

## Diseño de un duplexor de gran ancho de banda en tecnología de guía de onda para aplicaciones de satélite

*Broadband diplexer design based in waveguide technology for satellite applications*

K. Cepero<sup>1</sup>    A. Mediavilla<sup>2</sup>    A. Tribak<sup>2</sup>    F. Marante<sup>1</sup>

Recibido 13 de octubre de 2010, aceptado 13 de agosto de 2012

*Received: October 13, 2010    Accepted: August 13, 2012*

### RESUMEN

En este trabajo se presenta el diseño teórico de un duplexor de gran ancho de banda usado en tecnología de guía de onda basado en uniones con varios pasos. El dispositivo está formado por un filtro pasa banda, un filtro pasa bajo y una unión T plano-E. Para validar el diseño propuesto, un duplexor en banda C fue construido y medido utilizando las técnicas clásicas de fresado. El ancho de banda relativo logrado es de aproximadamente de un 64%. Las pérdidas de retorno en los puertos de entrada y de salida están por debajo de los 23 dB, el aislamiento es mayor que 60 dB y las pérdidas de inserción son de 0,1 dB. Además se consideraron las tolerancias mecánicas de fabricación en la etapa del diseño, que probaron que el duplexor no necesita ajustes adicionales después de ser construido.

Palabras clave: Alimentadores de antenas, comunicaciones por satélite, duplexor, gran ancho de banda, guía de onda.

### ABSTRACT

*A wideband diplexer in waveguide technology is designed to demonstrate the feasibility of using stepped waveguide junctions for diplexer designs. It consists of a channel filter, a low pass filter and a T E-plane junction. To validate the previous concepts, a C-band diplexer was constructed and tested using conventional milling techniques. The relative bandwidth of the whole diplexer is about 64%. The inputs and outputs return losses were less than 23dB, the isolation is better than 60dB and the transmission loss was 0,1dB. Moreover, a manufacturing tolerance has been taken into account at the design step, and therefore, the designed diplexer need not be tuned after manufacture.*

*Keywords: Antenna feeders, satellite communications, diplexer, wideband, waveguide.*

### INTRODUCCIÓN

En los últimos años ha surgido la necesidad de incrementar la capacidad de los sistemas de comunicaciones por satélite para poder satisfacer las necesidades de un creciente número de usuarios. Aplicaciones tales como multimedia y acceso a Internet de alta velocidad en banda ancha son algunas de las facilidades que pueden brindar estos

sistemas. En un enlace por satélite se requiere de un sistema de alimentación para cada antena antes de colocar los amplificadores de potencia o de bajo ruido. Uno de componentes de dichos alimentadores es el duplexor, que permite utilizar la misma antena para transmitir y recibir señales [1].

Un duplexor es un dispositivo común en sistemas de comunicaciones y constituye un componente clave

<sup>1</sup> Departamento de Telecomunicaciones y Telemática. Instituto Superior Politécnico José A. Echevarría. Avda. 114 N° 11901 Código postal 19390. C. La Habana, Cuba. E-mail: karen@electrica.cujae.edu.cu; marante@electrica.cujae.edu.cu

<sup>2</sup> Departamento de Ingeniería de Comunicaciones. Universidad de Cantabria. Avda. Los Castros, s/n – 39005. Santander, España. E-mail: angel.medivilla@unican.es; tribak\_ma@yahoo.fr

de los alimentadores de antenas. Dicho elemento separa una señal compuesta en sus componentes para permitir que cada parte sea transmitida por separado. En los sistemas de comunicaciones por satélites, las prestaciones de los duplexores están limitadas por requisitos mecánicos y eléctricos, tales como aislamiento, las pérdidas de inserción y la potencia que pueden soportar. Se requiere de un diseño automatizado exacto para evitar la necesidad de cualquier ajuste adicional, que limite la máxima potencia transmisible y aumente el costo del dispositivo. Desde el punto de vista mecánico, se requiere de un diseño de tamaño, volumen y peso reducido. Los duplexores en tecnología de guía de onda son ampliamente utilizados para los sistemas de comunicaciones por satélites dado que permiten el uso de la misma antena para varias bandas de frecuencia, por lo tanto, se alcanza una reducción importante de la masa y del volumen.

Los duplexores en guías de ondas están constituidos por una unión de tres puertos cerrada por dos filtros, que seleccionan la recepción en el puerto 1 y la transmisión en el puerto 2, mientras que el puerto 3 se conecta a una antena o a un transductor ortomodo (OMT, por sus siglas en inglés). Para el mejor uso de la unión en la realización de los duplexores, el puerto 3 debe estar bien adaptado con los puertos 1 y 2, sobre la banda de recepción y la banda de transmisión respectivamente [2-3].

Otras aplicaciones interesantes se encuentran en los receptores de radioastronomía donde los duplexores se colocan a las entradas de los OMTs para incrementar la capacidad del enlace [4]. La capacidad de transmisión en los sistemas de comunicaciones por satélite se puede aumentar ampliando el ancho de banda de transmisión de las señales.

Muchos diseños de duplexores de tres puertos plano E y Plano H se encuentran en la literatura especializada [5-9], cada uno con características eléctricas y mecánicas específicas, sin embargo no cubren un gran ancho de banda. Otros diseños [10] emplean materiales dieléctricos en su interior, pero esto aumenta considerablemente el costo de producción. Recientemente se han presentado diseños muy compactos que utilizan metamateriales [11], sin embargo el ancho de banda continúa siendo

un parámetro crítico. Los diseños que alcanzan bandas de frecuencia elevadas son complejos y más costosos, como es el caso del empleo de guías de ondas ridge (surcadas) [12].

En este artículo se presentan el diseño y realización de un duplexor basado en una unión T plano-E de banda ancha en tecnología de guía de ondas rectangulares con alta precisión y bajo costo para la banda C. Se usan dos versiones de este duplexor junto con un OMT, para alimentar un sistema de comunicación espacial a partir de una base terrestre que transmite en la banda de frecuencia (Tx: 5,8-7GHz) y recibe en la banda de frecuencia (Rx: 3,6-4,8GHz). Este trabajo contiene además un análisis detallado de una configuración del duplexor plano E.

El principal aporte de este trabajo está en la obtención de un diseño compacto y con muy buena adaptación en la unión de tres puertos, capaz de mantener un buen funcionamiento en dos bandas de frecuencias separadas, mejor que los encontrados en la literatura especializada. Otra potencialidad del diseño es su bajo costo, ya que se fabricó empleando la técnica clásica de fresado, que es la más barata. Además cumple con los requerimientos de soportar grandes potencias, aspecto favorecido al no emplear dieléctricos o metamateriales que pueden limitar en potencia el funcionamiento de los duplexores. De hecho, el prototipo fabricado actualmente está funcionando en una estación terrena en el Amazonas.

La Figura 1 muestra la vista 3D de la unión T plano-E con un elemento de dispersión localizado en la base de la unión para conseguir una buena adaptación.

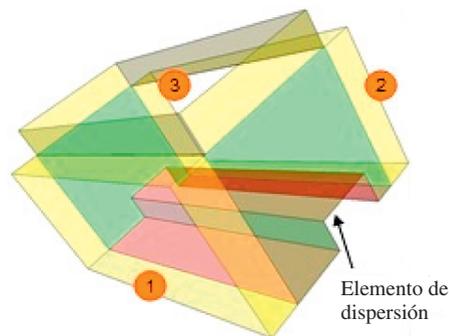


Figura 1. Unión turnstile T plano-E con el elemento de dispersión.

## DISCUSIÓN DEL DISEÑO

La estructura del duplexor presentado en este artículo consiste en una unión T plano-E [13-15], un filtro paso banda para la transmisión y un filtro paso bajo para la recepción.

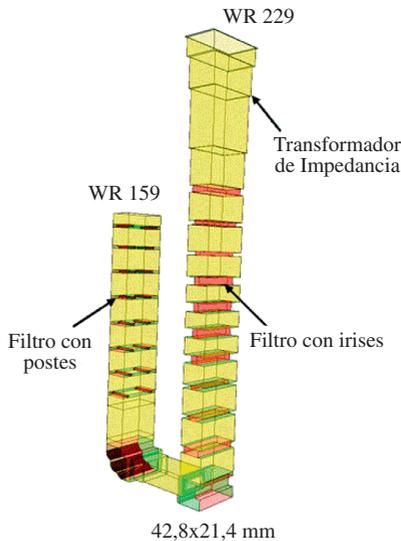


Figura 2. Duplexor basado en unión T plano-E.

La Figura 2 muestra una vista interna del duplexor. Para el modelo en banda C, el puerto común del duplexor está en guía de onda con las siguientes dimensiones: 42,8x2,4mm ( $f_c = 3,5$  GHz), lo que permite propagar el modo fundamental  $TE_{10}$  en toda la banda de frecuencia 3,6-7GHz. El puerto correspondiente a la transmisión está en guía de onda estándar WR159 ( $f_c = 3,7$  GHz) y el correspondiente a la recepción está en guía de onda WR229 ( $f_c = 2,57$  GHz).

El ancho de banda relativo del duplexor está en torno al 64%. El canal del filtro 1 (transmisión) tiene un ancho de banda relativo de un 19% y el canal del filtro 2 (recepción) tiene un ancho de banda relativo de un 29%. El filtro de la banda alta (transmisión) es un filtro en guía de onda rectangular con postes cilíndricos inductivos y el de la banda baja (recepción) es un filtro en guía de onda rectangular con irises capacitivos [16].

Las Figuras 3 y 4 muestran una vista interna y los parámetros de scattering (dispersión) de ambos filtros respectivamente.

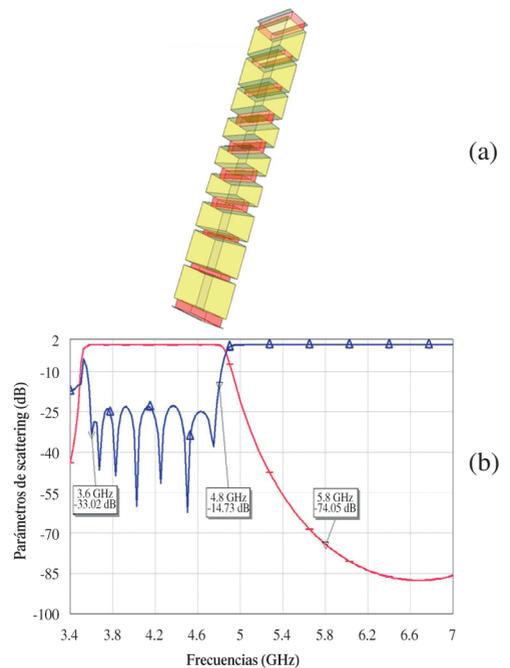


Figura 3. (a) Filtro paso bajo del canal 1 del Rx; (b) Parámetros de scattering.

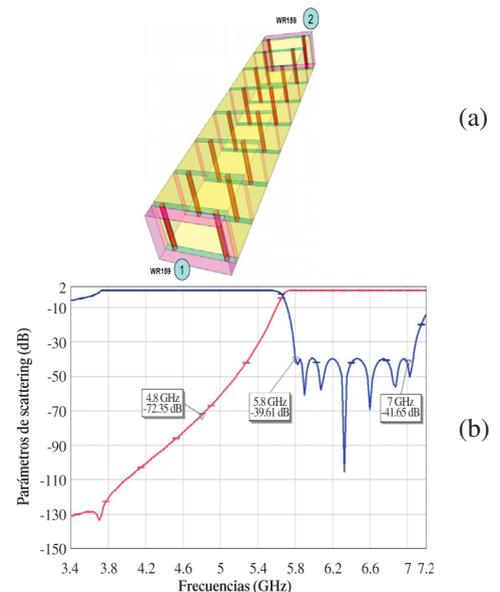


Figura 4. (a) Filtro paso banda del canal 2 del Tx; (b) Parámetros de scattering.

Los dos filtros presentan buena adaptación, con unas pérdidas de retorno en el orden de 25dB en el caso de la banda baja y de 35dB en la banda

alta, además tienen unas pérdidas de inserción en el orden de 0,05dB en ambas bandas.

Para que las dos vías (transmisión y recepción) salgan en el mismo plano se ha utilizado un codo de 90° plano E con pequeñas curvas que tiene unas pérdidas de retorno del orden de 42dB y un transformador de impedancia en la salida del filtro de la banda baja (recepción) para que la salida final del receptor sea en WR229. El empleo de un codo con varias curvas así como un transformador de impedancia de varias secciones permite trabajar sobre una banda de frecuencias más ancha.

El dispositivo se ha diseñado y optimizado usando la adaptación modal convencional y los planteamientos FEM integrados en  $\mu$ Wave Wizard 5,6 [17].

### DISEÑO MECÁNICO

El duplexor se ha construido por partes. La primera parte consiste en la unión T plano E junto con el canal del filtro paso bajo, que se han dividido por su plano horizontal en dos bloques. La segunda parte contiene solo el filtro paso banda que se ha fabricado como un cuerpo independiente, y después se atornilla al cuerpo principal formado por los dos bloques de la primera parte (unión T plano-E más el canal del filtro paso bajo). La Figura 5 muestra una fotografía del prototipo fabricado para la banda C.

El dispositivo fue construido utilizando las técnicas clásicas de fresado, lo que permite que sea un diseño de bajo costo y fácil construcción.

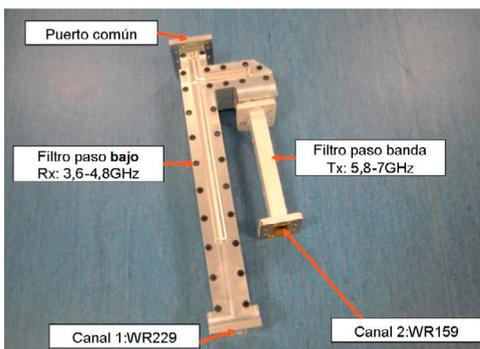


Figura 5. Vista del duplexor fabricado.

### RESULTADOS TEÓRICOS Y EXPERIMENTALES

Para realizar las mediciones se utilizó el analizador vectorial de redes HP8510. Las Figuras 6 y 7 muestran las pérdidas de inserción y las pérdidas de retorno simuladas y medidas para ambas bandas de frecuencias. Se puede observar la semejanza de los resultados obtenidos con el simulador  $\mu$ Wave Wizard 5.6. y los obtenidos experimentalmente. Las pérdidas de retorno en las entradas correspondientes a la transmisión y la recepción así como a la salida común del duplexor están por debajo de los 23dB. Las pérdidas de inserción están en el orden de 0,1dB, muy similar al valor esperado por la simulación. El aislamiento entre las dos puertas rectangulares (Tx y Rx) está en el entorno de 60dB. Las especificaciones del duplexor se ilustran en la Tabla 1.

Tabla 1. Especificaciones del duplexor.

Paso banda del canal 1 (Rx)	3,6-4,8 GHz
Paso banda del canal 2 (Tx)	5,8-7 GHz
Pérdidas de retorno	25 dB
Pérdidas de inserción	0,2 dB
Aislamiento entre canales	80 dB
Rechazo del canal 1 (Rx)	80 dB
Rechazo del canal 2 (Tx)	80 dB

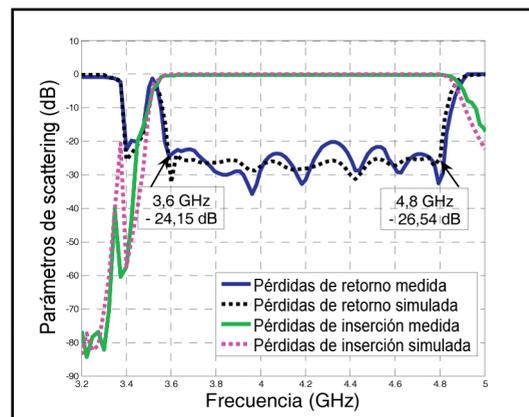


Figura 6. Pérdidas de retorno y de inserción en la banda de frecuencia del canal 1 (recepción) del duplexor.

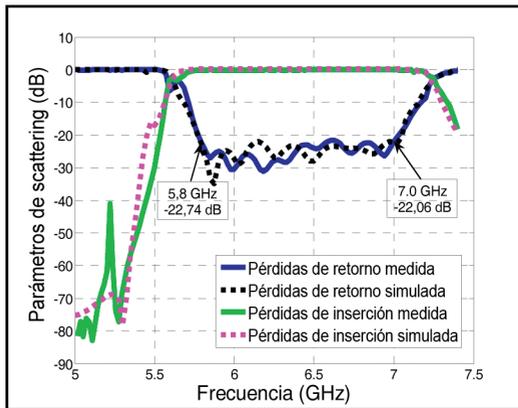


Figura 7. Pérdidas de retorno y de inserción en la banda de frecuencia del canal 2 (transmisor) del duplexor.

### ANÁLISIS DE LA SENSIBILIDAD

En la etapa de diseño se consideraron las tolerancias mecánicas de la fabricación, por lo tanto, el duplexor no requiere de ningún ajuste adicional después de ser fabricado. Para estimar la degradación en el funcionamiento del dispositivo ante posibles errores en la construcción se realizó la simulación de la sensibilidad en la banda C, permitiendo tolerancias de  $\pm 0,05\text{mm}$ .

La Figura 8 muestra la simulación del dispositivo aplicando tolerancias a todas las variables de la geometría del componente. Como se puede observar en el peor de los casos las pérdidas de retorno no exceden los 20dB y el aislamiento siempre es mejor que 75dB. Por lo tanto el diseño propuesto es muy robusto ante las tolerancias mecánicas.

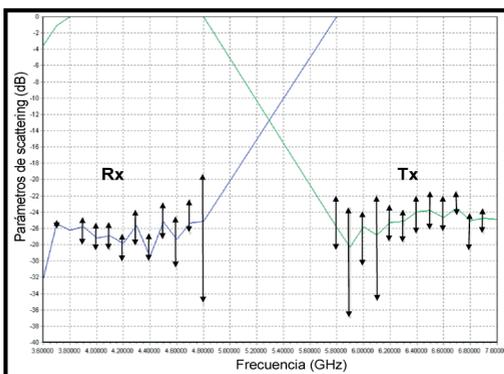


Figura 8. Análisis de sensibilidad con una tolerancia de  $\pm 0,05\text{mm}$ .

### CONCLUSIONES

Se ha diseñado y construido un duplexor en tecnología guía de onda en la banda C basado en el concepto de unión T plano E. Para ello se empleó un filtro paso bajo y un filtro paso banda que han permitido un ancho de banda relativo mayor que un 64%, lo cual constituye el resultado más significativo del diseño propuesto.

El dispositivo se ha construido usando técnicas clásicas de fresado; se ha validado esta técnica de fabricación y se han realizado las medidas del dispositivo utilizando calibración TRL tanto en el acceso rectangular de transmisión (WR159) como en el terminal de la vía de recepción (WR229). Los resultados obtenidos experimentalmente son muy parecidos a los predichos por el software  $\mu\text{Wave Wizard 5,6}$ .

Las pérdidas de retorno obtenidas están en el orden de 23dB, las pérdidas de inserción de 0,1dB y el aislamiento entre las vías de transmisión y de recepción del duplexor son del orden de 60dB en toda la banda de trabajo. Finalmente se ha efectuado un análisis de sensibilidad del dispositivo ante las tolerancias mecánicas que demuestra que el diseño es bastante robusto y de relativo bajo costo.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren expresar su gratitud hacia la Agencia Española para la Cooperación al Desarrollo Internacional (AECID) a través de la acción integrada D/024003/09. Los autores agradecen también el Ministerio español de Ciencias e Innovación (MiCINN) a través el proyecto TEC2008-06684-C03-01 y Consolider-Ingenio 2010CSD2008-00068.

### REFERENCIAS

- [1] J. Uher, J. Bornemann and U. Rosenberg. "Waveguide Components for Antenna Feed Systems: theory and CAD". Artech House. Boston, Estados Unidos. 1993.
- [2] A. Morini and T. Rozzi. "Design of 'Optimum'. Three Port Symmetrical Junctions for Diplexer Application". IEEE MTT-S Digest, WE2C-6, pp. 739-742. 1994.

- [3] T. Shen, K.A. Zaki and T.G. Dolan. "Circular to Rectangular Waveguide Diplexers". IEEE MTT-S Digest, pp. 1325-1328. 2001.
- [4] A. Tribak, N. Fernández, A. Mediavilla, B. Aja, F. Marante and M. Boussois. "On the Scalability Properties of Full-band OMT's Based on Reduced Height Turnstile Junctions for Satellite Links". ISMOT 17-21, pp. 537-540. Roma, Italia. December, 2007.
- [5] J.M. Rebollar, J.R. Montejo-Garai and A. Ohoro. "Asymmetric H plane T-junction for Broadband Diplexer Applications". IEEE AP-S Int. Symp. Vol. 4, pp. 2032-2035. July, 2000.
- [6] Ke-Li Wu and H. Wang. "A Rigorous Modal Analysis of H-plane Waveguide T-junction Loaded with a partial-height Post for Wideband Applications". IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. Vol. 49, Issue 5. May, 2001.
- [7] T. Shen, K.A. Zaki and T.G. Dolan. "Rectangular Waveguide Diplexers with a Circular Waveguide Common Port". IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. Vol. 51, Issue 2, pp. 578-582. February, 2003.
- [8] X. Wang, Q. Wang, Y. Zhao and H. Li. "Design of a Compact Diplexer". IEEE MTT-S Int. Microw. Workshop. 2008.
- [9] K. Sano and K. Ito. "A 26 GHz Band Dielectric Waveguide Diplexer with Flange Interfaces". Proc. IEEE. Vol. 82, pp. 591-595. 2005.
- [10] K. Deng, W. Che, C. Li and P. Russer. "Novel Microwave Diplexer System Based on Planar Waveguide and Metamaterial Technologies". Proc. IEEE. Vol. 115, pp. 789-793. 2008.
- [11] Y. Zhang. "Modeling and Design of Microwave Millimeter Wave Filters and Multiplexers". Tesis para optar al grado de doctor, Universidad de Warzava, Varsovia, Polonia. 2006.
- [12] M. Rakic, B. Jokanovic and Dj. Budimir. "Waveguide E-plane All-metal Inserted Diplexer". Serbian Journal of Electrical Engineering. Vol. 1, Issue 3, pp. 79-87. November, 2001.
- [13] A. Morini and T. Rozzi. "Analysis of Compact E-Plane Diplexers in Rectangular Waveguide". IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. Vol. 43, Issue 8, pp. 1834-1839. August, 1995.
- [14] Q. Xing and Q.X. Chu. "Ku Band Waveguide Diplexer With Side Coupling". IEEE, APMC2005 Proceedings. 2005.
- [15] A.A. Kirilenko, L.A. Rud, V.I. Tkachenko and P. Pramanick. "A Systematic Approach for Computer Aided Design of Waveguide E-Plane Diplexers". John Wiley & Sons, pp. 104-116. New York, USA. 1999.
- [16] H.W. Yao, A.E. Abdelmoumen, J.F. Liang, X.P. Liang, K.A. Zaki and A. Martin. "Wide-Band Waveguide and Ridge Waveguide T-Junctions For Diplexer Applications". IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. Vol. 54, Issue 1. December, 1993.
- [17]  $\mu$ Wave-Wizard. "Mode matching (MM), fast hybrid MM/boundary contour and MM/2D-finite-element analysis and optimization tool". MICIAN GmbH. 2007-2012. URL: [www.mician.com](http://www.mician.com)