector SMA, sin utilizar balun para balancear el sistema, ya que con esta alimentación de la antena se consigue la correcta excitación en fase del dipolo (cada uno de los brazos desfasados 180°) sin necesidad de incluir elementos externos, lo que reduce considerablemente el tamaño final de la antena.

Las dimensiones del dipolo se determinan experimentalmente mediante el HFSS, teniendo como parámetros fundamentales la longitud del dipolo (L_{dip}) y el ancho del dipolo (W_d). Con el largo del dipolo se puede ajustar la frecuencia de resonancia a la frecuencia central. El ancho del dipolo influye en el ancho de banda resultante de la antena. [5]

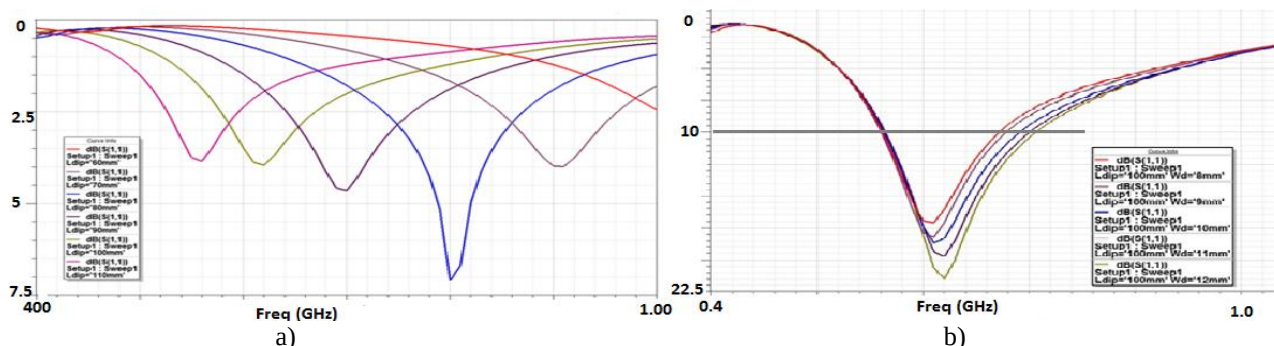


Figura 1: Variación de las características de reflexión en función de a) largo del dipolo b) ancho del dipolo

De la figura 1 se concluye que a medida que aumenta el ancho del dipolo alimentado aumenta el ancho de banda mientras que al aumentar el largo del dipolo, éste resuena a frecuencias más bajas, pero aún no se logra cubrir el rango de ancho de banda necesario.

2.1 DIMENSIONES DEL ELEMENTO REFLECTOR

En este apartado se evalúa la influencia que sobre las características de la antena tienen las dimensiones del plano de masa truncado utilizado como elemento reflector. En el caso del largo se arribó a la conclusión de que tiene ser mayor que la longitud del dipolo para que se comporte como reflector, característica coincidente con las antenas Yagi tradicionales [6] [7]. El ancho del plano tierra truncado se mantiene fijo siendo su longitud resultante la sumatoria de las longitudes de la línea de alimentación y del transformador de $\lambda/4$.

2.2 SEPARACIÓN ENTRE EL DIPOLO Y EL REFLECTOR

Una vez determinada la longitud del dipolo, se estudia la influencia de la separación entre éste y el reflector (plano tierra truncado).

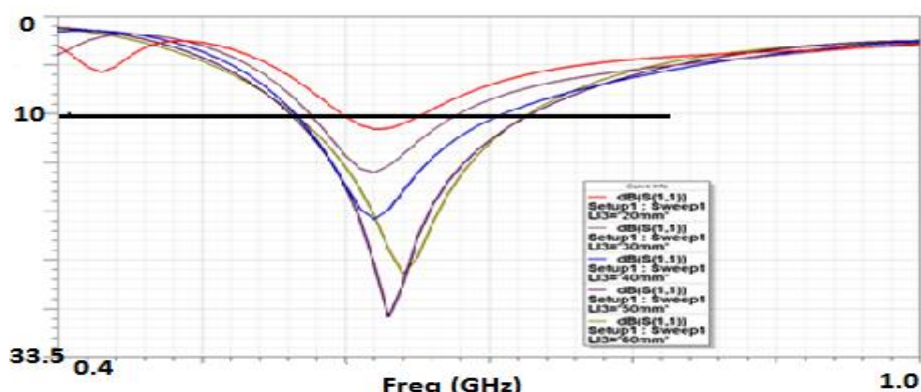


Figura 2: Variación de las características de reflexión



Las características de reflexión de la antena empeoran cuanto más cerca está el dipolo del reflector, debido al acoplamiento que se produce entre ambos elementos. Cuanto más cerca se encuentre el reflector del dipolo la antena presenta un comportamiento menos directivo.

2.3 LONGITUD DE LOS DIRECTORES

Una vez determinadas las dimensiones del dipolo y del elemento reflector se insertan los elementos directores en la geometría de la antena para darle propiedades directivas a la misma, así como aumentar su ganancia.

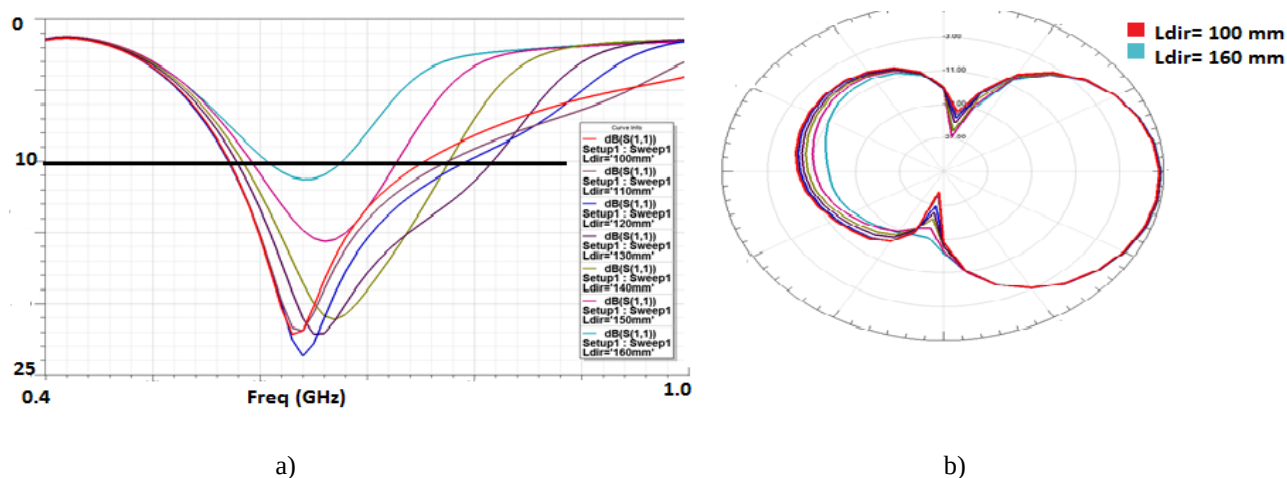


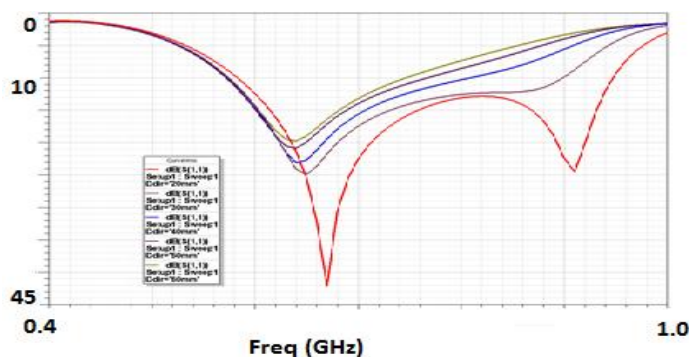
Figura 3: Variación de las características de a) reflexión b) radiación en función de la longitud de los directores

Como se puede observar en las simulaciones realizadas para longitud del director de 100 mm hasta 160 mm, en pasos de 10 mm, al aumentar la longitud del director las características de reflexión de la antena son mejores, proporcionando un mayor ancho de banda, pero para longitudes muy grandes del director el parámetro S_{11} empeora notablemente, reduciéndose de forma drástica el funcionamiento de la antena, ya que la dimensión de este último no puede asemejarse a la del dipolo.

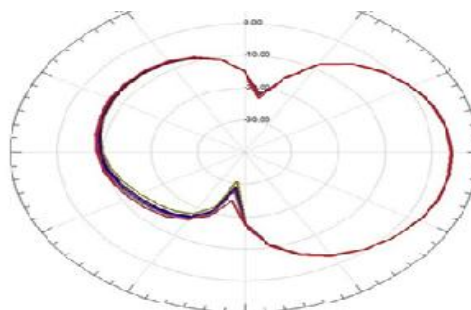
En el patrón de radiación, se observa que a medida que aumenta el tamaño del elemento director el diagrama de radiación se hace menos directivo. Cuando el tamaño del director se asemeja al del dipolo activo, el director deja de comportarse como tal y empieza a comportarse como reflector.

2.4 SEPARACIÓN ENTRE EL DIPOLO Y EL DIRECTOR

Por último para tener totalmente caracterizada la antena, falta por determinar la separación entre el director y el dipolo alimentado. Se realizan diferentes simulaciones de la antena con un solo elemento director, variando la separación dipolo- director.



a)



b)

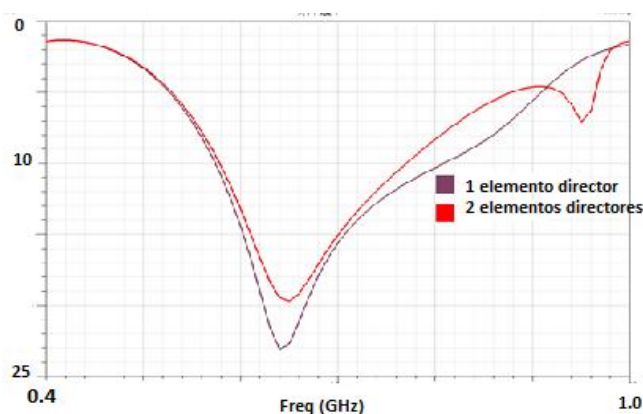
Figura 4: Variación de las características de a) reflexión b) radiación en función de la separación entre el dipolo y el director.

En la figura aparecen varias frecuencias de resonancia. El efecto de variar la separación dipolo- director ha sido utilizado por otros autores para lograr efectos multiresonantes [8] [9]. Cuando disminuye la separación entre el dipolo y el director, las pérdidas de retorno aumentan (disminuye el valor mínimo de S_{11}), acoplándose la mayoría de la energía a la frecuencia fundamental de trabajo, aumentando así la eficiencia de la antenna.

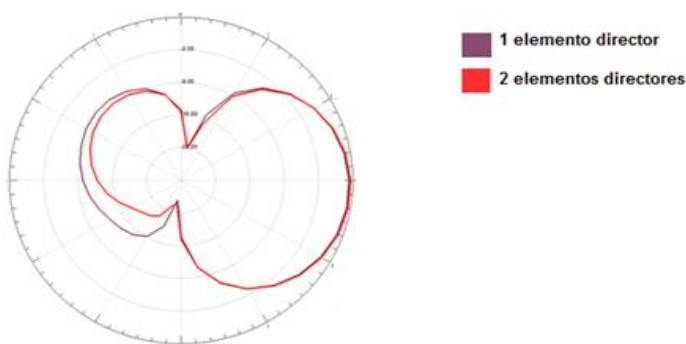
En el diagrama de radiación mostrado se aprecia que la antenna es un poco más directiva cuanto más lejos se encuentre el elemento director del dipolo alimentado, como se ve en la figura el efecto de la separación entre el dipolo y el reflector es casi insignificante en el patrón de radiación de la antenna.

2.5 NÚMERO DE DIRECTORES

Una vez obtenidas las dimensiones óptimas de la antenna, se pretende aumentar la directividad y ganancia de la misma. Para ello se simula la antenna hasta con 2 elementos directores, ambos del mismo tamaño y equiespaciados entre sí.



a)



b)

Figura 5: Variación de las características de a) reflexión b) radiación en función del número de elementos directores

Al modificar el número de directores de la antenna se modifican notablemente las características de reflexión de la misma, pero nótese que se mantiene la frecuencia central de funcionamiento de la antenna.



En cuanto al diagrama de radiación, con dos elementos directores la antena es más directiva, pero en cuanto a los valores de ganancia y la directividad los cambios no son notables como se esperaba, esto se corrobora mediante el análisis expuesto en la tabla.1.

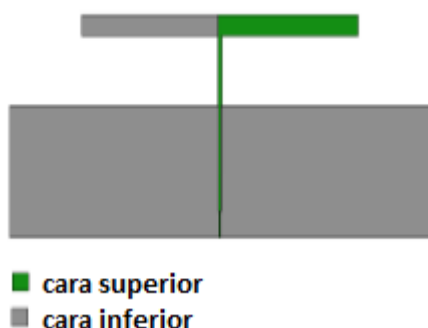
Tabla 1 Influencia del número de directores en la ganancia y en la directividad

Numero de directores	Ganancia máxima (dB)	Directividad máxima (dB)
0	3.6373	4.0077
1	3.8180	4.2126
2	4.1095	4.4980

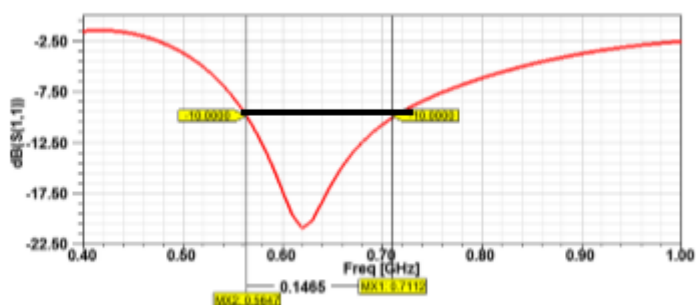
De la tabla 1 se concluye que no es factible agregar elementos directores, ya que esto no deriva en aumento significativo de ganancia y directividad, por otra parte esto tendría un efecto perjudicial para el diseño: el aumento del tamaño, implicando un mayor costo de fabricación. Además si los primeros elementos directores no influyeron de forma marcada, no es conveniente aumentar el número de directores, ya que los que se encuentren más alejados del elemento activo tendrán una corriente muy pequeña y por tanto influirán poco en las propiedades direccionales de la antena.

2.6. RESULTADOS PARCIALES

Basándose en los resultados obtenidos, se concluye que no se pueden obtener para todas variables valores que al mismo tiempo maximicen las características de reflexión y radiación de la antena.



a)



b)

Figura 6 a) Geometría del dipolo b) S_{11}

Como se observa en la figura 6, la simulación realizada arrojó un coeficiente de reflexión por debajo de -10dB entre 564 y 711 MH, lográndose solamente 146.5 MHz de ancho de banda. Este resultado cubre solamente una parte de la banda de interés, por lo que se hace necesario modificar las dimensiones de la estructura, para poder lograr nuevas resonancias en ambos extremos de la banda.

2.7 MODIFICACIONES EN LA GEOMETRÍA DEL DIPOLO

El prototipo diseñado hasta el momento no logra cubrir el ancho de banda deseado, lo cual era de esperarse debido a las características de banda estrecha de las antenas Yagi convencionales. Una forma eficiente de aumentar el ancho de banda es con el aumento del ancho del dipolo, ya que mientras mayor sea la superficie de cobre la impedancia varía menos con respecto a la frecuencia.

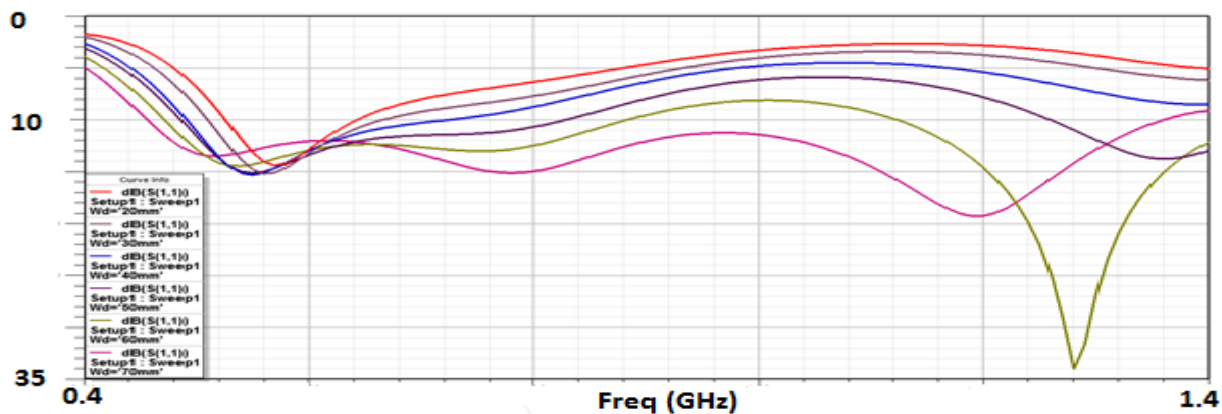


Figura 7 Pérdidas de retorno de la antena en función del ancho del dipolo

De la figura 7 se concluye que aumentar el ancho del dipolo contribuye a un aumento del ancho de banda, pero a partir de un valor determinado, el acoplamiento de impedancia empeora, por lo que fue necesario modificar la posición del dipolo. De esta manera se rotaron los brazos del mismo, para contrarrestar este efecto. Para encontrar el valor óptimo del ángulo de inclinación del dipolo (α) se realizaron las parametrizaciones de la figura 8.

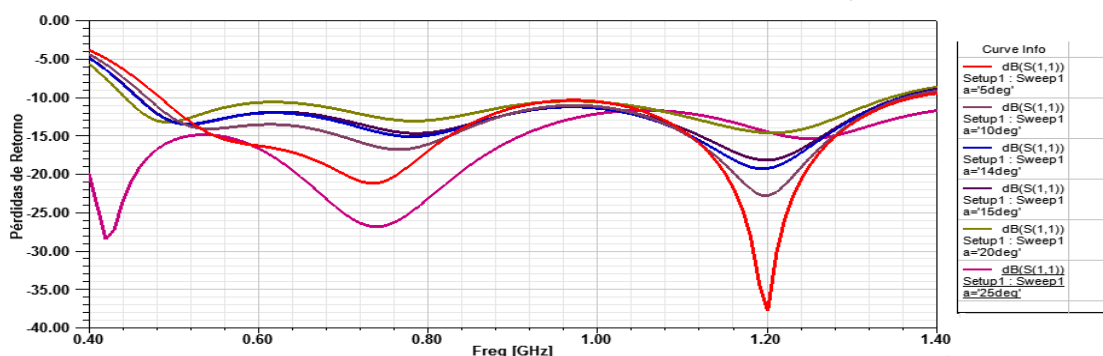


Figura 8 Pérdidas de retorno de la antena en función del ángulo de inclinación del dipolo

Con esta modificación de la antena se logran pérdidas de retorno por debajo de -10dB en todo el rango deseado. Luego de las parametrizaciones pertinentes respecto al ángulo entre la línea de alimentación y los brazos del dipolo muestran que la rotación óptima corresponde a un ángulo de 14° .

2.8 DIPOLO IMPRESO DE BANDA ANCHA

Para incrementar el rango de frecuencias de trabajo de la antena se modificó la geometría del dipolo. Luego de diferentes parametrizaciones respecto al ancho del dipolo y el ángulo de inclinación de éste, se conformó la estructura mostrada en la figura 9 cuyas dimensiones se expresan en la tabla 2.



Tabla 2 Dimensiones del diseño final

Variable	Definición	Valor
L	Longitud del plano tierra	300 mm
$L11$	Longitud de la línea de transmisión	15 mm
$L12$	Longitud del transformador de $\lambda/4$	60 mm
$L13$	Distancia entre el plano tierra y el director	40 mm
Wd	Ancho del dipolo	12 mm
Ld	Longitud del dipolo	100 mm
a	ángulo de inclinación del dipolo	14°

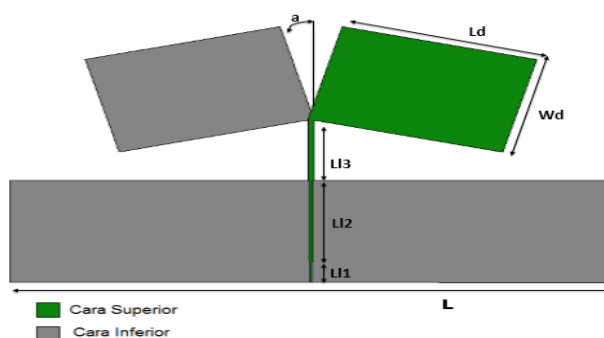


Figura 9 Geometría del dipolo impreso de banda ancha

Luego de la optimización de los parámetros de interés, los valores de la tabla 2 arrojaron resultados relevantes. Se obtuvo un coeficiente de reflexión inferior a -10 dB desde 456 MHz hasta 1.36 GHz como se muestra en la figura 10. La ROE se mantuvo por debajo de 2 en el mismo rango de frecuencias anteriores.

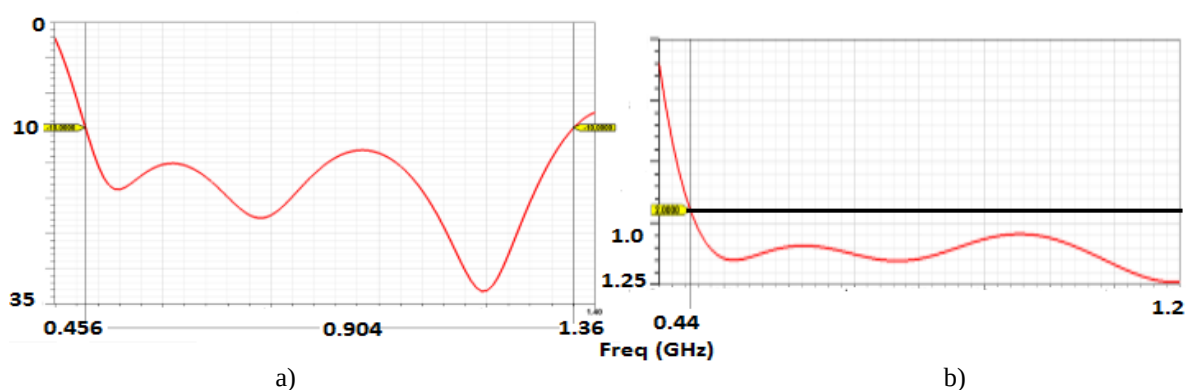
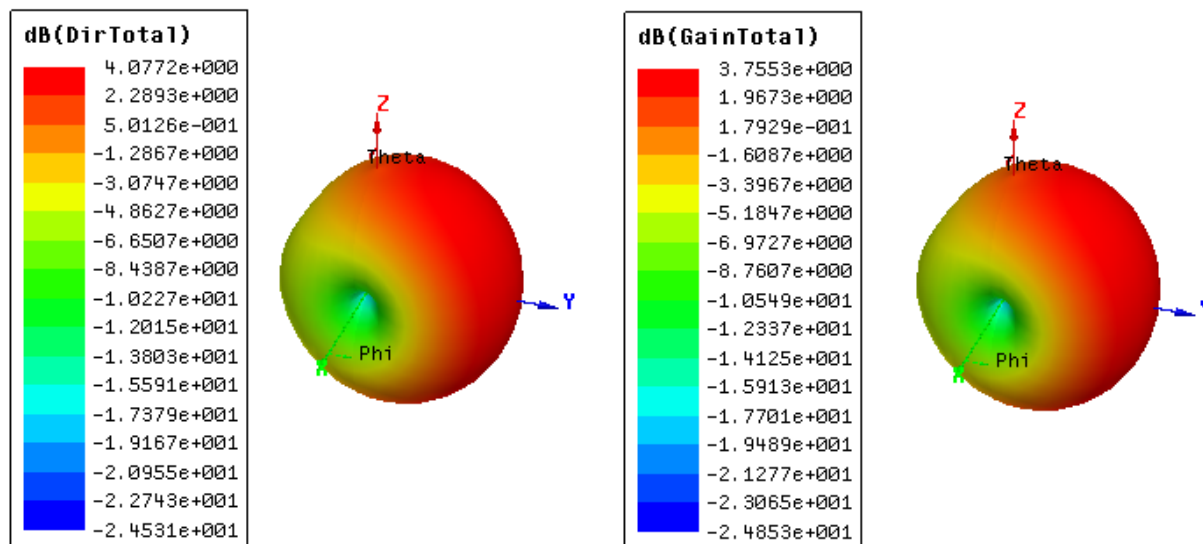


Figura 10 a) Pérdidas de retorno del prototipo final b) Razón de onda estacionaria

A continuación se muestra el diagrama de radiación de la antena en tres dimensiones asociado a la directividad y la ganancia. En este se aprecia el comportamiento directivo de dipolo ya que un máximo de radiación para los ángulos $\theta 90^\circ$ y $\phi 90^\circ$.



**Figura 11 Diagrama en 3D resultante para el prototipo final a la frecuencia intermedia(a) Directividad
 (b) Ganancia**

3 ETAPA DE CONSTRUCCIÓN Y MEDICIÓN

Luego de analizar los resultados obtenidos en las simulaciones se realizó la construcción de la antena que presentó los mejores resultados: dipolo impreso de banda ancha. El proceso de construcción fue industrial.

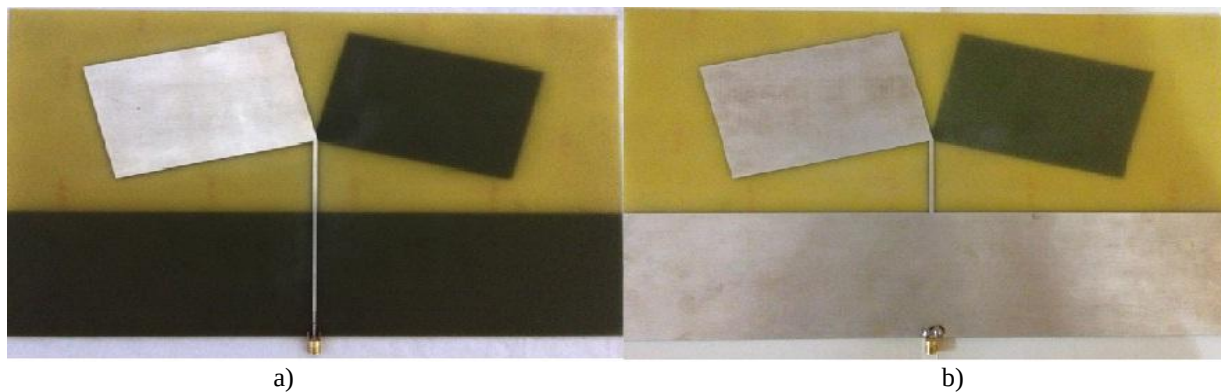
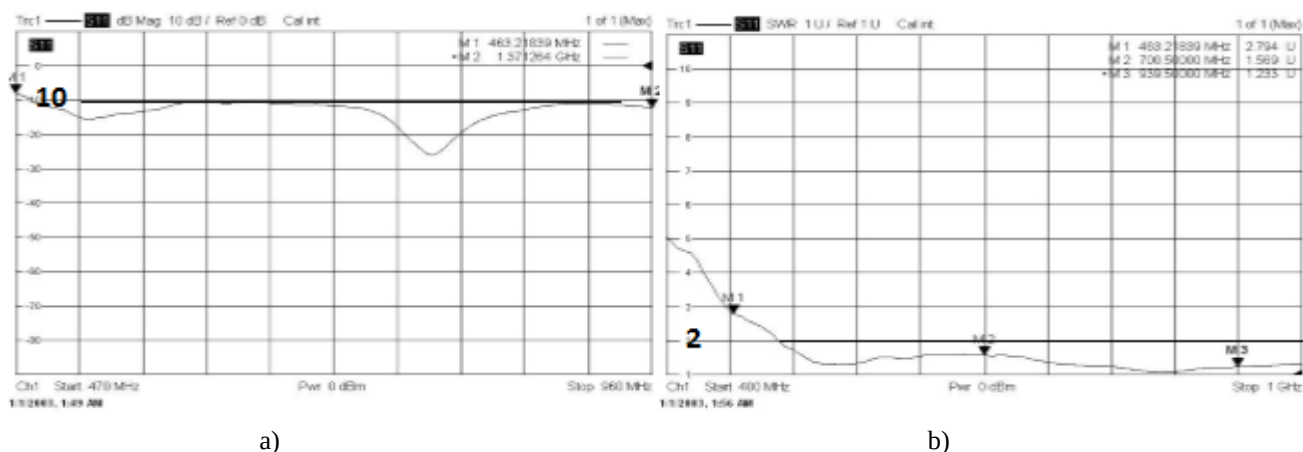


Figura 12 Prototipo construido a) cara superior b) cara inferior

La culminación del ciclo investigativo se basa en la etapa de medición, la cual resulta de gran interés en la comparación de los resultados obtenidos de forma práctica con los teóricos esperados. Con el Analizador de Redes Vectoriales de marca Rohde & Schwarz se miden las pérdidas de retorno y la ROE para el prototipo construido en las frecuencias desde 400 Mhz hasta 1 GHz.



a)

b)

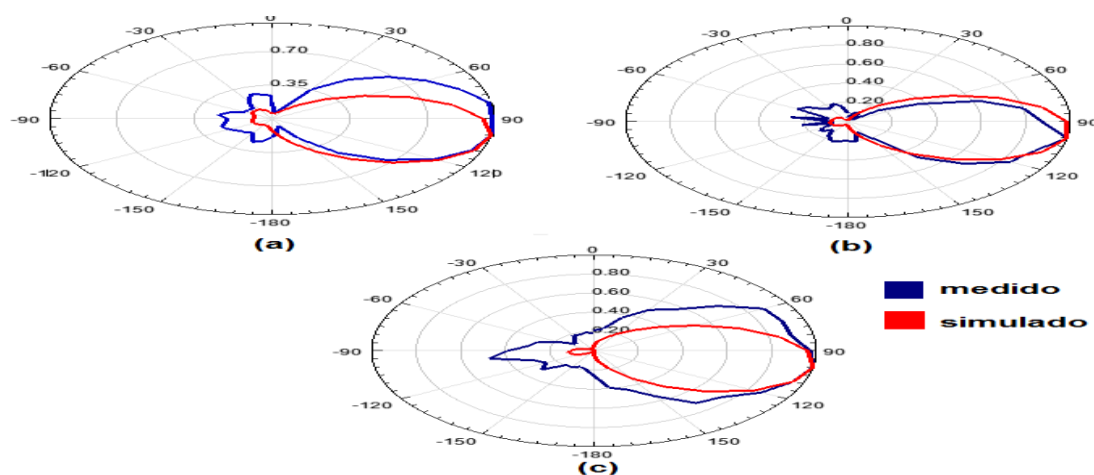
Figura 13 resultados medidos a) S11 b) ROE

La figura anteriores muestran pérdidas de retorno por debajo de -10dB y ROE inferior a 2 en toda la banda de interés, lo cual coincide con las simulaciones realizadas.

El análisis del patrón de radiación de la directividad se hace en el plano XY (theta = 90°, phi de 0 a 360°). Para ello se eligieron 3 frecuencias en la banda de televisión digital: 470 MHz (frecuencia inferior del rango), 680 MHz (frecuencia central de la banda de televisión digital en Europa) y 890 MHz (frecuencia superior del rango).

La figura 14 muestra la estabilidad del patrón de radiación (simulado y medido) en la banda de interés. Se comporta según lo esperado ya que el dipolo se diseñó para que radiara en la dirección positiva del eje Y. Los máximos se encuentran en los ángulos theta 90° y phi 100°.

Las mediciones del patrón de radiación se hicieron para campo lejano. El set de medición consta de una antena transmisora que opera en la banda de 300 MHz hasta 1 GHz, la cual es alimentada por un generador de señales de marca Rohde & Schwarz. Por otra parte se encuentra la antena diseñada en modo recepción, la cual está conectada a un analizador de espectro de marca Rohde & Schwarz, del cual se obtienen muestras que posteriormente son procesadas y comparadas con los resultados de la simulación. En la figura 3.26 se muestran los patrones de radiación obtenidos.





17 del 24 al 28 de noviembre de 2014
**CONVENCIÓN CIENTÍFICA
DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA



Figura 14 Patrón de radiación medido y simulado en el plano XY (a) 470 MHz (b) 680 MHz (c) 890 MHz

Se puede apreciar que los resultados son similares a los de la simulación, lo cual corrobora la veracidad del diseño y la fiabilidad del software utilizado.

CONCLUSIONES

Se realizó el diseño del dipolo impreso de banda ancha para la recepción de televisión digital. Se analizó la influencia de cada parámetro de la misma en el ancho de banda resultante de la antena y sus características de radiación. Se estudiaron diferentes geometrías del dipolo, a fin de obtener un prototipo capaz de cubrir el ancho de banda deseado, así como la influencia de elementos directores en la directividad de la antena. A partir del prototipo construido, se realizaron las mediciones lográndose que los resultados obtenidos de forma práctica concuerden con los teóricos esperados.

REFERENCIAS

- [1] K. C. y. S. Hong, "Design of a VHF/UHF/L-Band Low-Power Active Antenna for Mobile Handsets," *IEEE*, vol. 11, 2012.
- [2] J. C. S. Héctor Manuel Águila Acosta, "Diseño de una antena para television digital y un balun," Diploma, Departamento de Comunicaciones Inalambricas, ISPJAE, 2013.
- [3] C. A. Balanis, "Antenna Theory: Analysis and Design," J. Wiley, Ed., Segunda ed. Antenna Theory ed New Jersey, 2005, pp. 1,850,813,814,815.
- [4] P. L. a. J. D. M. S. Carro Ceballos, "Diseño de un Simetrizador Impreso de Banda Ancha mediante Algoritmos Genéticos e Interpolación de Hermite," Departamento de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones, Universidad de Zaragoza.
- [5] Milligan, "Modern Antenna Design," pp. 17-18, 2005.
- [6] S. E. Melais, "A quasi Yagi antenna with end fire radiation over a metal ground," Department of Electrical Engineering, University of South Florida, 2009.
- [7] G. S. N. R. B.I. Neelgar, "Impedance Characteristics of Yagi-Uda Antenna," *International Journal of Electronics and Communication Engineering*, vol. Volume 4, Number 1, pp. 115, 2011.
- [8] J.-M. F. h. a. H. Rmili, "Design of multiband printed dipole antennas using parasitic elements," *Microwave and Optical Technology Letters*, pp. 1639-1645, 2006.
- [9] E. Á. Navarro, "Diseño, modelado, fabricación y medida de antenas impresas para comunicaciones inalámbricas " Doctoral, Departamento de Ingeniería de Sistemas Industriales, Universidad Miguel Hernández de Elche España, Febrero 2008

SOBRE LOS AUTORES

Glenda Remigio Sol, Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica por el Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, año 2014

Ing. Falconeri Hernández Villalobo, Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica por el Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, año 2014

Danelys Rodríguez Ávila, Ing. en Telecomunicaciones y Electrónica por el Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría. Graduada en el año 2011.



17 del 24 al 28 de noviembre de 2014
CONVENCIÓN CIENTÍFICA
DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA



Francisco R. Marante Rizo, Ing. en Telecomunicaciones en el año 1974 en La Universidad de La Habana y Dr. C.T en La Universidad Técnica de Praga en 1986. Profesor titular y Jefe del Laboratorio de Comunicaciones Inalámbricas.