ANTENAS FRACTALES: UN PASO EN LA EVOLUVIÓN DE LAS TELECOMUNICACIONES

Adrián Montoya Lince (eadml282@udea.edu.co)
Ingeniero Electrónico - Universidad de Antioquia, Medellín-Colombia.

Resumen- **El auge y crecimiento de las telecomunicaciones abren cada vez más las puertas de la exploración de nuevas alternativas en diseño que cubran las exigencias en ancho de banda, eficiencia, rapidez, economía, del nuevo milenio. En la última década, una nueva y revolucionaria teoría: los fractales, se ha abierto paso, proponiendo modelos para el diseño de antenas permitiendo la implementación de nuevos y mejores servicios en los sistemas móviles, circuitos RFID, dispositivos de micro onda y otros.**

keywords: fractales, antenas, acople, VSWR, coeficiente de reflexión, ancho de banda.

1. INTRODUCCIÓN

La geometría tradicional, Euclidiana, es la rama de la matemática que se encarga de las propiedades y de las mediciones de elementos tales como puntos, líneas, planos y volúmenes. Sin embargo, las formas encontradas en la naturaleza, como montañas, franjas costeras, sistemas hidrográficos, nubes, hojas, árboles, vegetales, copos de nieve, y un sinnúmero de otros objetos no son fácilmente descritos por la geometría tradicional.

La geometría fractal provee una representación y un modelo matemático para las aparentemente complicadas formas de la naturaleza. Esta geometría esta revolucionando diferentes áreas de la ciencia, desde la física, medicina, el procesamiento digital de señales hasta el diseño de antenas para las telecomunicaciones, tema de interés en este articulo.

Es así como durante la última década, investigadores han empezado a aplicar Fractales para diseños de antenas. Estas podrían parecer simples juegos geométricos, pero la teoría detrás de ellas, basadas en las ecuaciones de Maxwell del electromagnetismo y la geometría fractal, es compleja y se encuentra aún en desarrollo.

En este articulo se exploran algunos puntos básicos de la teoría fractal, sus propiedades, algunos conjuntos , enfocados para su uso en el diseño de antenas fractales.

2. LOS FRACTALES Y SUS PROPIEDADES

La geometría fractal ha tenido un rápido crecimiento, tocando áreas insospechadas, desde que Benoit Mandelbrot , creador del término fractal y padre de dicha geometría empezó a aglutinar los trabajos aislados de grandes matemáticos, convencido de su utilidad. Según Mandelbrot un fractal se puede definir como:

"*Que tiene una forma, bien sea sumamente irregular, sumamente interrumpida o fragmentada y sigue siendo así a cualquier escala que se produzca el examen*". [1]

El término fractal, se refiere a una categoría. Es un adjetivo que implica la evidencia de ciertas propiedades que posee el objeto categorizado. Sin embargo, es usada frecuentemente para designar al objeto en cuestión. Alguna de éstas propiedades son: autosimilidad, dimensión fraccionaria y no derivabilidad.

La autosimilaridad, nos dice que el objeto estudiado tiene copias reducidas de sí mismo a diferentes escalas, por lo tanto, cada parte del conjunto u objeto contiene la misma información que todo el conjunto.

La dimensión fraccionaria, propiedad importante y de la que se desprenden las demás, nos adentra en terrenos matemáticos más abstractos: la topología, que se apartan de los alcances de este articulo . Sin embargo podemos decir que las figuras, curvas y conjuntos fractales desafían la geometría Euclidea, ya que se sumergen en espacios de dimensiones que pueden ser fraccionarios. Una fórmula que ilustra esto, proveniente del concepto de dimensión de Hausdorff-Besicovitch es:

$$D = \frac{Log(N)}{Log(1/\delta)} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde N es el número de particiones o segmentos del objeto y δ es el tamaño de dichos segmentos.
La rugosidad del fractal tiene una relación directa con su dimensión: mientras más rugoso es el fractal más próxima está su dimensión fraccionaria a la dimensión entera inmediatamente superior.

Debido a su naturaleza fraccionada y discontinua, las figuras u objetos fractales, no poseen derivada en ningún punto contrastando con la naturaleza suave y continua de las funciones del cálculo.

Existen numerosos y muy variados conjuntos fractales documentados hasta ahora y muchas formas de clasificarlos, por ejemplo: los polvos de Cantor, curvas de Kock, Peano, Hilbert, triángulos y alfombras de Sierpinski, fractales de Newton y Mandelbrot entre otros. Podemos hacer una clasificación de ellos en dos grandes grupos: *determinísticos* y *no determinísticos o estadísticos.* También podemos clasificarlos como *fractales matemáticos* (por iteración de números complejos y otras operaciones) y *geométricos,* aunque todos tengan inevitablemente su representación gráfica. Esta clasificación se refiere al origen del algoritmo de recurrencia.

3. ANTENAS FRACTALES

Las propiedades de los fractales, antes expuestas, se aprovechan en la construcción de antenas que pueden obtener anchos de banda de 10 a 40% de la frecuencia central superiores a las antenas clásicas (de 10% a 20% de fc,), patrones de radiación estables y gran número de bandas determinado por el número de iteraciones del fractal. [2]

Las primeras antenas diseñadas, fueron arreglos planos y lineales tipo fractales delgados, organizando los elementos en un patrón Fractal para reducir el número de elementos en el arreglo y obtener antenas de banda ancha o desempeño en múltiples bandas. Por ejemplo las antenas Log-periódica y Espiral. Actualmente se está trabajando con curvas y objetos fractales como los triángulos de Sierpinski, árboles fractales, curvas e islas de Kock, entre otras (Ver Fig. 1, 2 y 3) que minimicen el área de la antena, aprovechando su capacidad natural multibanda.

Podemos decir que una antena fractal posee estas 3 principales características especiales:

- Un gran ancho de banda y comportamiento multibanda. El rango de frecuencia es especificada por el tamaño más pequeño y más grande presente en la antena.
- En la mayoría de los casos tienen una ganancia considerable, por encima de un antena dipolo normal, y esta ganancia depende muy poco de la frecuencia en un rango de frecuencias grande.
- Poseen un patrón de radiación estable para un rango amplio de frecuencias.

Los típicos inconvenientes de baja resistencia de radiación en el diseño de antenas cortas (*small antennas*) que operan a una longitud de onda mayor que su tamaño, pueden ser resueltos con curvas fractales que aumentan el perímetro de la antena conservando o minimizando su área.

Sin embargo, esta nueva concepción en el diseño de antenas, nos enfrenta ante problemas teóricos difíciles de resolver, ya que no podríamos tomar las expresiones de la teoría electromagnética en este tipo de curvas que desafían el cálculo. Por ejemplo, la expresión del potencial vectorial magnético del cual se parte para encontrar la expresión de la distribución de corriente y del campo radiado es:

$$\vec{A}(\vec{r},\vec{k}) = \frac{\mu}{4\pi}\int_C \vec{I}(l)\frac{e^{-jkR}}{R}\,dl \quad \text{Ec.2}$$

Obsérvese que la trayectoria de la curva de integración C en la Ec.2 cambia siempre de dirección y no tiene pendiente en ningún punto, ya que es fractal.

Estos y otros inconvenientes, hacen indispensable utilizar complejos métodos numéricos para encontrar los campos, como por ejemplo el método de los momentos (MoM), diferencias finitas (FDTD), DOTIG4[1], etc. Pero por otro lado, estos métodos iterativos simplifican el cálculo de los campos de radiación de dichas antenas.

[1] El programa DOTIG4, del Dr. Alfonso Salinas Extremera, estudia en el dominio del tiempo la interacción de pulsos electromagnéticos transitorios con estructuras conductoras perfectas (abiertas o cerradas). Este programa está basado en la resolución de la ecuación EFIE en el dominio del tiempo para superficies mediante el método de los momentos. Se utiliza un modelado de la estructura mediante parches triangulares y funciones base de Glisson-Rao. Este programa a sido utilizado con éxito para analizar antenas de banda ancha como la V-cónica y antenas fractales.

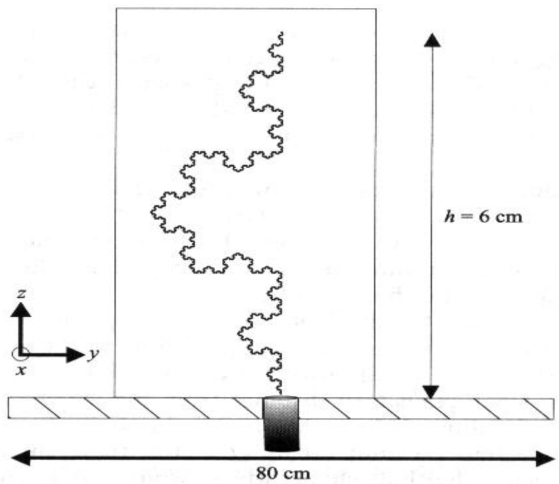

Fig. 1. Configuración Monopolo de Kock de 5 iteraciones

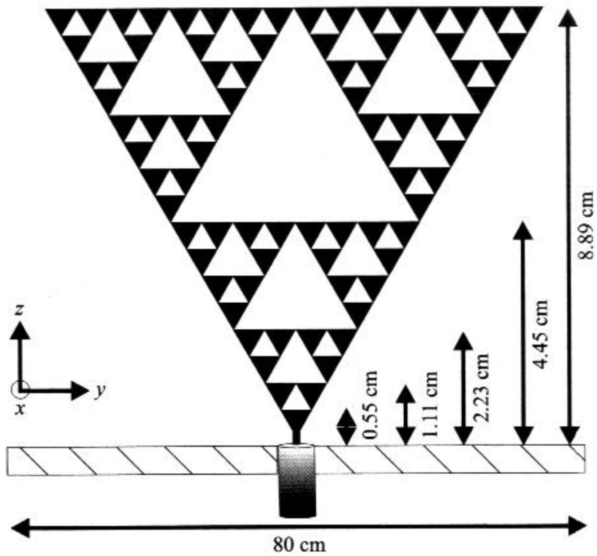

Fig. 2. Antena triángulo de Sierpinski con n=5 iteraciones

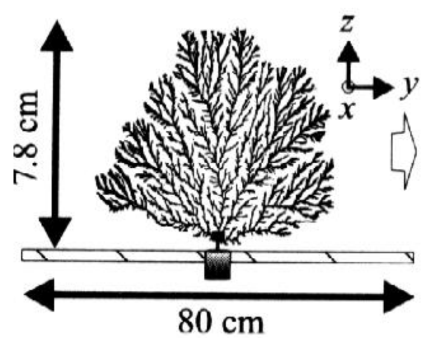

Fig. 3. Antena Árbol

Con la mayoria de las antenas fractales se obtienen VSWR de 2:1, excelentes acoples de impedancia y operación en varias bandas. La Fig. 4 nos muestra la resistencia, reactancia y coeficiente de reflexión de una antena Monopolo de Sierpinski de 5 iteración (como en la Fig. 2).

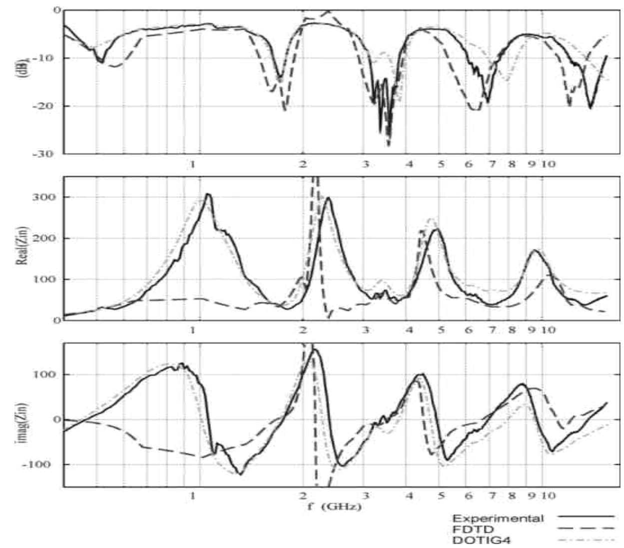

Fig. 4. Pérdidas de retorno, resistencia y reactancia de entrada para Sierpinski de n=5 y h=8.89cm. Tomada de http://www-tsc.upc.es/eef/research_lines/antennas/fractals/

Aquí se muestra la operación de la antena en 5 bandas. El comportamiento se resume en la Tabla 1:

n (band *n*°)	f_n (GHz)	*BW* (%)	L_r (dB)	f_{n+1}/f_n	h_n/λ_n
1	0.52	7.15	10	3.50	0.153
2	1.74	9.04	14	2.02	0.258
3	3.51	20.5	24	1.98	0.261
4	6.95	22	19	2.00	0.257
5	13.89	25	20	–	0.255

Tabla 1. Parámetros principales medidos en la antena monopolo de Sierpinski

El patrón de radiación experimental se muestra la Fig.5.

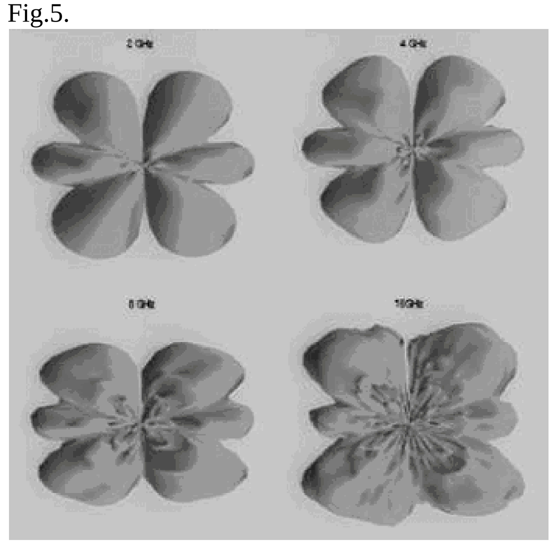

Fig 5. Patrones de radiación del monopolo de Sierpinski para f=2, 4, 8, 16 GHz.
Tomada de http://www-tsc.upc.es/eef/research_lines/antennas/fractals/

4. TECNOLOGÍA Y APLICACIONES

Los diseños y aplicaciones de las antena fractales son muchos, dado que el avance de los sistemas de comunicaciones y el importante incremento de otras aplicaciones de los sistemas inalámbricos, las antenas de banda ancha y de bajo contorno, tienen gran demanda tanto para aplicaciones comerciales como militares. Estas aplicaciones pueden ser: Celulares, trunking, beepers, pequeñas terminales satelitales, vehículos aéreos tipo UAV, encubridores, radares de apertura sintética, indicadores de blancos en movimiento, algunas aplicaciones también requieren antenas embebidas en la estructura exterior de vehículos.

Se pueden resumir las aplicaciones actuales así:

- **Sistemas Móviles Celulares**:
  Antenas en estaciones base y antenas en teléfonos receptores
- **Dispositivos de Micro ondas**:
  Circuitos microcinta detectores de radio frecuencia (RFID), antenas micro cinta
- **Otras**:
  Aeronáutica, sector automotor, comunicaciones marítimas y aplicaciones militares

Actualmente existen empresas como *Fractal Antenna System Inc*[2]. *o FRACTUS S.A*[3] que desarrollan antenas de estación base y de microteléfonos para sistemas móviles 2G y 3G, redes LAN, Bluetooth, dispositivos miniatura microonda, productos de identificación de radio-frecuencia (RFID), la industria del semiconductor y el mercado automotor.

Se están obteniendo buenos resultados con las antenas para las bandas GSM (900 MHz) y DCS (1.800 MHz) que permiten cubrir ambas bandas y esto evita la necesidad de duplicar, en cada celda o territorio, la red de antenas móviles urbanas reduciendo el gasto y el impacto visual de las estaciones.

5. CONCLUSIONES

La teoría de los fractales esta abriendo un universo de posibilidades en la exploración de nuevas alternativas científicas para resolver y optimizar sistemas. Se están expandiendo rápidamente sus aplicaciones a campos insospechados: telecomunicaciones, medicina, electrónica, estadística, música, etc.

Sus propiedades especiales como la autosimiliridad, rugosidad, dimensión fraccionaria, etc., se están empleando en el diseño de nuevas y mejores antenas que abrirán las posibilidades de las nuevas generaciones de sistemas de comunicaciones 3G y 4G, permitiendo una integración eficiente de los nuevos servicios.

Actualmente los esfuerzos se centran principalmente en el diseño de antenas para los sistemas móviles, dando una solución barata, fácil y rápida.

Sin duda, estos nuevos diseños se constituirán en una pieza clave en el avance de los sistemas de telecomunicaciones del futuro.

6. BIBLIOGRAFÍA

[1] MANDELBROT, Benoit. Los objetos Fractales en la naturaleza

[2] WERNER, Douglas H y MITRA, Raj. Frontiers in Electromagnetics. IEEE Antenas & Propagation Society. New York 2000.

---

[2] http://www.fractenna.com
[3] http://www.fractus.com