

XXVI CONVOCATORIA DE PREMIOS "Ingenieros de telecomunicación"
Colegio Oficial y Asociación Española de Ingenieros de Telecomunicación

RESUMEN TESIS DOCTORAL

**NOVEL MULTIFREQUENCY AND SMALL MONOPOLE ANTENNA
TECHNIQUES FOR WIRELESS AND MOBILE APPLICATIONS**

Autor: Jordi Soler Castany
Director: Carles Puente Baliarda
Tutor: Jordi Romeu Robert

Departamento de Teoría del Señal y Comunicaciones
Grupo de Ingeniería Electromagnética y Fotónica
UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CATALUÑA (UPC)

Departamento de Tecnología
FRACTUS, S.A.

2005

Índice

1 Resumen de la tesis

1.1 Origen, objetivos, desarrollo y conclusiones	2
1.2 Originalidad del trabajo	8
1.3 Resultados obtenidos	8
1.4 Aplicabilidad práctica	9

2 Anexo

2.1 Publicaciones internacionales y nacionales	10
2.2 Patentes generadas	12
2.3 Otros méritos	12

1. Resumen de la tesis

1.1 Origen, objetivos, desarrollo y conclusiones

Origen y objetivos

Las tecnologías inalámbricas están revolucionando el mundo de los servicios y redes de telecomunicación. Los sistemas de telefonía móvil de segunda generación como GSM han sido y están siendo implantados y explotados alrededor del mundo con un gran nivel de penetración. El éxito de estos sistemas ha traído los sistemas de tercera generación, como UMTS, potenciando las aplicaciones de datos con mayores velocidades de transmisión y nuevas y avanzadas aplicaciones. Más recientemente, han aparecido toda una serie de estándares y tecnologías inalámbricas con múltiples aplicaciones. Bluetooth y UWB son tecnologías con características y velocidades distintas pero ambas usadas para interconectar dispositivos próximos. ZigBee está concebido como una tecnología de bajos consumo, velocidad y coste para aplicaciones industriales y domóticas. WiFi es el conjunto de estándares IEEE 802.11 para redes LAN inalámbricas (WLAN). Se están desarrollando también teléfonos móviles WiFi basados en VoIP, además de otros estándares como DVB-H para las aplicaciones de recepción de televisión digital en dispositivos portables.

El desarrollo y coexistencia de todos estos sistemas supone una revolución y la entrada en la era de las comunicaciones sin hilos. En esta nueva era inalámbrica hay un elemento que es común e indispensable en todo dispositivo: la antena.

Los dispositivos deben poder trabajar de forma simultánea y transparente con diferentes servicios y estándares que normalmente funcionan en bandas de frecuencias distintas. Además, los dispositivos deben ser suficientemente pequeños para ser portables. Estos requerimientos hacen que la antena deba ser multifrecuencia y de reducido tamaño. Además, hay que tener en cuenta que las propiedades de la antena repercuten directamente en parámetros del sistema de comunicación como la velocidad máxima de transmisión, el tipo de cobertura y la duración de la batería del dispositivo.

Teniendo en cuenta las necesidades arriba mencionadas, esta tesis está enfocada al estudio de un conjunto de técnicas que permiten diseñar antenas multifrecuencia y pequeñas. La investigación de antenas multifrecuencia se ha dividido en soluciones multibanda y de banda ancha. Por un lado, las soluciones multibanda presentan un comportamiento radioeléctrico similar en un conjunto discreto de bandas frecuenciales. Por otro lado, las antenas de banda ancha poseen un comportamiento similar pero en un único y más ancho margen frecuencial ($B > 30\%$, siendo B el ancho de banda relativo). Una antena para DVB-H debe cubrir una banda de 470 MHz a 862 MHz ($B=59\%$).

El diseño de las antenas multibanda se basa en estructuras tanto cargadas como inspiradas en geometrías fractales, mientras que para las antenas de banda ancha y de reducido tamaño se investigan modificaciones de geometrías euclideas. Como herramienta adicional para el diseño y ajuste de las distintas técnicas investigadas se ha desarrollado un programa de optimización automático.

Se ha seleccionado la topología de antena monopolo, Fig.1, dado sus potenciales e interesantes propiedades: diagramas con cobertura omnidireccional, potenciales grandes anchos de banda, operación multibanda y reducido tamaño. Todas estas características hacen este tipo de antena especialmente interesante para una gran variedad de aplicaciones inalámbricas.

Antenna architecture

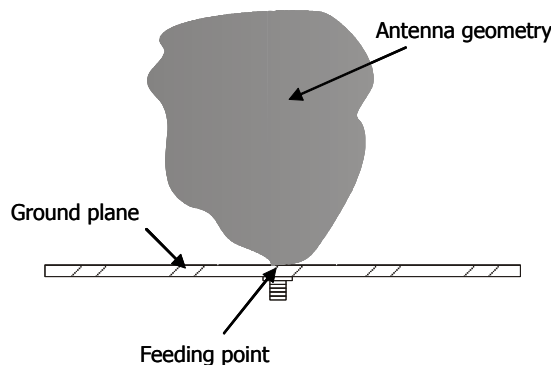


Figura 1 Estructura típica de una antena en configuración de monopolo

La tesis está dividida en seis capítulos, cada uno enfocado de la siguiente forma:

- En el capítulo 1 se explica el interés, motivación y objetivos de la tesis. Se explica la metodología seguida para realizar el trabajo. Finalmente, se cita el conjunto de artículos, patentes y otros méritos derivados de la tesis.
- El capítulo 2 analiza las limitaciones de las soluciones clásicas para diseñar antenas multifrecuencia y pequeñas. Se incluye un resumen del estado del arte en cuanto a antenas basadas en geometrías fractales, además de una introducción a los métodos numéricos utilizados en este trabajo. Toda esta información permite ver posteriormente la aportación de nuevos conceptos y herramientas de esta tesis.
- La primera parte del capítulo 3 está centrada a la investigación de un nuevo método para conseguir reducir el tamaño de las antenas. Posteriormente en el mismo capítulo se investigan y proponen distintas topologías de monopolos de banda ancha. Estos monopolos son muy adecuados y con un claro interés comercial como elementos radiantes para aplicaciones como UWB (3.1-10.6 GHz).
- El capítulo 4 presenta y estudia en detalle un nuevo conjunto de soluciones y técnicas para conseguir antenas multibanda basándose en geometrías fractales. Se presenta un nuevo conjunto de antenas llamadas de módulo-p. Además, se ha investigado una técnica para conformar el haz de una antena multibanda. Esto se aplica para el diseño de antenas para dar cobertura a calles o vías de tren en entorno celulares. Para aumentar el parecido entre diagramas de radiación se investiga una estructura 3D. Se propone por primera vez dar a los planos de masa de cierta inteligencia usando para ellos geometrías derivadas de estructuras fractales. Esta técnica, junto con otras, ha sido patentada y se está usando actualmente en dispositivos móviles. Finalmente, dada la complejidad del análisis numérico de ciertas antenas complejas, se presenta una formulación analítica que permite calcular y analizar de forma paramétrica los diagramas de radiación de las antenas triangulares y de módulo-p.
- La investigación de monopolos multibanda con carga superior se concentra en el capítulo 5. Por un lado, este tipo de antenas representa una alternativa a las antenas basadas en geometrías fractales. Por otro lado, su topología permite combinarse también con estructuras derivadas de los fractales aprovechando así las ventajas de ambas técnicas. A modo de ejemplo se incluyen diseños como el de una antena GSM 900 - GSM 1800 - UMTS para dar cobertura a pico o micro celdas, o bien el de una antena que proporciona diagramas omnidireccionales para la recepción terrena junto con diagramas hemisféricos para aplicaciones de navegación vía satélite como GPS o Galileo.

Durante los últimos años los programas de simulación de antenas han ido evolucionando de forma espectacular hasta incluir funcionalidades como la de optimización. Dado parte de las técnicas propuestas en esta tesis trabaja con geometrías complejas pero que se pueden describir bien de forma paramétrica, se ha desarrollado un programa automático de optimización basado en algoritmos genéticos que permite optimizar las geometrías de las antenas. Este desarrollo junto con un ejemplo de optimización se explica también en el capítulo 5.

- Finalmente, el capítulo 6 presenta un balance de las distintas técnicas propuestas y de los resultados más relevantes obtenidos dentro de la tesis.

Desarrollo y conclusiones

Para el desarrollo de la tesis se ha seguido una metodología que consiste en utilizar: análisis numérico, trabajo experimental, desarrollos analíticos y circuitos eléctricos equivalentes.

Una vez definidas las técnicas y geometrías a analizar, primero se han usado dos programas de análisis numérico (FIESTA y FEKO) ambos basados en el Método de los Momentos (MoM) para obtener los parámetros de entrada y radiación de las antenas. El uso de los programas de simulación permite obtener resultados preliminares sin tener que fabricar prototipos. Esto es muy conveniente en la parte conceptual de los diseños y técnicas para evaluar su potencial interés. Posteriormente, los diseños más interesantes han sido construidos y medidos en una cámara anecoica.

Los desarrollos analíticos permiten entender mejor el comportamiento físico de las antenas, especialmente cuando éstas tienen formas complejas que requieren de altos tiempos de cálculo. En esta tesis se ha desarrollado una completa formulación para analizar varias de las antenas. Además de los modelos analíticos, se presentan circuitos eléctricos equivalentes donde cada parte del circuito está relacionada con una variable geométrica de la estructura que forma la antena. Analizando el circuito se obtienen tendencias de comportamiento de la antena.

Técnicas para antenas monopolo pequeñas y de banda ancha

El interés en desarrollar nuevas técnicas para alimentar antenas monopolo ha crecido en los últimos años. Los monopolos pequeños tienen típicamente una baja resistencia de radiación y una reactancia de entrada muy capacitiva. La solución clásica consiste en añadir una red de adaptación para compensar esta parte capacitiva. Como solución alternativa al uso de una red de adaptación, es interesante tratar de compensar la parte imaginaria de la impedancia de entrada modificando la geometría de la propia antena. Usando esta estrategia se propone una técnica que se ha llamado notched-fed. La técnica describe precisamente como modificar la geometría de un monopolo para conseguir esta compensación, la cual permite obtener un menor tamaño eléctrico de la antena. Un modelo circuital muy intuitivo permite entender el funcionamiento de la técnica. Se compara y ven las ventajas de una antena notched-fed frente otras técnicas. La técnica notched-fed se analiza también para configuraciones de plano de masa vertical, Fig.2, dado esta configuración se usa en una gran variedad de dispositivos inalámbricos.

Los monopolos de banda ancha son interesantes debido a su inherente operación multifrecuencia. Se distingue entre antenas de banda ancha ($B > 30\%$) y antenas de banda muy ancha o UWB ($B > 100\%$). Se han investigado dos topologías de antena monopolo: la antena trapezoidal y el monopolo elíptico multihole.

Para el monopolo trapezoidal se analiza en detalle como afecta cada variable de su geometría en su comportamiento radioeléctrico, para posteriormente desarrollar unas reglas de diseño. El disponer de reglas de diseño es especialmente útil para reducir tanto los tiempos de desarrollo como el tiempo necesario para lanzar un producto al mercado.

Muchas empresas están apostando por la tecnología UWB dadas sus interesantes aplicaciones. Esta tecnología utiliza un gran ancho de banda (3.1 a 10.6 GHz, B=110%) para poder transmitir gran cantidad de datos, como por ejemplo video en tiempo real. Las antenas para UWB no solo tienen que mantener sus parámetros de radiación constantes en este margen frecuencial, sino que también deber distorsionar lo mínimo posible los pulsos de corta duración que usa UWB. En la tesis se propone un monopolo para UWB basado en una estructura elíptica a la cual se le extrae parte de su superficie de radiación, Fig.2. Esta técnica, objeto de una patente, permite ajustar de forma muy conveniente las prestaciones de la antena. Las prestaciones de esta técnica se analizan tanto des del punto de vista frecuencial como temporal, comparándose además con una antena de banda estrecha como es el monopolo cilíndrico, Fig.2. En la comparativa se observa como la antena que proporciona una mínima distorsión al pulso es el monopolo UWB propuesto.

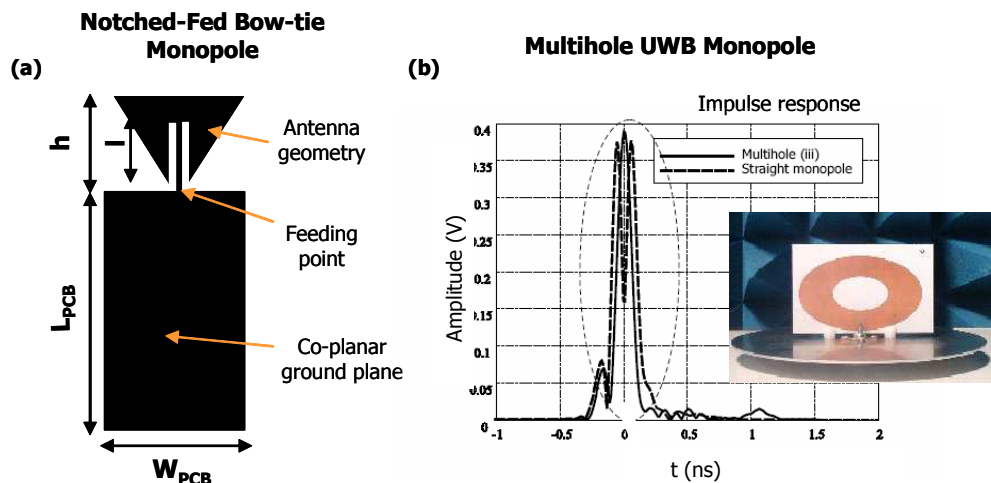


Figura 2 Monopolo triangular con notched-fed en plano de masa coplanar (a), Monopolo multihole de banda muy ancha para UWB y respuesta temporal de la antena multihole comparada con un monopolo cilíndrico (b).

Nuevas antenas monopolo y planos de masa basados en geometrías fractales

La creciente integración de servicios en dispositivos móviles requiere de antenas multibanda, cada vez con más bandas de frecuencia. Un ejemplo es un dispositivo móvil celular que incluya GSM 850, GSM 900, GSM 1800, PCS 1900 y Bluetooth a 2.4 GHz. A medida que crece el número de bandas se incrementa la complejidad de la antena apareciendo la necesidad de buscar tecnologías nuevas.

Se propone y investiga un nuevo conjunto de monopolos multibanda llamados de módulo-p, Fig.3. Estas antenas proporcionan unas determinadas prestaciones eléctricas que se repiten en las distintas bandas de frecuencia. El triángulo de Sierpinski resulta ser solo un caso particular de este conjunto de geometrías inspiradas en estructuras fractales. El factor p está relacionado con el factor de escala entre iteraciones dentro de la geometría de la antena.

Las antenas de módulo-p permiten:

- Definir el espaciado entre bandas frecuenciales ajustando el factor p. Se también consiguen distintos espaciados frecuenciales combinando varias estructuras de módulo p dentro de la misma geometría.
- Ajustar el número de bandas frecuenciales variando tanto el número de iteraciones fractales dentro de la misma geometría como el valor del factor p.

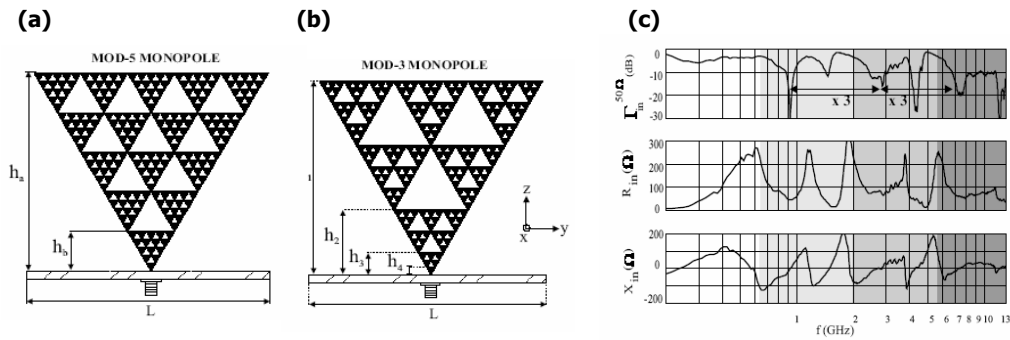


Figura 3 Monopolo multibanda de módulo-5 (a), y monopolo de módulo-3 (b) junto con medidas de su coeficiente de reflexión y impedancia de entrada (c).

Distintas aplicaciones pueden requerir de distintos diagramas de cobertura. Se investigan dos estrategias para conformar el diagrama de radiación de las antenas de módulo-p. Una solución consiste en variar el ángulo del triángulo en el vértice de alimentación de las antenas de módulo p. Esta técnica, junto con otras, se comenta más tarde en el apartado de aplicabilidad práctica. La otra solución propuesta consiste en utilizar una estructura de monopolo multibanda 3D para conseguir aumentar el nivel de parecido entre los diagramas de radiación de la antena, Fig.4.

En función de cómo se alimenta la antena el plano de masa puede contribuir de forma significativa al proceso de radiación. Dado el uso de antenas inspiradas en formas fractales es especialmente útil para diseñar antenas multibanda, se propone utilizar estas geometrías para el plano de masa, Fig.4. Se han estudiado las ventajas de usar un plano de masa basado en geometrías fractales usando un monopolo tanto multibanda como monobanda. El plano de masa permite introducir nuevas resonancias, además de incrementar el ancho de banda de resonancias ya existentes en la solución con el plano de masa sólido.

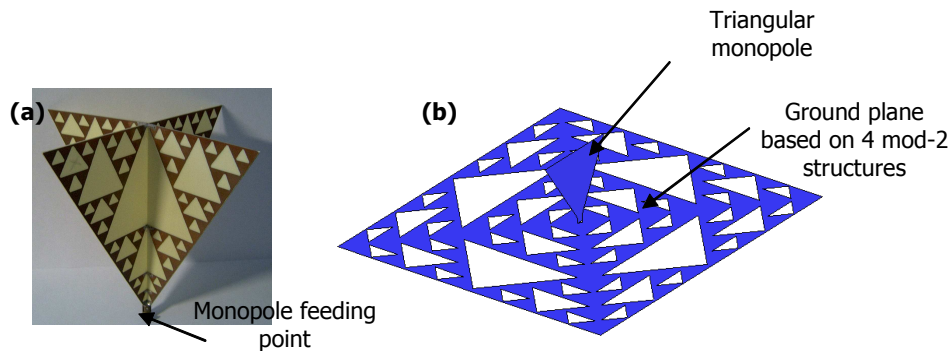


Figura 4 Monopolo 3D multibanda (a), y ejemplo de cómo dar inteligencia al plano de masa combinado un monopolo monobanda con forma triangular con un plano de masa con una geometría usando estructuras de módulo-p (b).

Como herramienta complementaria al diseño y análisis, el disponer de modelos analíticos es muy interesante para poder entender mejor los principios de radiación de una antena. A mayor complejidad de la geometría de la antena, mayor puede ser la complejidad del modelo. A partir de un modelo básico previamente propuesto, se ha extendido y completado dicho modelo para poder analizar con exactitud el comportamiento de las antenas de módulo-p, Fig.4.

Monopolos multibanda avanzados con carga superior

Además de los monopolos basados en geometrías fractales, el trabajo presenta una nueva técnica para conseguir monopolos multibanda. Esta técnica consiste en añadir una carga superior a la geometría. Además, esta solución se utiliza también en monopolos multibanda basados en geometrías fractales. En la Fig.5 se incluyen varios de los conceptos propuestos y analizados. El número y posición de las bandas frecuenciales en estas antenas se controla con la geometría que se utiliza para la carga.

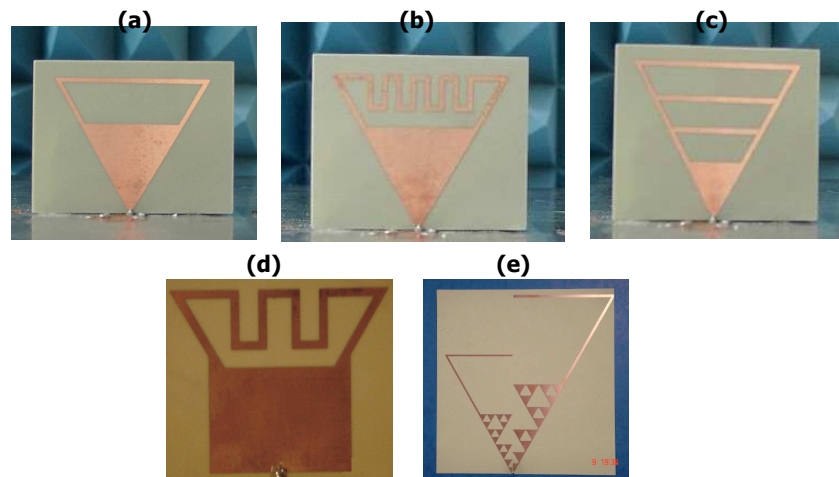


Figura 5 Monopolos multibanda con carga superior: (a) triangular con carga simple, (b) triangular con carga de relleno espacial, (c) triangular multi-carga, (d) cuadrado con carga de relleno espacial, y (e) con dos ramas asimétricas con estructura de módulo 2 y cargadas.

En la Fig. 5, la antena (c) se ha llamado multi-loaded. El número de bandas está relacionada con el número de partes horizontales en su carga. El concepto (d) se ha usado para diseñar una monopolo dual GSM 900 – GSM 1800, que también cubre UMTS. Respecto al tamaño que tendría un monopolo de módulo-2 para esta aplicación, el monopolo cargado (d) permite obtener una reducción en tamaño del 62%. La antena (e) consiste en una estructura asimétrico con dos ramas de distinto tamaño cada una con una geometría de módulo-p cargada. Este diseño de antena multibanda ofrece diagramas omnidireccionales en unas bandas y parcialmente hemisféricos en otras.

Los monopolos cargados propuestos ofrecen una gran flexibilidad en cuanto al diseño de la carga superior. Con tal de optimizar el diseño de la carga, dentro de este trabajo se ha desarrollado un programa de optimización automático. El núcleo del programa es un código basado en algoritmos genéticos que utiliza las funciones del programa FIESTA para el cálculo de los parámetros de la antena, y utiliza el programa GID para crear y mallar las geometrías. El programa desarrollado se ha usado con éxito en la tesis para hacer el ajuste final del monopolo (d) en la Fig.5. Hay que destacar que con ligeras modificaciones este programa se puede usar para la optimización de otros tipos de antenas.

1.2 Originalidad del trabajo

El desarrollo de antenas multifrecuencia y pequeñas ha sido durante décadas uno de los principales retos tecnológicos en el campo de la ingeniería del electromagnetismo. Tanto los dispositivos inalámbricos actuales como los emergentes representan un ejemplo de aplicación donde el diseño de antenas es un claro reto tecnológico. Esta tesis presenta un conjunto de técnicas nuevas y originales para antenas multifrecuencia y pequeñas que precisamente intenta superar este reto tecnológico.

El interés científico-técnico de este trabajo junto con su novedad ha derivado en toda una serie de publicaciones tanto a nivel nacional como internacional, así como en una serie de patentes que muestran sobre el mérito inventivo del trabajo realizado.

1.3 Resultados obtenidos

El interés del trabajo realizado y su contribución dentro de la comunidad científica queda manifiesto a través del conjunto de artículos publicados (ver anexo 2.1), tanto a nivel nacional como internacional.

La divulgación de los resultados obtenidos se ha realizado a través de las siguientes revistas y congresos:

- IEEE Transactions on Antennas and Propagation
- Microwave and Optical Technology Letters
- IEEE Microwave and Wireless Component Letters
- IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters
- The Journal of the Institution of British Telecommunications Engineers
- IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium
- AP2000 Millennium Conference on Antennas and Propagation
- 2000 International Symposium on Antennas and Propagation
- Microwave Symposium 2000
- ESTEC Antenna Workshops
- National Symposium of the Scientific International Union of Radio

El trabajo realizado y su interés tecnológico-industrial ha derivado en 6 patentes (ver anexo 2.2).

Además de las publicaciones y patentes, los resultados conseguidos han tenido un interés comercial, tal y como se muestra en el siguiente apartado.

1.4 Aplicabilidad práctica

El trabajo e investigación desarrollados en una tesis doctoral pueden ser una buena herramienta de ayuda para impulsar el crecimiento de la tecnología y industria nacionales. Para que esta situación se de, los resultados de la tesis deben ser de interés y tratar de aportar soluciones a existentes o futuros problemas de la comunidad tecnológico-industrial.

En 1999 se fundó en Barcelona Fractus S.A, una empresa de tecnología basada en el uso de la tecnología fractal para el diseño de antenas miniatura y multibanda. A día de hoy, Fractus es una empresa con un claro carácter multinacional, con sede en Barcelona y una filial en Seúl (Corea), dedicada al diseño y fabricación de antenas optimizadas para teléfonos móviles, dispositivos inalámbricos de corto alcance y infraestructuras de telecomunicación. Algunos ejemplos de los productos ofrecidos y vendidos alrededor del mundo son:

- Antena chip doble-banda para aplicaciones WLAN 802.11 a/b/g/j
- Antena chip Ultra Wideband para adaptadores UWB inalámbricos
- Antena GSM-DCS con diagrama bi-direccional para dar cobertura en calles y vías de trenes

Los tres productos arriba mencionados están basados en algunas de las técnicas presentadas en esta tesis. Además de para estos productos, los resultados del trabajo realizado también han sido útiles para el diseño de antenas GSM 900 – GSM 1800 - UMTS para pico y micro-celdas, y para el diseño de antenas multifrecuencia para automoción.

2. Anexo

2.1 Publicaciones internacionales y nacionales

Publicaciones en congresos internacionales

1. J.Soler, J.Romeu, "Dual-band Sierpinski Fractal Monopole Antenna", IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, Salt Lake City, July 2000.
2. J.Soler, J.Romeu, C.Puente, "Mod-p Sierpinski Fractal Multiband Antenna", AP2000 Millennium Conference on Antennas and Propagation, Davos, 9-14 April 2000.
3. J.Soler, J.Romeu, C.Puente, "Mod-p Sierpinski Fractal Multiband Antenna" (invited paper), 2000 International Symposium on Antennas and Propagation, Fukuoka, August 2000.
4. C.Puente, J.Anguera, J.Romeu, C.Borja, M.Navarro, J.Soler, "Fractal-Shaped Antennas and their Application to GSM 900 / 1800", AP2000 Millenium Conference on Antennas and Propagation , Davos, April 2000.
5. J.Romeu, C.Borja, J.Soler, S.Blanch, "Properties of fractal Shaped Antennas", Microwave Symposium 2000, Tetuan, May 2000.
6. J.Soler, C.Puente, "Analysis of the Sierpinski Fractal Multiband Antenna using the Multiperiodic Traveling Wave V Model", 24th ESTEC Antenna Workshop on Innovative Periodic Antennas, pp.53-57, ESTEC, Noordwijk, May-June 2001.
7. J.Soler, C.Puente, J.Anguera, "Challenges in the Numerical Analysis of Fractal-Shaped Antennas", IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, San Antonio, June 2002.
8. J.Soler, C.Puente, A.Munduate, "Novel Broadband and Multiband Solutions for Planar Monopole Antennas", IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, San Antonio, June 2002.
9. C.Puente, J.Soler, "Analysis of Fractal-Shaped Antennas using the Multiperiodic Traveling Wave Vee Model", IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, pp.158-161, Boston, July 2001.
10. J.Anguera, C.Puente, J.Soler, "Miniature Monopole Antenna based on the Fractal Hilbert Curve", IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, San Antonio, USA June 2002.
11. J.Anguera, G.Montesinos, C.Puente, C.Borja, J.Soler, "High-Directivity Microstrip Array using High-Directivity Fractal-Based Elements", 25th European Space Agency (ESA) Antenna Workshop on Satellite Antenna Technology, 18-20 September 2002 ESTEC, Noordwijk, The Netherlands.
12. J.Soler, C.Puente, J.Anguera, "Multifrequency Properties of Monopole Antennas Using Multilevel Ground Planes Inspired on the Sierpinski Fractal Shape". IEEE 24 Antennas and Propagation Society International Symposium , Columbus, USA June 2003.
13. J.Soler, C.Puente, J.Anguera, "Results on a New Extended Analytic Model To Understand The Radiation Performance of Mod-P Sierpinski Fractal Multiband Antennas". IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, Columbus, USA June 2003.
14. J.Soler, C.Puente, J.Anguera, "Novel Combined Mod-P Structures: a Complete Set of Multiband Antennas Inspired on Fractal Geometries". IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium , Columbus, USA June 2003.
15. J.Soler, C.Puente, J.Anguera, "Solutions To Tailor the Radiation Patterns of 2D and 3D Multiband Antennas Based on the Sierpinski Fractal", IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, Columbus, USA June 2003.
16. J.Anguera, G.Font, C.Puente, C.Borja, J.Soler, "Multiple Parasitic Microstrip Antenna For Multifrequency Behaviour", IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, Columbus, USA, June 2003.
17. J.Anguera, G.Montesinos, C.Puente, C.Borja, J.Soler, "A Microstrip Array Operating in a Fracton Mode", IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, Columbus, USA, June 2003.

18. J.Anguera, C.Puente, C.Borja, J.Soler, "Characterization of Fractal and Space-Filling Monopole Antennas using the Box-counting Dimension", IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, Columbus, USA, June 2003.
19. J.Anguera, C.Puente, C.Borja, J.Soler, "Scanning properties in an under-sampled microstrip array using Sierpinski fractal-inspired elements", 27th ESA Antenna Technology Workshop on Innovative Periodic Antennas, Santiago de Compostela, Spain, 9-11 March 2004
20. J.Anguera, E.Martinez, C.Puente, C.Borja, J.Soler, "Dual-Band BroadBand Microstrip Antenna Inspired in the Sierpinski Fractal", IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, Monterey, USA, June 2004.
21. J.Anguera, S.Prieto, C.Puente, C.Borja, J.Soler, "Scanning properties in fracton mode microstrip arrays using elements inspired on the Sierpinski fractal", IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, Monterey, USA June 2004.

Publicaciones en congresos nacionales

22. J.Soler, J.Romeu, "Antenas de Sierpinski de Módulo-p", Proceedings of the XIII National Symposium of the Scientific International Union of Radio. URSI 2000, Zaragoza, Spain, September 2000.
23. J.Soler, C.Puente, J.Anguera, "Extensión del Modelo Multiperíódico para el Análisis de las Características de Radiación de la Antena Multinivel Multibanda Basada en el Fractal de Sierpinski", XVII National Symposium of the Scientific International Union of Radio, URSI 2002, Alcalá de Henares, Spain, September 2002.
24. J.Anguera, G.Montesinos, C.Puente, C.Borja, J.Soler, "Modos multifracción en la antena microstrip bowtie fractal de Sierpinski", Proceedings of the XVII National Symposium of the Scientific International Union of Radio. URSI 2002, Alcalá de Henares, Spain, September 2002.
25. J.Anguera, G.Font, C.Puente, C.Borja, J.Soler, "Comportamiento multifrecuencia en una antena microstrip mediante múltiples elementos parásitos", Proceedings of the XVIII National Symposium of the Scientific International Union of Radio, URSI 2003, A Coruña, Spain, September 2003.
26. J.Anguera, G.Montesinos, C.Puente, C.Borja, J.Soler, "Agrupación submuestreada operando en modo fractón utilizando antenas microstrip inspiradas en el fractal de Sierpinski", Proceedings of the XVIII National Symposium of the Scientific International Union of Radio, URSI 2003, A Coruña, Spain, September 2003.

Publicaciones en revistas

27. J.Romeu, J.Soler, "Generalized Sierpinski Fractal Multiband Antenna", IEEE Trans Antennas and Propagation, vol.49, no.8, August, (2001), pp.1237-1239.
28. J.Soler, C.Puente, A.Puerto, "A Dual-Band Bi-directional Multilevel Monopole Antenna", Microwave and Optical Technology Letters, vol.34, no.6, pp.445-448, September 2002.
29. J.Soler, C.Puente, J.Anguera, "Extended Multiperiodic Traveling Wave Model for the Accurate Analysis of the Radiation Performance of the Sierpinski Fractal-Like Multiband Antenna", Microwave and Optical Technology Letters, vol.46, no.1, pp.67-70, January 2003.
30. J.Soler, C.Puente, J.Anguera, "Novel Combined Mod-P Multiband Antenna Structures Inspired on Fractal Geometries", Microwave and Optical Technology Letters, vol.41, no.5, pp.423-426, June 2004.
31. J.Soler, C.Puente, J.Anguera, "Advances in Loading Techniques to Design Multifrequency Monopole Antennas", Microwave and Optical Technology Letters, vol.41, no.6, pp.434-437, June 2004.

32. C.Puente, J.Anguera, C.Borja, J.Soler, "Fractal-Shaped Antennas and their Application to GSM 900/1800" The Journal of the Institution of British Telecommunications Engineers, vol.2, Part 3, July-Set 2001.
33. J.Anguera, C.Puente, C.Borja, R.Montero, J.Soler, "Small and High Directivity Bowtie Patch Antenna based on the Sierpinski Fractal", Microwave and Optical Technology Letters, vol.31, no.3, pp.239-241, November 2001.
34. D.Gala, J.Soler, C.Puente, C.Borja, and J.Anguera, "Miniature Microstrip Patch Antenna Loaded With a Space-Filling Line Based on the Fractal Hilbert Curve", Microwave and Optical Technology Letters, vol.38, no.4, pp.311-312, August 2003.
35. J.Anguera, C.Puente, C.Borja, G.Font, J.Soler, "A systematic method to design single-patch broadband microstrip patch antennas" , Microwave and Optical Technology Letters, vol.31, no.3, pp.185-188, November 2001.
36. J.Anguera, G.Font, C.Puente, C.Borja, J.Soler, "Multifrequency Microstrip Patch Antenna using Multiple Stacked Elements", IEEE Microwave and Wireless Component Letters, vol.13, no.3, March 2003.
37. J.Anguera, C.Puente, C.Borja, N.Delbene, J.Soler, "Dual frequency broadband stacked microstrip patch antenna", IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters vol.2, pp.36-39, 2003
38. J.Anguera, G.Montesinos, C.Puente, C.Borja, J.Soler, "An Under-Sampled High Directivity Microstrip Patch Array with a Reduced Number of Radiating elements Inspired on the Sierpinski Fractal", Microwave and Optical Technology Letters, vol.37, no.2, pp.100-103, April 2003.
39. J.Anguera, E.Martínez, C.Puente, C.Borja, J.Soler, "BroadBand Dual-Frequency Microstrip Patch Antenna With Modified Sierpinski Fractal Geometry", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 52, n1, pp.66-73, Jan. 2004
40. J.Anguera, L.Boada, C.Puente, C.Borja, J.Soler, "Miniature H-Shaped Microstrip Patch Antenna", IEEE Transactions on Antennas and Propagation vol.52, n4, pp983-993, April 2004.

2.2 Patentes generadas

1. J.Soler, C.Puente, "Loaded Antenna" - PCT/EP01/11914
2. J.Soler, C.Puente, "Multihole Antenna" - PCT/EP02/07836
3. J.Soler, C.Puente, "Notched-Fed Antenna" - PCT/EP02/07837
4. C.Puente, J.Soler, J.Ortigosa, J.Anguera, "Miniature Antenna Having a Volumetric Structure" - PCT/EP03/01695
5. C.Puente, J.Romeu, C.Borja, J.Anguera, J.Soler, "Multilevel Antennae" -WO0122528

2.3 Otros méritos

- Premio al mejor póster en antenas en el congreso "AP 2000 Millennium Conference on Antennas and Propagation" celebrado en Davos (Suiza) del 9 al 14 de Abril del 2000.
- Invitación para ser chairman en una sesión del congreso "ISAP 2000 International Symposium on Antennas and Propagation" celebrado en Fukuoka (Japón) en Agosto del 2000.
- Chairman de la sesión *Multiband and Broadband Printed Antennas* en el congreso "IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium" celebrado en San Antonio (USA) en Junio del 2002.
- Chairman en la sesión *Fractals* en el congreso "27th ESA Antenna Technology Workshop on Innovative Periodic Antennas" celebrado en Santiago de Compostela (Spain) en Marzo del 2004.