

## ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS ANTENAS LOGOPERIÓDICA Y FRACTAL, IMPRESAS, EN LA BANDA “L” Y “S”

**Schlesinger Paola Luciana**, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura,  
[pupelu@gmail.com](mailto:pupelu@gmail.com)

**Valdez Alberto Daniel**, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura,  
[dvaldez@exa.unne.edu.ar](mailto:dvaldez@exa.unne.edu.ar)

**Chiozza Juan Ángel**, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura,  
[titochiozza@gmail.com](mailto:titochiozza@gmail.com)

**Miranda Carlos Víctor**, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura,  
[carlitosmiranda22@gmail.com](mailto:carlitosmiranda22@gmail.com)

**del Valle Camino Miguel**, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura,  
[m.e.delvallecaminio@ieee.org](mailto:m.e.delvallecaminio@ieee.org)

**Grela Abel Alejandro**, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura,  
[abelalejandrogrela@gmail.com](mailto:abelalejandrogrela@gmail.com)

**Bava Alberto**, Facultad de Ingeniería de la Plata,  
[albertobava@yahoo.com.ar](mailto:albertobava@yahoo.com.ar)

**Resumen**— Se propone el diseño de dos antenas, denominadas logoperiódica y fractal, ambas impresas, en las bandas de frecuencia L (1-2 GHz) y S (2-4 GHz) y por medio de la simulación conocer las prestaciones con relación al diagrama de radiación, respuesta en frecuencia dentro el ancho de banda previsto, ROE, impedancia de entrada, etc. El objeto es realizar una comparación entre las mismas para determinar la de mejor performance y ser instalada en el equipo electrónico portátil monitor de radiaciones no ionizantes en las bandas de frecuencias "L" y "S". El requerimiento del proyecto impone que la construcción sea compacta y de tamaño reducido, para poder ser utilizada en el dispositivo autónomo antes mencionado. El desarrollo de las antenas impresas y la selección de la más conveniente, integra el Proyecto de Desarrollo Tecnológico y Social “Diseño y construcción de un equipo electrónico portátil monitor de radiaciones no ionizantes en las bandas de frecuencias "L" y "S"” [1].

**Palabras clave**— *frecuencia, nivel, simulación.*

### 1. Introducción

Para el desarrollo de un equipo electrónico portátil monitor de radiaciones no ionizantes en las bandas de frecuencias “L” y “S” se diseñaron distintas antenas con el objetivo de comparar la performance de cada una, en cuanto a sus características de funcionamiento y fabricación. Las antenas consideradas son la logoperiódica y la antena fractal triángulo de Sierpinsky. Al ser un dispositivo portátil que será trasladado por un

operador, la antena deberá poseer dimensiones acordes con esta condición de diseño. Las antenas elegidas pueden presentarse en formato impreso, condición necesaria para cumplir los requerimientos antes mencionados.

El dispositivo se utilizará para el control de radiaciones no ionizantes del Edificio Radar del Grupo III de Vigilancia y Control Aeroespacial dependiente de la Fuerza Aérea Argentina. En el mismo se encuentra instalado el radar del aeropuerto de la ciudad de Resistencia que funciona en los rangos de frecuencia: Banda “L” y “S” (1,2 a 1,3 GHz y 2,7 a 2,9 GHz), que serán las frecuencias de diseño de las antenas.

### **1.1 Antena logoperiódica y fractal**

Una antena logoperiódica es una disposición de dipolos dispuestos en forma paralela a ambos lados de un plano. La longitud de los dipolos responde a una progresión geométrica menor que la unidad denominado factor de escala ( $\tau$ ), este parámetro por definición debe ser menor a la unidad y su característica principal es que controla el grado de solapamiento entre las frecuencias de resonancia de dos dipolos consecutivos de la antena. Una línea imaginaria desde el final de cada dipolo con el centro del arreglo subtende un ángulo  $\alpha$ , que al ser la longitud de cada dipolo función de la frecuencia convierte a  $\alpha$  en dependiente de la frecuencia e independiente de la estructura.

La relación de la distancia entre dos elementos adyacentes, se denomina espaciado relativo  $\sigma$  que se define como la longitud del elemento más largo a dos veces la longitud de onda. La configuración y diseño de una antena logoperiódica es descrita en términos de los parámetros  $\tau$ ,  $\alpha$ ,  $\sigma$  y están relacionados por medio de las expresiones que figuran en trabajos anteriores del grupo de investigación. [2]

$$\alpha = \operatorname{tg}^{-1} \left( \frac{1-\tau}{4\sigma} \right) \quad (1)$$

$$\tau = \frac{f_1}{f_2} \quad (2)$$

Para diseñar una antena según el triángulo de Sierpinsky se parte de un triángulo equilátero utilizado como iniciador y se comienza a iterar obteniéndose triángulos de menores dimensiones, cada uno de ellos sintonizados a una frecuencia de interés. El proceso se realiza teniendo en cuenta un factor de escala  $\delta$  que toma el valor de 2. Este factor da forma a las relaciones de frecuencia y altura de los triángulos entre iteraciones. El comportamiento multibanda de la antena se basa en la relación periódica de la estructura autosimilar. Se ha verificado el comportamiento multibanda de la antena realizando variaciones al valor de  $\delta$  determinado por Sierpinsky. [3]

El factor de escala tiene la forma:

$$\delta = \frac{f_{n+1}}{f_n} \quad (3)$$

Donde:

$f_n$  = frecuencia de resonancia del triángulo de n-esima iteración.

$f_{n+1}$  = frecuencia de resonancia del triángulo de n+1 iteración.

## **2. Materiales y Métodos**

A partir de las expresiones de diseño de la antena logoperiódica tradicional y la antena fractal, adecuamos el cálculo y diseño utilizando las técnicas de microstrip relacionadas a las antenas impresas.

A diferencia de la antena logoperiódica de conductor cilíndrico se innovó en relación al cálculo del ancho del dipolo y su línea de alimentación con técnicas de microstrip haciendo referencia a la ecuación (8) para hallar  $W_n$ . Adoptamos un valor de  $\tau = 0,89$  y de  $\sigma = 0,16$  según la gráfica de espaciamento relativo en función del factor de escala dada por R. L. Carrel [4], con una directividad que oscila entre los valores de 7,6 y 8 dB.

La longitud del dipolo para  $L_{n_{max}}$  es el doble de su máxima longitud, siendo esta la longitud del dipolo de menor frecuencia. El espaciamento relativo lo podemos expresar como:

$$\sigma = \frac{S_n}{4.L_n} \quad (4)$$

Siendo  $S_n$  la separación entre dipolos y  $L_n$  la media longitud del dipolo n. Una vez obtenidos los parámetros para la menor frecuencia, utilizando la siguiente expresión podemos hallar los valores para los dipolos restantes:

$$\tau = \frac{L_n}{L_{n+1}} = \frac{S_n}{S_{n+1}} = \frac{W_n}{W_{n+1}} \quad (5)$$

Donde:

$W_n$  = ancho de la línea de microstrip del dipolo.

Como datos de diseño de la antena logoperiódica impresa, se utilizó una placa doble laminada de cobre Rogers, con una  $\epsilon_r = 3$  y una altura de substrato  $h = 1,52$  mm. La antena se fabrica sobre los dos laminados de cobre de la placa, de esta manera se cumple la condición necesaria de alimentar los dipolos en forma alternada y con un desfase de  $180^\circ$ . La alimentación se realiza con una línea de microstrip de ancho  $W$  con una impedancia de  $50 \Omega$ . El ancho de los dipolos se obtiene al relacionar  $\tau$  con los anchos de dos dipolos consecutivos con las dimensiones en mm como se aprecia en la ecuación (5). Las dimensiones de la antena diseñada se observan en la tabla 1 y se puede apreciar el esquemático de la antena simulada en la Figura 1.

Tabla 1. Dimensiones calculadas de antena logoperiódica.

Dipolo	$L_n$ (mm)	$W_n$ (mm)	$S_n$ (mm)
1	67,00	3,80	42,80
2	59,80	3,38	38,10
3	53,00	3,00	33,90
4	47,00	2,67	30,20
5	42,00	2,38	26,90
6	37,40	2,20	23,90
7	33,20	1,88	21,30
8	29,60	1,68	18,90
9	26,30	1,50	16,80
10	23,40	1,33	15,00

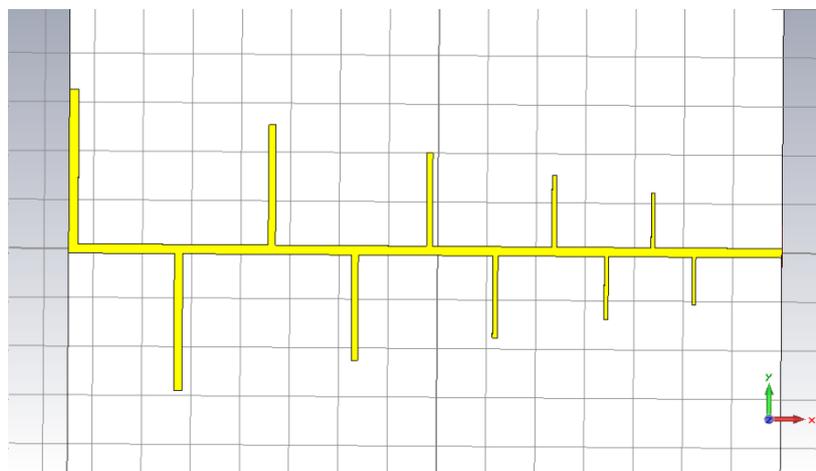


Figura 1. Antena logoperiódica calculada.

Para el caso del diseño de la antena fractal se comienza el cálculo con la expresión que nos da la primera altura del triángulo  $h_0$ , donde  $c$  es la velocidad de la luz en el vacío y  $\alpha$  es el ángulo de apertura del monopolo:

$$h_0 = 0,152 \cdot \frac{c}{f_n} \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot \delta \quad (6)$$

La antena fractal presenta la característica de ser multibanda, el objetivo es diseñar esta antena con las frecuencias de funcionamiento del radar que pertenecen a las bandas “L” y “S”. Una vez obtenido la altura del primer triángulo, utilizando la ecuación (7) se obtiene la altura correspondiente a la otra iteración, los valores calculados se observan en la Tabla 2.

$$\delta = \frac{h_n}{h_{n+1}} \quad (7)$$

Donde:

$h_n$  = altura del triángulo de n-esima iteración.

$h_{n+1}$  = altura del triángulo de n+1 iteración.

Tabla 2. Dimensiones calculadas de antena fractal.

Iteración n	Cálculo del Monopolo de Sierpinsky		
	$f_n$ (GHz)	$\delta$	$h_n$ (mm)
0	1,25	1,80	57
1	2,80	2,4	25

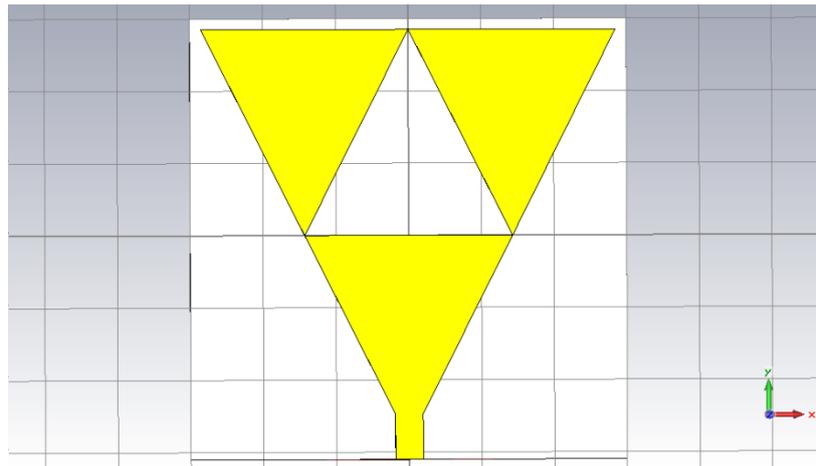


Figura 2. Antena fractal calculada.

La antena se implementa en una placa doble laminado de cobre Rogers con dieléctrico de  $\epsilon_r = 3$  y altura de sustrato  $h = 1,52$  mm con un plano de tierra de 2 mm. Se alimenta desde el vértice inferior con una línea de microstrip calculada para presentar una impedancia de entrada de  $50 \Omega$ . La antena calculada y simulada se observa en la Figura 2.

## 2.1 Antenas impresas

Las antenas impresas consisten en un parche metálico de espesor muy delgado dispuesto sobre un sustrato dieléctrico de bajas pérdidas colocado encima de un plano metálico, cuyas dimensiones son equivalentes a una pequeña fracción de longitud de onda. Los primeros trabajos realizados con esta técnica estuvieron dirigidos a la fabricación de líneas de transmisión o microtiras con características de velocidad de propagación y de impedancia similares, pero no así el modo de propagación.

Para el diseño de las microtiras y la antena se necesita conocer la impedancia característica, permitividad relativa del material dieléctrico ( $\epsilon_r$ ), como así también su espesor ( $h$ ). La ecuación de síntesis de las dimensiones de la antena impresa da la relación ancho  $W$  a espesor  $h$ , en función de la impedancia característica y material es:

$$\frac{W}{h} = \frac{2}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[ \ln(B - 1) - \frac{0,61}{\epsilon_r} + 0,39 \right] \right\} \quad (8)$$

$$B = \frac{377\pi}{2Z_0\sqrt{\epsilon_r}}$$

### 3. Resultados y Discusión

Una vez calculadas las antenas según las características de diseño, se las dibujó y simuló en el software CST Studio para verificar el comportamiento de las mismas y optimizarlas.

Uno de los parámetros a analizar es la relación de onda estacionaria que nos muestra el grado de adaptación de la antenna en el ancho de banda de trabajo. Como se observa en la Figura 3, la relación de onda estacionaria de la antenna logoperiódica está por debajo de 1,5; valor que se toma como límite superior de este parámetro. Para la antenna logoperiódica en las frecuencias de funcionamiento del radar se observa que la ROE toma los valores de 1,38 en 1,25 GHz y 1,45 en 2,8 GHz.

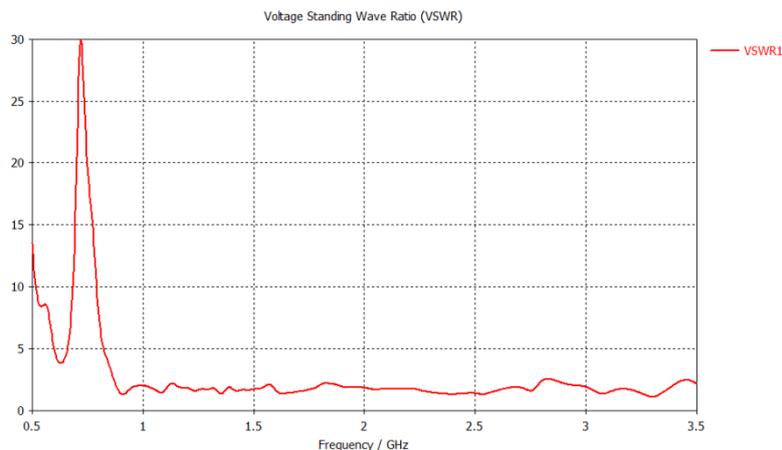


Figura 3. Relación de onda estacionaria de tensión de antenna logoperiódica.

Podemos observar en la Figura 4 el diagrama de radiación de la antenna, que presenta en la simulación una ganancia máxima de 7,6 dBi, valor coincidente con los parámetros de diseño. El diagrama como era previsto, presenta un máximo en la dirección del vértice de la antenna. También podemos apreciar en la Figura 5 el diagrama polar de la misma.

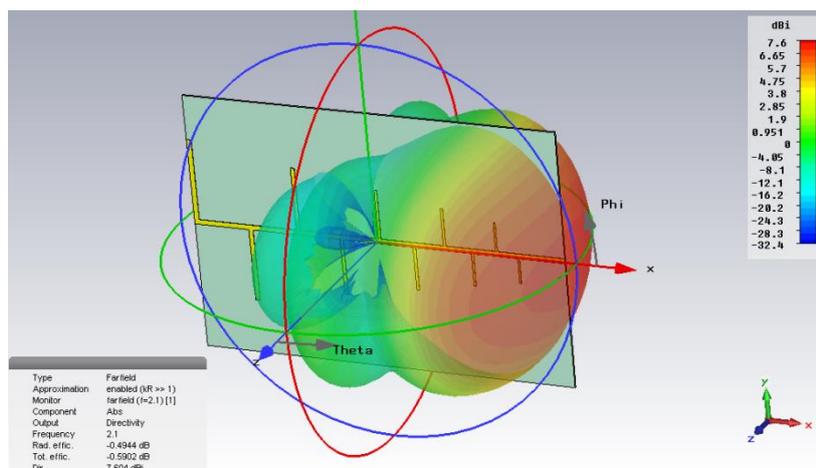


Figura 4. Diagrama de radiación 3D antenna logoperiódica.

**Análisis de las características de las antenas logoperiódica y fractal, impresas, en la banda "L" y "S".**

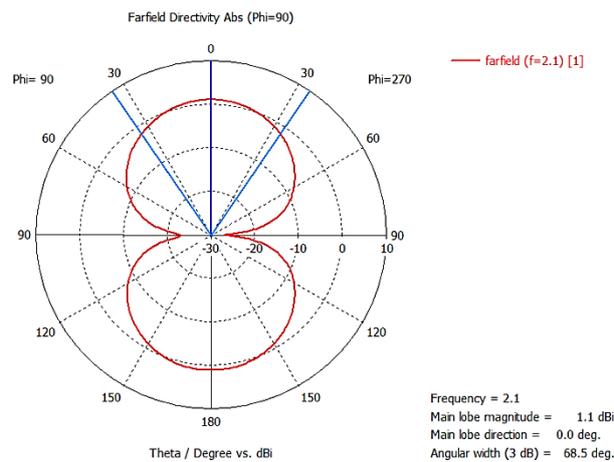


Figura 5. Diagrama de radiación polar.

Para la antena fractal, hemos obtenido en la simulación una antena de características de multibanda, como era esperado. En este caso hemos optimizado la misma para que cada una de las bandas presentes coincida con las bandas de frecuencia de diseño. La optimización consiste en modificar la altura del segundo triángulo para centrar la frecuencia de 2,8 GHz, obteniéndose el valor de  $h_n = 28,5$  mm, a diferencia de 25 mm como Figura en la tabla 2.

Podemos observar la característica de la onda estacionaria en la Figura 6, con valores menores a 1,5 en las dos bandas presentes. En la Figura 7 se aprecia su diagrama de radiación 3D, el mismo presenta características omnidireccionales y en la Figura 8 su diagrama de radiación polar. Posee una ganancia de 2,4 dBi.

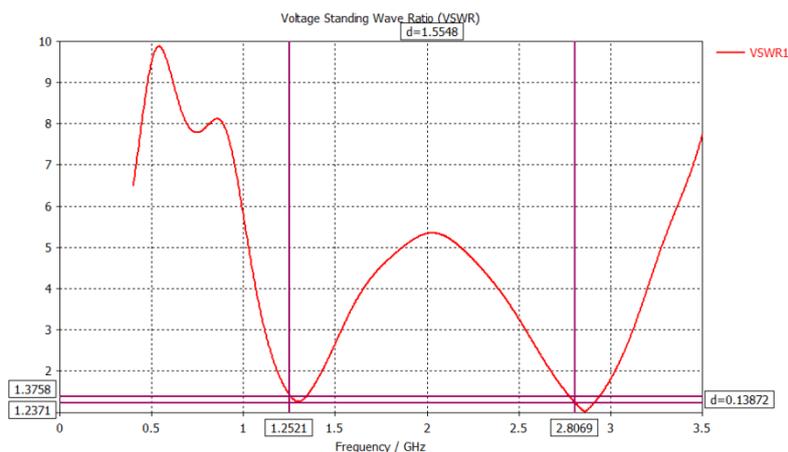


Figura 6. Relación de onda estacionaria de tensión antena fractal.

## Análisis de las características de las antenas logoperiódica y fractal, impresas, en la banda "L" y "S".

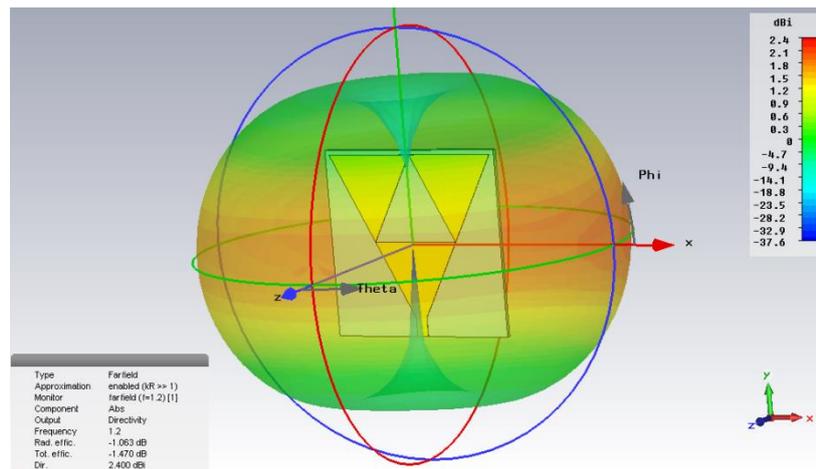


Figura 7. Diagrama de radiación 3D.

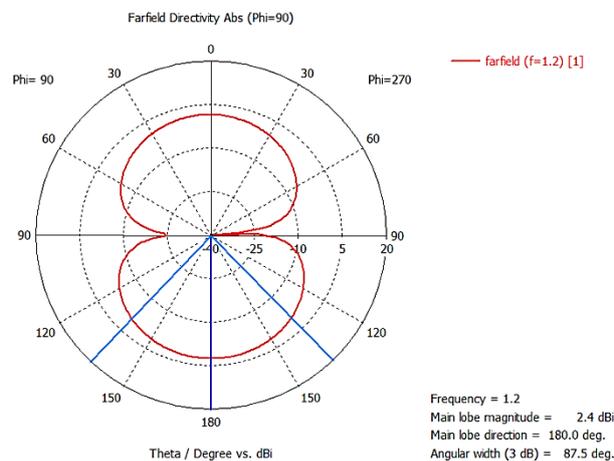


Figura 8. Diagrama de radiación polar.

### 3.1 Construcción de la antena

De las antenas calculadas y simuladas, las dos poseen un comportamiento en frecuencia que coincide con los requerimientos de funcionamiento. En cuanto a los requerimientos constructivos la antena logoperiódica presenta una dimensión de 140x260 mm, condición que excede los requerimientos del monitor portátil. La antena fractal presenta una dimensión de 57x61 mm. Por lo que se procedió a la construcción de la misma en una placa laminada en cobre de constante dieléctrica  $\epsilon_r = 3$  y altura de sustrato  $h = 1,52$  mm.

Se fabricó la antena utilizando el método de vinilo de corte, se procedió a imprimir el monopolo calculado y optimizado en la simulación, con una película adhesiva de material plástico troquelados con un plotter. La impresión en vinilo del monopolo se colocó sobre la placa de cobre y se sumergió a continuación en una solución de cloruro férrico que disolvió las superficies de cobre no cubiertas por el vinilo. La antena impresa se puede observar en la Figura 9.

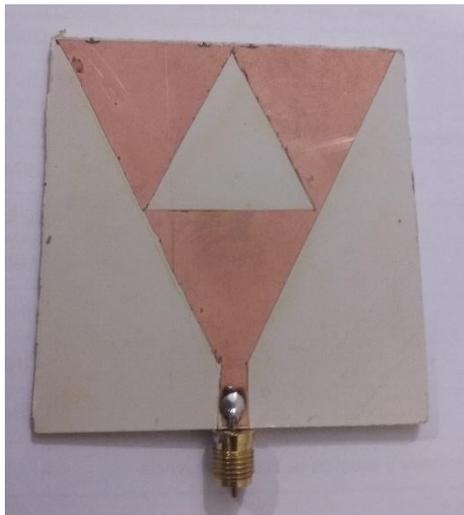


Figura 9. Antena fractal impresa.

### 3.2 Medición de la antena

Una vez implementada la antena, utilizando el analizador vectorial de redes, marca Agilent Technologies, modelo E5062A, que posee un ancho de banda de 300 KHz a 3 GHz, se procedió a medir la relación de onda estacionaria de la misma. Se realizó un barrido en frecuencia en toda la banda de cálculo desde 900 MHz a 3000 MHz observando las bandas de frecuencia de diseño, que coinciden con las observadas en la simulación.

Para la frecuencia de 1,25 GHz se obtuvo un valor de ROE de 1,1506 y para la frecuencia de 2,8 GHz se obtuvo 1,2584. La gráfica obtenida con el instrumento se asemeja a la obtenida en la simulación como se observa en la Figura 10.



Figura 10. Relación de onda estacionarias de la antena fractal impresa.

#### **4. Conclusiones y recomendaciones**

La construcción de las dos antenas en las bandas de diseño se realizó siguiendo los procedimientos citados en [2] y [3]. Se obtuvieron los resultados esperados para cada una de las antenas, en el caso de la antena logoperiódica se obtuvo una antena de banda ancha que cubre la banda de trabajo, con dimensiones físicas que excedían las condiciones de diseño al tratarse de un dispositivo portátil.

En el caso de la antena fractal se obtuvo una antena multibanda centradas en las frecuencias de funcionamiento del radar, con dimensiones físicas acordes a las condiciones de diseño.

Se optó por construir la antena fractal y se verificó su respuesta en frecuencia con el analizador vectorial de redes.

Como próximos trabajos se continuará con el estudio de otros tipos de antenas impresas que se puedan instalar en el monitor portátil de radiaciones no ionizantes.

#### **5. Referencias**

- [1] GRUPO DE RADIACIONES NO IONIZANTES (2018) Proyecto de Desarrollo Tecnológico y Social "*Diseño y construcción de un equipo electrónico portátil monitor de radiaciones no ionizantes en las bandas de frecuencias "L" y "S"*".. Secretaría General de Ciencia y Técnica. UNNE N° 17F022.
- [2] SCHLESINGER, P. L.; VALDEZ, A. D.; MIRANDA, C. A.; CHIOZZA, J. A.; MIRANDA, C. V.; (2015), "*Antena logoperiódica impresa*" XVI Reunión de Trabajo en Procesamiento de la Información y Control, Córdoba.
- [3] SCHLESINGER, P. L.; VALDEZ, A. D.; MIRANDA, C. A.; CHIOZZA, J. A.; MIRANDA, C. V.; (2017) "*Antena fractal multibanda impresa*" XVII Reunión de Trabajo en Procesamiento de la Información y Control, Mar del Plata.
- [4] CARREL R., (1960) "*Analysis and design of the logoperiodic dipole antenna*", Illinois.