

# Híbrido 180° de Banda Ancha en Tecnología Microstrip a 31 GHz.

Jaime Cagigas<sup>(1)</sup>, Enrique Villa<sup>(1)</sup>, Eduardo Artal<sup>(1)</sup>, Roger J. Hoyland<sup>(2)</sup>.  
cagigasij@unican.es, villae@unican.es, artale@unican.es, rjh@iac.es.

<sup>(1)</sup>Dpto. de Ingeniería de Comunicaciones. Universidad de Cantabria.

Plaza de la Ciencia s/n. 39005 Santander. Cantabria

<sup>(2)</sup>Instituto de Astrofísica de Canarias.

C/ Vía Láctea s/n 38200 La Laguna. Tenerife.

**Abstract-** A broadband modified rat-race hybrid with around 35% bandwidth is presented in this paper. This hybrid was developed from 26 to 36 GHz bandwidth (centre frequency 31 GHz) using microstrip technology on Alumina substrate. The design uses CPWG-Microstrip transitions to measure the response of the circuit in a coplanar probes station. Measurements across the frequency bandwidth show a maximum amplitude imbalance of 0.5 dB, the phase variation is  $\pm 5^\circ$ , the isolation is better than 25 dB and the return loss is greater than 10 dB. Moreover, the circuit is planar, easy to design and consists of a single layer, without requirements of metallic holes and bonding wires, so it is also a low-cost circuit.

## I. INTRODUCCIÓN

En muchas aplicaciones de microondas resulta imprescindible dividir la potencia de entrada entre varias ramas (1)-(5), o bien combinar potencias procedentes de distintos orígenes (6)-(7). El acoplador híbrido 3 dB en configuración rat-race (180°), tal y como se muestra en la Fig. 1, es un circuito con una amplia aplicación para sistemas en el campo de las microondas, como combinador de potencia en fase o contrafase de forma equilibrada entre sus ramas, tales como amplificadores, acopladores, mezcladores, desfasadores, multiplicadores de frecuencia, y otros.

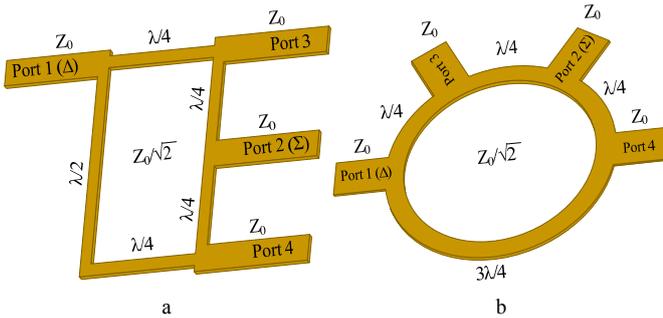


Fig. 1. Híbrido configuración rat-race, a.- rectangular y b.- anillo.

Un híbrido 180° usado en función de divisor de potencia, tiene dos posibles configuraciones, dependiendo de la entrada que se emplee:

- Entrando por el Puerto 1:

$$Output 3 = 1/\sqrt{2} \cdot (Input 1_{\angle -90^\circ}) \quad (1)$$

$$Output 4 = 1/\sqrt{2} \cdot (Input 1_{\angle -270^\circ}) \quad (2)$$

$$Output 2 = Isolated Port \quad (3)$$

- Entrando por el Puerto 2:

$$Output 3 = Output 4 = 1/\sqrt{2} \cdot (Input 2_{\angle -90^\circ}) \quad (4)$$

$$Output 1 = Isolated Port \quad (5)$$

Mientras que usado en función de combinador:

$$\Delta = 1/\sqrt{2} \cdot (Input 3_{\angle -90^\circ} + Input 4_{\angle -270^\circ}) \quad (6)$$

$$\Sigma = 1/\sqrt{2} \cdot (Input 3_{\angle -90^\circ} + Input 4_{\angle -90^\circ}) \quad (7)$$

Existen varias tecnologías para la fabricación de híbridos 180°. En el caso de la tecnología sobre sustrato, se puede emplear la tecnología uniplanar, donde las líneas de transmisión más comúnmente utilizadas son las líneas en guía de onda coplanar (*Coplanar Waveguide*, CPW), líneas coplanares (*Coplanar Slotline*, CPS) y *slotline*, o en tecnología microstrip.

Muchas han sido las técnicas empleadas para mejorar el ancho de banda de un híbrido en configuración rat-race: añadir un quinto puerto [1], usando cruce de caminos en tecnología uniplanar [2]-[4], con inversores de fase en líneas coplanares [5] o añadiendo estructuras al circuito en el plano vertical [6]. Pero todos estos métodos son complicados en cuanto a su diseño y construcción.

En este caso la tecnología empleada es una técnica de fácil fabricación y bajo coste como la microstrip. La principal restricción de estos circuitos en tecnología microstrip era su limitación en banda a frecuencias elevadas, debido a la dependencia de los parámetros físicos del sustrato con respecto a la frecuencia, lo que hace que la impedancia de las líneas no sea constante con la misma. Puesto que su ancho de banda se encontraba entre el 20-25%, se consideraban circuitos de banda estrecha. Pero la principal ventaja de emplear líneas microstrip es su fácil diseño, puesto que la estructura puede ser optimizada con un bajo coste computacional. En este artículo se presenta una estructura microstrip, con un ancho de banda del 30-40 % centrado a la frecuencia de 31 GHz.

El diseño y estudio de este híbrido, ha sido planteado en el desarrollo de la segunda fase del proyecto QUIJOTE (Q-U-I Joint TEnerife), en el cual se ha visto modificado el esquema original en busca de un objetivo más ambicioso, que consiste en tener un mayor número de canales y de esta

forma una mayor eficacia o resolución por píxel [7], aprovechando la posibilidad del híbrido  $180^\circ$  para trabajar como combinador de señales.

## II. CONFIGURACIÓN DEL CIRCUITO PROPUESTO

Como se comentó en el apartado anterior, el acoplador híbrido es un componente indicado para un gran número de aplicaciones. Una configuración típica del híbrido  $180^\circ$  es la configuración rat-race, en la cual el dispositivo consta de tres tramos de  $\lambda/4$  y uno de  $3\lambda/4$  de impedancia  $Z_0/\sqrt{2}$ , donde  $\lambda$  es la longitud de onda a la frecuencia central, tal y como se muestra en la Fig. 1.

Debido a las limitaciones que esta configuración conlleva, como se dijo previamente, se han intentado diferentes técnicas para mejorar el ancho de banda, pero estas son aparatosas, puesto que están basadas en tecnologías más sofisticadas que emplean agujeros metalizados, hilos de bonding, estructuras verticales microstrip, etc., todo esto se traduce en mayor complejidad y coste tanto en simulación como en fabricación. Por lo que se propone realizar una técnica relativamente más sencilla, que consiste en un híbrido en configuración rat-race de tres secciones, el cual es resultado de concatenar tres híbridos en configuración rat-race, tal y como se muestra en la Fig. 2, de forma que es posible incrementar el ancho de banda, utilizando métodos similares a los empleados en [8] y [9].

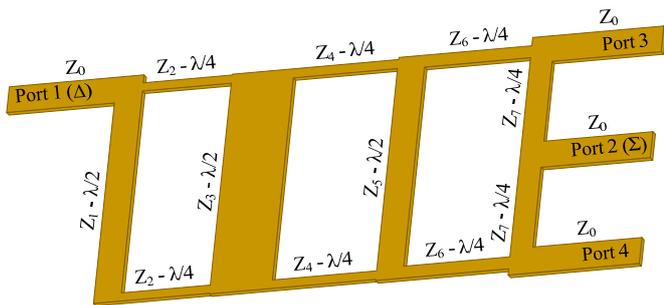


Fig. 2. Híbrido configuración rat-race 3 secciones.

Este híbrido de tres secciones está compuesto por cuatro tramos verticales de longitud  $\lambda/2$  y seis tramos horizontales de longitud  $\lambda/4$ , con distinta impedancia característica para cada línea  $Z_i$  ( $i = 1, 2, \dots, 7$ ), las cuales son optimizadas para tener una buena respuesta en banda del circuito. Las líneas de acceso serán líneas de impedancia característica  $Z_0$ .

El circuito se ha diseñado sobre un sustrato de Alúmina, cuyas características pueden verse en la Fig. 3.

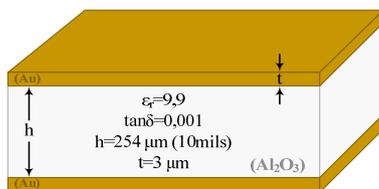


Fig. 3. Sustrato de Alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ).

El circuito debe asegurar un correcto funcionamiento a 31 GHz para un rango superior al 30%, lo que corresponde a un alto porcentaje en ancho de banda. Las impedancias requeridas para lograr una buena respuesta en banda tanto en adaptación como en el equilibrio de las ramas, sobre un 35 %

(marcado por un desequilibrio máximo en magnitud de  $\pm 0,5$  dB y  $\pm 5^\circ$  en fase) son:  $Z_1 = 55,36 \Omega$ ,  $Z_2 = 84,91 \Omega$ ,  $Z_3 = 36,74 \Omega$ ,  $Z_4 = 77,87 \Omega$ ,  $Z_5 = 55,98 \Omega$ ,  $Z_6 = 70,03 \Omega$ ,  $Z_7 = 60,87 \Omega$  y  $Z_0 = 50 \Omega$ .

## III. DISEÑO Y SIMULACIÓN

Para el diseño y simulación del circuito se han utilizado las aplicaciones comerciales existentes dentro del programa Advanced Design System® de Agilent Technologies.

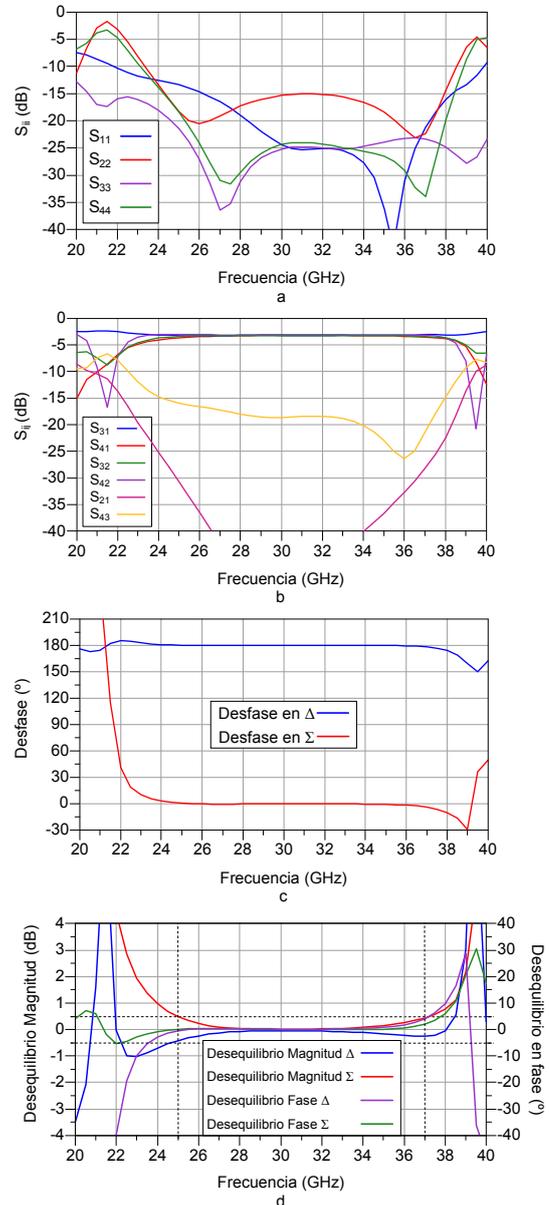


Fig. 4. Resultados de simulación a.- Pérdidas de retorno, b.- Pérdidas de inserción y aislamiento, c.- Diferencia de fase con salida en  $\Sigma$  y con salida en  $\Delta$  y d.- Desequilibrio en magnitud y fase.

Para la obtención de los parámetros característicos de las diferentes líneas,  $Z_i$ , se ha empleado la herramienta de optimización que permite manejar este programa en modo esquema, las líneas han sido optimizadas tanto en anchura como en longitud, debido a que las longitudes de los tramos  $\lambda/2$  son parámetros físicos que están interrelacionados por motivos mecánicos de fabricación. En este proceso de optimización se han tenido en cuenta factores limitadores, como la realización de los clichés o fotolitos sobre película o

soporte transparente, el proceso de fabricación mediante atacado o grabado químico, y el método que se empleará en la medida. La fabricación de anchuras de líneas muy pequeñas, puede hacer que el proceso de grabado en el sustrato sea muy costoso o imposible de realizar, por lo que se ha de llegar a un compromiso en cuanto a la menor anchura de línea que estará como límite inferior en el rango de optimización.

En la Fig. 4 se muestra el resultado de la simulación electromagnética del circuito, obtenido previamente mediante optimización con el esquema electrónico. El circuito el cual es similar al mostrado en la Fig. 2.

A partir de los resultados obtenidos en la simulación se observa que para la banda de 25 – 37 GHz, el circuito cumple con un desequilibrio entre ramas máximo de  $\pm 0,5$  dB en magnitud y  $\pm 5^\circ$  en fase. De esta forma se tiene un ancho de banda de 37,81 %.

#### IV. FABRICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN

La caracterización del circuito se realiza mediante la utilización de sondas coplanares, por lo que es necesario proveer al circuito de los accesos adecuados. Por este motivo se utilizan transiciones CPWG-Microstrip en cada uno de los puertos del híbrido. Estas transiciones emplean planos de masa basados en cortocircuitos virtuales, realizados mediante stubs [10]. Se recurre a este tipo de accesos debido a que no se dispone de la posibilidad de realizar agujeros metalizados en el sustrato de Alúmina. Estas transiciones son similares a la que se muestra en la Fig. 5.



Fig. 5. Transición CPWG-Microstrip.

De esta forma se obtiene el circuito que se muestra en la Fig. 6, que es el circuito que finalmente se ha fabricado.



Fig. 6. Híbrido 180° fabricado en Alúmina, marcado en rojo se encuentran los planos de calibración en la medida.

Para medir el dispositivo sobre línea microstrip con las transiciones descritas, se diseñó un kit de calibración TRL, con las pautas de definición del mismo. Una vez definidos los parámetros del kit, se puede sustraer el efecto de las transiciones, obteniendo directamente los parámetros de Scattering del dispositivo bajo medida.



Fig. 7. Calibración en sondas con el kit KTRL.

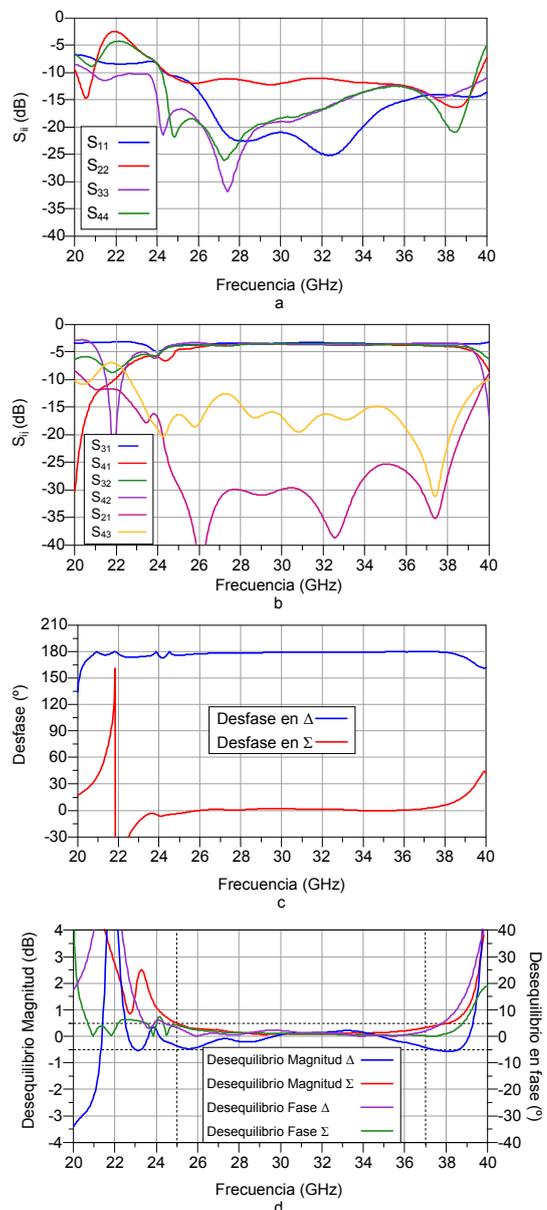


Fig. 8. Resultados de la medida a.- Pérdidas de retorno, b.- Pérdidas de inserción y aislamiento, c.- Diferencia de fase con salida en  $\Sigma$  y con salida en  $\Delta$  y d.- Desequilibrio en magnitud y fase.

El kit utilizado se basa en la calibración TRL (Thru-Reflect-Line). A este kit se le ha denominado KTRL y cubre la banda de 20 a 40 GHz, es decir incluye toda la banda Ka. En la Fig. 7, pueden verse los estándares incluidos en el kit, que se han utilizado para conocer la respuesta y funcionamiento del híbrido.

Una vez calibrado el sistema de medida con el kit anteriormente mencionado, se consigue la respuesta en Scattering del híbrido 180° diseñado, sin tener en cuenta el efecto introducido por las transiciones CPWG-Microstrip introducidas en el diseño para poder realizar la medida. De esta forma se obtienen los resultados que se muestran en la Fig. 8.

Se observa que los resultados de medida se ajustan bastante bien a los valores esperados. Una vez se ha realizado la optimización del circuito para los diferentes tramos de líneas microstrip, se ha obtenido un ancho de banda de funcionamiento de aproximadamente 12 GHz (25-37 GHz), con una buena respuesta tanto en amplitud como en fase. Presentando la respuesta deseada en la banda de interés que es de 26 a 36 GHz, rango de frecuencias entre los que se van a emplear el dispositivo.

#### V. CONCLUSIONES

Se ha presentado el diseño, simulación y caracterización de un híbrido en tecnología microstrip en la banda de ondas milimétricas. El circuito que se ha diseñado es sencillo tanto en fabricación, como en diseño al constar tan sólo de una capa y además en tecnología microstrip. Se ha realizado su caracterización mediante la medida en estación de sondas, empleando una transición CPWG-Microstrip, con la que se diseñó un kit de calibración TRL en el mismo sustrato, de forma que se obtienen solamente los parámetros de scattering del dispositivo deseado. El circuito presenta una banda de funcionamiento de 12 GHz (25-37 GHz) fijando como límites un error en fase y oposición de fase de  $\pm 5^\circ$ . Las pérdidas de inserción son de alrededor de 3,6 dB  $\pm$  0,5 dB, incluyendo los 3 dB de acoplador. El circuito cumple con los requerimientos de funcionamiento deseados en la banda.

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado gracias a la colaboración y financiación del Plan Nacional de I+D+i del Ministerio de Ciencia e Innovación, mediante el proyecto del Programa Nacional de Astronomía y Astrofísica con referencia AYA2007-68058-C03-03.

La fabricación y montaje de los circuitos han posibles gracias a la participación de Ana R. Pérez y Eva Cuerno.

#### REFERENCIAS

- [1] G. F. Mikucki and A. K. Agrawal, "A broad-band printed circuit hybrid ring power divider," IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. MTT-37, no. 1, pp. 112–117, Jan. 1989.
- [2] K. S. Ang, Y. C. Leong, and C. H. Lee, "A new class of multisection 180 hybrids based on cascaded hybrid-ring couplers," IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. 50, no. 9, pp. 2147–2152, Sep. 2002.
- [3] M.-H. Murgulescu, E. Moisan, P. Legaud, E. Penard, and I. Zaquine, "New wideband,  $0.67\lambda_g$  circumference 180° hybrid ring coupler," Electron. Lett. vol. 30, no. 4, pp. 299–300, Feb. 1994.
- [4] L. K. Yeung and Y. E. Wang, "A novel 180° hybrid using broadside coupled asymmetric coplanar strip lines," IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. 55, no. 12, pp. 2625–2630, Dec. 2007.
- [5] T. T. Mo, Q. Xue, and C. H. Chan, "A broadband compact microstrip rat-race hybrid using a novel CPW inverter," IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. 55, no. 1, pp. 161–167, Jan. 2007.
- [6] C.-H. Chi and C.-Y. Chang, "A new class of wideband multisection 180 hybrid rings using vertically installed planar coupler," IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. 54, no. 6, pp. 2478–2486, Jun. 2006.
- [7] QUIJOTE internal communication
- [8] Muraguchi, T. Yukitake, and Y. Naito, "Optimum design of 3 dB branch-line couplers using microstrip lines," IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. MTT-31, no. 8, pp. 674–678, Aug. 1983.
- [9] Hoyland, R.J.: "A new MMIC, wideband 180° phase switch design for millimeter wave applications". Proc. 3rd ESA Workshop on Millimeter Wave Technology and Applications, Espoo, Finland, pp. 305–310, May 2003.
- [10] E. Villa, B. Aja, L. de la Fuente, E. Artal: "Método de medida de dispositivos para banda milimétrica usando transiciones coplanares de banda ancha". XXIII Simposium Nacional de la Unión Científica Internacional de Radio (URSI 2008), Madrid, Septiembre 2008.