

Codos 90° Compactos Óptimamente Adaptados en Guía de Onda Rectangular

Alicia Casanueva¹, José A. Pereda¹, Ángel Mediavilla¹, Mohamed Chaibi² y Naima Amar²

¹Dpto. de Ingeniería de Comunicaciones (DCom), Universidad de Cantabria.

²Facultad de Ciencias, Universidad Abdelmalek Essaadi, Tetuan (Marruecos)

Abstract— H- and E-plane corners in rectangular waveguide are widely used in microwave systems. An important aspect in the design of these components is to maintain a specified return loss over a wide frequency band. Designs that are compact in size are also required to fulfill space and insertion loss restrictions. In this paper, two families of compact matched corners are considered: the multi-stepped and multi-mitered compact matched corners. Optimum physical dimensions that minimize return losses over the full frequency band are given for the first three members of each family, for the H- and E- plane cases. In addition, a yield analysis of the optimum structures is included. Results are obtained by using the electromagnetic commercial simulator μ Wave Wizard.

Keywords— H- and E-plane corners, rectangular waveguide, electromagnetic simulation, yield analysis

I. INTRODUCCIÓN

LOS codos en guía de onda rectangular, tanto plano-E como plano-H, son componentes muy utilizados en la mayoría de los sistemas de microondas. En su diseño, es importante conseguir una buena adaptación sobre un ancho de banda frecuencial grande; por ejemplo, en aplicaciones tales como subsistemas de conformación de haz y combinadores de potencia para HPAs de estaciones base, son deseables pérdidas de retorno inferiores a -35 dB en toda la banda mono-modo de la guía [1]. Además, por razones de economía de espacio y restricciones en las pérdidas de inserción, deben buscarse diseños de tamaño compacto.

En el pasado, el diseño de codos en guía de onda se basaba en la caracterización experimental de prototipos y el desarrollo de circuitos eléctricos equivalentes que modelaban su comportamiento electromagnético [2]. Durante la última década, se han publicado varias técnicas numéricas rigurosas para el análisis y optimización de codos compactos en guía de onda [3]-[6]. Sin embargo, en nuestra opinión, las mencionadas publicaciones están esencialmente orientadas a introducir la técnica numérica en sí misma, dejando en un segundo plano el estudio sistemático de los codos, tanto plano-E como plano-H.

El objetivo de este trabajo es contribuir a la concepción de estructuras en guía de onda rectangular para el diseño de codos compactos óptimos, tanto plano-E como plano-H. Con este propósito, comenzamos introduciendo una topología general de codo compacto, a partir de la cual estudiamos dos realizaciones particulares: los codos multi-escalonados y los multi-achaflanados. Cada una de estas realizaciones constituye, en realidad, una familia de

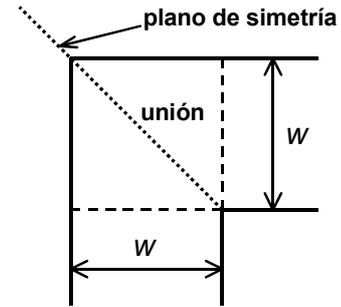


Fig. 1. Codo 90° no adaptado en guía de onda rectangular. Pare el caso plano-E $w \equiv b$ y para el plano-H $w \equiv a$.

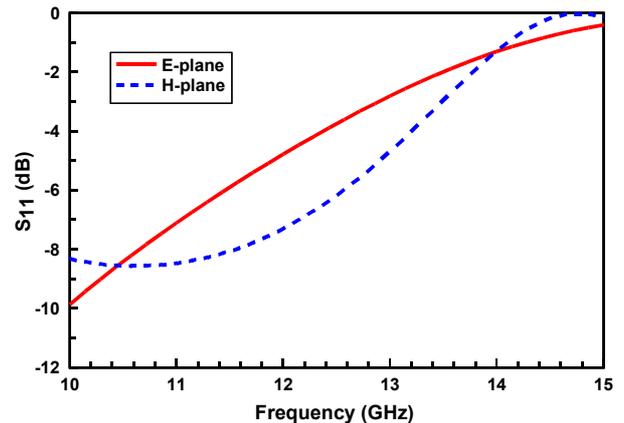


Fig. 2. Pérdidas de retorno para los casos plano-E y plano-H del codo de la fig. 1.

codos. En este trabajo estudiamos los tres primeros miembros de cada familia, dando dimensiones físicas óptimas tanto para el caso plano-E como para el plano-H. Además, se incluye un análisis de sensibilidad de los diseños óptimos. Los resultados se han obtenido mediante el simulador electromagnético comercial μ Wave Wizard [7].

II. ANÁLISIS Y OPTIMIZACIÓN

Como punto de partida, consideramos el análisis de codos plano-E y plano-H no adaptados, como los mostrados en la figura 1. Estas estructuras pueden considerarse constituidas por dos brazos ortogonales de igual tamaño, $a \times b$, conectados mediante una región de unión. Se trata, por

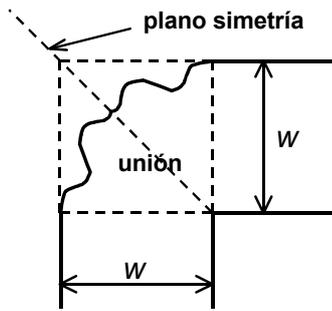


Fig. 3. Forma general de un codo 90° compacto adaptado.

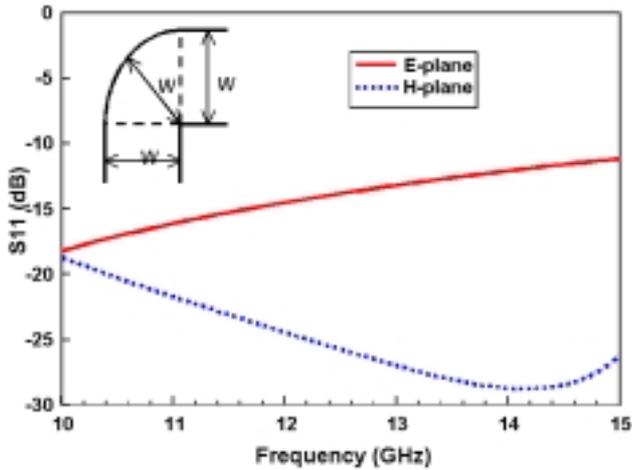


Fig. 4. Pérdidas de retorno para un codo redondeado como el mostrado en la figura.

tanto, de estructuras simétricas respecto al plano mostrado en la figura 1. En la figura 2 mostramos las pérdidas de retorno de codos no adaptados en guía de onda WR75 ($a = 19.05$ mm, $b = a/2$). Puede observarse cómo estos codos, además de estar fuertemente desadaptados, presentan una respuesta muy dispersiva.

Nuestro objetivo es, ahora, mejorar la adaptación de los codos de la figura 1, sin tener, para ello, que aumentar su tamaño. Con este propósito, consideramos la estructura general, de codo compacto, mostrada en la figura 3. La idea básica, a la hora de elegir esta estructura, es la de reducir el volumen de la región de unión proporcionando una transición suave entre los dos brazos del codo y manteniendo el plano de simetría.

A primera vista, la estructura más sencilla que cumple estas condiciones es el codo redondeado de la figura 4. Las pérdidas de retorno para los casos plano-E y plano-H de este codo se muestran en la figura 4. Para ambos planos, la adaptación mejora; sin embargo, el peor caso para las pérdidas de retorno en la banda está todavía lejos de la meta inicial de -35 dB. Más aún, el codo redondeado no tiene parámetros libres que permitan la optimización de su respuesta en frecuencia. Una posible generalización de esta estructura consiste en redondear también las esquinas interiores del codo [8]; sin embargo, en ese caso, el tamaño

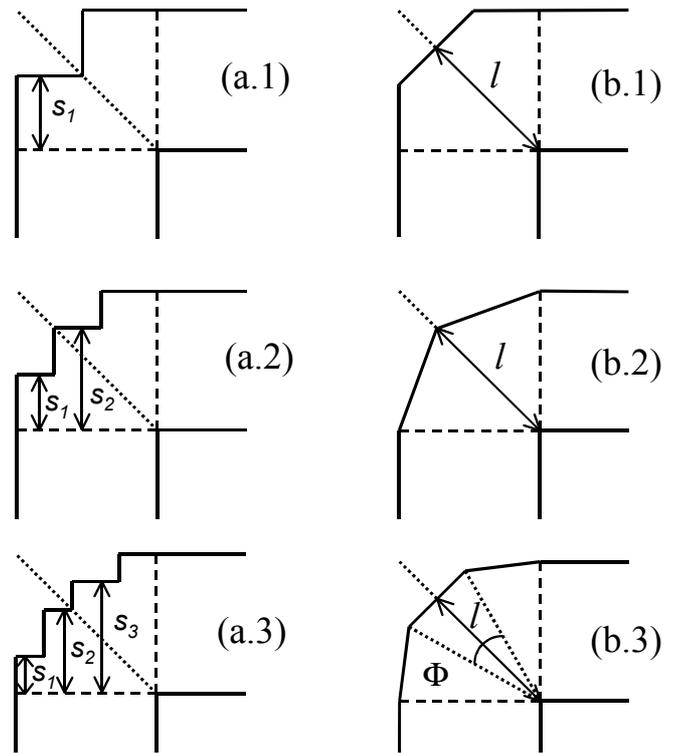


Fig. 5. Codos multi-escalonados (a) y multi-achaflanados (b).

de la región de unión aumenta y el codo resultante deja de pertenecer a la categoría de codos compactos considerada en este trabajo.

Cómo realización práctica de la estructura de codo compacto adaptado mostrada en la figura 3, consideramos dos familias de codos, a las que nos referiremos como codos compactos multi-escalonados y multi-achaflanados. En la figura 5 se muestran los tres primeros miembros de cada de estas familias.

En la figura 6 se pueden observar las pérdidas de retorno para el caso plano-H de los tres primeros codos multi-escalonados. Las dimensiones físicas de los escalones han sido optimizadas para conseguir que las pérdidas de retorno sean mínimas en toda la banda frecuencial (10 – 15 GHz) de la guía WR75. La forma de las respuestas en frecuencia muestra que el codo de un escalón presenta una resonancia dentro de la banda y el codo de doble escalón presenta dos resonancias. Puede observarse, sin embargo, cómo al aumentar el número de escalones en la región de unión, el número de resonancias no aumenta, sigue siendo dos. Puede verse también, en la figura 6, cómo la adaptación mejora al aumentar el número de escalones.

En la figura 7 se muestran las pérdidas de retorno para el caso plano-E de los tres primeros codos multi-escalonados. Los mismos comentarios hechos anteriormente, para el caso plano-H, pueden repetirse ahora. Comparando los resultados de las figuras 6 y 7 observamos que, para el mismo número de escalones, los codos plano-E dan mejores resultados que los correspondientes plano-H.

La figura 8 muestra las pérdidas de retorno para el caso

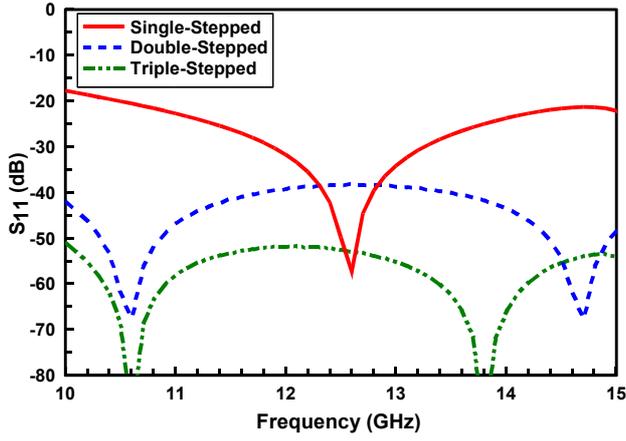


Fig. 6. Pérdidas de retorno para los codos multi-escalonados de la fig. 5 (caso plano-H).

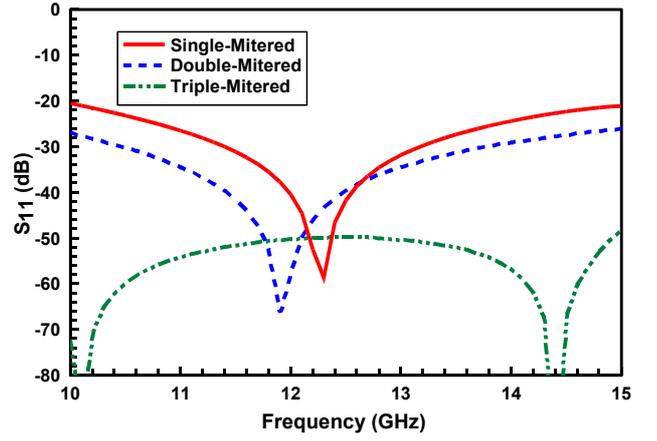


Fig. 8. Pérdidas de retorno para los codos multi-achaflanados de la fig. 5 (caso plano-H).

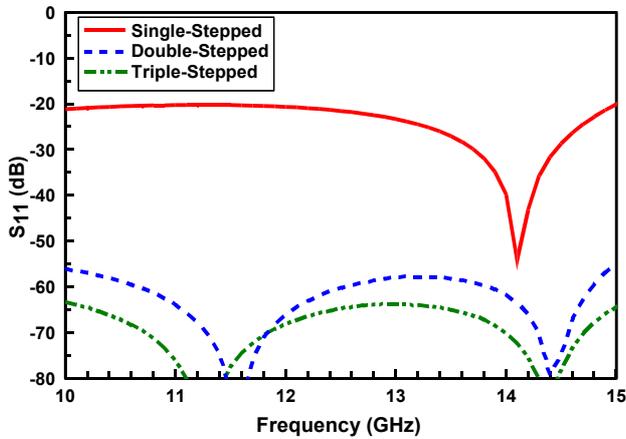


Fig. 7. Pérdidas de retorno para los codos multi-escalonados de la fig. 5 (caso plano-E).

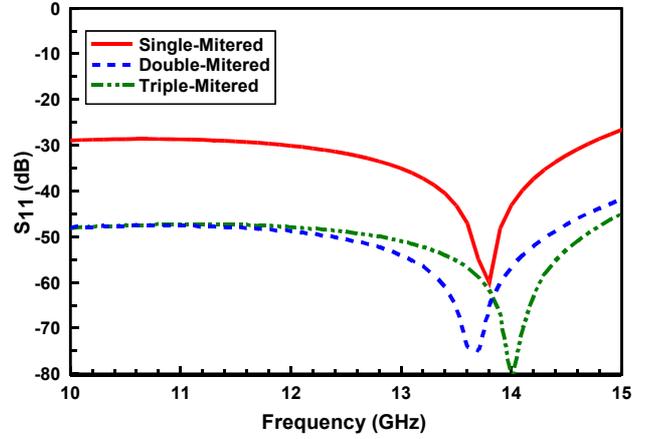


Fig. 9. Pérdidas de retorno para los codos multi-achaflanados de la fig. 5 (caso plano-E).

plano-H de los tres primeros codos multi-achaflanados. Al igual que en el caso de las figuras 6 y 7, las dimensiones de estos codos han sido optimizadas para minimizar las pérdidas de retorno en toda la banda frecuencial. Sin embargo, cabe notar que ahora el codo con doble chafán tiene sólo un parámetro a optimizar (como en el caso del codo con un escalón) y el codo con triple chafán tiene sólo dos, el ángulo ϕ y la longitud ℓ . Se puede observar en la figura 8 que los ambos codos, el de simple y doble chafán, tienen una única resonancia en la banda, mientras que el de triple chafán tienen dos resonancias.

En la figura 9 se muestran las pérdidas de retorno óptimas para el caso plano-E de los codos multi-achaflanados. En todos los casos, hay sólo una resonancia en la banda.

Las dimensiones físicas óptimas y el correspondiente peor caso para las pérdidas de retorno en la banda, para las estructuras de la figura 5, se recogen en las tablas I y II. Para simplificar el escalado de los resultados a otras bandas de frecuencia, las dimensiones para los codos plano-H se han normalizado a la anchura de la guía, mientras que las

dimensiones para los codos plano-E se han normalizado a la altura.

III. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Con el propósito de evaluar la robusted frente a tolerancias en las dimensiones físicas de los diseños óptimos presentados anteriormente, se ha realizado un análisis de sensibilidad utilizando distribuciones de tipo gaussiano y uniforme. En todos los casos la tolerancia utilizada es de ± 0.05 mm, que es una precisión fácilmente alcanzable en la práctica.

En la tabla III se muestra el peor caso de pérdidas de retorno obtenido dentro de la banda frecuencial considerada (10 – 15 GHz). Como era de esperar, las tolerancias geométricas afectan principalmente cuando las pérdidas de retorno son muy pequeñas, es decir, en los codos con dos o tres escalones/chafanes.

IV. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha introducido una topología general para el diseño de codos compactos óptimamente adaptados

TABLE I

DIMENSIONES ÓPTIMAS Y PEOR CASO DE PÉRDIDAS DE RETORNO PARA CODOS PLANO-H

Codos escalonados	s_1/a	s_2/a	s_3/a	$ S_{11} $ [dB]
Un escalón	0.64	—	—	-18
Dos escalones	0.37	0.80	—	-38
Tres escalones	0.26	0.63	0.87	-51
Codos achaflanados	ℓ/a	ϕ	—	$ S_{11} $ [dB]
Un chaflán	0.96	—	—	-20
Dos chaflanes	0.96	—	—	-26
Tres chaflanes	0.92	30.6°	—	-48

TABLE II

DIMENSIONES ÓPTIMAS Y PEOR CASO DE PÉRDIDAS DE RETORNO PARA CODOS PLANO-E

Codos escalonados	s_1/b	s_2/b	s_3/b	$ S_{11} $ [dB]
Un escalón	0.53	—	—	-20
Dos escalones	0.23	0.74	—	-55
Tres escalones	0.20	0.61	0.77	-63
Codos achaflanados	ℓ/b	ϕ	—	$ S_{11} $ [dB]
Un chaflán	0.86	—	—	-27
Dos chaflanes	0.91	—	—	-42
Tres chaflanes	0.87	29.7°	—	-47

en guía de onda rectangular y se han estudiado dos tipos de realizaciones prácticas de dicha topología: los codos multi-escalonados y los multi-achaflanados. Se han obtenidos dimensiones físicas óptimas para los tres primeros miembros de cada tipo de codo, tanto para el plano-E como para el plano-H.

En general, los codos plano-E dan mejores resultados que los correspondientes plano-H. Las realizaciones con doble escalón/chaflán ofrecen valores nominales para el peor caso de las pérdidas de retorno en la banda mejores que -35 dB (excepto el codo con doble chaflán plano-H, que sólo da -26 dB).

El análisis de sensibilidad muestra que los codos con doble o triple escalón/chaflán conducen a valores similares de peor caso de pérdidas de retorno, los cuales son suficientemente buenos para la mayoría de las aplicaciones.

V. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a Dr. T. Sieverding sus interesantes sugerencias y su ayuda en el manejo del simulador electromagnético.

TABLE III

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD PARA CODOS ÓPTIMOS CUYAS DIMENSIONES NOMINALES ESTÁN DADAS EN LAS TABLAS I Y II.

Codo	peor-caso $ S_{11} $ [dB]	
	(plano-H)	(plano-E)
Un escalón	-17.5	-19.5
Dos escalones	-37	-42
Tres escalones	-45	-44
Un chaflán	-19.5	-26.5
Dos chaflanes	-25.5	-38
Tres chaflanes	-46	-42

REFERENCES

- [1] J. Uher, J. Bornemann and U. Rosenberg, Waveguide Components for antenna Feed Systems. Theory and CAD, Artech House, Norwood 1993, Chapter 3.
- [2] N. Marcuvitz, Waveguide Handbook, McGraw-Hill Book, 1953.
- [3] K. L. Wu, G. Y. Delisle, D. G. Fang and M. Lecours, Waveguide Discontinuity Analysis with a Coupled Finite-Boundary Element Method, IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, vol. MTT-37 (1989), 993-998.
- [4] J. M. Rieter and F. Arndt, A Full-Wave Boundary Contour Mode Matching Method (BCMM) for the Rigorous CAD of Single and Cascaded Optimized H-plane and E-plane Bends, in Proc. IEEE MTT-S Dig. (1994), 1021-1024.
- [5] F. Alessandri, M. Mongiardo and R. Sorrentino, Rigorous Mode Matching Analysis of Mitered E-plane Bends in Rectangular Waveguide, IEEE Microwave and Guided Wave Lett. vol. MGWL-4 (1994), 408-410.
- [6] V. A. Labay and J. Bornemann, Generalized Scattering Matrix of Waveguide Corners Distorted by Discontinuities in the Resonator Region, in Proc. IEEE MTT-S Dig. (1995), 269-272.
- [7] μ Wave Wizard software. [Http://www.mician.com](http://www.mician.com)
- [8] M. Mongiardo, A. Morini and T. Rozzi, Analysis and Design of Full-Band Matched Waveguide Bends, IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, vol. MTT-43 (1995), 2965-2971.