

Guías de Onda Integradas en Substrato para Aplicaciones en las Bandas de Microondas y Ondas Milimétricas

D. Navarro*¹, F. Carrera*², M. Baquero*³

**DETRI, Escuela Politécnica Nacional,
Quito, Ecuador*

¹veronica.navarro@epn.edu.ec

²fcarrera@mailfie.epn.edu.ec

#*ITEAM, Universidad Politécnica de Valencia*

Valencia 46022, Spain

³mbaquero@dcom.upv.es

Abstract— En este trabajo se presenta un breve resumen de la tecnología de guías de onda rectangulares integradas en un substrato dieléctrico (Substrate Integrated Waveguide “SIW”). Las guías SIW constituyen una alternativa para implementar dispositivos en el rango de las microondas y ondas milimétricas, de menor volumen y de fácil integración con circuitos planares. Utilizando la tecnología SIW se construyeron varios dispositivos pasivos como por ejemplo divisores de potencia, acopladores direccionales y antenas de ranuras con buenos resultados experimentales. Así también se presentan algunas de las transiciones que se generan cuando se excita una guía SIW utilizando líneas microstrip o coaxial y acoplo por ranura.

I. INTRODUCCIÓN

La tecnología de guía de onda es aún la principal elección para el diseño de elementos de alto rendimiento en sistemas de ondas milimétricas. Sin embargo, ésta no es muy adecuada para producción en masa de bajo costo debido a la necesidad de caros y tediosos procesos de calibración de los dispositivos finales. Además, los elementos realizados con esta tecnología en general son voluminosos y las interfaces con estructuras planares pueden resultar complicadas.

Por otro lado, en la realización de circuitos integrados de bajas pérdidas se suelen encontrar algunos problemas relacionados principalmente con las limitaciones en rendimiento de la tecnología planar; en muchos casos, estructuras no planares como las guías de onda clásicas son necesarias. Es por este motivo que esquemas híbridos de estructuras planares y no planares resultan alternativas interesantes para el desarrollo de sistemas en microondas y ondas milimétricas.

En los últimos años se han propuesto algunas soluciones que permiten esta integración, la más utilizada es la que se basa en *Substrate Integrated Waveguide (SIW)*. Esta tecnología permite implementar componentes utilizando todas las técnicas tradicionales de modelado y diseño desarrolladas para dispositivos en guía de onda rectangular.

II. GUÍA DE ONDA INTEGRADA EN SUBSTRATO

En una guía de onda rectangular tradicional las ondas son confinadas dentro de ella y al estar rellena de dieléctrico aire, las pérdidas presentes en estas guías son mínimas, pero con desventajas como la dificultad de integración con otro medio, el peso y el tamaño. Los esquemas de integración de guías de onda convencionales con estructuras planares son voluminosos y normalmente requieren procesos mecánicos de mucha precisión, lo cual es difícil de obtener para producción masiva a frecuencias de ondas milimétricas [1] [2].

A inicios de los años 90 surge una nueva tecnología denominada *Substrate Integrated Waveguide (SIW)* que consiste en sintetizar una guía de onda dentro de un substrato dieléctrico; habitualmente, esto se consigue creando paredes eléctricas artificiales utilizando vías metalizadas [1]. La estructura resultante es una guía de onda planar en la cual las ondas se confinan dentro de dichas paredes y viajan por el material dieléctrico del cual está rellena. Esta tecnología permite el diseño y construcción de guías en el rango de microondas y ondas milimétricas. Se pueden diseñar resonadores, diplexores, filtros y otros circuitos usando una técnica de fabricación de bajo coste completamente compatible con técnicas PCB (*Printed Circuit Board*) y LTCC (*Low Temperature Co-Fired Ceramic*) [1] [3] existentes.

A su vez, esta tecnología permite la fácil integración de dispositivos realizados en SIW con otros circuitos planares [2] [4]. Adicionalmente, la síntesis de una guía de onda rectangular en un substrato, permite la realización de transiciones eficientes de banda ancha entre esta guía y circuitos integrados planares [1]. La tecnología SIW se ha utilizado principalmente para la implementación de osciladores [5], filtros [6] [7], divisores de potencia [8] [9], acopladores direccionales [10] [11], antenas [12] [13], etc.

La guía SIW se construye colocando dos filas de agujeros metalizados en el substrato, como se muestra en la Fig. 1. El

diámetro d de los agujeros, el espacio b entre ellos y la separación W entre las filas, son los parámetros físicos necesarios para el diseño de la guía.

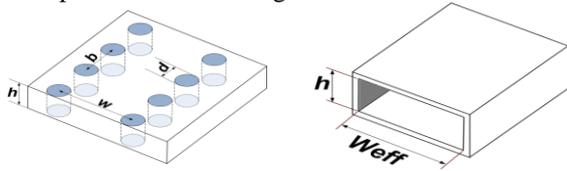


Fig. 1. Equivalencia entre una guía SIW y una guía rectangular convencional

Los principales parámetros que se deben considerar en un diseño con SIW son la altura del sustrato, su permitividad, y principalmente el radio y la separación de los postes, ya que con estos parámetros aseguramos que las paredes laterales de la guía tengan un comportamiento conductor y que no se presenten grandes pérdidas; sin embargo al tratarse de una estructura periódica, su análisis es más complicado comparado con la guía tradicional, por lo cual se utiliza una analogía con la guía rectangular clásica (Fig. 1), donde el ancho equivalente W_{eff} de la guía rectangular viene dado por la siguiente expresión [14]:

$$W_{\text{eff}} = w - \frac{d^2}{0.95 * b}$$

La separación entre postes debe mantenerse pequeña para reducir las pérdidas debido a fugas entre postes adyacentes; sin embargo, el diámetro de los postes también está sujeto a los problemas de pérdidas, por lo tanto, la relación d/b es considerada más crítica que la sola separación entre postes. Para mantener las pérdidas por radiación en niveles despreciables se utilizan dos reglas de diseño relacionadas con el diámetro y la separación de los postes [15].

$$d < \frac{\lambda_g}{5}$$

$$b \leq 2d$$

El uso de estas dos ecuaciones permite modelar una guía SIW por medio de una guía rectangular convencional, asimismo, el mapeo de SIW a guía rectangular es muy bueno, por lo que todos los procedimientos de diseño y la base teórica desarrollada para las guías rectangulares son directamente aplicables a ellas.

Debido a la naturaleza de su estructura, las guías SIW solo pueden soportar modos TE, mientras que los modos TM no pueden ser guiados. Ya que una guía SIW puede también ser considerada un tipo especial de guía rectangular con una serie de slots en las paredes laterales, este comportamiento podría ser explicado de la siguiente manera: cuando un modo se establece en una guía también se generan corrientes superficiales, si los slots cortan las líneas de corriente puede aparecer una gran cantidad de radiación. Para el modo TE_{n0} el flujo de líneas de corriente es paralelo a los postes por lo que éstos no lo cortan, por lo tanto no afectan al modo. En modos TM, el campo magnético transversal produce una corriente

superficial longitudinal y entonces los slots transversales cortan esas corrientes produciendo una gran cantidad de radiación [16].

Debido al creciente interés por este nuevo tipo de estructuras, se pueden encontrar estudios que se dedican al análisis de las propiedades de las guías SIW utilizando diferentes métodos. En [15] se presenta un método de diseño sencillo para discontinuidades en SIW que están caracterizadas sobre un gran ancho de banda usando un modelo de guía de onda rectangular. En [17] se propone y desarrolla un algoritmo híbrido conocido como método DD-FDTD (*Domain Decomposition Finite-Difference Time-Domain*) combinado con una técnica de calibración numérica (TL), para conseguir una extracción exacta de parámetros de circuitos y estructuras de microondas. En [14], las propiedades de dispersión de una guía SIW se obtienen usando el método BI-RME combinado con el teorema de Floquet. En [16], para el análisis de las propiedades de las ondas guiadas, se utiliza una técnica numérica de calibración multimodo junto con un simulador comercial basado en el método de elementos finitos, para la extracción de las constantes de propagación complejas de la estructura SIW. En [18] se presenta un método semi-analítico para estudiar estructuras SIW, las cuales se consideran contenidas en una guía infinita de placas paralelas y analizadas como cavidades limitadas por las placas superior e inferior y por los postes metálicos. En [19] se determinan las constantes de propagación complejas de las guías utilizando el concepto de impedancia superficial para modelar las filas de cilindros conductores, entonces este modelo es resuelto combinando el método de los momentos y un proceso de resonancia transversal.

III. EXCITACIÓN DE UNA GUÍA SIW

Por la forma en la que se construye una guía SIW, su excitación da lugar a una nueva transición que debe cumplir con buenas condiciones de adaptación para conseguir que toda la potencia que se suministre sea transferida a la guía y se garantice un nivel de pérdidas aceptable. Los tipos de excitación que se resumen en este trabajo son:

A. Utilizando línea microstrip

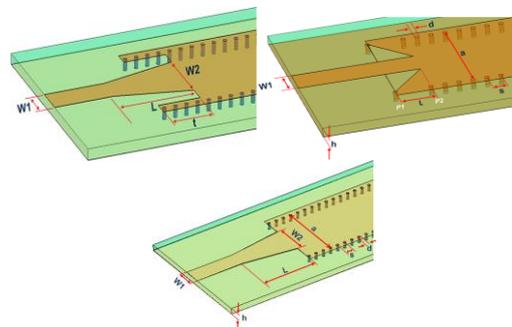


Fig. 2. Vista 3D de transiciones Microstrip - SIW.

La línea microstrip es adecuada para excitar la guía de onda ya que los campos eléctricos de las dos estructuras están orientados aproximadamente en la misma dirección y comparten el mismo perfil. En la Fig. 2 se presentan algunos esquemas utilizados, mientras en la Fig. 3 se visualizan las transiciones implementadas [20].

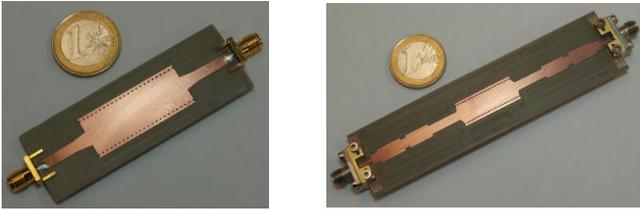


Fig. 3. Transiciones Microstrip-SIW-Microstrip.

B. Utilizando coaxial

Una desventaja que se presenta al alimentar una guía SIW mediante línea microstrip es que se pueden presentar pérdidas adicionales que si se hiciese directamente con coaxial; con la adecuada transición Coaxial-SIW se pretende minimizar las pérdidas al conseguir un mejor acoplamiento; en la Fig. 4 se tiene un esquema de la transición construida.

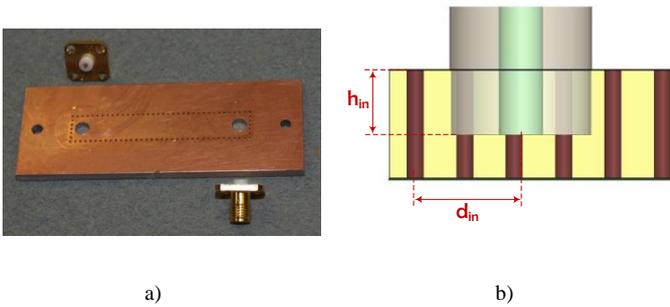


Fig. 4. a) Transición Coaxial - SIW, b) Variables consideradas para diseños.

C. Utilizando acoplo por ranura

Este tipo de transición permite conectar dos guías SIW mediante una ranura situada entre dos caras adyacentes de las guías, como se indica en la Fig. 5 [21].

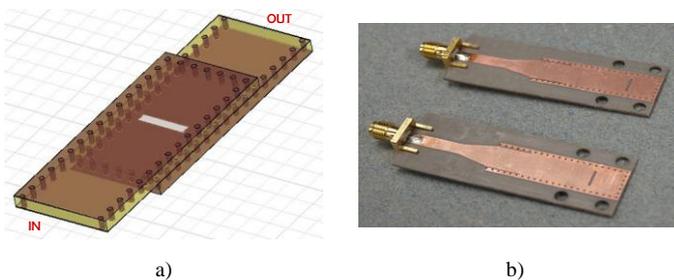


Fig. 5. a) Esquema de la transición entre guías SIW, b) Montaje de la transición.

IV. DISPOSITIVOS PASIVOS EN SIW

A. Codos y Divisores de Potencia

Los codos y divisores son elementos mayormente utilizados en la implementación de dispositivos de microondas, en la Fig. 6 se presentan dos tipos de codos desarrollados y optimizados en tecnología SIW.

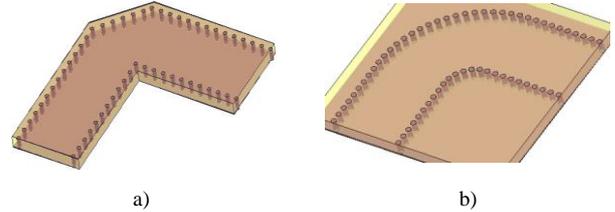


Fig. 6. Codo de 90° a) con bisel, b) circular.

En la Fig. 7a se presenta el esquema de un divisor de potencia simétrico tipo Y y en la Fig. 7b una red de divisores de potencia implementada en SIW [22] [21].

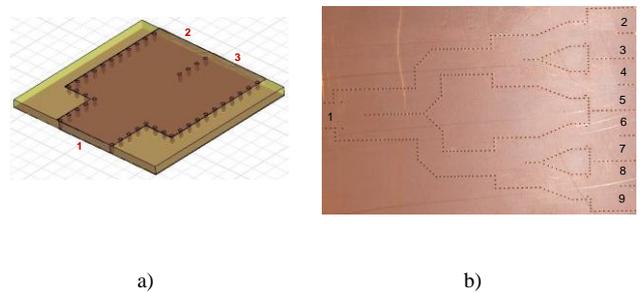


Fig. 7. a) Divisor 1:2, b) Red de divisores 1:8.

B. Acopladores Direccionales

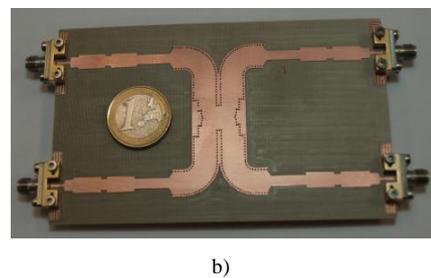
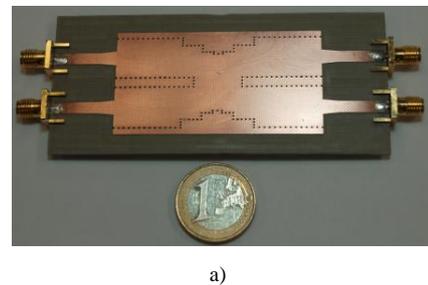


Fig. 8. Prototipos de acopladores direccionales a) en banda Ku , b) en banda K .

Los acopladores direccionales son generalmente utilizados en los puentes de medida y también se encuentran a menudo

como elementos constitutivos de otros circuitos más complejos de uso común como por ejemplo en sistemas de radar. En la Fig. 8 se presentan dos prototipos de acopladores en las bandas Ku y K [20].

C. Antenas de Ranuras

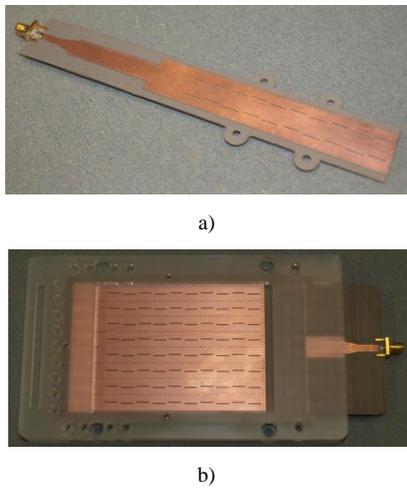


Fig. 9. Arreglos de antenas de ranuras a) 2x10, b) 8x10.

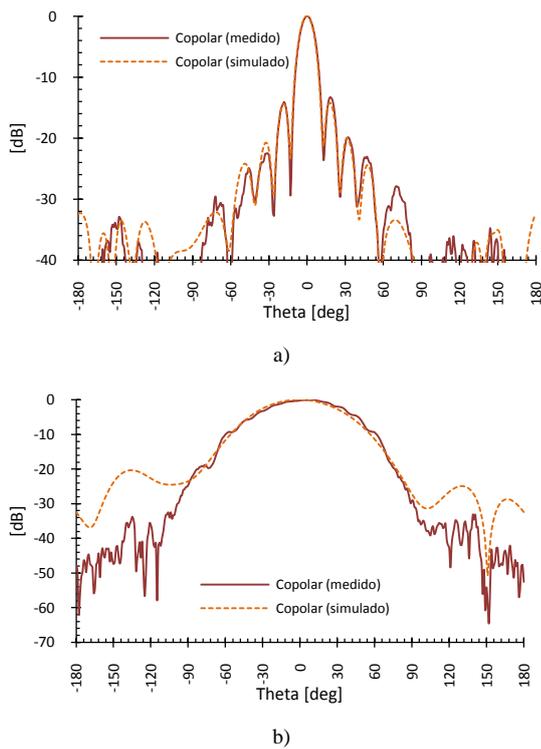


Fig. 10. Diagramas de radiación para un arreglo 2x10 a) en plano H, b) plano E

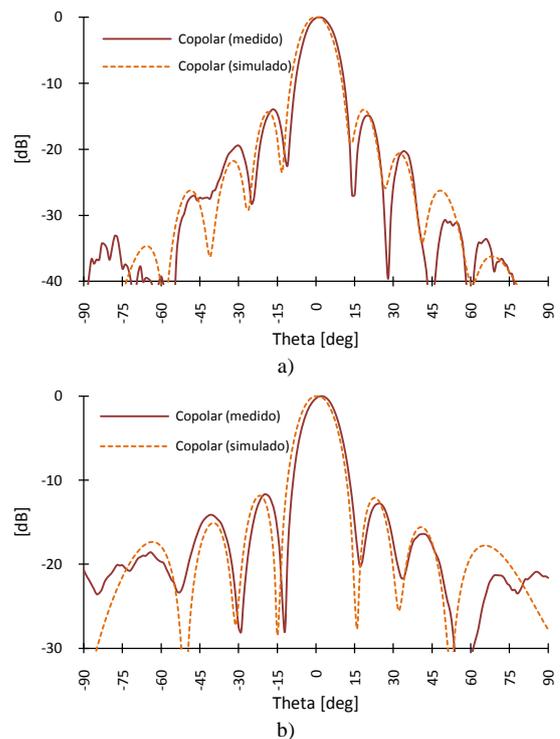


Fig. 11. Diagramas de radiación para un arreglo 8x10 a) en plano H, b) plano E

Existen diversos tipos de antenas y pueden ser clasificadas considerando su forma, ganancia, diagrama de radiación, etc.; por la simplicidad geométrica, eficiencia y peso ligero las antenas de guías de onda ranuradas son ampliamente usadas en muchas aplicaciones militares, radar, naves espaciales y comunicaciones. En la Fig. 9 se presentan dos prototipos de antenas usando SIW [21] [22]. En la Fig. 10 y Fig. 11 se presentan los diagramas de radiación tanto en plano H como en plano E para arreglos de antenas de 2x10 y 8x10 elementos respectivamente.

V. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha realizado una breve revisión de la nueva tecnología SIW y su utilidad en el desarrollo de dispositivos para frecuencias de microondas y ondas milimétricas. Los resultados obtenidos para los prototipos mencionados en este resumen permiten concluir que la tecnología SIW presenta grandes ventajas como facilidad de construcción y tamaños compactos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología (SENACYT) de Ecuador y el Ministerio de Educación y Ciencia de España bajo el proyecto TEC2007-6698-C04-03.

REFERENCIAS

INFORMACIÓN DE LOS AUTORES

- [1] W. Ke, D. Deslandes, and Y. Cassivi, "- The substrate integrated circuits - a new concept for high-frequency electronics and optoelectronics," *Telecommunications in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Service, TELSIKS. 6th Int. Conf.*, vol. - 1, pp. - III-P-X vol.1, 2003.
- [2] D. Deslandes and K. Wu, "- Integrated microstrip and rectangular waveguide in planar form," *IEEE Microwave Wireless Compon. Lett.*, vol. - 11, pp. - 70, 2001.
- [3] D. Deslandes and W. Ke, "- Single-substrate integration technique of planar circuits and waveguide filters," vol. - 51, pp. - 596, 2003.
- [4] A. Ali, F. Coccetti, H. Aubert, and N. J. G. Fonseca, "- Novel multi-layer SIW broadband coupler for Nolen matrix design in Ku band," vol. -, pp. - 4, 2008.
- [5] Y. Cassivi and K. Wu, "- Low cost microwave oscillator using substrate integrated waveguide cavity," vol. - 13, pp. - 50, 2003.
- [6] H. Zhang-Cheng, H. Wei, C. Ji-Xin, C. Xiao-Ping, and W. Ke, "- Compact super-wide bandpass substrate integrated waveguide (SIW) filters," vol. - 53, pp. - 2977, 2005.
- [7] H. ZhangCheng, H. Wei, L. Hao, Z. Hua, and W. Ke, "- A broadband substrate integrated waveguide (SIW) filter," vol. - 1B, pp. - 601 vol. 1B, 2005.
- [8] H. ZhargCheng, H. Wei, L. Hao, Z. Hua, and W. Ke, "- Multiway broadband substrate integrated waveguide (SIW) power divider," vol. - 1A, pp. - 642 Vol. 1A, 2005.
- [9] Y. Songnan and A. E. Fathy, "- Synthesis of an Arbitrary Power Split Ratio Divider Using Substrate Integrated Waveguides," vol. -, pp. - 430, 2007.
- [10] T. Ke-jun and X.-z. Luan, "- Compact directional coupler based on substrate integrated waveguide," vol. -, pp. - 4, 2009.
- [11] L. Bing, H. Wei, H. Zhang Cheng, and W. Ke, "- Substrate integrated waveguide 180-degree narrow-wall directional coupler," *Asia-Pacific Conference Microwave Conference Proceedings APCM 2005*, vol. - 1, pp. -, 2005.
- [12] Y. Li, H. Wei, H. Guang, C. Jixin, W. Ke, and C. Tie Jun, "- Simulation and experiment on SIW slot array antennas," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. - 14, pp. - 448, 2004.
- [13] L. Bing, H. Wei, K. Zhenqi, Y. Xiaoxin, L. Guoqing, C. Jixin, T. Hongjun, and W. Ke, "- Substrate Integrated Waveguide (SIW) Monopulse Slot Antenna Array," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. - 57, pp. - 279, 2009.
- [14] Y. Cassivi, L. Perregrini, P. Arcioni, M. Bressan, K. Wu, and G. Conciauro, "- Dispersion characteristics of substrate integrated rectangular waveguide," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. - 12, pp. - 335, 2002.
- [15] D. Deslandes and K. Wu, "- Design Consideration and Performance Analysis of Substrate Integrated Waveguide Components," vol. -, pp. - 4, 2002.
- [16] X. Feng and W. Ke, "- Guided-wave and leakage characteristics of substrate integrated waveguide," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. - 53, pp. - 73, 2005.
- [17] X. Feng, W. Ke, and H. Wei, "- Domain decomposition FDTD algorithm combined with numerical TL calibration technique and its application in parameter extraction of substrate integrated circuits," vol. - 54, pp. - 338, 2006.
- [18] E. Arnieri and G. Amendola, "- Analysis of Substrate Integrated Waveguide Structures Based on the Parallel-Plate Waveguide Green's Function," vol. - 56, pp. - 1623, 2008.
- [19] D. Deslandes and W. Ke, "- Accurate modeling, wave mechanisms, and design considerations of a substrate integrated waveguide," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. - 54, pp. - 2526, 2006.
- [20] L. F. Carrera-Suárez, D. V. Navarro-Méndez, M. Baquero-Escudero, and V. M. Rodrigo-Peñarrocha, "Compact Substrate Integrated Waveguide Directional Couplers in Ku and K Bands," *EuMW 2010*, 26 September - 1 October 2010.
- [21] D. V. Navarro-Méndez, L. F. Carrera-Suárez, M. Baquero-Escudero, and V. M. Rodrigo-Peñarrocha, "Two Layer Slot-Antenna Array in SIW Technology," *EuMW 2010*, 26 September - 1 October 2010.
- [22] D. V. Navarro, L. F. Carrera, and M. Baquero, "A SIW Slot Array Antenna in Ku Band " *EUCAP 2010*, 12-16 Abril 2010.

Diana Verónica Navarro Méndez Ingeniera en Electrónica y Telecomunicaciones por la Escuela Politécnica Nacional (Quito-Ecuador), Máster en Tecnologías, Sistemas y Redes de Información por la Universidad Politécnica de Valencia (España). Asistente de cátedra en el Departamento de Electrónica, Telecomunicaciones y Redes de Información de la Escuela Politécnica Nacional (2003-2008). Becaria de la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología (SENACYT- Ecuador) (2008-2010).

Luis Fernando Carrera Suárez Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones por la Escuela Politécnica Nacional (Quito-Ecuador), Diplomado Superior en Plataformas Operativas para Internetworking por la Escuela Politécnica Nacional (Quito-Ecuador) y Máster en Tecnologías, Sistemas y Redes de Información por la Universidad Politécnica de Valencia (España). Fue ayudante de laboratorio en el Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones de la Escuela Politécnica Nacional (1997-2001). Actualmente es Profesor Agregado en el Departamento de Electrónica, Telecomunicaciones y Redes de Información de la Escuela Politécnica Nacional. Recibió una beca de la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología (SENACYT- Ecuador) en el 2008 para realizar estudios de posgrado.

Mariano Baquero Escudero Ingeniero de Telecomunicación por la Universidad Politécnica de Cataluña y Doctor Ingeniero de Telecomunicación por la Universidad Politécnica de Valencia. Actualmente es Catedrático de Universidad en el área de Teoría de la Señal y Comunicaciones y se encuentra desarrollando su actividad docente e investigadora en el departamento de Comunicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia. Desde el curso 1989/90 su actividad docente e investigadora se ha centrado en temas de electromagnetismo como radiocomunicaciones, sistemas radiantes o microondas. Fue director en funciones de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación en el curso 1996/97 y subdirector de dicho centro durante dos cursos académicos. Recibió una beca postdoctoral del programa Human Capital Mobility de la Unión Europea para una estancia en el Joint Research Centre de Ispra, Italia. Ha participado como evaluador en varios procesos de calidad del primer y segundo planes nacionales de calidad. En la actualidad se encuentra desarrollando su actividad investigadora dentro del grupo de investigación de Radiación Electromagnética de la Universidad Politécnica de Valencia.