

Antena plana con polarización circular para comunicaciones por satélite en banda Ka: desafíos y resultados

Miguel Ferrando-Rocher, Jose Ignacio Herranz-Herruzo, Alejandro Valero-Nogueira, Bernardo Bernardo-Clemente

miferroc@iteam.upv.es, jisherhe@upvnet.upv.es, avalero@dcom.upv.es, berbercl@iteam.upv.es

Instituto de Telecomunicaciones y Aplicaciones Multimedia (iTEAM), Universitat Politècnica de València, 46022, Valencia.

Abstract— This paper reports the design and measurements of two radiating panels (TX / RX) for satellite communications on the move in Ka-band. A multilayer structure, both in the power distribution network and in the circularly-polarized radiating element, is adopted to ensure the demanded bandwidth. These panels provide answers and solve problems for future antennas with similar characteristics.

I. INTRODUCCIÓN

Las comunicaciones por satélite en movimiento (SOTM) han tenido un auge notable durante los últimos años. La tecnología en banda Ku (12 GHz a 18 GHz) está ampliamente desarrollada y madura [1], pero la necesidad de mayor capacidad de transmisión de datos han motivado el reto de subir en frecuencia y llegar hasta la banda Ka (26.5 GHz a 40 GHz) [2], [3]. Antenas compactas, ligeras, planas son necesarias para poder ser embarcadas en trenes de alta velocidad o aviones (Fly-Fi), donde el diseño aerodinámico es capital. Pero no sólo eso, sino que además deben tener las prestaciones esperadas de una antena para comunicaciones por satélite: alta ganancia, buena pureza de polarización circular (a derechas e izquierdas) o un ancho de banda que abarque todo el margen de frecuencias destinado para estos servicios, por lo que el reto es considerable. En este desafío actual se enmarca la presente comunicación. Este artículo recoge el trabajo realizado en el proyecto 'Low Cost and Compact Ka-band Antenna for Satellite Communications on the Move' (LOCOMO) durante los últimos años por parte del Antennas and Propagation Laboratory (APL) de la Universitat Politècnica de València. El trabajo se ha materializado en dos paneles, uno receptor y otro transmisor con polarización circular y conmutables para obtener RHCP o LHCP en la banda Ka. En esta comunicación se dan medidas de los paneles definitivos y se explican cuáles han sido los retos más complejos que se han afrontado para alcanzar las especificaciones requeridas. El proyecto **LOCOMO** ha sido posible por el esfuerzo conjunto de la UPV con otras empresas participantes: VectraWave, IXBlue y Thales Alenia Space. Cada una de ellas ha sido la encargada del desarrollo de una parte específica del proyecto. LOCOMO ha sido coordinado por la empresa TTI Norte y financiado dentro del programa Artes 5.2 de la Agencia Espacial Europea (ESA).

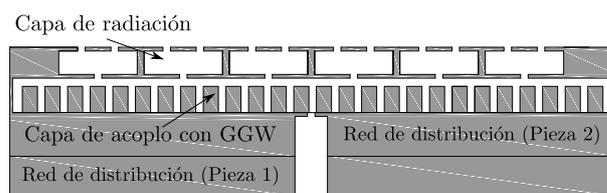


Fig. 1: Vista lateral de la antena multicapa. De abajo a arriba: red de distribución plano E; capa de acoplo implementada con GGW; capa radiante. Sobre las ranuras radiantes se ubica el polarizador (ver Fig. 2).

II. RETOS DEL PROYECTO

Los retos del proyecto fueron ambiciosos desde el principio. Basándonos en la experiencia previa en el diseño de antenas ranuradas se decidió afrontar el diseño de los paneles siguiendo la misma tecnología en guía rectangular. Para ello se disponía de una herramienta de simulación eficiente desarrollada en la UPV, basada en el Método de los Momentos. Dos importantes especificaciones se antojaban las más complicadas de cumplir: la polarización circular y el ancho de banda del panel. Es bien sabido que las agrupaciones de ranuras, alimentadas en serie en un modo de operación resonante, presentan un ancho de banda estrecho, inversamente proporcional a su tamaño. Para poder solucionar este primer desafío, conseguir una gran apertura con un buen ancho de banda, se optó por introducir una red de alimentación paralelo en un nivel inferior. De esta forma, la antena queda dividida en un gran número de subpaneles de tamaño reducido. La distribución de potencia en la última etapa se realiza de forma habitual mediante una alimentación serie, a partir del acoplamiento central por ranura.

En esta configuración, el tamaño de los subpaneles limita el máximo ancho de banda alcanzable, por lo que su elección se realiza a partir de las especificaciones del proyecto, un 7.5 % en los paneles RX y un 5 % en los TX. Además, para extender al máximo el margen de frecuencias de adaptación, se emplea la técnica comúnmente conocida como *detuning*. Consiste en combinar diseños convenientemente desadaptados a los

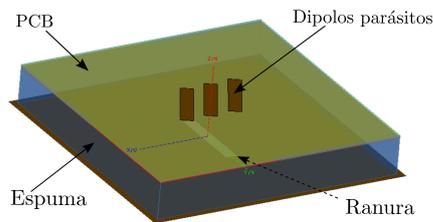


Fig. 2: Modelo simplificado del elemento básico radiante con tres dipolos parásitos como polarizador.

niveles superiores para conseguir un mayor ancho de banda en adaptación en el puerto de entrada inferior. La adopción de un diseño completamente adaptado o sintonizado a la frecuencia central en todos los niveles reduce considerablemente el ancho de banda debido a la combinación de resonancias. Por último, respecto al reto de la polarización, las antenas ranuradas convencionales son incapaces de radiar polarización circular, debiendo añadirse un polarizador como última capa de la antena. En las siguientes secciones se explica en detalle las soluciones adoptadas frente a los retos afrontados.

A. Polarizador

La configuración convencional de agrupaciones de ranuras en guía rectangular radia polarización lineal. Sin embargo, la polarización circular se puede obtener también mediante el uso de ranuras en forma de cruz o la combinación de dos ranuras inclinadas [4]. Otra alternativa la aportan los polarizadores que transforman la polarización lineal en circular. Uno de los más populares entre la gran variedad que se puede encontrar en la literatura, es el polarizador meander-line [5]. Por otro lado, en [6] se demostró teóricamente que la polarización circular podría alcanzarse mediante la colocación de un dipolo parásito a una distancia aproximada de $\lambda/5$ por encima de la ranura, e inclinándolo ligeramente. Gracias a ese ángulo α entre ranura y dipolo se consiguen dos componentes de campo ortogonales, mientras que la cuadratura de fase viene dada por la distancia vertical entre ambos radiadores. Esta técnica se ha demostrado experimentalmente con éxito en un array en [7]. Este último enfoque presenta varias características deseables para este proyecto: simplicidad de fabricación, bajo perfil de la antena, buena pureza de polarización y facilidad de diseño. La solución en [7], no obstante, consigue un 3.6% de ancho de banda de relación axial a 3 dB, lo que es insuficiente para la aplicación mencionada. En [8] el ancho de banda de relación axial se mejoró reemplazando el dipolo parásito por un parche más ancho. Sin embargo en ese caso se necesitan cavidades para reducir el acoplamiento mutuo y el diseño general resulta mucho más complejo.

Finalmente se optó por desarrollar la solución teórica aportada por [6]. El ancho de banda en relación axial se amplía de manera significativa añadiendo varios dipolos parásitos a una misma ranura. En este proyecto se utilizan tres dipolos parásitos colocados tal como muestra la Fig. 2. En resumen, los aspectos más relevantes a la hora de diseñar el polarizador son: la longitud de los dipolos, el ángulo respecto a la ranura,

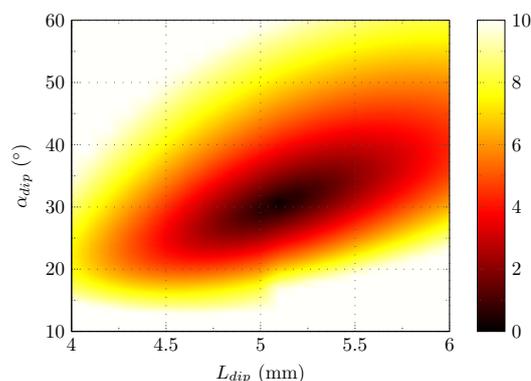


Fig. 3: Mapa de color mostrando la relación axial (dB) para un rango de longitudes de dipolos (L_{dip}) y ángulos de inclinación (α_{dip}).

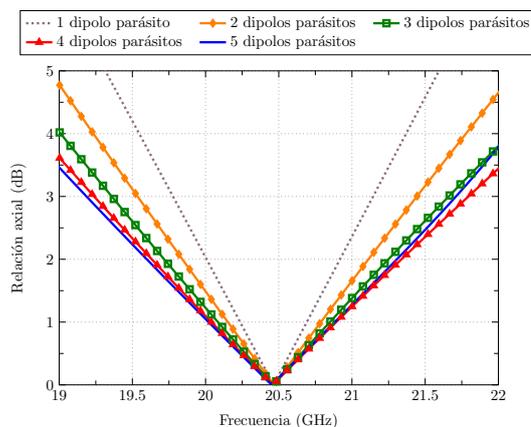


Fig. 4: AR simulada en la dirección broadside vs. frecuencia usando N dipolos parásitos en el elemento básico radiante.

la separación entre dipolos y el número de dipolos por ranura. El ajuste de la longitud y el ángulo de los dipolos proporciona la polarización circular deseada a la frecuencia de diseño. Tal y como muestra la Fig. 3, con una longitud y un ángulo concreto se alcanza un valor de relación axial (AR) prácticamente ideal.

En cuanto a la separación entre dipolos, se ha comprobado que no es un factor muy determinante. No obstante, su elección entraña un compromiso entre un aumento en acoplamientos mutuos si están muy separados y un menor ancho de banda en AR si se colocan muy cercanos entre sí. La separación óptima adoptada en ambos paneles de este proyecto ha sido $s=0.14\lambda$. Finalmente, como se ha comentado con anterioridad, un mayor número de dipolos supone un mejor ancho de banda en polarización. Sin embargo, tal y como demuestra la Fig. 4, dicha mejora no resulta significativa a partir de un cierto número, ya que la excitación de los dipolos extremo disminuye. El ancho de banda de relación axial mejora desde un 7% con 1 dipolo hasta un 12% con 3 dipolos, siendo esta última la solución escogida. Cabe destacar que estos valores de ancho de banda incluso mejoran en el entorno de la agrupación completa, tal y como se verá en el apartado de resultados.

B. Contacto multicapa: Groove Gap Waveguide

El segundo gran desafío en el diseño de los paneles apunta a la estructura multinivel necesaria para conseguir un buen ancho de banda en frecuencia. El mayor problema en las antenas multicapa reside en el necesario buen contacto eléctrico entre las piezas que componen el conjunto. En caso contrario, repercute seriamente en la eficiencia de radiación, especialmente a frecuencias elevadas. Normalmente se colocan muchos tornillos para apretar las placas y así asegurar el buen contacto eléctrico y evitar las fugas. Este procedimiento no es completamente efectivo, siendo además inviable en ciertas ocasiones cuando existe falta de espacio. Por otra parte, el contacto eléctrico entre la red de alimentación y la capa de acoplo superior se vuelve muy importante, ya que se distribuye la potencia aquí primero antes de ser radiada. Una fuga de campo en estas capas podría causar una significativa reducción de la ganancia de la antena [9].

Existen posibles alternativas a estos problemas. Una de ellas es la técnica conocida como unión por difusión (*Diffusion Bonding*), empleada mayoritariamente por los autores Ando e Hirokawa [10] [11] en este tipo de antenas. Aunque esta tecnología de fabricación resuelve el problema a altas frecuencias, sigue siendo una técnica cara. Alternativamente, en este proyecto se ha hecho uso de las denominadas *Groove Gap Waveguides*. Si bien es cierto que el código propio de análisis MoM no es capaz de modelar este tipo de estructuras de guiado periódicas, nuestra propuesta consiste en suponer que las *Groove Gap Waveguides* se pueden aproximar por guías rectangulares equivalentes. Finalmente, múltiples aportaciones recientes [12]–[14] han demostrado que las GGW son una alternativa eficaz para evitar fugas en componentes trabajando la banda de milimétricas, ya sean antenas, filtros u otros dispositivos.

III. MEDIDAS

Los resultados experimentales obtenidos cumplen con las especificaciones previamente establecidas. Tanto la antena RX como la TX presentan en sus respectivos diagramas de radiación, una buena discriminación de polarización en todos los casos. Las medidas de los diagramas en los dos cortes principales a la frecuencia central (RX y TX) se muestran en las Figs. 6 a 9. La Tabla I por su parte, muestra la medida de la ganancia y la eficiencia de radiación en el ancho de banda de interés así como la relación axial en ambos paneles. Se ha detectado un ligero desplazamiento frecuencial en polarización, debido a la desviación en las características dieléctricas de los materiales. No obstante, una futura corrección de las dimensiones de los dipolos permitirá posiblemente conseguir valores de AR inferiores a 1.2 dB en ambas bandas. Por último, el coeficiente de reflexión en el puerto de entrada de la antena RX en la Fig. 10 y de la TX en la Fig. 11 confirman cómo la técnica de *detuning* puede extender el ancho de banda en adaptación de este tipo de agrupaciones. En la presentación se mostrarán más resultados que no han sido incluidos aquí por falta de espacio.



Fig. 5: Paneles RX y TX fabricados

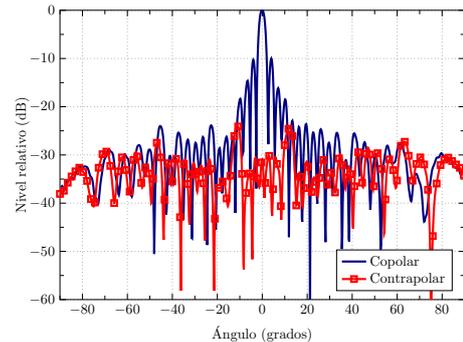


Fig. 6: Medida: Diagrama de radiación en elevación a 20.45 GHz (Panel RX)

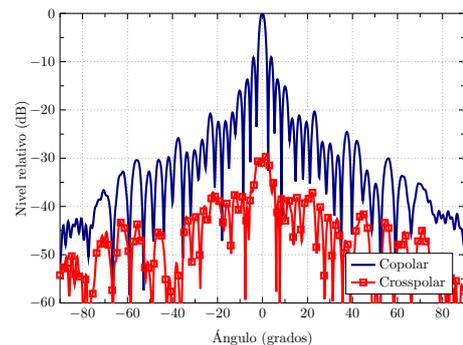


Fig. 7: Medida: Diagrama de radiación en azimut a 20.45 GHz (Panel RX)

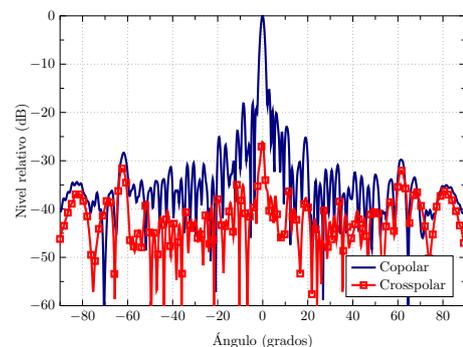


Fig. 8: Medida: Diagrama de radiación en elevación a 30.25 GHz (Panel TX)

TABLE I: Medida de la relación axial en los paneles RX y TX

Frecuencia (GHz)	19.7	20.075	20.45	20.8	21.2
Relación Axial (dB)	1.61	1.03	0.68	0.14	0.62
Ganancia (dB)	33.63	34.33	34.14	33.68	32.36
Eficiencia de radiación (%)	91.8	85.7	80.16	76.4	79.8
Frecuencia (GHz)	29.5	29.875	30.25	30.625	31
Relación Axial(dB)	1.42	1.36	0.99	0.74	0.15
Ganancia (dB)	36.43	36.86	37.75	37.68	36.94
Eficiencia de radiación (%)	57.94	73.45	69.98	65.77	65.16

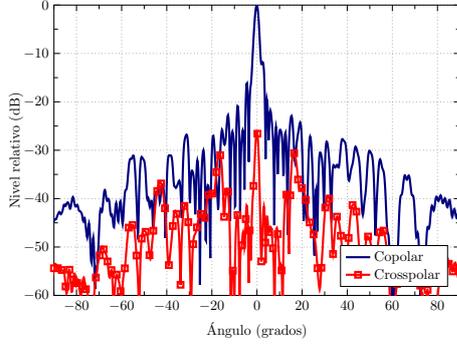


Fig. 9: Medida: Diagrama de radiación en azimut a 30.25 GHz (Panel TX)

IV. CONCLUSIONES

En la presente comunicación se han presentado los desafíos afrontados en una antena plana con polarización circular para comunicaciones móviles por satélite en la banda Ka. Además se presentan las medidas de los paneles TX y RX definitivos. Se han afrontado las principales limitaciones de este tipo de antenas, encontrado y comprobando soluciones que pueden ser extrapolables a futuros desarrollos. Se ha demostrado cómo las guías *Groove Gap Waveguide* pueden ser una alternativa conveniente para el adecuado ensamblado entre capas sin fugas de potencia. Más aún, se ha empleado un novedoso polarizador que permite obtener una muy buena pureza de polarización con un ancho de banda de AR < 1.6 dB en la banda de trabajo en cada panel.

AGRADECIMIENTOS

Las actividades que han llevado a la obtención de estos resultados han sido financiadas parcialmente por la Agencia Espacial Europea bajo el contrato 400010860913NLU- proyecto LOCOMO y por el Ministerio de Economía y Competitividad bajo el proyecto TEC2013-47360-C3-3-P.

REFERENCES

[1] T. Makdissy, R. Gillard, E. Fourn, M. Ferrando-Rocher, E. Girard, H. Legay, and L. Le Coq, “‘phoenix’ reflectarray unit cell with reduced size and inductive loading,” *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, vol. 10, no. 12, pp. 1363–1370, 2016.

[2] A. Valero-Nogueira, J. I. Herranz-Herruzo, M. Ferrando-Rocher, R. Lenormand, A. Hirsch, and J.-L. Almeida, “Switchable rhcp/lhcp slotted waveguide array antenna for satcom on-the-move applications in ka-band,” in *The 8th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2014)*. IEEE, 2014, pp. 2047–2051.

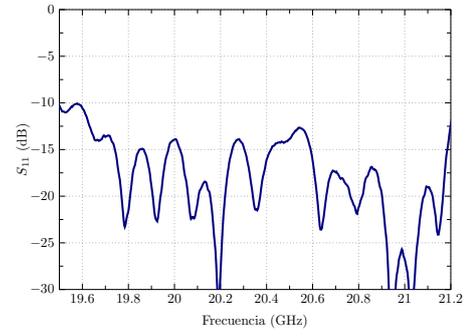


Fig. 10: Medida: Coeficiente de reflexión en el puerto de entrada (Panel RX)

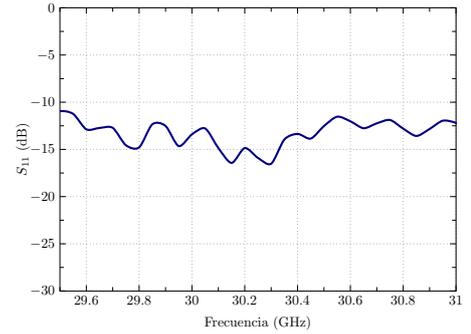


Fig. 11: Medida: Coeficiente de reflexión en el puerto de entrada (Panel TX)

[3] M. Ferrando-Rocher, A. Valero-Nogueira, J. I. Herranz-Herruzo, and J. Teniente, “60 ghz single-layer slot-array antenna fed by groove gap waveguide,” *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 18, no. 5, pp. 846–850, 2019.

[4] G. Montisci, M. Musa, and G. Mazzarella, “Waveguide slot antennas for circularly polarized radiated field,” *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 52, no. 2, pp. 619–623, Feb 2004.

[5] L. Young, L. Robinson, and C. Hacking, “Meander-line polarizer,” *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 21, no. 3, pp. 376–378, May 1973.

[6] K. Itoh and T. Adachi, “Novel circularly polarized antennas combining a slot with parasitic dipoles,” in *Antennas and Propagation Society International Symposium, 1980*, vol. 18, June 1980, pp. 52–55.

[7] K.-S. Min, J. Hirokawa, K. Sakurai, M. Ando, and N. Goto, “Single-layer dipole array for linear-to-circular polarisation conversion of slotted waveguide array,” *Microwaves, Antennas and Propagation, IEEE Proceedings*, vol. 143, no. 3, pp. 211–216, Jun 1996.

[8] Y. Li, Z. N. Chen, X. Qing, Z. Zhang, J. Xu, and Z. Feng, “Axial ratio bandwidth enhancement of 60-ghz substrate integrated waveguide-fed circularly polarized ltcc antenna array,” *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 60, no. 10, pp. 4619–4626, Oct 2012.

[9] G.-L. Huang, S.-G. Zhou, T.-H. Chio, H.-T. Hui, and T.-S. Yeo, “A Low Profile and Low Sidelobe Wideband Slot Antenna Array Fed by an Amplitude-Tapering Waveguide Feed-Network,” *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 63, no. 1, pp. 419–423, Jan 2015.

[10] M. Zhang, J. Hirokawa, and M. Ando, “Fabrication of a slotted waveguide array at 94GHz by diffusion bonding of laminated thin plates,” in *Antennas and Propagation Society International Symposium, 2009. APSURSI '09. IEEE*, June 2009, pp. 1–4.

[11] M. Sano, J. Hirokawa, and M. Ando, “A hollow rectangular coaxial line for slot array applications fabricated by diffusion bonding of laminated thin metal plates,” *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 61, no. 4, pp. 1810–1815, April 2013.

[12] M. Ferrando-Rocher, A. Valero-Nogueira, J. Herranz-Herruzo, and A. Berenguer, “Groove gap waveguides: A contactless solution for

- multilayer slotted-waveguide array antenna assembly," in *10th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*, April 2016.
- [13] 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.
- [14] 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.