

## DISEÑO DE UN BALUN DE MICROCINTA A LÍNEA DE CINTA COPLANAR PARA LA BANDA DE TELEVISION DIGITAL

Oniet Paz Barros<sup>1</sup>, Magdey Nápoles Gutiérrez<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>CIDP "Grito de Baire", Santa Ana # 711 / 47 y Reforma Plaza de la Revolución, La Habana.

<sup>1</sup>e-mail: [oniet@gb.reduim.cu](mailto:oniet@gb.reduim.cu)

<sup>2</sup>e-mail: [magdey.ng@fecpe.cujae.edu.cu](mailto:magdey.ng@fecpe.cujae.edu.cu)

### RESUMEN

Con el objetivo de cubrir la banda de frecuencias de televisión digital (470 MHz - 960 MHz) con un Balun (del inglés balanced-unbalanced) de banda ancha, se procedió al diseño y simulación de un transformador de simetría impreso, basado en la tecnología planar, aspirando mejorar el acoplamiento entre la antena y la línea de alimentación y así obtener una mejor recepción de la señal de la televisión digital (TVD).

En este artículo se profundiza en el procedimiento de diseño de éste Balun, así como observar qué influencia puede llegar a tener el empleo de varios tipos de sustratos en este diseño. Se analizan los resultados teniendo en cuenta el criterio de mantener un valor de ROE (razón de onda estacionaria) inferior a 2 en la banda de interés. Estos resultados se obtienen mediante la simulación y la optimización utilizando el software CST (Microwave Studio). La construcción de algunos prototipos y su posterior medición y pruebas con algunas antenas dan certeza del buen funcionamiento del diseño presentado.

**Palabras Claves:** Balun, televisión digital, acoplamiento, banda ancha.

### ABSTRACT

With objective to cover up the digital television band (470 MHz - 960MHz) with a wideband Balun (balanced - unbalanced), was designing a printed symmetry transformer, based in the planar technology, attempting improve the connection between the antenna and the line feeding and that way getting a better reception from the digital TV's signal (TVD).

In this article goes into the procedure this Balun design, as well as observing how influence several types of substratum in this design, it results taking into account the opinion to maintain SWR (stationary wave reason) less that 2:1 over interest bandwidth. These results was obtaining through simulation, optimization and utilizing the software CST (Microwave Studio) and after construction and measurement of several prototypes with antennas different.

**KEY WORDS:** BALUN, DIGITAL TV, MATCHING, WIDEBAND.

## INTRODUCCIÓN

Dentro de los sistemas de telecomunicaciones el empleo de dispositivos para la transmisión de datos de manera inalámbrica, ha provocado la necesidad de mejorar tecnológicamente los componentes encargados de estas funciones, como son los baluns, las líneas de transmisión, filtros, etc. Esta amplia utilización de equipos que trabajan enviando y recibiendo información a una frecuencia determinada, han provocado la búsqueda de un mejor aprovechamiento del ancho de banda y por consiguiente el uso de bandas de frecuencias más elevadas [1].

El Balun es un dispositivo adaptador de impedancias que convierte líneas de transmisión simétricas en asimétricas. La palabra "Balun" es una contracción de "Balanced to Unbalanced transformer", es decir, "transformador de balanceado a desbalanceado". Los dispositivos construidos pueden proveer no solo balance, sino también transformaciones de impedancia elevadas. Una de las principales razones por la que es requerida una señal balanceada a la entrada de circuitos analógicos es porque reduce el ruido y el alto orden de armónicos [2].

Estos dispositivos se pueden clasificar en dos categorías: a parámetros concentrados y a parámetros distribuidos. Los Balun a parámetros concentrados se fabrican con inductores y capacitores, se pueden mencionar: el Balun choke o de corriente, Balun coaxial, Balun bazooka, etc.; estos se emplean para anchos de bandas estrechos y no proveen transformaciones de impedancias, a diferencia del Balun de ferrita que provee transformaciones de impedancia como 4:1 o 1:4, 1:1, entre otras, para banda ancha [3]. Los Balun a parámetros distribuidos son los que utilizan tecnología planar como la microcinta, la CPW (guía de onda coplanar), y la CPS (línea de cinta coplanar), ejemplo de estos se pueden citar el Balun Marchand con transición de CPW-CPS, Balun Doble-Y de CPW a CPS, etc., todos ellos presentan un elevado ancho de banda [4].

El empleo del Balun nos proporciona grandes ventajas en el sistema donde se une directamente el cable a la antena; casi puede decirse que es imprescindible para obtener un buen rendimiento y menores pérdidas. Evita radiaciones indeseadas del cable de alimentación al acoplar esta línea asimétrica a la carga simétrica constituida por la antena, bien sea ésta un simple dipolo, una V invertida, una multibanda direccional, etc., pudiendo evitar interferencias en TV. Reduce la relación de ondas estacionarias de la línea y protege al equipo de cargas estáticas de tipo atmosférico dado su derivación con tierra. Contribuye a simetrizar el lóbulo de radiación y, por consiguiente a mejorar la directividad o patrón de radiación de la antena [5].

Estos dispositivos son muy útiles en redes de acoplamiento y dependiendo de la aplicación y pueden construirse a bajo precio y una relación de materiales relativamente pequeña. Además se pueden encontrar en circuitos diferenciales de estado sólido, como amplificadores y mezcladores, donde la red de acoplamiento está obligada a lograr la máxima transferencia de potencia para la carga. En el diseño de amplificadores de potencia de radio frecuencia, los baluns de banda ancha juegan un papel crítico en el funcionamiento del amplificador, influyendo en su impedancia de salida, la planicidad de la ganancia, la linealidad, la eficiencia de potencia, y otras características de funcionamiento[6].

A partir de la introducción de la Televisión Digital en Cuba, es preciso crear estructuras de antenas que sean capaces de cubrir toda la banda de televisión digital (470 MHz -960 MHz). Como las antenas presentan diferencia con respecto a la impedancia de entrada de la línea de transmisión a emplear, se

hace necesaria la construcción de un Balun que permita optimizar la máxima transferencia de potencia irradiada por las antenas y acoplar las señales de las bandas comerciales de televisión, para evitar insatisfacción en los usuarios en la recepción de las señales de las mismas.

### DISEÑO DEL BALUN

La estructura diseñada se muestra en la figura 1, la cual presenta un Balun con una transición de Microcinta para Cinta Coplanar (CPS); el mismo consiste en una línea de alimentación de  $75\Omega$  y un stub de un cuarto de longitud de onda en una cara del sustrato, mientras que la otra cara presenta un plano tierra de donde comienzan las líneas de la CPS con la misma impedancia que presenta la línea de alimentación. Para el diseño de la estructura se selecciona un sustrato del tipo FR4. Las características del mismo son: permitividad dieléctrica ( $\epsilon_r$ ) de 5.4, con una altura del sustrato (h) de 1.6 mm, así como una altura de la capa de cobre (t) de 0.035 mm.

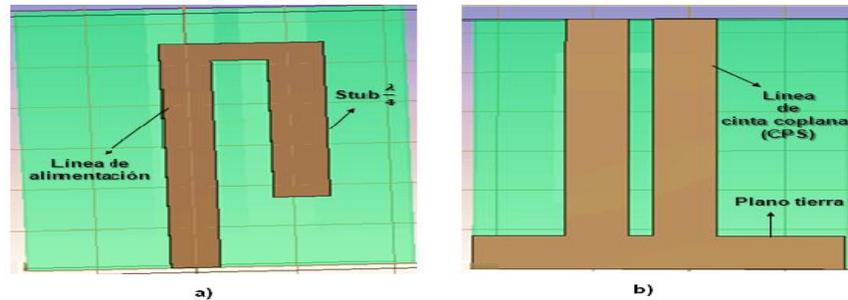


Figura 1. Vista superior en a) e inferior en b) del Balun.

Según el valor de impedancia de la línea de alimentación, se calculó el ancho de dicha línea empleando la herramienta Macros/Calculate/Calculate Analitical Line Impedance, brindada por el CST (*Microwave Studio*) 2014. Para obtener el ancho  $w$  y el espacio  $s$  entre CPS se emplean las ecuaciones planteadas en [7]. Las dimensiones de este diseño de Balun se pueden observar en la tabla 1.

Tabla 1. Dimensiones del Balun de microcinta.

Parámetros	Definición	Dimensiones (mm)
ldoblada	Longitud de línea doblada	5.5
llínea	Longitud de línea	55
lcps	Longitud de la CPS	55
lstub	Longitud del stub	38
lplano	Longitud del plano tierra	8.4
s	Separación entre CPS	2.5
Wcps	Ancho de la CPS	6.64
Wlínea	Ancho de la línea	5
Wd	Ancho línea doblada	4
Ws	Ancho del stub	6

SIMULACIÓN Y MEDICIÓN

Una vez completado el diseño de la estructura del Balun se procedió a la simulación del mismo haciendo uso del software CST (*Microwave Studio*) 2014 analizando fundamentalmente los parámetros S y la distribución del campo eléctrico. En la figura 2 se observa el resultado que se obtiene del coeficiente de reflexión ( $S_{11}$ ), para una permitividad dieléctrica de 5.4, encontrándose por debajo de -10dB (criterio asumido para definir el intervalo de funcionamiento deseado del Balun) en el rango de frecuencias desde 500 hasta 790 MHz, cubriendo la mayoría de los canales de radiodifusión de la televisión digital en Cuba que van desde el 27 hasta el 50 [8].

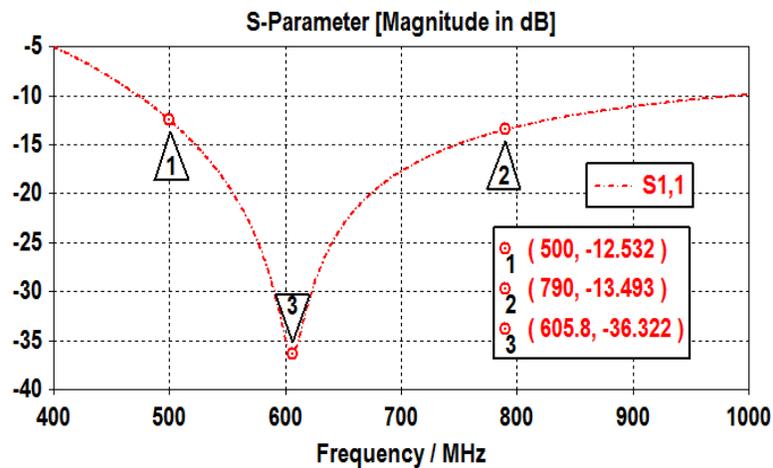


Figura 2. Simulación del coeficiente de reflexión  $S_{11}$

Para el caso de las pérdidas de inserción ( $S_{12}$ ), en la figura 3 se puede apreciar que en la banda de interés los valores se encuentran entre -0.28 dB y -0.29 dB, lo cual se corresponde con lo obtenido para el caso de la pérdida de retorno.

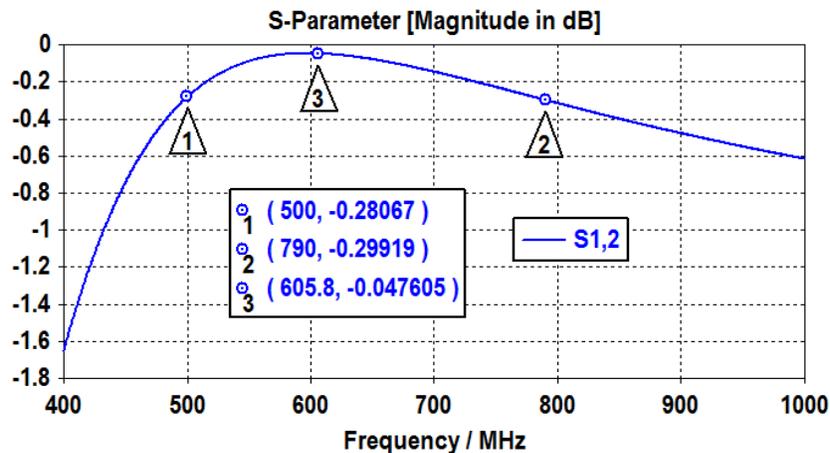


Figura 3. Simulación del coeficiente de transmisión  $S_{12}$

Se realizó un barrido paramétrico de la permitividad dieléctrica ( $\epsilon_r$ ) del sustrato con el objetivo de ver el comportamiento de dicha estructura bajo este efecto, pues está comprobado que agentes externos como la humedad y la salinidad del ambiente afecta críticamente el comportamiento del dispositivo impreso. Analizando el comportamiento del coeficiente de reflexión  $S_{11}$  y las pérdidas de inserción  $S_{12}$  para el rango de frecuencia de la televisión digital.

En las figuras 4 y 5 se muestran los resultados que se obtienen del barrido realizado a  $\epsilon_r$ . Se puede observar en las gráficas que la variación de la permitividad dieléctrica afecta la frecuencia de resonancia del Balun; en la medida que aumenta la permitividad dieléctrica del sustrato disminuyen las dimensiones eléctricas del dispositivo y la resonancia ocurre a frecuencias menores, otra de las consecuencias del aumento de la permitividad es el incremento de  $S_{11}$  (coeficiente de la reflexión) y la disminución de  $S_{12}$  (coeficiente de transmisión). Estos efectos son perjudiciales para casi todos los diseños sobre circuito impreso.

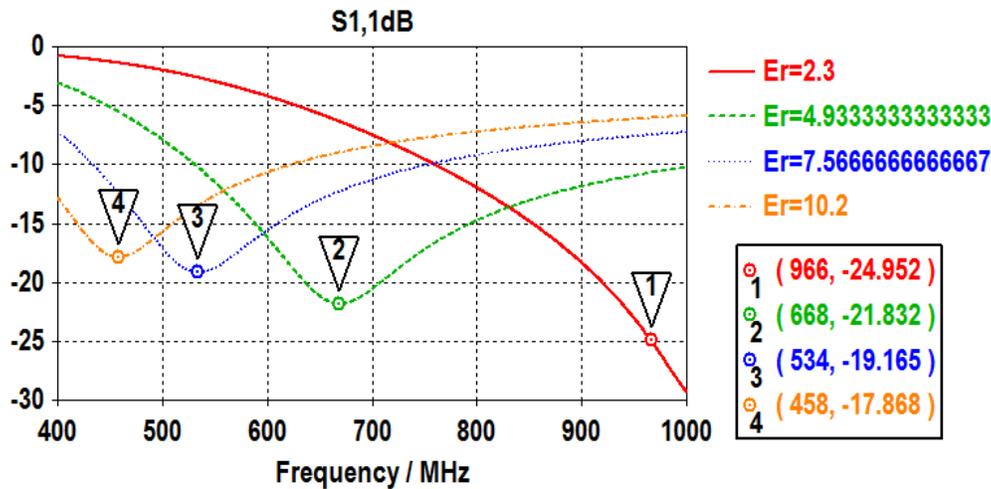


Figura 4. Barrido de la permitividad dieléctrica del coeficiente de reflexión  $S_{11}$ .

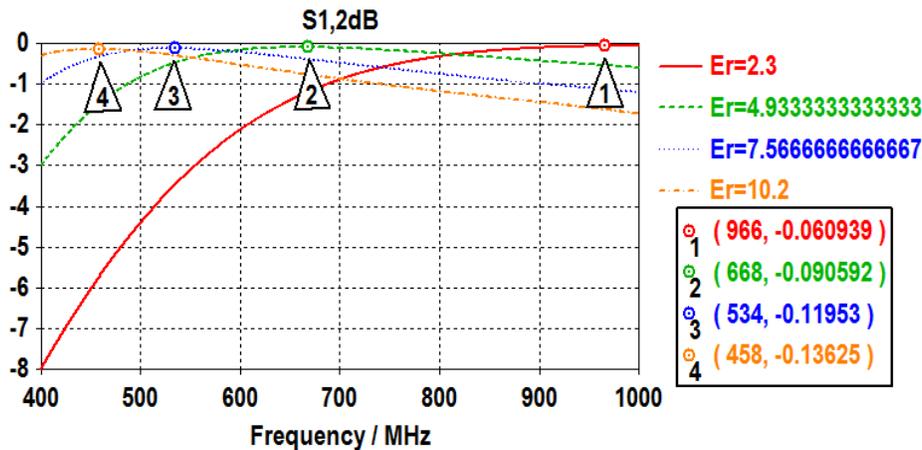


Figura 5. Barrido de la permitividad dieléctrica del coeficiente de transmisión  $S_{12}$ .

## DISEÑO DE UN BALUN DE MICROCINTA A LÍNEA DE CINTA COPLANAR PARA LA BANDA DE TELEVISION DIGITAL

Otro aspecto a tener en cuenta es el comportamiento del campo eléctrico en la estructura. En las figuras 6a) y 6b) se puede notar como el campo eléctrico cambia su dirección y su intensidad obligada por el cuerpo del Balun, este fenómeno se mantiene muy similar en todo el rango de frecuencia analizado.

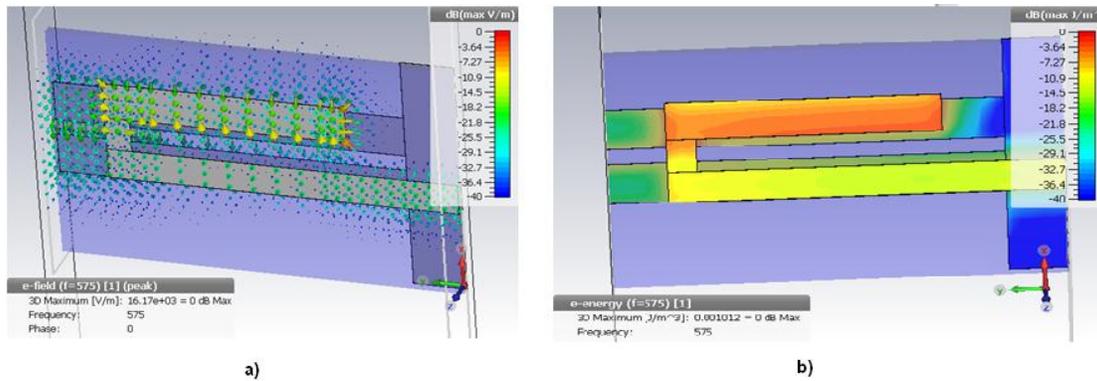


Figura 6. Campo eléctrico en a) y densidad de energía eléctrica en b) para la frecuencia de 575 MHz

La culminación del ciclo investigativo está 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. Una vez analizados estos resultados en las simulaciones se realizó la construcción del prototipo de Balun que se muestra en la figura 7, el cual alcanzó un amplio ancho de banda, cubriendo el rango requerido para las antenas de televisión digital. Además este modelo presenta dimensiones muy pequeñas (65 mm x35mm) garantizando un diseño más económico.

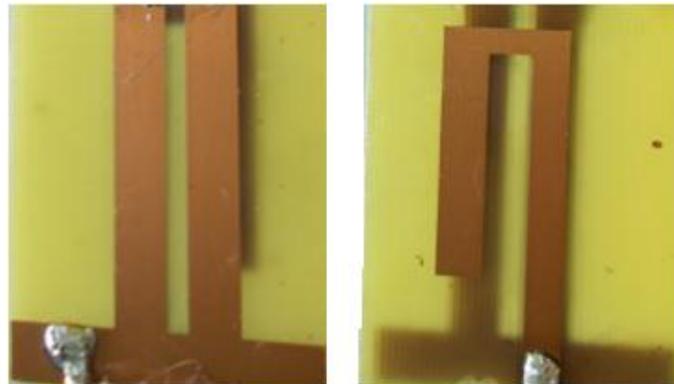


Figura 7. Balun construido.

El proceso de medición del Balun se realiza, empleando un analizador de red del tipo ROHDE & SCHWARZ que tiene un rango de frecuencia de operación de 9 KHz a 3 GHz, para determinar el coeficiente de reflexión, se conectaron los dispositivos como se muestra en la figura 8.



Figura 8. Esquema para la medición del coeficiente  $S_{11}$  del Balun con una carga.

En la figura 9 se muestra el resultado de la medición para un rango de frecuencias de 400 MHz a 1GHz. Se puede apreciar que el borde inferior del ancho de banda está ubicado en los 549 MHz con un coeficiente de reflexión de -9.4 dB y el borde superior está en los 857 MHz presentando pérdidas de retorno de -9.7 dB.

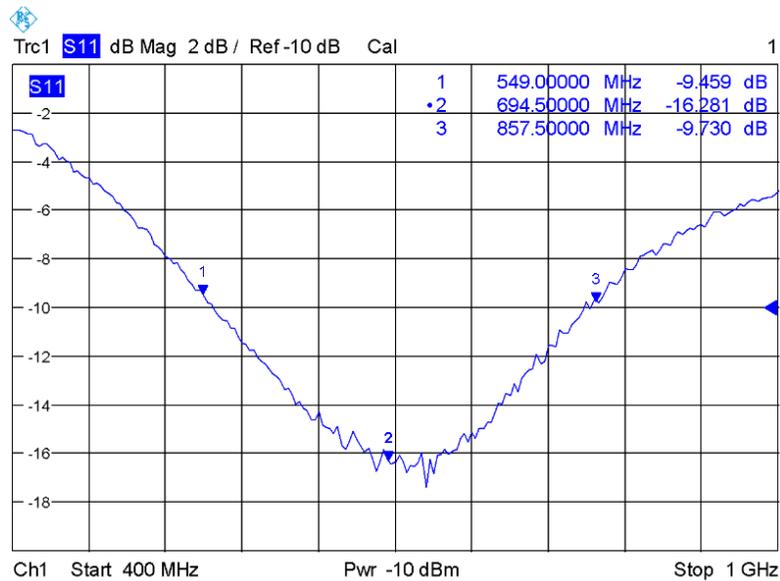


Figura 9. Coeficiente de reflexión para el Balun construido.

La tabla 2 hace una comparación entre los resultados de la simulación y la medición de este prototipo. Como se puede apreciar las mediciones dieron excelentes resultados ya que se logró un ancho de banda desde los 554 hasta 873 MHz.

Tabla 2. Comparación entre la simulación y la medición del Balun.

# DISEÑO DE UN BALUN DE MICROCINTA A LÍNEA DE CINTA COPLANAR PARA LA BANDA DE TELEVISION DIGITAL

	Ancho de banda simulado para un $S_{11} < -10$ dB (MHz)	Ancho de banda medido para un $S_{11} < -10$ dB (MHz)
Prototipo de Balun	500 - 790	550 - 853

## PRUEBAS DEL BALUN

Una de las primeras pruebas realizadas al Balun propuesto fue la construcción de un acoplador de salidas (*back to back*, en inglés). Este dispositivo no es más que dos baluns acoplados uno frente a otro (figura 11) y así medir los coeficientes de transmisión. En la figura 10 se muestra el *back to back* construido.

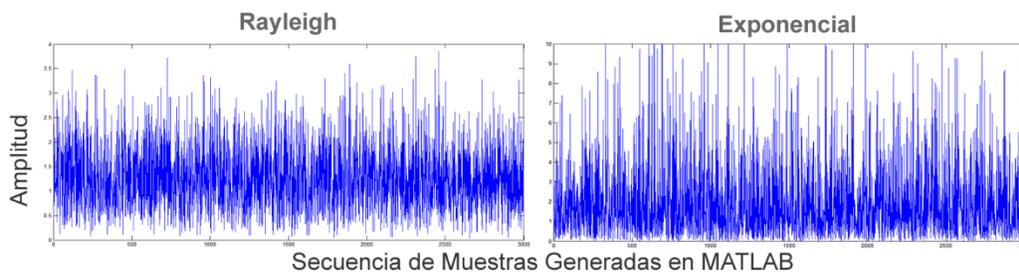


Figura 3: Secuencia de 3000 muestras con distribuidas en Rayleigh y Exponencial.

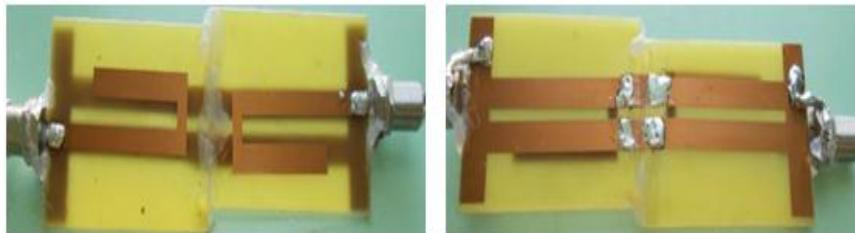


Figura 10. *Back to back*.



Figura 11. Esquema del seguido para medir el coeficiente  $S_{21}$  del *Back to back*.

Las mediciones se observan en la figura 12, estas permiten constatar que el mismo presenta un coeficiente de transmisión, donde se obtienen valores que se encuentran entre -1.7 dB y -3.0 dB logrando un amplio ancho de banda desde 462 MHz y 918 MHz, específicamente para las frecuencias de los canales de la televisión digital en La Habana (31,38 y 48) se obtienen mediciones de -1.9 dB (575MHz), -2.7dB (617MHz) y -2.5dB (677MHz).

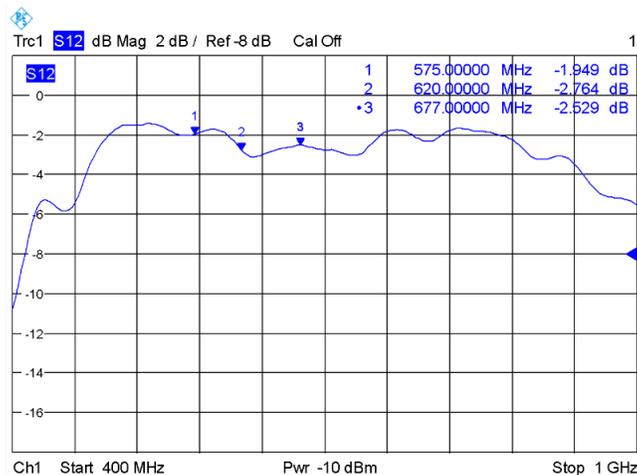


Figura 12. Medición de  $S_{12}$  para el Balun back to back.

Con el objetivo de comprobar el buen acoplamiento de la estructura diseñada, se realizan pruebas con dos estructuras de antenas. Estas antenas tienen una impedancia de entrada de 75  $\Omega$  balanceados y trabajan en el rango de frecuencia de la televisión digital en Cuba (Antena Yagi de dipolo doblado y la antena fractal con stub). El esquema para la medición se puede ver en la figura 8. A continuación se muestra en la figura 13 la construcción de la antena Yagi dipolo doblado con el Balun diseñado.

## DISEÑO DE UN BALUN DE MICROCINTA A LÍNEA DE CINTA COPLANAR PARA LA BANDA DE TELEVISION DIGITAL



Figura 13. Implementación del Balun en una antena Yagi dipolo doblado.

En la figura 14 se muestra la medición de la antena Yagi dipolo doblado con el Balun, donde el comportamiento del coeficiente de reflexión se encuentra entre 1.91 y 1.71 cubriendo el rango de frecuencia de la televisión digital, lo cual demuestra que existe un buen acoplamiento entre la antena y el Balun.

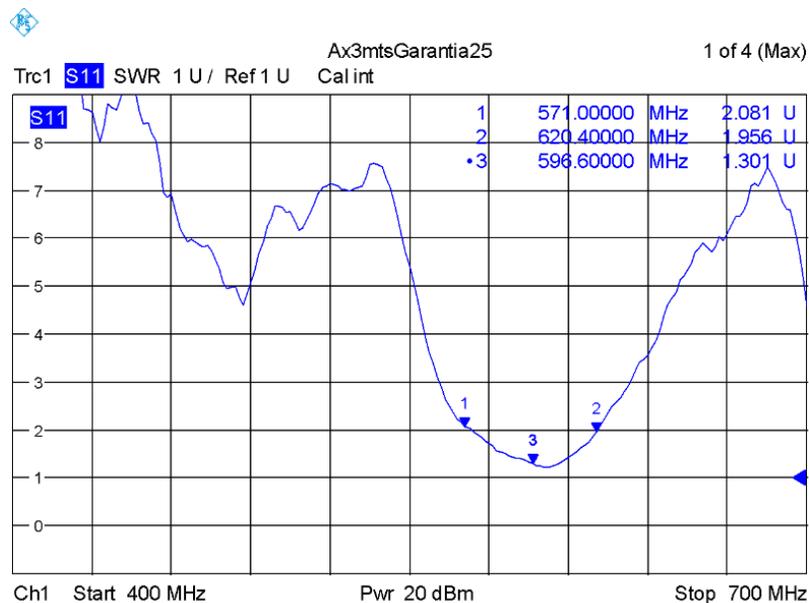


Figura 14. Medición de  $S_{11}$  para la antena Yagi dipolo doblado con el Balun.

La segunda estructura diseñada es una antena fractal (figura 15). La misma está basada en las curvas de Koch de segunda iteración. Para la medición se siguió el esquema de la figura 8, aunque se utilizó un analizador de redes Agilent Technologies de un rango de frecuencia 10 MHz a 20 GHz.



Figura 15 Implementación del Balun en una antena fractal.

Los resultados obtenidos se observan en la figura 16, se aprecia una razón de onda estacionaria (ROE) menor a 2 para el rango de frecuencia desde 550 MHz hasta 700 MHz.



Figura 16. Medición de  $S_{11}$  para la antena fractal con el Balun.

## CONCLUSIONES

Con la terminación de este trabajo se satisface el objetivo de lograr un diseño de *Balun* impreso 1:1 para 75 Ohm cubriendo la banda de frecuencias desde 554 MHz hasta 873 MHz, en la cual se transmiten actualmente en Cuba algunos canales de la Televisión Digital Terrestre. El resultado más relevante es el acoplamiento de varias antenas balanceadas a un cable coaxial de 75 ohm, mejorando en cada caso el rendimiento de cada sistema, garantizando la máxima transferencia de energía posible de la antena al cable coaxial a través del *Balun*. El diseño propuesto es adaptable a otros rangos de frecuencias y a otros materiales, incluso utilizando como dieléctrico el aire y como material conductor el latón o aluminio.

La utilización de microcinta para la construcción de este tipo de *Balun* es una alternativa viable a las frente a los dispositivos tradicionales ferritas, las cuales son difíciles de adquirir en el mercado nacional. Aunque es importante destacar que una de las desventajas más críticas de los dispositivos impresos es la variación de sus características eléctricas con diferentes factores externos, como la humedad y la

salinidad que afectan directamente la conductividad (tangente de pérdidas) y la permitividad dieléctrica; produciendo un comportamiento indeseado en el elemento diseñado. Por lo que se recomienda para la aplicación práctica la protección del dispositivo.

## **REFERENCIAS.**

1. BARRIOS, Irina; Orlando. "Diseño de una antena de banda ancha para televisión digital". Tesis de Pregrado, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Ciudad de La Habana, 2013.
2. Magdey; Ernesto. "Diseño de Balun para antenas de televisión digital". Tesis de Pregrado, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Ciudad de La Habana, 2015.
3. BALANIS, C. Antenna Theory Analysis and Design. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2005. 538-541pp. ISBN 0-471-66782-X
4. VINAYAGAMOORTHY, Kalyany. "Design and Implementation of Wideband Baluns for archimidean spiral antennas". Thesis of Master of Engineering, Queensland University of Technology, Brisbane, Australia, 2011.
5. BALANIS, C. Antenna Theory Analysis and Design. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 1997. 480-3 pp. ISBN 0-471-59268-4
6. BAKER Bryant. "A Wideband Balun for HF, VHF, and UHF Applications". Microwave Theory and Technique Society, IEEE, 2014, vol. 15, núm. 1, pp.87.
7. SIMONS, Rainee. Coplanar Waveguide Circuits, Components, and Systems. John Wiley & Sons, Inc. 2001. 163-165 pp. ISBN 0-471-16121-7.
8. LACETEL. *Informaciones Útiles* [en línea]. [ref. de 16 de septiembre 2015]. Disponible en Web: <http://www.lacetel.cu/television-digital/informaciones-utiles.html>