

Avances en Tecnologías de Comunicación basadas en Microondas.

Leticia Martínez*, Ángel Belenguer*, Alejandro L. Borja*, Joaquín Cascón*, Marcos D. Fernández*, José Antonio Ballesteros*, Ana M. Torres* y Jorge Mateo*

Resumen En los últimos años se han presentado una gran variedad de nuevas tecnologías y dispositivos de comunicación. Estas nuevas tecnologías y dispositivos requieren el uso de componentes con propiedades mejoradas respecto al tamaño, peso, tipo de propagación de señales, respuesta reconfigurable en tiempo real, etc. En el seno del grupo de Electromagnetismo Aplicado de la Universidad de Castilla-La Mancha se están realizando varios estudios en esta dirección. Más específicamente, se está investigando en el diseño de componentes de microondas basados en estructuras integradas en sustrato y metamateriales.

*Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Automática y Comunicaciones. Escuela Politécnica de Cuenca, Campus Universitario s/n, 16071 Cuenca, Spain, Leticia.Martinez@uclm.es, Angel.Belenguer@uclm.es, Alejandro.Lucas@uclm.es, Joaquin.Cascon@uclm.es, Marcos.Fernandez@uclm.es, JoseA.Ballesteros@uclm.es, Ana.Torres@uclm.es y Jorge.Mateo@uclm.es

Introducción

Actualmente, los sistemas de comunicaciones espaciales proporcionan diversos servicios de carácter científico, tecnológico y social, así como aplicaciones críticas de seguridad y defensa; para lo cual suelen operar en las bandas bajas de microondas (entre 1 y 18 GHz). Desde 2006, con la primera generación de satélites de banda Ka (20/30 GHz), las comunicaciones espaciales han proporcionado servicios de banda más ancha (10Gbps), TV y vídeo bajo demanda, comunicaciones de espacio profundo, y nuevas aplicaciones militares y de seguridad. Hoy en día, la segunda generación de satélites en banda Ka (Viasat-1, Ka-SAT, Hylas y Jupiter) está en fase de desarrollo. Gracias al soporte de velocidades de transmisión mayores de 100 Gbps, se ofrecerán servicios avanzados de comunicaciones móviles, sistemas de navegación y de observación de la Tierra, con enormes aplicaciones en el ámbito civil, la seguridad y la defensa.

Todas estas futuras necesidades espectrales conducen a que actualmente ya se esté operando en la banda Ka y se explore la posibilidad de usar bandas más altas como Q y V (50/60 GHz), tal y como ya se experimenta en el satélite Alphasat de la ESA. La correcta operación de estos nuevos servicios en frecuencias milimétricas (por encima de 20 GHz) implica numerosos desafíos tecnológicos en el diseño de las cargas útiles de los satélites; pues a dichas frecuencias, las pérdidas son muy elevadas. Al mismo tiempo, los futuros sistemas de comunicaciones espaciales deben tener capacidad de reconfiguración de parámetros como frecuencias portadoras, anchos de banda y cobertura (haces reconfigurables), y ofrecer controles de ganancia adaptativa a cambios en condiciones atmosféricas y ambientales.

Es en este último aspecto, el diseño de dispositivos reconfigurables para aplicaciones de telecomunicación espacial, en el que se centra la actividad del Grupo de Electromagnetismo Aplicado de la UCLM, fundado en el año 2008. En este sentido, la tecnología planar (debido a sus niveles de compactación, así como su fácil integración con otros circuitos implementados en tecnología de estado sólido, como mezcladores y amplificadores, es un firme candidato para desarrollar prototipos reconfigurables para comunicaciones espaciales realizables en la práctica. A día de hoy, la tecnología planar se emplea en el diseño de componentes

pasivos ubicados en la etapa de entrada de los satélites de comunicaciones (habitualmente filtros para eliminar señales espurias indeseadas que se generen tras las operaciones de mezclado o de amplificación con SSPAs, estado sólido). Sin embargo, un aspecto sumamente relevante a considerar en el diseño de soluciones planares para espacio a tan altas frecuencias (bandas Ku, Ka y Q/V) son las pérdidas asociadas a dicha tecnología, que resultan muy elevadas debido a las contribuciones tanto de los conductores (más relevantes a frecuencias más elevadas) como de los sustratos dieléctricos empleados. Con el fin de superar el importante problema que suponen las pérdidas, se explotan dos tecnologías planares novedosas: la síntesis de medios zurdos mediante metamateriales y las guías integradas en sustratos planares (SIW). Ambas tecnologías presentan propiedades muy interesantes desde el punto de vista de las pérdidas y, al ser ambas soluciones planares, también permitirán incorporar soluciones de reconfiguración complejas capaces de cumplir los estrictos requisitos de los dispositivos empleados en comunicaciones espaciales.

En resumen, el Grupo de Electromagnetismo Aplicado de la UCLM está centrado en el estudio de dos vías alternativas para el desarrollo de dispositivos pasivos reconfigurables para comunicaciones espaciales, ambas basadas en tecnologías planares novedosas, con bajas pérdidas y con grandes posibilidades de aplicación.

Diseño de componentes basados en metamateriales

En la primera vía se estudia la posibilidad de aplicar el concepto de "medio zurdo metamaterial" al diseño e implementación de dispositivos reconfigurables para comunicaciones vía satélite.

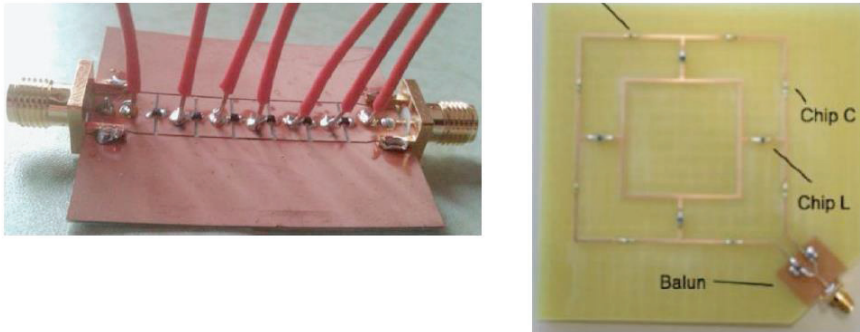


Figura 1. Izquierda: filtro reconfigurable (varactores) en tecnología coplanar basado en metamateriales. Derecha: loop reconfigurable basado en metamateriales.

La experiencia en el desarrollo de dispositivos reconfigurables basados en medios zurdos en el Grupo de Electromagnetismo Aplicado es bastante amplia. Durante los últimos 4 años se han desarrollado diversos dispositivos reconfigurables basados en esta tecnología. Así, durante el año 2011, se propuso un filtro en línea coplanar con respuesta sintonizable en ancho de banda (Borja, Carbonel, Martínez, Boria y Lippens, 2011) (Figura 1 izquierda). Siguiendo esta misma línea y en colaboración con un investigador de la Anglia Ruskin University (UK), se han estudiado diversas alternativas para el diseño de filtros reconfigurables compactos en tecnología coplanar, lo que ha permitido preparar un capítulo de libro (Borja, Kelly, Belenguer, Cascón y Boria, 2012). También se ha trabajado activamente en el diseño de antenas reconfigurables basadas en medios zurdos, como la antena reconfigurable en forma de espira cuadrada con mayor capacidad de lectura de etiquetas RFID en campo próximo (Figura 1 derecha), que se ha dado a conocer a través de la publicación de un artículo en revista internacional de prestigio (Borja, Belenguer, Cascón y Kelly, 2012), un póster en un congreso internacional (Serrano, Díaz, Belenguer, Cascón, Esteban y Borja, 2012) y un póster en un congreso nacional (Martínez, Borja, Belenguer y Cascón, 2012).

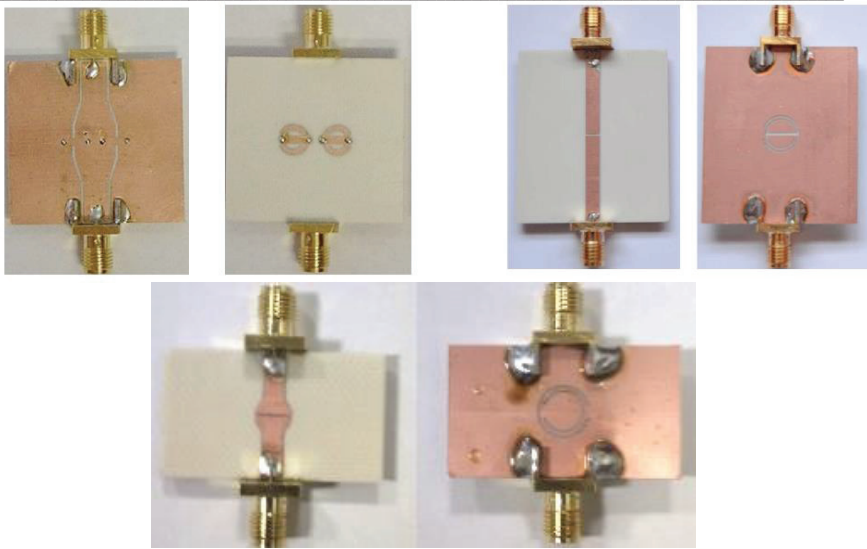


Figura 2. Línea de Transmisión compuesta diestra-zurda dual basada en una nueva configuración de resonador en tecnología coplanar (izquierda). Línea de transmisión microstrip cargada con anillos resonantes tipo CSRR modificados (derecha). Línea de transmisión microstrip con acopló eléctrico aumentado y CSRR (abajo).

Paralelamente, se han propuesto diversas celdas unitarias que permiten sintetizar líneas de transmisión zurdas con respuestas mejoradas. Inicialmente, se propuso una nueva topología de línea de transmisión en tecnología coplanar basada en medios diestro-zurdos, la cual presenta un excelente comportamiento en un gran ancho de banda tras compensar en frecuencia las bandas de paso asociadas a la propagación zurda y diestra (Borja, Belenguer, Esteban, Cascón y Boria, 2011), (Sanz, Borja, Cascón y Belenguer, 2012). Dicha compensación se consigue cargando la línea de transmisión con distintos elementos (bobinas y condensadores), pero el diseño conseguido, aunque presenta una buena respuesta, no es demasiado compacto. Con el fin de buscar nuevas alternativas más compactas, y dentro del marco de trabajo del grupo, se propuso un nuevo modelo circuital equivalente para líneas coplanares cargadas con anillos resonantes tipo SRR, que permite modelar los comportamientos zurdo y diestro de dichas estructuras en anchos de banda amplios (Sanz, Belenguer, Borja, Cascón, Esteban y Boria, 2012). Aprovechando la información obtenida con este nuevo modelo circuital, sobretodo del anillo SRR, se han propuesto diferentes configuraciones en línea coplanar que permiten obtener líneas zurdas con comportamientos especiales

(balanceadas y balanceadas duales), cargando el anillo con distintos elementos reactivos (Belenguer, Cascón, Borja, Esteban y Boria, 2012), (Sanz, Belenguer, Martínez, Borja, Cascón y Boria, 2014) (Figura 2 izquierda). También se ha propuesto un modelo circuital mejorado para el anillo SRR complementario (CSRR), lo que ha permitido trasladar este tipo de soluciones a tecnología microstrip (Belenguer, Borja y Boria, 2013) (Figura 2 derecha). Todas estas nuevas topologías desarrolladas en el seno del grupo de investigación, se basan en la propuesta novedosa (original de este grupo de investigación) de modificar el elemento resonante en lugar de la línea de transmisión para conseguir propiedades especiales en las líneas zurdas resultantes, y no habrían sido posibles si no se hubiera desarrollado previamente un modelo circuital apropiado para caracterizarlas (Sanz, Belenguer, Borja, Cascón, Esteban y Boria, 2012). Además, también se han estudiado topologías en las que se modifica la línea de transmisión como la reciente publicación (Martinez, Belenguer, Cascon y Borja, 2014) donde a una línea microstrip se modifica para incrementar el acoplo eléctrico con el resonador CSRR que se encuentran en el lado opuesto a la línea, para obtener un comportamiento paso alto.

Métodos numéricos, SIW y ESIW

Por lo que respecta a la segunda vía, el Grupo de Electromagnetismo aplicado también tiene una amplia experiencia en el análisis y diseño de dispositivos basados en guías integradas en sustratos (SIW), para explorar distintas alternativas para desarrollar dispositivos reconfigurables aplicables en comunicaciones espaciales.

Por ejemplo, se han propuesto dos métodos híbridos para el análisis preciso y eficiente de dispositivos con un número arbitrario de accesos. El primer método híbrido (Belenguer, Esteban, Díaz, Bachiller, Cascón y Boria, 2011) implementa un esquema de barrido rápido que permite obtener tiempos de análisis muy reducidos en estructuras complejas. El segundo método (Díaz, Esteban, Belenguer y Boria, 2012), no permite un barrido rápido en frecuencia, pero es más rápido cuando el barrido frecuencial es discreto, por lo que resulta muy atractivo para aplicaciones en las que se requieren análisis muy precisos. Estas herramientas de análisis, junto a estrategias avanzadas de diseño, se han aplicado con éxito al desarrollo de filtros en esta tecnología, con diferentes configuraciones (Díaz, Esteban,

Belenguer y Boria, 2012), (Díaz, Esteban, Belenguer, Boria, Morro y Cascón, 2011), (Díaz, Esteban, Belenguer y Boria, 2011), (Figura 3 arriba).

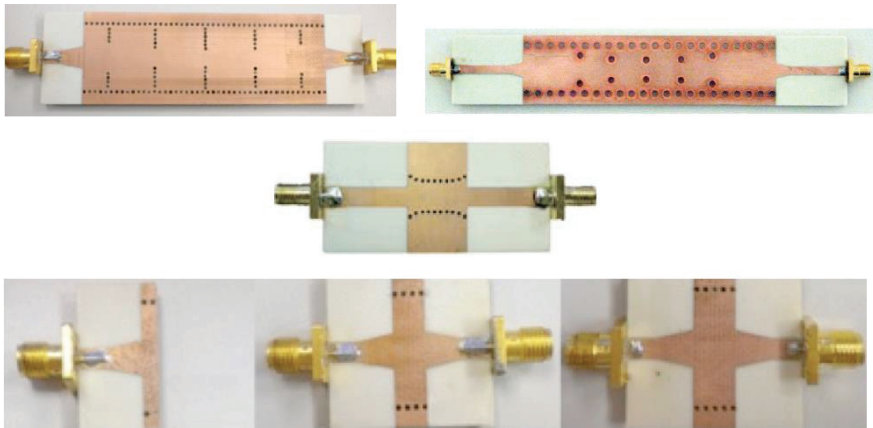


Figura 3. Filtro de cavidades acopladas en tecnología SIW basados en cavidades acoladas por ventanas inductivas (arriba izquierda) y con postes metálicos dobles (arriba derecha), y elementos de un nuevo procedimiento de medida de dispositivos en tecnología SIW (abajo).

También se ha estudiado el diseño de transiciones de SIW a línea microstrip. Concretamente, se han estudiado tapers microstrip-SIW con diversas geometrías (Díaz, Morro, Belenguer, Esteban y Boria, 2012), se han mejorado las ecuaciones de diseño para estos tapers (Miralles, Esteban, Bachiller, Belenguer y Boria, 2011) y, finalmente, se ha propuesto una nueva topología de taper para el caso en que la SIW tenga una impedancia superior a la de la microstrip (Miralles, Esteban, Bachiller, Belenguer y Boria, 2011) (Figura 3 centro) ya que, en este caso, el taper tradicional no proporciona buenos resultados.

Paralelamente, y con el fin de caracterizar adecuadamente los diseños realizados en SIW, se ha propuesto un procedimiento de medida especialmente adaptado a esta tecnología, que se ha dado a conocer con una publicación en una revista internacional de prestigio (Díaz, Belenguer, Esteban, Monerris-Belda y Boria, 2013) (Figura 3 abajo).

Finalmente, aprovechando la experiencia acumulada en el análisis y diseño de dispositivos SIW, así como la información recogida a partir de los resultados experimentales obtenidos gracias al procedimiento de medida desarrollado, se ha propuesto, desde el grupo (en colaboración con el Grupo de Aplicaciones de las Microondas de la UPV), una novedosa topología de guía integrada en sustrato (ESIW), que permite diseñar

dispositivos pasivos con altas prestaciones integrados en sustrato dieléctrico.

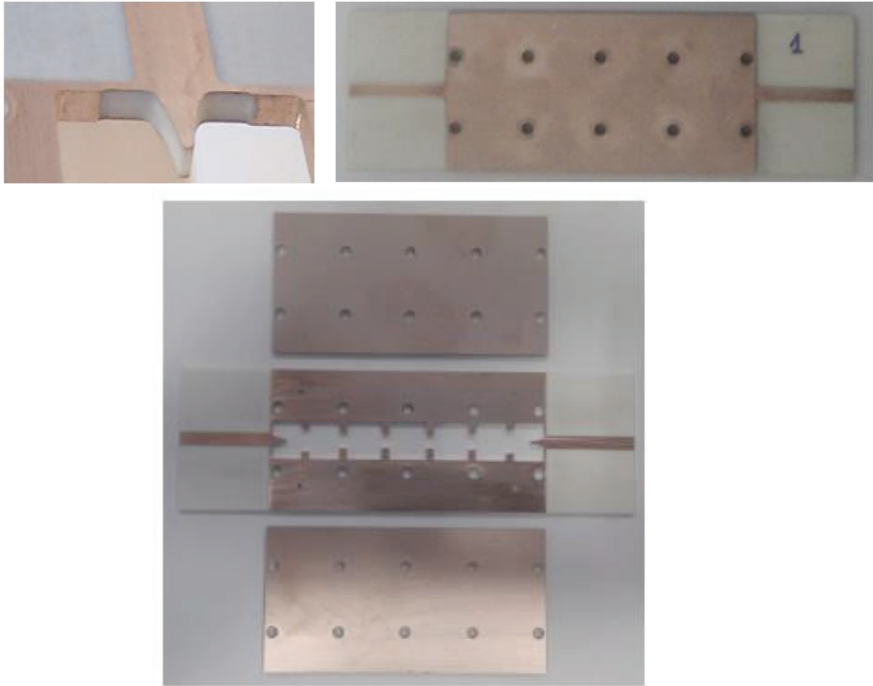


Figura 4. Detalle de un prototipo de filtro a 19.5 GHz fabricado usando la nueva topología de guía integrada en sustrato (ESIW). Detalle de la transición microstrip a esta nueva topología (izquierda). Filtro ensamblado (derecha). Despiece del filtro (abajo).

Esto implica que utilizando esta nueva guía integrada en sustrato, se podrían mejorar los dispositivos pasivos de las etapas de entrada de los satélites de comunicaciones, implementados mediante tecnologías planares clásicas o SIW tradicionales. Las altas prestaciones que se pueden conseguir con esta nueva topología se han corroborado experimentalmente con un estudio realizado en banda X y K (11 y 19.5 GHz) publicado en la prestigiosa revista internacional IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques (Belenguer, Esteban y Boria, 2014) (Figura 4).

Conclusiones

En el Grupo de Electromagnetismo Aplicado de la Universidad de Castilla-La Mancha realizamos una actividad bastante intensa desarrollada en la Escuela Politécnica de Cuenca. Seguimos trabajando para avanzar más en el diseño de dispositivos microondas, SIW y ESIW; combinando las avanzadas capacidades de reconfiguración que permiten los circuitos planares, como las respuestas de alta calidad que se pueden obtener con la última línea de estudio en la que estamos trabajando, soluciones guiadas sin dieléctrico (ESIW).

Bibliografía

Belenguer, A., Borja, A. L., Boria, V. E. (2013). *Balanced Dual Composite Right/Left-Handed Microstrip Line With Modified Complementary Split-Ring Resonators*. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters vol. 12, pp. 880-883, Sep. 2013.

Belenguer, A., Cascón, J., Borja, A. L., Esteban, H., Boria, V. E. (2012). *Dual Composite Right-/Left-Handed Coplanar Waveguide Transmission Line Using Inductively Connected Split-Ring Resonators*. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 60, nº10, pp. 3035-3042, 2012.

Belenguer, A., Esteban, H., Boria, V. E. (2014). *Novel empty substrate integrated waveguide for high performance microwave integrated circuits*. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 62, nº4, pp. 832-839, Abril 2014.

Belenguer, A., Esteban, H., Diaz, E., Bachiller, C., Cascon, J., Boria, V. E. (2011). *Hybrid Technique Plus Fast Frequency Sweep for the Efficient and Accurate Analysis of Substrate Integrated Waveguide Devices*. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 59, pp. 552-560, Mar. 2011.

Borja, A. L., Belenguer, A., Cascon, J., Kelly, J. (2012). *A Reconfigurable Passive UHF Reader Loop Antenna for Near-Field and Far-Field RFID Applications*. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 11, pp. 580-583, 2012.

Borja, A. L., Belenguer, A., Esteban, H., Cascon, J., Esteban, H., Boria, V. E. (2011). *Wideband Pass-Band Transmission Line based on Metamaterial-Inspired CPW Balanced Cells*. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 10, pp. 1421-1424, Dic. 2011.

Borja, A. L., Carbonell, J., Martínez, J. D., Boria, V. E., Lippens, D. (2011). *A controllable bandwidth filter using varactor-loaded metamaterial-inspired transmission lines*. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 10, pp. 1575-1578, 2011.

Borja, A. L., Kelly, J., Belenguer, A., Cascon, J, Boria, V. E. (2012). Editor: Dr. Xun-ya Jiang. *Compact Coplanar Waveguide Metamaterial-Inspired Lines and its Use in Highly Selective and Tunable Bandpass Filters* (Capítulo 31). Capítulo de libro incluido en "Metamaterial", Intech Open Access Publisher, Austria, 2012. ISBN: 979-953-307-563-0.

Díaz, E., Belenguer, A., Esteban, H., Boria, V. E. (2013). *Thru-reflect-line calibration for substrate integrated waveguide devices with tapered microstrip transitions*. Electronics Letters, vol. 49, pp. 132-133, 2013.

Díaz, E., Belenguer, A., Esteban, H., Monerris-Belda, O., Boria, V. E. (2013). *A Novel Transition from Microstrip to a Substrate Integrated Waveguide with Higher Characteristic Impedance*. International Microwave Symposium (IMS2013), Junio 2013.

Díaz, E., Esteban, H., Belenguer, A., Boria, V. E. (2011). *Método híbrido para el diseño eficiente de filtros en guía de ondas integrada en sustrato*. XXVI Simposium Nacional de la Unión Científica Internacional de Radio, Actas del Congreso 4 pág., Leganés (Spain), Sept. 2011.

Díaz, E., Esteban, H., Belenguer, A., Boria, V. E. (2012). *Efficient Analysis of Substrate Integrated Waveguide Devices Using Hybrid Mode Matching Between Cylindrical and Guided Modes*. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 60, pp. 232-243, Ene. 2012.

Díaz, E., Esteban, H., Belenguer, A., Boria, V. E., Morro, J. V., Cascón, J. (2011). *Efficient design of substrate integrated waveguide filters using a hybrid MoM/MM analysis method and efficient rectangular waveguide design tools*. Proceedings of the International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications (ICEAA'11), pp. 456-459, Torino (Italy), Sept. 2011.

Díaz, E., Morro, J. V., Belenguer, A., Esteban, H., Boria, V. (2012). *Diseño de filtros en guía integrada en sustrato con simuladores basados en expansiones modales en espacio abierto*. XXVII Simposium nacional de la Unión de Radio Científica Internacional (URSI 2012), Elche (España), Septiembre 2012.

Martinez, L., Belenguer, A., Cascon, J, Borja, A. L. (2014). *Wideband High Pass Complementary Split Ring Resonator based Microstrip Transmission Line with Augmented Electric Coupling*. International Journal of Sensors, Woreless Communications and Control, nº4, pp. 32-34, 2014.

Martinez, J. A., Borja, A. L., Belenguer, A., Cascon, J. (2012). *Aplicaciones de lectura RFID de campo cercano y lejano*. I Congreso Nacional de Investigación en Grado, Albacete (ESPAÑA), Mayo 2012.

Miralles, E., Esteban, H., Bachiller, C., Belenguer, A., Boria, V. E. (2011). *Diseño de transiciones de línea microstrip a guía integrada en sustrato dieléctrico con diferentes geometrías*. URSI'11, XXVI Simposium Nacional de la Unión Científica Internacional de Radio, Actas del Congreso 4 pág., Leganés (Spain), Sept. 2011.

Miralles, E., Esteban, H., Bachiller, C., Belenguer, A., Boria, V. E. (2011). *Improvement for the design equations for tapered microstrip-to-substrate integrated waveguide transitions*. Proceedings of the International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications (ICEAA'11), pp. 456-459, Torino (Italy), Sept. 2011.

Sanz, V., Belenguer, A., Borja, A. L., Cascon, J., Esteban, H., Boria, V. E. (2012). *Broadband Equivalent Circuit Model for a Coplanar Waveguide Line Loaded with Split Ring Resonators*. International Journal of Antennas and Propagation, vol. 2012, pp. 613518-1-613518-6, 2012.

Sanz, V., Belenguer, A., Martínez, L., Borja, A. L., Cascón, J., Boria, V. E. (2014). *Balanced Right/Left-Handed Coplanar Waveguide With Stub-Loaded Split-Ring Resonators*. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters vol. 13, pp. 193-196, Ene. 2014.

Sanz, V., Borja, A. L., Cascón, J., Belenguer, A. (2012). *Balanced composite right/left-handed metamaterial CPW transmission line with improved bandwidth*. Metamaterials 2012, San Petersburgo (Rusia), Septiembre 2012.

Serrano, E., Diaz, E., Belenguer, A., Cascon, J., Esteban, H., Borja, A. L. (2012). *Reconfigurable Omnidirectional Loop Antenna with Left-handed Loading for RFID Applications*. PIER Symposium, Kuala Lumpur (Malaysia), Marzo 2012.

