

Guía semi-modo en tecnología Gap Waveguide para prototipado rápido de dispositivos

Miguel Ferrando-Rocher, Alejandro Valero-Nogueira, Jose I. Herranz-Herruzo

Antennas and Propagation Laboratory (APL) of the Institute of Telecommunications and Multimedia Applications (iTEAM)
Universitat Politècnica de València, Spain, miguel.ferrando@ua.es

Abstract—In this communication, a half-mode waveguide based on Gap Waveguide technology for rapid prototyping is presented. A power divider is designed for demonstration purposes. The power divider is constructed from two non-contacting metal pieces. The horizontally-polarized power divider is housed in the bottom piece. The height of the groove is about half that which would be required to propagate the fundamental mode. The top cover is a uniform pinned surface that acts as a High Impedance Surface (HIS) over the groove of the bottom plate. The simulated reflection coefficient shows values of less than -15 dB in the bandwidth of interest (28 to 31 GHz). This design stands out for its ease of fabrication and opens a horizon for cheaper and more robust GW designs for mass production.

Keywords—Gap Waveguide, Divisor de potencia, Guía semi-modo, Banda Ka, Fabricación.

I. INTRODUCTION

Existe una gran demanda de antenas y dispositivos en banda Ku y Ka para los sistemas de satélites de alta capacidad (*High Throughput Satellites* o HTS por su acrónimo en inglés) y las nuevas constelaciones de satélites LEO. En este contexto suelen ser requeridos dispositivos de reducidas dimensiones y bajas pérdidas a frecuencias de milimétricas. En busca de nuevas soluciones que favorezcan una mayor facilidad de integración, escalabilidad y robustez de estos dispositivos, se presenta la posibilidad de tener guías más estrechas, ajustadas a medio modo TE_{10} de la guía rectangular. Estas nuevas guías son completamente equivalentes a la guía completa, simplemente basta con sustituir media guía de onda por una superficie de alta impedancia que se comporta como un plano conductor magnético perfecto. La superficie de alta impedancia está formada por un metal conductor perfecto y un conjunto de pines de altura aproximada de un cuarto de longitud de onda. Como punto de partida se utiliza la tecnología Gap Waveguide [1] (GW) que ha demostrado ser una técnica apropiada en la banda de milimétricas para ensamblar todo tipo de dispositivos, desde filtros [2], [3] o transiciones [4], hasta antenas multibanda [5], [6].

Típicamente en GW, el surco que constituye la guía de ondas está embebido en la propia cama de pines, todo en la misma pieza, como se observa en esquema central de la Fig. 1. De este modo, cualquier codo, curva, transición que tenga el surco afectará a los pines colidantes, haciéndolos mas estrechos, finos o frágiles. Otra opción es reconfigurar la periodicidad de los pines, o su anchura para evitar esos problemas de fabricación, pero estos reajustes no son inmediatos y sirven para soluciones particulares. La solución alternativa que

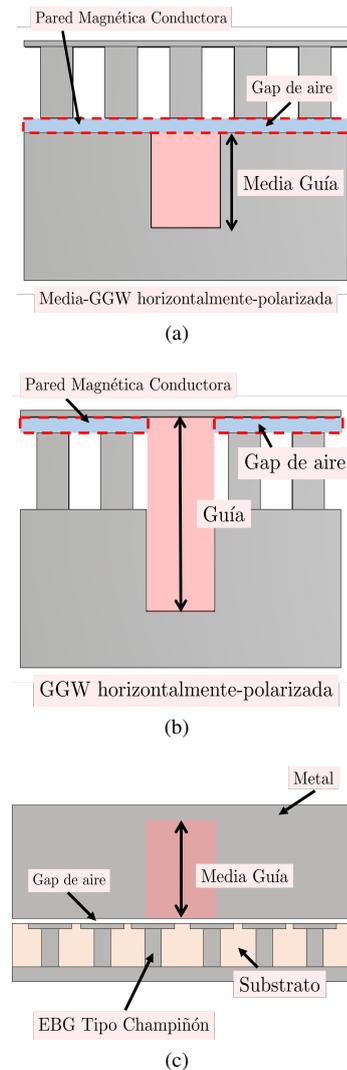


Fig. 1: Diferentes topologías de Groove Gap Waveguides (GGW) horizontalmente polarizadas. (a) Media-GGW con pines; (b) GGW convencional; (c) Media-GGW con champiñones.

proponemos en esta comunicación es mecanizar de forma independiente en piezas separadas la guía de onda y la superficie de alta impedancia creada a partir, por ejemplo, de una cama de pines (Fig. 1a) o bien de champiñones metálicos (Fig. 1c). Nótese que esta última da lugar a una guía de bastante menor

perfil. En ambas estructuras se mantiene igualmente la ventaja de evitar la necesidad de contacto eléctrico entre las piezas superior e inferior. La gran ventaja de este enfoque es que la mecanización se simplifica considerablemente respecto a piezas donde guías, cavidades, codos, transiciones, etc, se alojan junto a los pines. Con estas propuestas, la fabricación de las piezas se facilita ya que por un lado basta con hacer el surco sobre una plancha metálica y por otro la pieza puede ser estándar y reutilizarse en otros circuitos.

En el pasado se han presentado interesantes trabajos teóricos abordando esta configuración de guía [7], [8], pero hasta la fecha, al menos desde el conocimiento de estos autores, no se han estudiado sus posibilidades reales en dispositivos de microondas o milimétricas. En este trabajo se demuestra la viabilidad del concepto mediante un divisor de potencia en el cual se ha optado, para esta primera prueba de concepto, por usar la estructura de la Fig. 1a. En la Sección II se presentan unos criterios de diseño del divisor, para posteriormente presentar en la Sección III y IV, los resultados preliminares y las conclusiones, respectivamente.

II. CRITERIOS DE DISEÑO

A. Dispersión en la guía con semi-modo TE_{10}

En esta sección vamos a detallar lo que, bajo nuestra consideración, puede ser una guía útil con criterios de diseño para trabajar con un el semi- modo TE_{10} . De aquí en adelante usaremos por simplicidad sus siglas en inglés, HM-GGW (Half-Mode Groove Gap Waveguide). En primer lugar se analiza el diagrama de dispersión de una HM-GGW. Para ello, se parte de los siguientes datos para el diseño de la guía: frecuencia de central (f_0) de 30 GHz y una frecuencia de corte (f_c) de 22 GHz. Con estos criterios, se calcula la altura de los pines, que debe ser alrededor de $\lambda/4$ a la frecuencia de funcionamiento, es decir, 2.5 mm, si bien es un parámetro que puede ser ligeramente sintonizable. La altura de la guía completa se calcula a partir de la frecuencia de corte elegida, resultando 7 mm. Como se vio en la Fig. 1a, con la HM-GGW, se trabaja con media altura de guía, en este caso 3.5 mm. Estos criterios son por supuesto válidos para cualquier frecuencia a la que se desee trabajar, bastaría con escalar los valores. Una vez obtenida las dimensiones de las HM-GGW (Fig.2) se debe diseñar la pared magnética que se colocará sobre ella. Esta pared se sintetiza mediante los pines cuadrados característicos de la GW.

A continuación, se define el gap de aire entre los pines y la pieza inferior, que típicamente suele oscilar entre $\lambda/20$ y $\lambda/50$. Huecos de aire mayores son válidos y pueden usarse sin riesgo de fuga de campos siempre y cuando sean menores de $\lambda/4$. Con estas reglas de diseño se obtiene el diagrama de dispersión de esta guía, y se muestra en la Fig. 3. Se observa cómo aparecen una serie de modos inferiores y superiores, así como una curva de dispersión típica del modo de interés a lo largo de la banda de trabajo.

B. Divisor de potencia

El divisor de potencia diseñado es equivalente a cortar en dos partes un divisor plano-E en guía de onda. Por simplicidad de diseño, el divisor tiene el mismo ancho y alto de surco que el indicado anteriormente. En la Fig. 4 se muestra

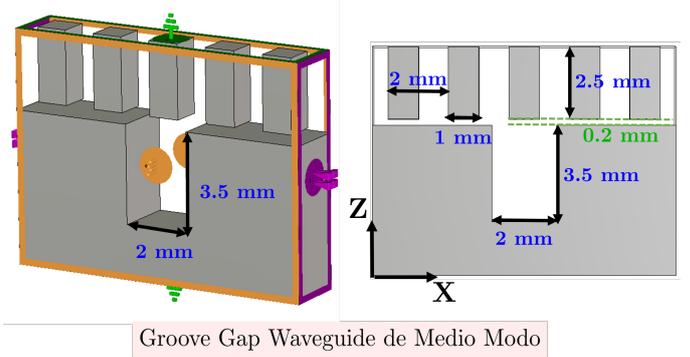


Fig. 2: Sección transversal de la guía para análisis del diagrama de dispersión. El contorno rosa indica aire (eje X), amarillo condiciones periódicas (eje Y) y verde una pared eléctrica (eje Z).

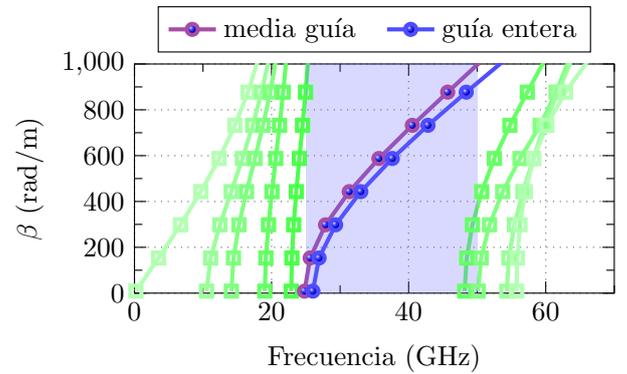


Fig. 3: Diagrama de dispersión de la guía de onda de semi modo TE_{10} usando tecnología Gap Waveguide.

una visión frontal y trasera de la pieza metálica, que tiene unas dimensiones totales de $50 \times 50 \times 7$ mm. Los puertos del divisor se ubican en la parte trasera y tienen las dimensiones ($7.112 \text{ mm} \times 3.556 \text{ mm}$) ya ajustadas para coincidir con la guía de onda estándar WR-28, para su posterior medición experimental. Evidentemente, este divisor no puede ser simulado con condición de pared eléctrica en su pared superior ya que la guía estaría al corte. Por ese motivo se simula, en primera instancia, con pared magnética perfecta para agilizar el proceso de diseño y optimización.

En el esquema de la izquierda de la Fig. 5 se muestran las condiciones de contorno usadas para el diseño del divisor. Se han usado paredes eléctricas (contorno verde) en todas las direcciones salvo en la pared superior que se hace mediante una pared magnética (contorno azul). En el esquema de la derecha de la misma figura se muestran las dimensiones del divisor ya optimizado. Con un saliente (o slit) centrado de ancho 5.7 mm, largo 1 mm y profundidad idéntica a la media guía, es suficiente para conseguir una buena adaptación, obteniendo un coeficiente de reflexión por debajo de -15 dB en un ancho de banda superior a un 10% (28 a 31 GHz). En la siguiente sección, donde se presentarán los resultados preliminares, se comparará esta curva con la que se consigue usando la cama de pines. Además, hay que tener en cuenta que

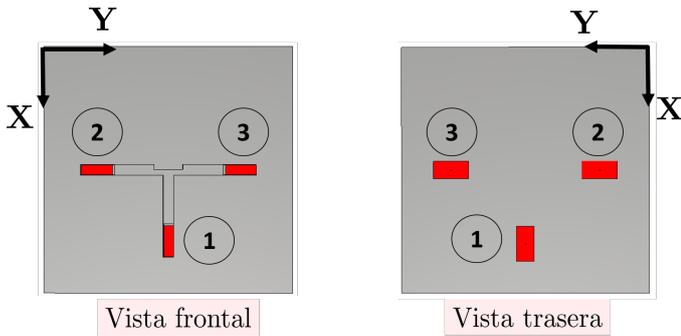


Fig. 4: Vista frontal y trasera del divisor de potencia de medio modo. Los tres puertos están conectados en la parte trasera de la pieza.

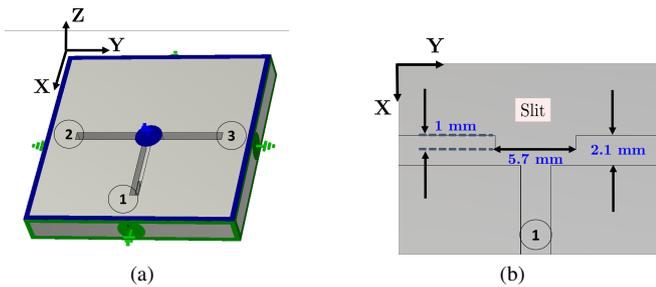


Fig. 5: Proceso de optimización del divisor: (a) Se observa la pared magnética y paredes eléctricas usadas como condición de contorno. (b) Se indican las dimensiones del slit obtenidas para una buena adaptación.

es necesaria una transición de WR-28 desde la parte trasera a la HM-GGW para conseguir esos buenos niveles de adaptación. Dicha transición se hace mediante tramos cortos de guía, para ajustar los anchos de la WR-28 (3.556 mm) al de la HM-GGW (2.1 mm), de manera escalonada.

El uso de la pared magnética es útil, y facilita una rápida optimización del diseño del divisor, pero no es una estructura físicamente fabricable. El siguiente paso es sustituir esa ficticia pared magnética por una estructura real, en este caso la cama de pines de la GW, que se comportará como una superficie de alta impedancia. Para mayor facilidad de fabricación, la cama de pines es uniforme, con todos sus elementos equiespaciados en las dimensiones (X e Y) y todos con la misma altura. Esto hecho no es trivial ya que además de favorecer la posterior fabricación, permite un mayor control de la estructura en caso de posibles desalineamientos entre la pieza superior e inferior.

III. RESULTADOS PRELIMINARES

En esta sección mostramos los resultados preliminares del divisor completo. La Fig. 6 muestra la cama de pines usada como tapa. Recordemos que para el cálculo del diagrama de dispersión los pines de la cama tenían una anchura de 1 mm, altura de 2.5 mm y periodo entre pines de 2 mm. Además, siempre hay un gap de aire de 0.2 mm entre la cama de pines superior y la pieza inferior. La equivalencia entre el plano magnético ideal y la cama de pines no es inmediata. No obstante, ajustando de la HM-GGW el ancho (2.1 mm) y alto (3.1 mm) y ligeramente

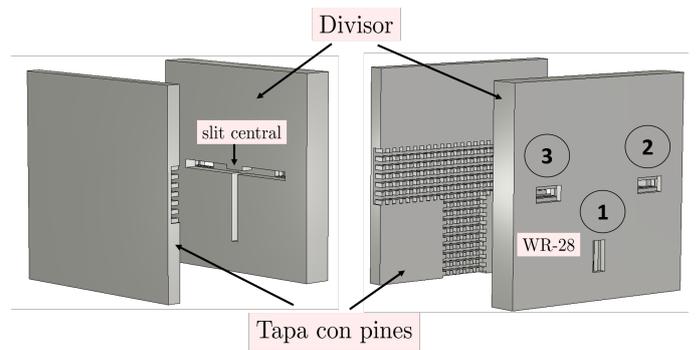


Fig. 6: Vista en perspectiva trasera y frontal del divisor completo, incluyendo la tapa con pines.

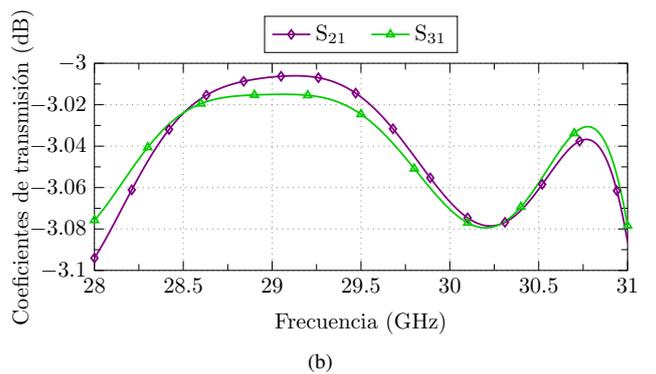
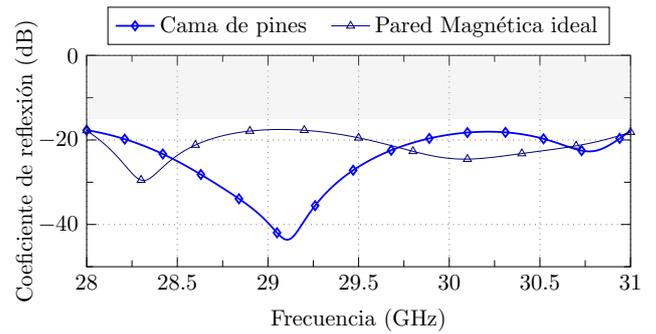


Fig. 7: (a) Comparativa de los coeficientes de reflexión usando la cama de pines como tapa del divisor y la pared magnética ideal. (b) Coeficientes de transmisión usando la cama de pines.

la altura de los pines (2.55 mm), es rápido ajustar la adaptación del divisor para obtener umbrales de adaptación similares. Se observa en la Fig. 7a el coeficiente de reflexión a la entrada del divisor que, al igual que el obtenido usando la pared magnética ideal, está por debajo de -15 dB. Es cierto que la concordancia entre ambas curvas no es idéntica, esto es lógico al no haber una equivalencia inmediata entre la pared ideal y el diseño real, pero sí se mantienen los mismos umbrales de adaptación. En cualquier caso, esta equivalencia necesita un estudio más profundo que será abordado en el futuro. Respecto a los coeficientes de transmisión (Fig. 7b) se observa que sus valores oscilan entre -3 dB y -3.1 dB. Finalmente, se incluye el valor absoluto del campo eléctrico a lo largo del divisor en la Fig. 8. Se observa que el campo está confinado a lo largo

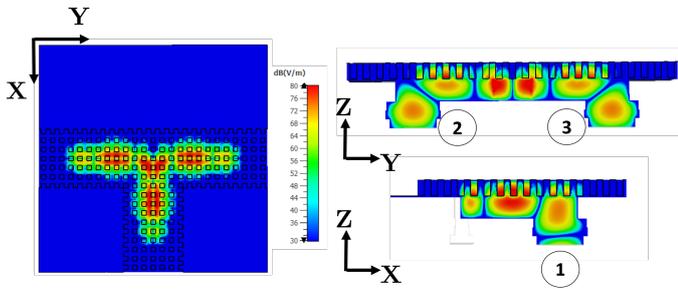


Fig. 8: Valor absoluto del campo eléctrico simulado en el divisor usando HM-GGW. Se muestra una vista frontal y los dos planos laterales.

del medio surco y apenas existe campo más allá del segundo pin respecto al eje central de la guía.

IV. CONCLUSIONES

Se ha presentado un novedoso divisor de potencia empleando guías Gap Waveguide de semi-modo TE_{10} para una fabricación de dispositivos más sencilla en esta tecnología. El divisor de potencia se construye a partir de dos piezas metálicas sin contacto. En la pieza inferior se aloja un divisor de potencia con polarización horizontal. Esta pieza es equivalente a la mitad un divisor plano-E en guía de onda. Para conseguir propagación, la cubierta superior es una superficie uniforme con pines que actúa como una superficie de alta impedancia sobre el semi-surco de la placa inferior. El coeficiente de reflexión simulado muestra valores inferiores a -15 dB en el ancho de banda de interés (28 a 31 GHz). Este diseño destaca por su facilidad de fabricación y abre un horizonte para diseños de GW más baratos y robustos para la producción en masa.

V. ACKNOWLEDGEMENTS

Este trabajo ha sido financiado por la Agencia Estatal de Investigación (AEI) con el proyecto PID2019-107688RB-C22.

REFERENCES

- [1] M. Ferrando-Rocher, A. Valero-Nogueira, J. I. Herranz-Herruzo, A. Berenguer, and B. Bernardo-Clemente, "Groove gap waveguides: A contactless solution for multilayer slotted-waveguide array antenna assembly," in *2016 10th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*. IEEE, 2016, pp. 1–4.
- [2] A. Berenguer, V. Fusco, M. Ferrando-Rocher, and V. E. Boria, "A fast analysis method for the groove gap waveguide using transmission line theory," in *2016 10th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*. IEEE, 2016, pp. 1–5.
- [3] M. Baquero-Escudero, A. Valero-Nogueira, M. Ferrando-Rocher, B. Bernardo-Clemente, and V. E. Boria-Esbert, "Compact combline filter embedded in a bed of nails," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 67, no. 4, pp. 1461–1471, 2019.
- [4] M. Ferrando-Rocher, D. Sánchez-Escuderos, J. I. Herranz-Herruzo, and A. Valero-Nogueira, "Design of broadband gap waveguide transitions for millimeter-wave antenna arrays," in *2018 48th European Microwave Conference (EuMC)*. IEEE, 2018, pp. 1521–1524.
- [5] M. Ferrando-Rocher, A. Valero-Nogueira, J. I. Herranz-Herruzo, and A. Berenguer, "V-band single-layer slot array fed by ridge gap waveguide," in *2016 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation (APSURSI)*. IEEE, 2016, pp. 389–390.

- [6] M. Ferrando-Rocher, J. I. Herranz-Herruzo, A. Valero-Nogueira, and B. Bernardo-Clemente, "Full-metal k-ka dual-band shared-aperture array antenna fed by combined ridge-groove gap waveguide," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 18, no. 7, pp. 1463–1467, 2019.
- [7] E. Tahanian and G. Dadashzadeh, "A novel gap-groove folded-waveguide slow-wave structure for g-band traveling-wave tube," *IEEE Transactions on Electron Devices*, vol. 63, no. 7, pp. 2912–2918, 2016.
- [8] A. Polemi, E. Rajo-Iglesias, and S. Maci, "Analytical dispersion characteristic of a gap-groove waveguide," *Progress In Electromagnetics Research*, vol. 18, pp. 55–72, 2011.