

Array circular en banda L con rotación secuencial, alta directividad y polarización circular para comunicaciones por satélite

Gorka Casaus-Goyeneche, Miguel Ferrando-Rocher, Javier Vera-Sánchez, Miguel Ferrando-Bataller
Antennas and Propagation Lab, iTEAM Research Institute, Universitat Politècnica de Valencia (UPV), Spain
jcasgoy@upv.es

Abstract—This paper presents a six-element circular L-band array that uses sequential rotation, with a specifically designed feeding network and slot-coupled excitation. The microstrip feed network on Rogers RO4003C employs a two-stage division: a 1-to-2 split with a 180° phase shift, followed by two 1-to-3 dividers producing progressive phases (0° , 60° , 120° , 180° , 240° and 300°). Elements are excited through ground-plane apertures, and a low-permittivity foam spacer separates the feed and radiating layers to enhance efficiency. Full-wave simulations around 1.15 GHz demonstrate a good reflection coefficient with an impedance bandwidth exceeding 10%, a realized gain above 13 dBi, and circular polarization in the main beam from 1100 to 1180 MHz.

Index Terms—Array circular, rotación secuencial, red de alimentación microstrip, polarización circular, banda L.

I. INTRODUCCIÓN

LOS servicios aeronáuticos habilitados por satélite están pasando de la fase conceptual a la validación en órbita, impulsados por una necesidad operativa muy concreta: proporcionar comunicaciones y vigilancia en regiones oceánicas y remotas donde la infraestructura terrestre no existe o no resulta económicamente viable. Esta transición se produce bajo las exigencias de la Gestión del Tráfico Aéreo (ATM) en términos de seguridad, capacidad y eficiencia, y con una presión creciente por modernizar la conectividad más allá de mejoras incrementales [1]. En Europa, Startical representa bien esta tendencia, con demostradores en órbita e hitos públicos asociados a comunicaciones aeronáuticas satelitales, además de una hoja de ruta que refuerza la viabilidad de estos servicios a medio plazo [2]–[4]. En la misma línea, el programa IRIS² de la ESA está orientado a las comunicaciones aire–tierra por satélite, alineadas con las necesidades de SESAR y su integración futura en la aviación comercial [5], [6]. Trabajos recientes también sitúan la banda VHF como tecnología puente hacia la conectividad ATM futura, destacando una validación progresiva desde ensayos hasta servicios escalables [7].

Desde la perspectiva de antenas, el principal reto en banda L es que la longitud de onda conduce a antenas físicamente grandes. En aplicaciones aeronáuticas, esto obliga a compactar el diseño para reducir masa, facilitar la fabricación e integración en plataforma y, al mismo tiempo, mantener prestaciones electromagnéticas adecuadas. Para lograr una buena directividad en este contexto, una solución habitual es la agrupación de elementos, aunque ello no elimina la necesidad de

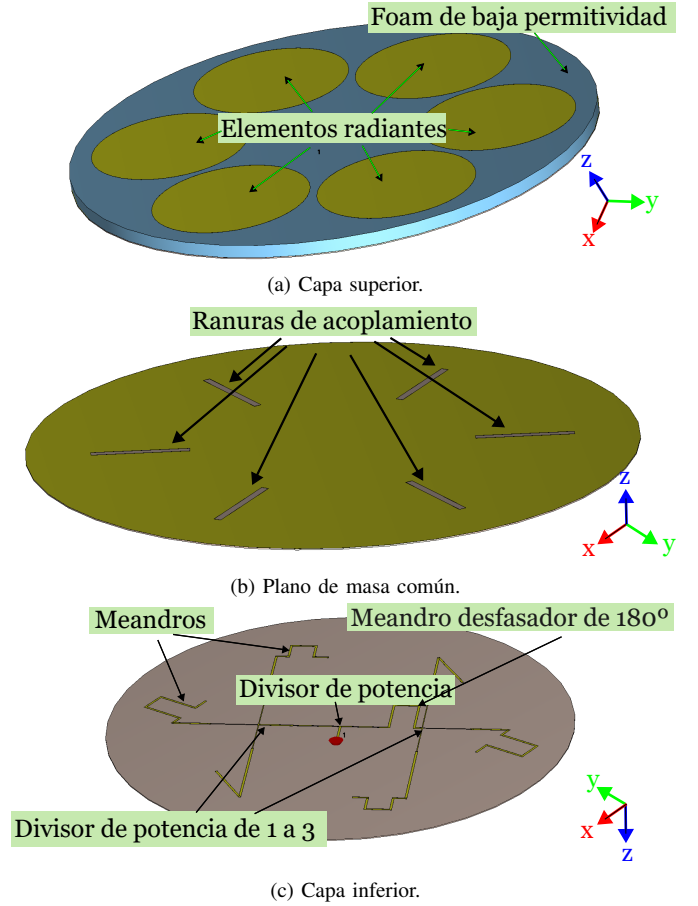


Fig. 1. Geometría de la antena.

preservar una polarización robusta. En este marco, las técnicas de rotación secuencial se han consolidado como una estrategia eficaz para obtener polarización circular (CP) y mejorar la estabilidad de la relación axial a nivel de array, sin necesidad de obtener polarización circular en cada elemento [8]–[10]. Además, su uso contribuye a reducir la sensibilidad frente a tolerancias de fabricación, algo especialmente relevante en diseños compactos para banda L.

II. DESCRIPCIÓN DE LA ANTENA

La antena propuesta es un array circular de seis elementos alimentados por ranura, compuesto por dos capas: una capa

TABLA I
PARÁMETROS CLAVE DEL DISEÑO.

Parámetro	Símbolo	Valor
Frecuencia central	f_0	1150 MHz
Diámetro total	D_{ant}	403.36 mm
Altura total	H_{tot}	11 mm
Espesor de RO4003C	h_{sub}	0.831 mm
Permitividad relativa de RO4003C	$\epsilon_{r,\text{sub}}$	3.55
Espesor de cobre	t_{Cu}	35 μm
Espesor de espuma	h_{foam}	10 mm
Permitividad relativa de la espuma	$\epsilon_{r,\text{foam}}$	1.06
Número de elementos	N	6
Diámetro del radiador	D_{rad}	59.8 mm
Espaciado entre radiadores	g_{rad}	126.05 mm
Longitud de la ranura	L_{slot}	65 mm
Ancho de la ranura	W_{slot}	5 mm
Impedancia de la línea de entrada	Z_0	50 Ω
Ancho principal de microstrip (50 Ω)	W_{50}	1.85 mm
Longitud extra del meandro 1	ΔL_{ph1}	63.78 mm
Longitud extra del meandro 2	ΔL_{ph2}	98.48 mm
Longitud extra del meandro 3	ΔL_{ph3}	64.08 mm

superior que aloja los elementos radiantes y una capa inferior que contiene la red de alimentación, como se ilustra en la Fig. 1. Ambas capas comparten un plano de masa común en el que se encuentran seis ranuras que permiten alimentar los parches radiantes.

La red de alimentación se implementa sobre Rogers RO4003C y se separa de la capa radiante mediante un foam de baja permitividad (Rohacell 51 HF). La apertura radiante está formada por seis elementos circulares idénticos, uniformemente espaciados y excitados a través de dichas ranuras, las cuales proporcionan aislamiento de alimentación, suprimen radiación espuria y ofrecen capacidad adicional de ajuste.

La red de alimentación proporciona amplitudes iguales y una fase progresiva uniforme alrededor del array mediante una división en dos etapas. Primero, una división 1-a-2 genera dos ramas con una diferencia de fase de 180° . Posteriormente, cada rama alimenta un divisor 1-a-3 que produce los conjuntos de fase 0° , 60° , 120° y 180° , 240° , 300° .

Los desfases requeridos se implementan utilizando meandros. En particular, ΔL_{ph1} introduce el desfase de 180° entre las dos ramas principales; ΔL_{ph2} proporciona un desfase de 60° entre la primera y la segunda salida del divisor 1-a-3; y un ΔL_{ph3} adicional añade otros 60° respecto a la última salida del divisor. La réplica de esta estructura en ambas ramas permite obtener la alimentación deseada sin componentes activos, manteniendo la fabricabilidad y garantizando buenas prestaciones electromagnéticas.

Los parámetros geométricos clave del diseño se optimizaron mediante simulaciones de onda completa para lograr una buena adaptación a la frecuencia de trabajo y polarización circular en la región del haz principal.

III. RESULTADOS SIMULADOS

En esta sección se presentan los resultados obtenidos para la simulación de onda completa de la antenna junto a su red de alimentación. Como punto de partida, la Fig. 2 muestra

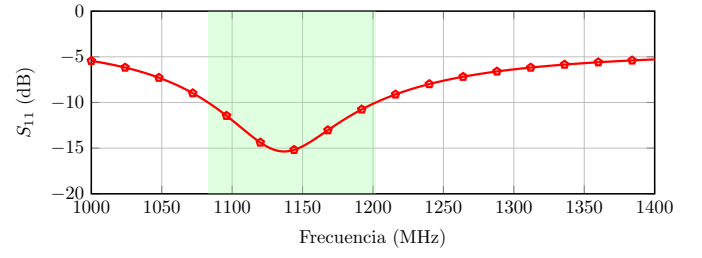


Fig. 2. Coeficiente de reflexión simulado (S_{11}).

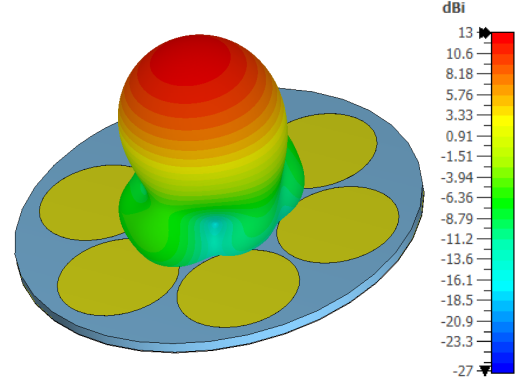


Fig. 3. Diagrama de radiación 3D simulado del array propuesto en banda L.

el coeficiente de reflexión de la antenna, donde se identifica una resonancia correctamente centrada a 1150 MHz con un mínimo de $S_{11} \approx -15.5$ dB y unas pérdidas de retorno inferiores a -10 dB desde 1080 a 1200 MHz, lo que se traduce en un ancho de banda fraccional ligeramente superior al 10%.

El diseño presenta un diagrama de radiación limpio, representado en la Fig. 3, donde se observa un lóbulo principal en la dirección broadside con una ganancia realizada de aproximadamente 13 dBi. La Fig. 4 muestra los cortes para $\phi = 0^\circ$ y $\phi = 90^\circ$, normalizados tanto para la componente copolar (RHCP) como para la componente cruzada (LHCP). El nivel de lóbulos secundarios está por debajo de -30 dB, mientras que la polarización cruzada permanece aproximadamente 20 dB por debajo de la copolar en toda la región principal.

Otro de los parámetros optimizados en el diseño es la relación axial, ya que no solo es necesario garantizar polarización circular dentro del ancho de haz, sino también mantenerla estable a lo largo de la banda de operación. En la Fig. 5 se muestra la relación axial a 1150 MHz, donde se observa que los valores se mantienen por debajo de 3 dB en la región del lóbulo principal, confirmando una buena pureza de polarización circular en la dirección de máximo.

Asimismo, la Fig. 6 presenta la evolución de la relación axial en la dirección de nadir como función de la frecuencia. En este caso, la relación axial permanece por debajo de 3 dB entre 1100 y 1180 MHz, lo que corresponde a un ancho de banda de polarización circular del 7%. Este comportamiento estable en frecuencia se debe en gran medida a la rotación

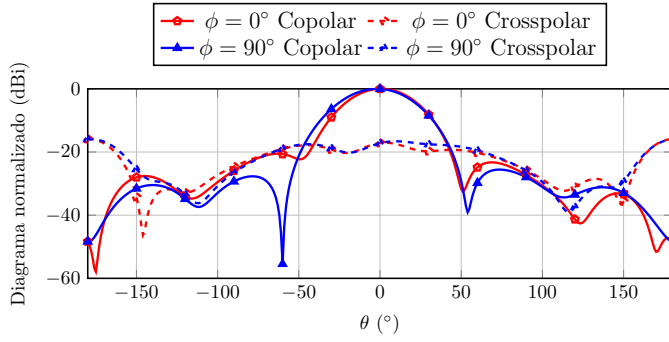


Fig. 4. Diagrama de radiación normalizado en los planos $\phi = 0^\circ$ (rojo) y $\phi = 90^\circ$ (azul), mostrando la componente copolar (línea continua) y crosspolar (línea discontinua) del array.

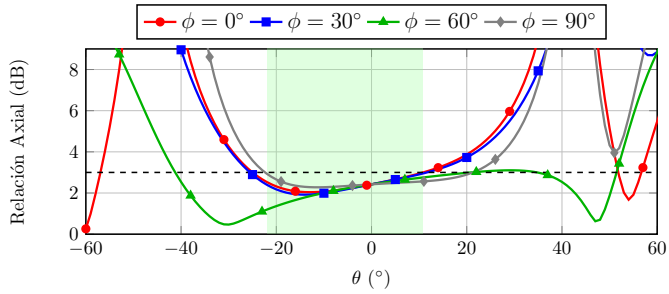


Fig. 5. Relación axial simulada para varios cortes acimutales ($\phi = 0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, \text{ y } 90^\circ$).

secuencial implementada en la antena, la cual contribuye a preservar la polarización circular en un ancho de banda ampliado. Para ilustrar este funcionamiento, la Fig. 7 muestra la distribución del campo eléctrico en distintos instantes de tiempo, donde se aprecia claramente la rotación progresiva del campo. En conjunto, los resultados simulados confirman que la arquitectura propuesta cumple los objetivos de diseño, presenta una radiación direccional en la dirección broadside, un buen ancho de banda y una polarización circular estable en banda. Todo ello se logra mediante una única entrada, lo que simplifica la fabricación y refuerza la viabilidad práctica de una arquitectura pasiva basada en acoplamientos por ranura.

IV. CONCLUSIONES

Se ha presentado un array circular compacto de seis elementos en banda L que emplea alimentación por ranura y utiliza la rotación secuencial para generar polarización circular a partir de elementos linealmente polarizados. La red de alimentación microstrip, implementada en dos etapas sobre RO4003C y separada de la capa radiante mediante un espaciador de baja permitividad, permite obtener las fases progresivas requeridas sin componentes activos y con una geometría fácilmente fabricable.

Las simulaciones de onda completa validan que la arquitectura propuesta ofrece un buen coeficiente de reflexión, con adaptación adecuada en torno a 1.15 GHz, una ganancia de unos 13 dBi y una polarización circular robusta en el lóbulo principal dentro del rango 1100–1180 MHz. Estos resultados

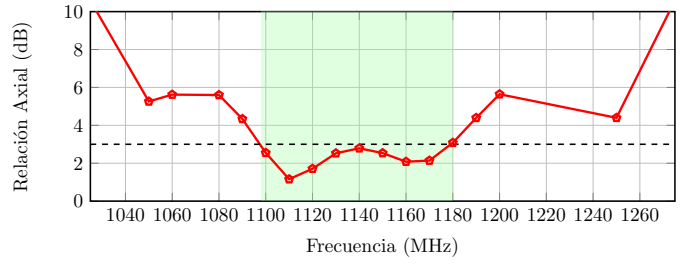


Fig. 6. Relación axial simulada en función de la frecuencia en broadside.

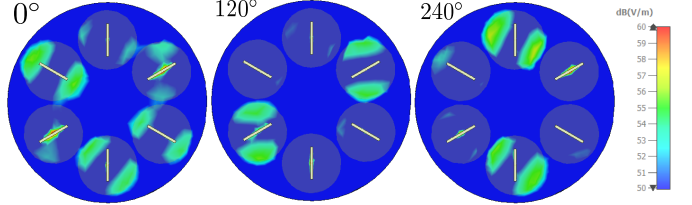


Fig. 7. Campo eléctrico en el plano de masa de la antena para diferentes instantes temporales.

confirman que la combinación de un array de antenas con una alimentación determinista presenta una solución eficaz y sencilla para obtener buena directividad y control de polarización con una única entrada. Como trabajo futuro, se prevé la fabricación de un prototipo y la realización de medidas que permitan validar experimentalmente el funcionamiento del diseño, así como un estudio de sensibilidad para analizar el impacto de tolerancias de fabricación críticas en la red de alimentación y en la alineación entre capas.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha recibido financiación de la SESAR 3 Joint Undertaking a través del proyecto SATERA (Grant Agreement No. 101164313), del Ministerio de Ciencia e Innovación de España mediante los proyectos PID2022-136869NB-C33 y PID2022-141055NB-C21, de INDRA Espacio S.L.U. a través del proyecto LINCE del Programa Tecnológico Espacial Español, y de la Universitat Politècnica de València mediante el proyecto PAID-01-25.

REFERENCIAS

- [1] D. Reay, "Better Air Traffic Management: A Flight of Fancy?" *Research-Technology Management*, vol. 67, no. 3, pp. 5–6, 2024.
- [2] ENAIRE, "Startical Has Launched Its First Satellite, IOD-1," https://www.enaire.es/en_GB/2025_03_17/ndp_startical_has_launched_first_satellite_iod1, 2025, accessed: 2026-02-25.
- [3] SESAR Joint Undertaking, "ECHOES project marks global milestone in satellite-based VHF communications," <https://www.sesarju.eu/news/echoes-project-marks-global-milestone-satellite-vhf-communications>, 2025, accessed: 2026-02-25.
- [4] Indra Group, "Startical achieves first-ever VHF voice communication between pilot and air traffic controller via satellite," <https://www.indragroup.com/en/noticia/startical-achieves-first-ever-vhf-voice-communication-pilot-air-traffic-controller-satellite>, 2025, accessed: 2026-02-25.
- [5] European Space Agency (ESA), "Iris for aviation," https://www.esa.int/Applications/Connectivity_and_Secure_Communications/Iris_for_aviation, 2025, accessed: 2026-02-25.

- [6] ESA Connectivity and Secure Communications, “IRIS - Satellite Communication for Air Traffic Management,” <https://connectivity.esa.int/iris-satellite-communication-air-traffic-management>, 2025, accessed: 2026-02-25.
- [7] A. A. Hijosa, M. M. Martínez, J. L. C. García, M. G. Martín, J. M. G. Cano, and D. F. Fernandez, “Space-based VHF, a bridge to the future,” in *2025 Integrated Communications, Navigation and Surveillance Conference (ICNS)*. IEEE, 2025, pp. 1–8.
- [8] J. Huang, “A technique for an array to generate circular polarization with linearly polarized elements,” *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 34, no. 9, pp. 1113–1124, 1986.
- [9] H. K. Kan and R. Waterhouse, “A small CP-printed antenna using 120/spl deg/ sequential rotation,” *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 50, no. 3, pp. 398–399, 2002.
- [10] A. B. Smolders and U. Johannsen, “Axial ratio enhancement for circularly-polarized millimeter-wave phased-arrays using a sequential rotation technique,” *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 59, no. 9, pp. 3465–3469, 2011.