TELEMÁTICA
REVISTA DIGITAL de las Tecnologías de la Información y las Telecomunicaciones
Revista Telemática. Vol. 16. No. 3, septiembre-diciembre, 2017, p.41- 52 ISSN 1729-3804

ANTENA INDEPENDIENTE DE LA FRECUENCIA, ESPIRAL DE ARQUÍMEDES IMPRESA.

Oniet Paz Barros[1]
[1]CIDP "Grito de Baire", Santa Ana # 711 / 47 y Reforma Plaza de la Revolución, La Habana.
[1]e-mail: oniet@nauta.cu

RESUMEN

Con el objetivo de explorar la banda de frecuencias 600 MHz – 3200 MHz con una sola antena de banda ancha y evitar el uso de varias antenas y conmutador de antenas correspondiente, se procedió al diseño y simulación de una antena espiral de Arquímedes impresa. Este diseño se acopló a la línea de transmisión de 50Ω a través de un balun de banda basado en la tecnología planar. En este artículo se profundiza en el procedimiento de diseño de espiral de Arquímedes impresa. Se analizan los resultados teniendo en cuenta el criterio de mantener un valor de ROE (razón de onda estacionaria) inferior a 3 en la banda de interés, los mismos se obtienen mediante la simulación y la optimización utilizando el software CST (Microwave Studio). La construcción de algunos prototipos, su posterior medición y las pruebas realizadas dan certeza del buen funcionamiento del diseño presentado.

PALABRAS CLAVE: antena independiente de la frecuencia, balun, antena espiral de Arquímedes.

ABSTRACT

Based on the needs to explore the frequency band 600 MHz – 3200 MHz by using one broadband antenna to prevent the use of switched antennas, it was designed and simulated a printed Archimedean Spiral Antenna printed. The designed antenna was matched to the transmission line impedance given by 50Ω through a broadband balun based on planar technology. The current article addresses the procedure of the printed Archimedean Spiral Antenna. Results obtained were analyzed taking to maintain SWR (stationary wave reason) values lower than 3 on the band of interest. Results were obtained through simulation and optimization procedures using software CST (Microwave Studio). Construction, measurement and tests obtained of several prototypes exhibits proper performance of the designed device.

KEYWORDS: frequency independent antennas, Balun, Archimedean Spiral Antenna.

INTRODUCCIÓN

El término “Antena Independiente de la Frecuencia” [1]–[7] ha sido utilizado por diversos autores desde de la década del cincuenta del siglo pasado; este tipo de antenas se rige por cuatro principios básicos[6], [7]: auto-similitud geométrica; geometría descrita por ángulo; truncamiento y corrientes residuales; estructura auto-complementaria. Estos principios tienen en cuenta el efecto del “balun” (adaptador de balanceado a no balanceado) de alimentación básicamente. El cual, así como la antena, debe ser independiente de la frecuencia a lo largo de su ancho de banda (BW).

En un medio no disperso la corriente de distribución a lo largo de la antena como función de la frecuencia queda establecida solo si las dimensiones de la antena y la longitud de onda de operación son cambiadas por una misma fracción. Esto garantiza que las dimensiones eléctricas de las antenas quedan invariantes con los cambios en la frecuencia de operación. Teniendo en cuenta la invariabilidad de la corriente (de la fuente) con la normalización de la frecuencia, entonces se establece una invariabilidad en el diagrama del campo lejano con respecto a la frecuencia [7]. Siguiendo estos principios, clasifican como antenas independientes de la frecuencia (figura 1): Log-periódica [8], Espiral Equiangular [9], Espiral de Arquímedes [10], Espiral Sinuosa [11], entre otras.

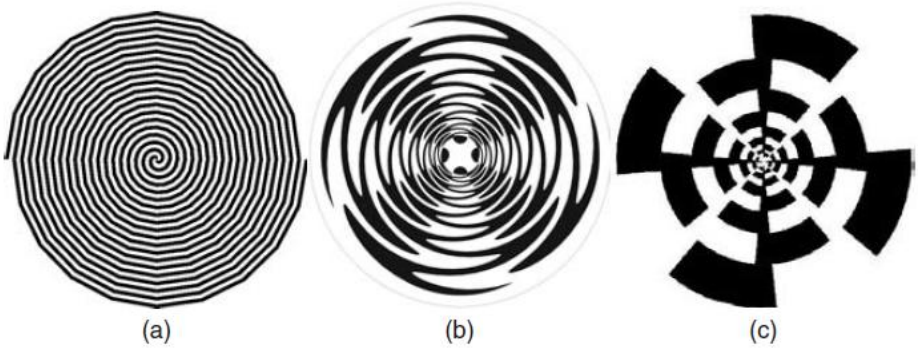

Figura 1. a) Espiral de Arquímedes de 2 brazos b) Sinusoide de 4 brazos c) Log-periódica de 4 brazos [7].

La antena Espiral de Arquímedes ha tenido un amplio uso en la actualidad para las comunicaciones [12], sistemas recolectores de energía [13], entre otros. También se ha utilizado como antenas reconfigurables [14], con supresores de banda [15], en configuraciones de arreglos [16] y hasta con metamateriales en la cavidad trasera absorbente [17]. Una de las características fundamentales de las antenas independientes de la frecuencia es su alimentación balanceada y la elevada impedancia de entrada [18] cercana a los 200 Ω producto del principio de estructura auto complementaria. En este sentido, se hace necesario el empleo del “balun” como se indica en [13].

En este trabajo se obtiene una antena Espiral de Arquímedes de dos brazos para recibir señales en la banda de 600 MHz a 3,2 GHz como se muestra en la figura 2. Esta antena es adaptada con un “balun” de banda ancha [19] a una línea de coaxial de 50 Ω, en este caso no solo se transforma de balanceado a no balanceado como en [19], sino que también transforma impedancia, de 190 Ω de la antena a 50 Ω del cable coaxial. La principal motivación de este trabajo es la exploración del espectro radioeléctrico, que antes de obtener este resultado, se hacía con tres antenas. Con la obtención de este dispositivo se agrupa en un solo elemento de recepción la función de tres, para la misma banda de trabajo (600 MHz a 3,2 GHz) y se elimina el uso de conmutador de antenas.

DISEÑO DE LA ANTENA ESPIRAL DE ARQUÍMEDES IMPRESA

Para el diseño se considera la banda de trabajo de 500 MHz a 3,2 GHz debido a que las bajas frecuencias en estas antenas son las que limitan en tamaño a la estructura. Se toma como región de alimentación la zona de las altas frecuencias. La línea de alimentación donde se acoplará la antena tiene una impedancia característica de 50 Ω asimétrica y como es una antena propiamente para recepción se considerará una razón de onda estacionaria (ROE) inferior a 3 en toda la banda de interés.

Partiendo de la ecuación de la Espiral de Arquímedes [5]–[7], donde r es radio exterior, r_0 es radio inicial, a es rango de crecimiento y ϕ es ángulo de crecimiento progresivo se obtiene la siguiente relación:

$$r = r_0 + a \cdot \phi \tag{1}$$

Figura 2. Antena Espiral de Arquímedes

Con base en el principio de truncamiento y corrientes residuales, la frecuencia máxima (f_{max}) y la frecuencia mínima (f_{min}) de operación tienen una relación de proporcionalidad inversa de con el radio inicial (r_0) y radio exterior (r) respectivamente entonces se establecen las siguientes relaciones:

$$f_{\max} = \frac{c}{2\pi \cdot r_0}, \tag{2}$$

$$f_{\min} = \frac{c}{2\pi \cdot r}, \tag{3}$$

donde c es la velocidad de la luz en el espacio libre dado por 3 * 108 m/s. Si se considera estructura auto-complementaria 188 Ω [5]–[7], el ancho de cada calle conductora (w) y la separación (s) entre estas, se obtiene el número de vueltas (N) necesarias por la expresión:

$$s = w = \frac{r - r_0}{4 \cdot N} \tag{4}$$

Evaluando estas expresiones de (1) a (4) se obtienen las siguientes relaciones mostradas en la Tabla 1:

Tabla 1. Resultados del diseño de la Espiral de Arquímedes.

Parámetros	Valor	Unidad de medida
frecuencia máxima(f_{max})	3200	MHz
frecuencia mínima(f_{min})	600	MHz
radio inicial(r_0)	14.9	mm
radio exterior (r)	79.57	mm
calle conductora (w)	3	mm
separación (s)	3	mm
número de vueltas (N)	5.38	U

En la figura 2 se observa la antena obtenida directamente de los cálculos. Se observa que el diseño no tiene la misma cantidad de superficie cubierta por metal que por no metal, por lo que se infiere que el comportamiento independiente de la frecuencia esté afectado para las altas frecuencias (la impedancia de la antena para las frecuencias alta este alejada de los 188 Ω), específicamente el principio de estructura auto complementaria [7].

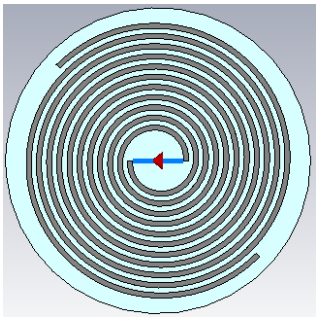

Figura 2. Antena Espiral de Arquímedes diseñada.

SIMULACIÓN Y MEDICIÓN

Una vez completado el diseño de la estructura de la antena se procedió a la simulación de la misma haciendo uso del software CST (Microwave Studio) 2016 analizando fundamentalmente la ROE y el patrón de radiación en el campo lejano. Para el diseño de la estructura se selecciona un sustrato del tipo FR4. Las características del mismo son: permitividad dieléctrica (ε_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. Para la simulación se considera que el puerto de entrada de la antena es de 190 Ω.

Como se puede observar en la figura 3, la antena que directamente se simuló es la obtenida en el diseño. Pues no cumple con el parámetro ROE. Por este motivo se procedió a optimizar la estructura lo que dio como resultado los parámetros de la tabla 2.

En este punto del trabajo es necesario destacar la importancia del valor del radio interior del diseño. Este valor establece las características de radiación en las frecuencias más altas de operación, de la espiral lograr una impedancia de entrada de 190 Ω aproximadamente. Además, por el valor del radio se conforma una estructura auto complementaria y en consecuencia lograr una impedancia de 190 Ω de entrada aproximadamente. De ahí que la espiral optimizada tiene mejor ROE en toda la banda de interés.

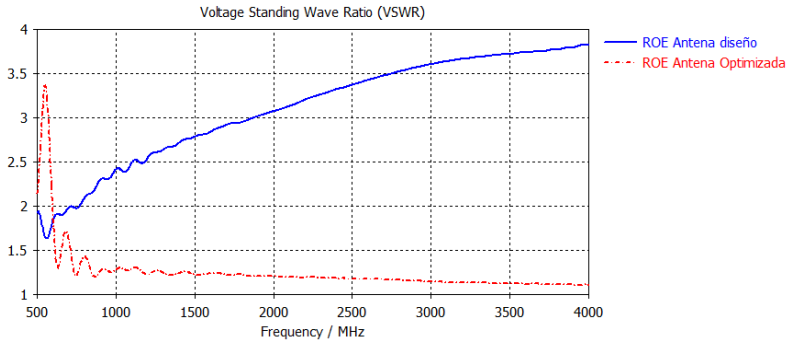

Figura 3. Comparación entre la ROE de la antena diseñada y la optimizada en el CST 2016

Tabla 2. Resultados de la optimización de la Espiral de Arquímedes.

rámetros	Valor	Unidad de medida
frecuencia máxima($f_{\max}$)	3200	MHz
frecuencia mínima($f_{\min}$)	600	MHz
radio inicial(r_0)	1.164	mm
radio exterior (r)	79.57	mm
calle conductora (w)	2.59	mm
separación (s)	2.59	mm
número de vueltas (N)	4.7	U

Balun de banda ancha

En el acople de la antena hay un problema que resolver: ¿cómo adaptar 190Ω balanceados a 50Ω no balanceados? La respuesta a esta pregunta es: ¡un "balun" de banda ancha! [19]. La estructura diseñada se muestra en la figura 4, la cual presenta un "balun" con una transición de Microcinta para Cinta Coplanar (CPS). El mismo consiste en una línea de alimentación que tiene tres segmentos de una Microcinta y un "stub" de un cuarto de longitud de onda para la frecuencia de 2 GHz en una cara del sustrato. 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 de la antena.

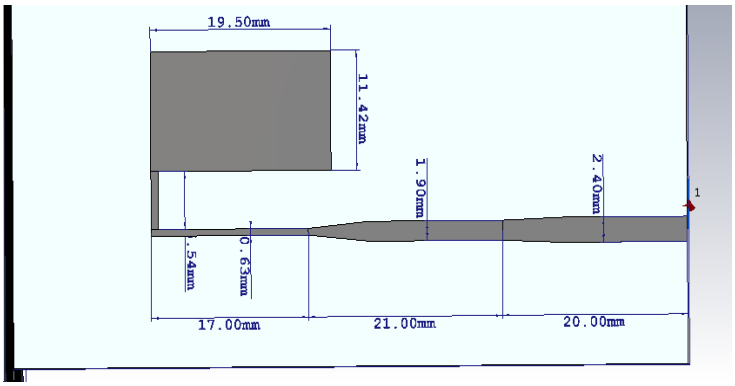

Figura 4. a) Capa superior del "balun" de banda ancha para la antena Espiral de Arquímedes

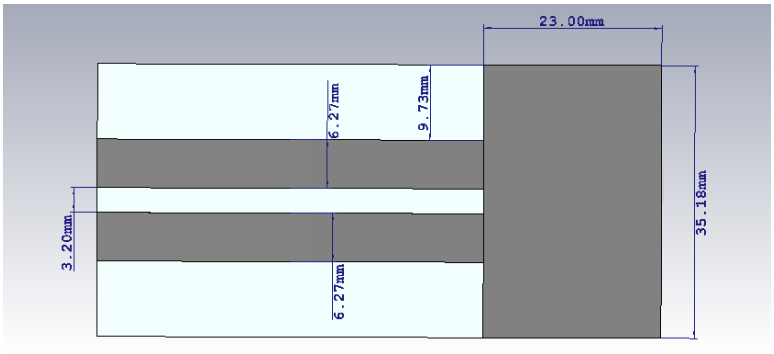

Figura 4. b) Capa inferior del "balun" de banda ancha para la antena Espiral de Arquímedes

Mediciones Antena Espiral de Arquímedes con Balun de banda ancha acoplado

Una vez obtenida la simulación de acorde a los parámetros exigidos para el diseño se construyó la antena Espiral de Arquímedes y se acopló al "balun" de banda ancha figura 5 y se obtuvo los resultados que aparecen en las figuras 6 - 10.

Figura 5. Antena Espiral de Arquímedes acoplada al Balun de banda ancha

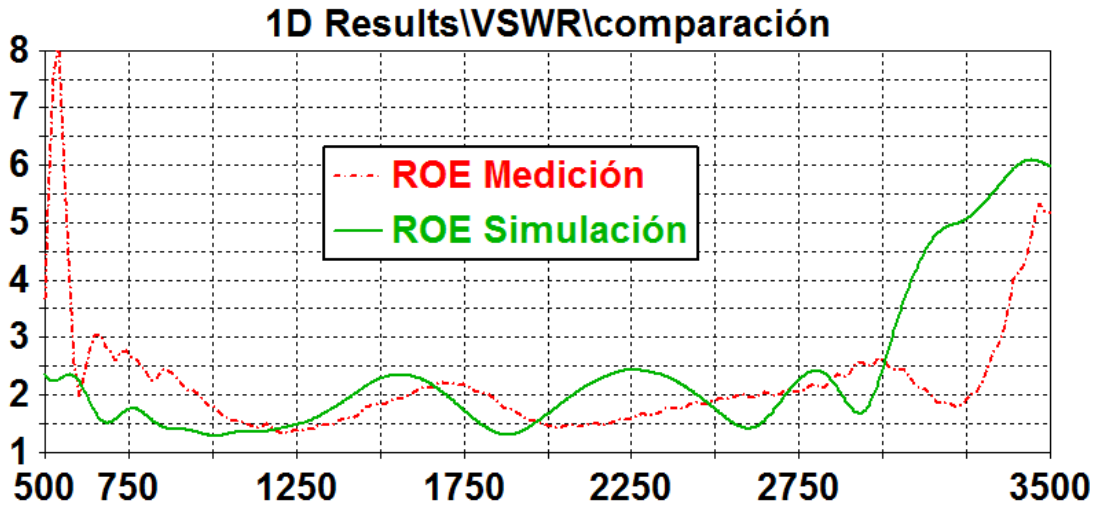

Figura 6. Comparación entre la Simulación y la Medición de la antena Espiral de Arquímedes en cuanto a la ROE (la frecuencia está en MHz en el eje horizontal).

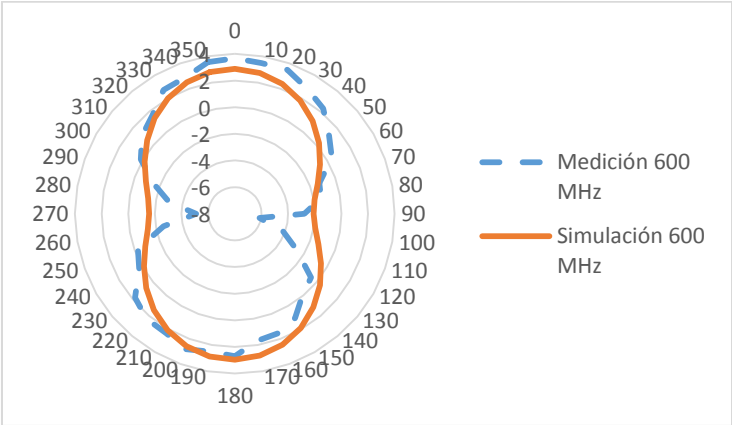

Figura 7. Patrón de radiación de la antena Espiral de Arquímedes en 600 MHz

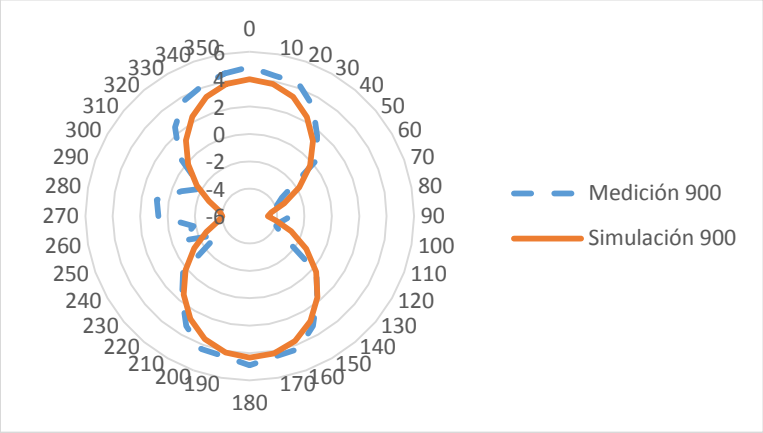

Figura 8. Patrón de radiación de la antena Espiral de Arquímedes en 900 MHz

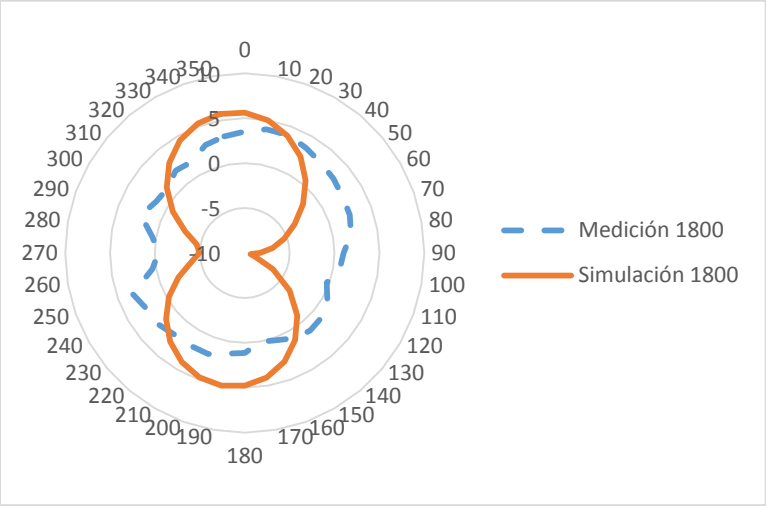

Figura 9. Patrón de radiación de la antena Espiral de Arquímedes en 1800 MHz

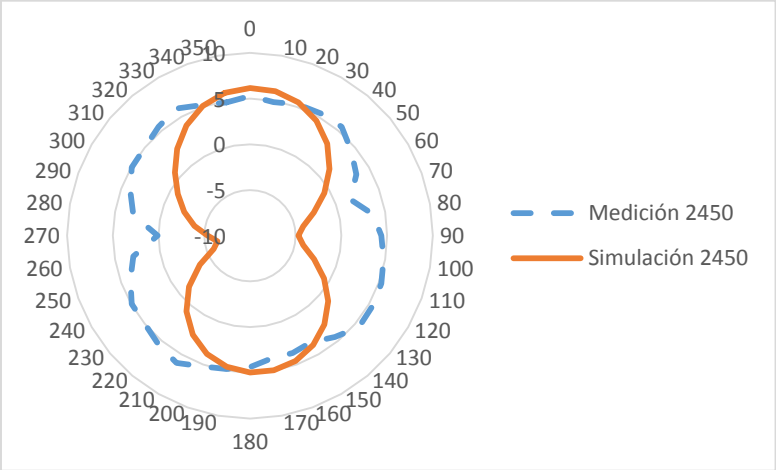

Figura 10. Patrón de radiación de la antena Espiral de Arquímedes en 2450 MHz

De forma general se obtienen buenos resultados teniendo en cuenta que la antena obtenida es para recepción. Se considera una ROE < 3 aceptable para el rango de frecuencia de interés, aunque se nota un corrimiento de hacia las frecuencias mayores de la ROE medida con respecto a la simulación. En cuanto al patrón de radiación hay un mejor comportamiento para las frecuencias menores a los 900 MHz, no así para las frecuencias mayores a 900 MHz, pues hay un corrimiento del máximo de radiación e incluso una disminución de la ganancia de la antena construida con respecto a la simulación.

CONCLUSIONES

Con la terminación de este trabajo se satisface el objetivo de lograr un diseño de antena Espiral de Arquímedes en la banda de 600 MHz a 3200 MHz con una ROE menor que 3 en toda la banda de trabajo. Para el diseño, la simulación y la construcción de la antena y el balun se utilizó sustrato FR4 de permitividad dieléctrica 5.4 de espesor de 1.6 mm con un espesor del cobre de 35 µm. Los resultados obtenidos son muy motivadores pues para próximas investigaciones se pretenderá bajar la ROE a 2 para poder emplear este dispositivo como antena transmisora y mejorar las características de radiación de la antena en el campo lejano.

RECONOCIMIENTOS

El autor quiere agradecer el apoyo brindado por los profesores en especial a: Taimir Alain Morales Roche, Rolando Guerra Gómez, Osmery Hernández Martínez, Dayan Pérez Quintana y a los alumnos Nelson Paz García y Alejandro D. Cabrera Valdés del laboratorio de comunicaciones inalámbricas de la Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría, CUJAE. A la Lic. Yennisey Miranda Contreras por su colaboración en la edición del texto. Y a los investigadores Eddis Marinez Lee, Daima Pérez Mendoza, Julio A. Santana Abreu

REFERENCIAS

[1] V. H. Rumsey, “Frequency Independent Antennas,” *IRE Int. Conv. Rec*, vol. 5, pp. 113–118, 1957.

[2] V. H. Rumsey, “Frequency-Independent Antennas,” New York and London: Academic Press, 1966.

[3] P. E. Mayes, “Frequency-Independent Antennas: Birth and Growth of an Idea,” *Ieee Antennas Propagations Society News.*, pp. 4–8, 1982.

[4] R. H. Duhamel and J. P. Scherer, *Antenna Engineering Handbook*. New York: McGraw-Hill, 1993.

[5] T. Milligan, *Modern Antenna Design*. New Jersey: John. Wiley & Sons, 2005.

[6] C. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2005.

[7] J. L. Volakis, “Antenna Engineering Handbook,” 2005. [Online]. Available: http: //www.digitalengineeringlibrary.com/Antenna Engineering Handbook. [Accessed: 16-Oct-2017].

[8] R. H. Duhamel and D. E. Isbell, “Broadband Logarithmically Periodic Antenna Structures,” *IRE Int. Conv. Rec.*, vol. 5, pp. 119–128, 1957.

[9] J. D. Dyson, “The Equiangular Spiral Antenna,” *IRE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. AP-7, pp. 181–187, 1959.

[10] J. Kaiser, “The Archimedean Two-Wire Spiral Antenna,” *IRE Transactions on Antennas and Propagation.*, vol. AP-8, pp. 312–323, 1960.

[11] R. H. Duhamel, “Dual polarized sinuous antenna,” U.S. Patent 4658262.

[12] Y.-W. Zhong, G.-M. Yang, J.-Y. Mo, and L.-R. Zheng, “Compact Circularly Polarized Archimedean Spiral Antenna for Ultra-Wideband Communication Applications,” *IRE Transactions on Antennas and Propagation*, 16-Oct-2017. [Online]. Available: http://ieeexplore.ieee.org/document/7462213. [Accessed: 16-Oct-2017].

[13] K. Singh, R. Deshpande, and R. Ranjan, “Design of a Wideband Balun for Archimedean Spiral Antenna in Energy Harvesting,” *International Conference on Applied and Theoretical Computing and Communication Technology*, 16-Oct-2017. [Online]. Available: http://ieeexplore.ieee.org/document/7456852/. [Accessed: 16-Oct-2017].

[14] F. D. Dahalan, M. Z. Hami, and M. R. Rahim, “Frequency-Reconfigurable Archimedean Spiral Antenna,” *IEEE antennas and wireless propagation letters*, vol. 12, pp. 1504–1507, 2013.

[15] F. D. Dahalan, M. R. Rahim, and M. Hamid, “A CPW Archimedean Spiral Antenna Whit Band Notch Characteristics using Slotted technique,” Malaysia, 2013.

[16] I. Hinostroza and R. Guinvarc’h, “Estimating the Bandwidth of Spiral Antenna Arrays,” *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 11-Oct-2017. [Online]. Available: http://ieeexplore.ieee.org/document/6715601/. [Accessed: 11-Oct-2017].

[17] K. Louertani and H. Ruifeng, "Wideband and low-profile unidirectional Spiral Antenna with Meta-material absorber," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 11-Oct-2017. [Online]. Available: http://ieeexplore.ieee.org/document/6711001/. [Accessed: 11-Oct-2017].

[18] T.-K. Chen, H. Gregory, and Huff, "On the Constant Input Impedance of the Archimedean Spiral Antenna in Free-Space," *IEEE transactions antennas and propagation*, vol. 62, no. 7, pp. 3872–3869, 2014.

[19] O. Paz, "Diseño de un balun de microcinta a línea de cinta coplanar para la banda de televisión digital," *Revista Telem@tica*, vol. 15, no. 2, pp. 40–51, 2016.