

## ANTENA DE MÚLTIPLES BANDAS BASADA EN FRACTALES: PARA DISPOSITIVOS MÓVILES

Héctor Garcés Guzmán, Eliseo López Felipe  
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez  
Av. Plutarco E. Calles # 1210 FOVISSSTE Chamizal  
C.P. 32310 Ciudad Juárez, Chih.  
hgarces@uacj.mx, eliseo.lopez@outlook.com

### RESUMEN.

Las comunicaciones inalámbricas se han desarrollado rápidamente en los últimos años con la tendencia a que los dispositivos de comunicación móviles se miniaturicen. Además esta preferencia se convierte en una exigencia debido a que los dispositivos tienen que integrar múltiples servicios. Como consecuencia las antenas deben ser lo más pequeñas posibles para que los clientes puedan utilizar cómodamente la gran variedad de servicios de voz, datos y multimedia. Por otro lado en el caso de las estaciones base y dispositivos para los puntos de acceso, también se requiere de una antena o de un arreglo de antenas de tamaño pequeño que reduzca al mínimo el impacto visual ambiental de la infraestructura de la red inalámbrica. En ese sentido el diseño de antenas y arreglos basados en fractales puede ayudar a evitar dicha dificultad. Los fractales contribuyen con un amplio y variado conjunto de figuras geométricas con propiedades sorprendentes.

**Palabras Clave:** fractal, antena de múltiples bandas, comunicación inalámbrica

### ABSTRACT.

In recent years wireless communications has been developed rapidly, with the trend of miniaturization of mobile devices. Besides, this preference becomes a requirement because the devices have to integrate multiple services. As a result the antennas should be as small as possible so that user can comfortably handle the wide variety of services of voice, data and multimedia. On the other hand, in the case of base stations and access points, also they require small size antenna or array antenna to minimize the visual environmental impact of infrastructure wireless network. In that sense the design of antennas and multi antenna systems based on fractals can help avoid this difficulty. Fractals contribute with a varied set of geometric figures with amazing.

**Keywords:** fractal, multiband antenna, wireless communication

### 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente vivimos inmersos en la llamada era de la comunicación, donde los dispositivos móviles se han vuelto indispensables. Lo anterior ha traído nuevas exigencias para los fabricantes de dispositivos inalámbricos como: operación en múltiples bandas, mejor eficiencia espectral, alta tasa de transferencia de datos, mínimo costo y menor consumo de energía. Uno de los componentes que mayor espacio ocupa y disipa energía es la antena. Sin embargo la dependencia del tamaño de la antena con la longitud de onda empleada en el enlace inalámbrico es un problema en muchos sistemas. Las antenas convencionales actuales, basadas en la teoría clásica euclidiana, no pueden cumplir con los requerimientos actuales

Debido a esto el diseño tradicional de antenas no es conveniente. Para ello se ha necesitado desarrollar nuevas opciones capaces de satisfacer las exigencias de los sistemas inalámbricos, que permitan construir de manera eficiente antenas más pequeñas y de múltiples bandas. Una solución para estos requerimientos es el uso de fractales, en ese sentido el diseño de antenas fractales contribuye con un amplio y variado conjunto de figuras geométricas con propiedades sorprendentes [1 - 2].

Aunado a lo anterior hoy están disponibles las antenas *microstrip* que son: de bajo perfil, adaptables a cualquier superficie, mecánicamente robustas cuando se instalan sobre superficies rígidas, sencillas de integrar a los circuitos de altas frecuencias, simples y baratas de fabricar. Además poseen diversas ventajas respecto a las antenas convencionales, entre ellas pueden cubrir fácilmente una amplia gama de frecuencias, normalmente de 100 MHz a 100 GHz. Sin embargo tienen algunas limitaciones tales como: banda estrecha, poca ganancia, irradiación solo sobre un plano, dificultad para conseguir una buena polarización, compleja red de alimentación para arreglos de altas prestaciones y excitación de ondas superficiales. Esto ha permitido diseños de antenas compactas y con mayor rendimiento. Por lo tanto al miniaturizar el elemento radiante se facilita su integración al dispositivo móvil. Sin embargo su diseño lleva consigo diversos parámetros, en especial el patrón de radiación.

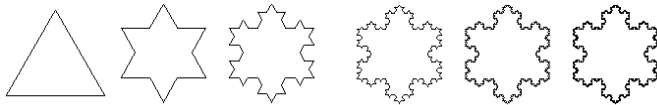
Otro punto es la evolución de los métodos numéricos junto con sistemas de cómputo más rápidos. Como resultado se ha permitido analizar el comportamiento de las antenas en distintos ambientes previo a su construcción. Por esta razón en la etapa del diseño de este proyecto fue necesario la ayuda del paquete de software CADFEKO, en su versión libre FEKO LITE. La finalidad es integrar en una sola antena todos los servicios de frecuencias que demandan los dispositivos móviles, aplicando los conceptos de geometría fractal.

En este artículo se presentan los resultados del diseño y construcción de una antena fractal de múltiples bandas, específicamente en: 824-894 MHz, 1725-1755 MHz, 2.4-2.48 GHz. Este conjunto lo forman frecuencias de operación en: telefonía celular, WiFi y Bluetooth [3].

## 2. DESARROLLO

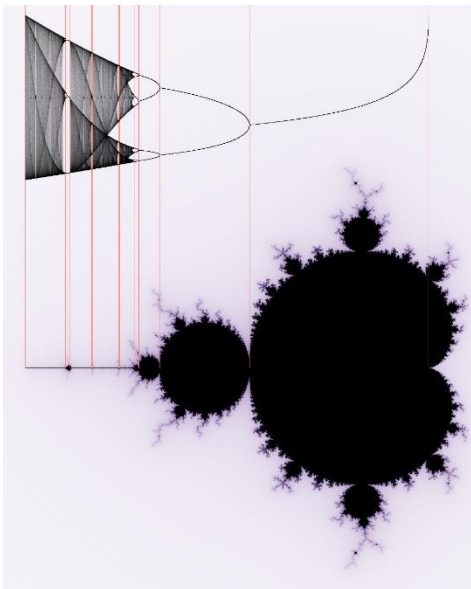
### 2.1. Fractales

Existen dos tipos bien definidos de fractales: lineales y no lineales; los cuales se pueden reconocer sin problema. Los primeros son aquellos que se construyen con un simple cambio en la variación de sus escalas. Esto implica algo muy importante, los fractales lineales son idénticos en todas sus escalas hasta el infinito tal como se puede observar en la Figura no 1. Cuanto más se sumerja dentro de esta forma geométrica siempre se encontrara exactamente la misma estructura, sin distorsiones, solo cambiará la escala. Esa característica se puede observar claramente en el copo de nieve de Koch [4].



**Figura no. 1** Estructura de un fractal lineal.

En cambio los fractales no lineales son aquellos que se generan a partir de formas complejas, basadas en expresiones puramente matemáticas. Un ejemplo de ellos es el conjunto de Mandelbrot, que está definido por una familia de polinomios cuadráticos complejos, en particular se forma por una serie de iteraciones de un polinomio de números complejos. Este fractal debe su nombre al matemático Benoît Mandelbrot, que en 1979 comenzó a estudiar un conjunto de puntos en el plano complejo  $Z$ . En la Figura no. 2 se muestra un conjunto de Mandelbrot desarrollado a partir polinomios cuadráticos del mapa caótico logístico [5 - 6].



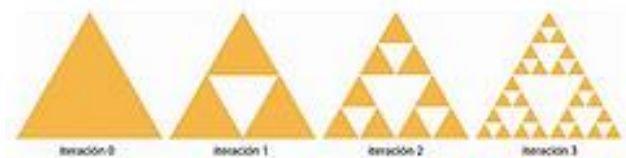
**Figura no. 2** Relación del conjunto de Mandelbort con el mapa logístico.

Existen algunas estructuras que pueden ser consideradas como las pioneras dentro de los fractales y que fueron desarrolladas

entre fines del siglo XIX y principios del XX, entre ellas se puede mencionar a: conjunto de Cantor (1883), curva de Peano (1890), curva de Hilbert (1891), isla de Von Koch (1906), triángulo de Sierpinski (1915), conjunto de Julia (1918) y el dragón de Lévy (1938).

### 2.2. Triángulo de Sierpinski

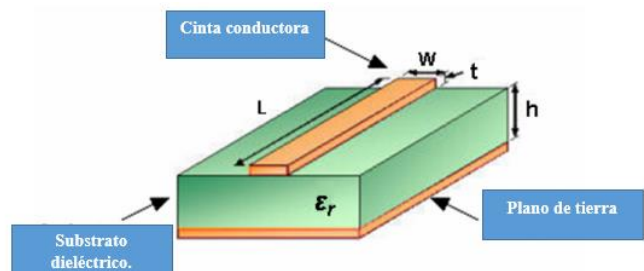
Este famoso fractal es una figura auto similar, fue introducido por el matemático polaco Waclaw Sierpinski. Se puede descomponer en tres figuras congruentes, cada una de las cuales posee un tamaño igual a la cuarta parte de la original. Se forma por medio de una serie de iteraciones. Como punto de partida o primera iteración se tiene un triángulo equilátero de lado igual a la unidad. Posteriormente en la segunda iteración se localizan los puntos medios de cada uno de los lados y se traza a través de ellos un triángulo equilátero invertido de lado igual a  $\frac{1}{2}$ , el cual no será considerado en las subsiguientes iteraciones. A continuación para las iteraciones posteriores se repite el proceso con cada uno de los diferentes triángulos que se van formando [7]. Este proceso está ilustrado en la Figura no. 3.



**Figura no. 3** Proceso de construcción del triángulo de Sierpinski.

### 2.3. Antenas de microcinta.

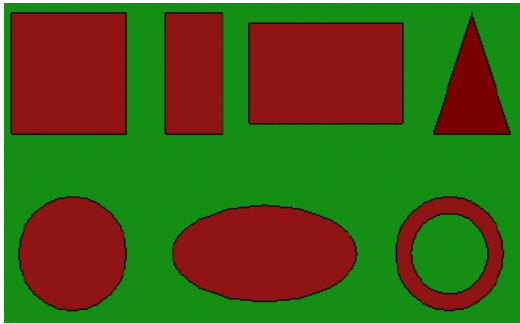
Una antena de microcinta o *microstrip* está formada por un sustrato dieléctrico, el cual está cubierto por dos placas delgadas metálicas paralelas, tal como se muestra en la Figura no. 4. Una de las láminas metálicas constituye el plano de tierra, mientras que la otra forma un parche de material conductor.



**Figura no. 4** Estructura geométrica de una antena de microcinta.

Las características de la antena están determinadas por dos factores. El primero es la forma y dimensiones del parche, mientras que el segundo es la constante dieléctrica  $\epsilon_r$  del sustrato, que normalmente tiene un valor entre  $2.2 < \epsilon_r < 12$ .

En cuanto a las estructuras geométricas típicas de los parches, éstas se ilustran en la Figura no. 5. En particular los parches rectangulares son muy utilizados, ya que el modelo matemático para esta geometría es el más simple. En este caso se simplifica su cálculo. En cambio un parche circular es el más indicado para la realización de arreglos. Además de los anteriores y según la aplicación requerida hay parches en forma de: elipse, triángulo y en anillo [8].



**Figura no. 5** Parches típicos en antenas microstrip.

Una condición necesaria para un adecuado funcionamiento de este tipo de antenas es que se cumpla la condición (1)

$$h, t \ll \lambda_0 \quad (1)$$

donde  $h$  es el espesor del sustrato,  $t$  el del parche y  $\lambda_0$  es la longitud de onda de operación de la antena en el vacío [9]. La fabricación de antenas de microcintas se realiza por medio de un proceso fotográfico, similar al que se emplean para circuitos integrados.

### 3. RESULTADOS.

El diseño de una antena basada en el triángulo de Sierpinski, prácticamente se ve definida por dos parámetros, la altura de la antena  $h$  y el ángulo de apertura  $\theta$ , siendo estas las variables con las cuales se puede interactuar al momento de establecer el diseño para una determinada aplicación. La altura  $h$  permite establecer la frecuencia de operación de la antena, considerando la relación proporcional entre las alturas de los triángulos formados por las diferentes iteraciones. La altura máxima se ve definida por la frecuencia menor de operación, de igual forma la altura menor corresponde a la frecuencia mayor de trabajo. La altura máxima de un lado del dipolo está dada por la fórmula experimental [10 - 11].

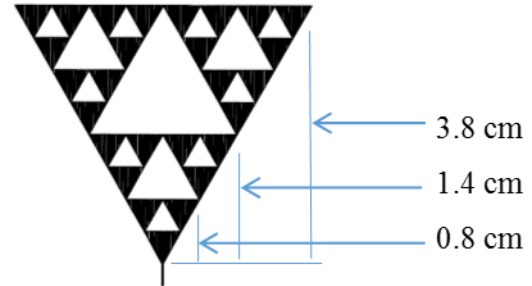
$$h_{max} = k \frac{c}{f_n} \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \delta^n \quad (2)$$

donde  $f_n$  es la frecuencia de resonancia del triángulo formado por la  $n$ -ésima iteración,  $c$  es la velocidad de la luz,  $\theta$  es el ángulo de apertura,  $n$  número de iteración,  $k$  es constante igual a 0.152 y  $\delta$  el periodo de operación. El periodo de operación  $\delta$  para un dipolo de Sierpinski está definido por la relación

entre las diferentes frecuencias de operación, lo que se expresa como

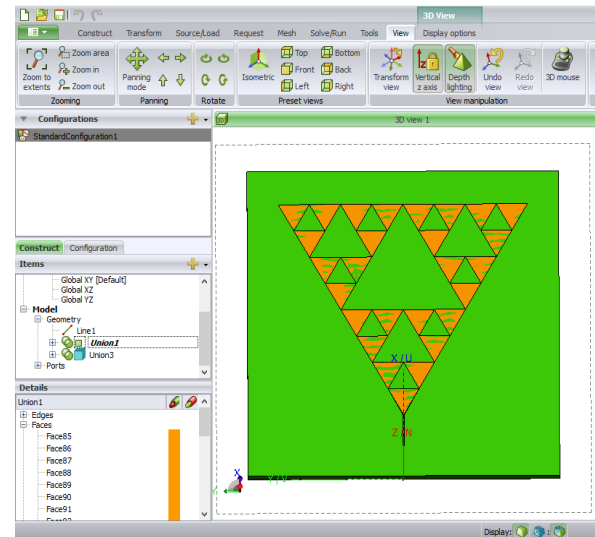
$$\delta = (f_n + 1)/f_n \approx 2. \quad (3)$$

donde  $f_n$  es la frecuencia de resonancia del triángulo formado por la  $n$ -ésima iteración. Para un cuarto de longitud de onda y una operación multi banda con frecuencias de operación de: 0.829, 1.74 y 2.44 GHz, los resultados de usar (2) y (3) para tres iteraciones se muestran en la Figura no 6.



**Figura no. 6** Resultado para los requerimientos del proyecto.

Una vez realizados los cálculos se procedió a simular su funcionamiento utilizando el software gratuito FEKO LITE que es un paquete de diseño y simulación electromagnética de la empresa EM Software & Systems. Debido a esto la simulación fue limitada. En la Figura no 7 se puede observar la página principal con el análisis de la antena triángulo de Sierpinski.



**Figura no. 7** Simulación del funcionamiento de la antena.

Una vez que se verificó el diseño de la antena triángulo de Sierpinski por simulación, se procedió a su fabricación. El material empleado fue: sustrato dieléctrico FR4, cobre como material conductor y conectores SMA. En particular en la Figura no. 8 se ilustra el proceso de impresión de la mascarilla.



**Figura no. 8** Proceso de fabricación de la antena.

Después de construir el elemento radiador, a continuación se procedió a verificar su funcionamiento. Con el propósito de obtener lecturas con una menor influencia del ruido, las mediciones desarrolladas se realizaron en la cámara anecoica de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. La cual se ilustra en la Figura 9.



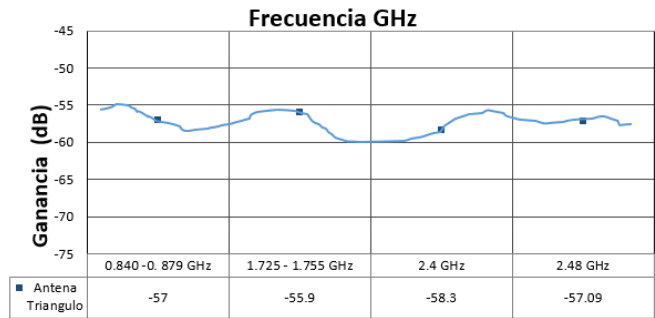
**Figura no. 9** Cámara anecoica.

El equipo de medición empleado consiste de un analizador de redes Hewlett Packard 8753E y un analizador de señales Agilent N9010A. Se aplicó la siguiente configuración; el analizador de redes como transmisor, mientras que el analizador de señales como receptor. Bajo estas circunstancias en la Figura no. 10 se muestra una medición en la banda de 2.4 GHz.



**Figura no. 10** Resultados obtenidos en la banda de 2.4 GHz.

A continuación se guardaron en un archivo Excel los resultados observados en las bandas: 824 - 894 MHz, 1725 - 1755 MHz, 2.4 - 2.48 GHz. Esta información representa la respuesta a frecuencia de la antena triángulo de Sierpinski. Se despliega en forma resumida en la Figura no. 11. En particular para las frecuencias de diseño se obtuvo la siguiente ganancia: -57, -55.9 y -58.3 dBm. Adicionalmente en la banda 2.4 - 2.48 GHz se realizó otra evaluación dando como resultado una ganancia de -57.09 dBm.



**Figura no. 11** Ganancia de la antena triángulo de Sierpinski.

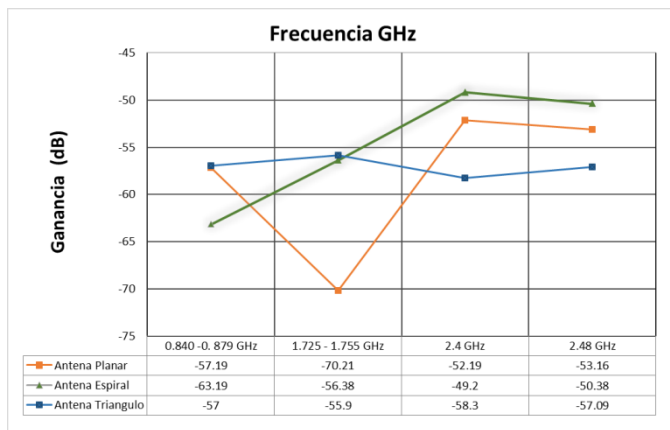
Además se experimentó con otras dos antenas elaboradas con la técnica *microstrip*, pero no con una estructura fractal. Estas se identifican con los nombre plana y espiral. Para su fabricación se empleó el procedimiento descrito líneas arriba. Específicamente en la Figura no. 12 se pueden observar las tres antenas.



**Figura no. 12** Tres antenas microstrip construidas en este proyecto.



Acto seguido se procedió a una evaluación del desempeño de los dispositivos radiadores plano y espiral. Se usó la metodología adoptada en la evaluación de la antena triángulo de Sierpinski. Con el propósito de comparar el rendimiento de las tres antenas se realizó la gráfica expuesta en la Figura no 13. Las antenas plana y espiral presentaron un comportamiento variable en las tres bandas. En particular la antena plana presentó una pobre ganancia en la banda de 1725 - 1755 MHz. De forma similar la antena espiral tiene una ganancia limitada en la banda de 824 - 894 MHz. Por lo contrario como se observa en la Figura no. 13 la ganancia de la antena triángulo de Sierpinski es constante para las especificaciones de diseño. Manteniendo una ganancia entre los -60 y -55 dBm.



**Figura no. 13** Comparación de la ganancia de las tres antenas.

#### 4. CONCLUSIONES

En este proyecto se construyó una antena fractal basada en la tecnología *microstrip*; con la finalidad de encontrar nuevos diseños para este tipo de antenas. Con este propósito se realizó una investigación detallada para entender la tecnología de micro cinta; así como el procedimiento de construcción para lograr un resultado satisfactorio. Además se buscó un software que ayude al diseño de las antenas fractales. Por esta razón se pudo medir el desempeño de los prototipos mediante computadora antes de proceder a su fabricación. Las principales características requeridas fueron: un alto rendimiento, múltiples bandas, tamaño pequeño y costo reducido. Como resultado estos diseños podrán ser usados en dispositivos móviles.

Se puede concluir de acuerdo a los resultados obtenidos en este proyecto que las antenas fractales son una buena opción para las comunicaciones móviles. Además se comprobó que la geometría fractal es un área de investigación que se está desarrollando debido al explosivo desarrollo de las telecomunicaciones inalámbricas.

El principal obstáculo encontrado fue el proceso de fabricación en este caso el método de ataque químico que limita la precisión.

#### 5. REFERENCIAS

- [1] Puente Baliarda, Carles. *Fractal Antennas*. Barcelona: Universitat Politècnica De Catalunya, 1998.
- [2] Garcia Domínguez, Armando. *Cálculo de antenas: antenas de última generación para tecnología digital y métodos de medición*. Barcelona [etc.]: Marcombo, 2010
- [3] Portal COFETEL. Last modified June 25, 2014. [http://www.cft.gob.mx/es\\_mx/Cofetel\\_2008/Cofe\\_regulacion\\_tecnica](http://www.cft.gob.mx/es_mx/Cofetel_2008/Cofe_regulacion_tecnica).
- [4] Falconer, K. J. *The Geometry of Fractal Sets*. Cambridge [Cambridgeshire: Cambridge University Press, 1985.
- [5] Garcés Guzmán, Héctor. *Wideband Chaotic Signal Analysis and Processing*. El Paso, Texas: DigitalCommons@UTEP, 2007.
- [6] Mandelbrot, Benoit B. *The Fractal Geometry of Nature*. San Francisco: W.H. Freeman, 1982.
- [7] Romero, N., & Sánchez, F. *Introducción al estudio de los fractales*. Maracaibo Venezuela, 2004
- [8] Gupta, Kuldip C. *Microstrip Lines and Slotlines* / K.C. Gupta... [Et Al.]. Norwood, EUA: Artech House, 1996.
- [9] Pozar, David M., and D. Schaubert. *Microstrip Antennas The Analysis and Design of Microstrip Antennas and Arrays*. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1995.
- [10] Puente Baliarda, Carles, Jordi Romeu, Rafael Pous, Xavier Garcia, and F. Benitez. "Fractal Multiband Antenna Based on the Sierpinski Gasket." *Electron. Lett. Electronics Letters*, 1996.
- [11] Falconer, Kenneth. *Fractal Geometry: Mathematical Foundations and Applications*. Repr. ed. Chichester: Wiley, 1995.
- [12] Balanis, Constantine A., and Panayiotis I. Ioannides. *Introduction to Smart Antennas*. San Rafael, Calif.: Morgan & Claypool Publishers, 2007.