

# Integración de un sistema receptor de satélite en banda Ka basado en componentes COTS

Nieves García<sup>(1)(2)</sup>, Aintzane Lujambio<sup>(1)</sup>, Beatriz Aja<sup>(2)</sup>, Luisa de la Fuente<sup>(2)</sup>.

nieves.garcia@altertechnology.com, aintzane.lujambio@altertechnology.com, ajab@unican.es, fuerterm@unican.es

<sup>(1)</sup> ALTER Technology TÜV Nord SAU, C / Tomás A. Edison 4 - PCT Cartuja - 41092 Sevilla.

<sup>(2)</sup> A Dpto. de Ingeniería de Comunicaciones. Universidad de Cantabria, Plaza de la Ciencia, 39005 Santander.

**Abstract-** This work presents the integration of a Ka-band satellite receiver system based on commercial off-the-shelf (COTS) components. The receiver consists of a low-noise amplifier, a band-pass filter, a sub-harmonic mixer, a frequency synthesizer and an Intermediate Frequency (IF) amplifier. The receiver frequency band is 27 – 30 GHz, being one of the bands allocated to Satcom communications for user link. The IF band is DC – 2.5 GHz, that is set by the operating range of the mixer. All selected COTS are bare die monolithic microwave integrated circuits (MMIC), except the frequency synthesizer, which is comprised of a packaged MMIC. A custom-made chassis is designed to integrate the whole receiver. This demonstrator serves as a precursor to the integration of these components into a System-in-Package (SiP) module for evaluation in Space applications. The first goal of the developed system in a conventional format (chassis) is to characterize and validate the functionality of the COTS components as a Ka-band receiver. This approach goes beyond simply connecting these components; it involves carefully planning the structural design of the chassis in the smallest possible space.

## I. INTRODUCCIÓN

La rápida expansión de las tecnologías de ondas milimétricas (mmW) ha impulsado los avances en las comunicaciones inalámbricas de alta velocidad. Al mismo tiempo, la creciente demanda de comunicaciones por satélite de alta velocidad de datos -impulsada por aplicaciones como la radiodifusión de alta definición o el acceso global a Internet- ha acelerado la adopción de frecuencias mmW en satélites geostacionarios y de órbita terrestre baja (LEO) [1]. Estos desarrollos requieren soluciones compactas, eficientes y altamente integradas que equilibren rendimiento, fiabilidad y rentabilidad.

Los módulos multichip (MCM) multicapa y tridimensionales (3D), junto con las tecnologías SiP [2], [3], ofrecen enfoques prometedores para alcanzar estos objetivos. Al integrar dispositivos semiconductores heterogéneos y componentes pasivos embebidos, estas soluciones permiten aumentar la densidad de los circuitos, reducir las pérdidas por interconexión y mejorar el rendimiento global del sistema en comparación con las técnicas tradicionales de placa de circuito impreso (PCB). Entre ellas, los MCM basados en cerámica y las tecnologías avanzadas de empaquetado han demostrado propiedades superiores de RF, capacidades de miniaturización y robustez para aplicaciones espaciales [4] [5] [6].

En este contexto, este trabajo explora la integración de un sistema receptor de satélite en banda Ka basado en componentes comerciales disponibles en el mercado, que sirve como precursor de futuras implementaciones SiP. La arquitectura del receptor, desarrollada dentro de un chasis compacto personalizado (40x43x18mm<sup>3</sup>), está diseñada para validar el rendimiento de los componentes clave. Con este enfoque, el estudio contribuye al desarrollo de sistemas de comunicación por satélite miniaturizados y fiables, allanando el camino para la próxima generación de transeptores espaciales.

La banda de RF del receptor de satélite abarca el intervalo de 27-30 GHz, especialmente relevante en las aplicaciones de enlace de usuario Satcom. La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) ha aprobado redes de satélite en la banda Ka en el rango de 17.3-31 GHz, y la mayoría de las redes de satélite en banda Ka utilizan enlaces ascendentes en el rango de 27.5-31 GHz y enlaces descendentes en el rango de 17.7-21.2 GHz. Estas características hacen que la banda Ka sea especialmente útil en aplicaciones que requieren altas velocidades de transmisión de datos, como el streaming de vídeo de alta definición, los servicios de Internet de banda ancha en zonas rurales o remotas y las comunicaciones móviles avanzadas [7].

## II. DISEÑO DEL SISTEMA

En la Fig. 1 se presenta el diagrama de bloque del sistema receptor en banda Ka, y los detalles de los componentes que lo forman se detallan en la Tabla I.

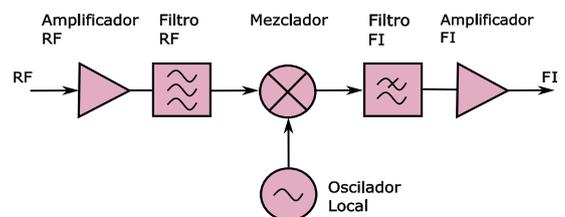


Fig. 1. Diagrama de bloques del receptor de satélite

TABLA I  
DETALLE DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA

Dispositivo	Banda de frecuencia (GHz)	Encapsulado	Tecnología	Fabricante	Dimensiones (mm <sup>3</sup> )
Amplificador de bajo ruido (Amplificador RF)	26-34	Chip	GaN	MACOM	3.65x1.26x0.1
Filtro paso banda (Filtro RF)	25-33.3	Chip	GaAs	Marki	2.4x2.4x0.1
Mezclador subarmónico	RF: 26-33 LO: 13-16.5 IF: DC-2.5	Chip	GaAs	Analog Devices	1.32x0.97x0.1
Sintetizador de frecuencia (Oscilador Local)	1.925-16	QFN	SiGe	STMicroelectronics	6x6x0.1
Filtro paso baja (Filtro FI)	<6.15	Chip	GaAs	Marki	2.4x2.4x0.1
Amplificador de frecuencia intermedia (Amplificador FI)	DC-4	Chip	InGaP	Analog Devices	0.38x0.58x0.1

Todos los componentes seleccionados se encuentran en formato chip, excepto el sintetizador de frecuencia, que está en un encapsulado QFN. El sistema funciona en la banda de RF de 27-30 GHz y en la banda de OL de 13-16 GHz. Para la conversión de frecuencia se utiliza un mezclador subarmónico de GaAs (Arseniuro de Galio) con un amplificador de OL integrado. El rango de FI va de 0.5 a 2.5 GHz. El LNA elegido como primer elemento de la cadena de RF del sistema, tiene una ganancia típica de 18 dB y un factor de ruido de 1.6 dB. Los filtros se han seleccionado cuidadosamente para ajustarse a las bandas de frecuencia específicas en las que opera el sistema. El consumo total del sistema es de unos 2.3W, principalmente marcado por el PCB del sintetizador, que consume aproximadamente el 65% del total. El sintetizador, que proporciona la señal del oscilador local, puede configurarse dentro del rango de 13-16 GHz y entrega una potencia de salida (Pout) entre -4 y +5.5 dBm, dependiendo de la frecuencia seleccionada.

### III. DISEÑO DEL CHASIS

El principal objetivo del diseño del chasis ha sido la miniaturización. Para lograr este objetivo, el chasis se ha diseñado siguiendo una estructura multicapa. Consta de tres piezas principales de aluminio bañado en oro, base (1), tapa intermedia (2) y tapa (3) mostradas en la Fig. 2. (a). La conexión de las tres piezas da como resultado una caja metálica con dos conectores coaxiales de RF y dos conectores de DC (Fig. 2. (b)). La función de la tapa intermedia es cerrar los canales de RF, OL y FI, para evitar resonancias dentro de toda la cavidad.

Los chips mencionados en la Sección II, que incluyen el LNA, el filtro de RF, el mezclador, el filtro de FI y el amplificador de FI, se sueldan en canales realizados en la base metálica (1). Las interconexiones entre los chips se realizan mediante *bondings* a líneas de transmisión de alúmina. Además, se suelda un PCB a la base para proporcionar la polarización de DC necesaria para los chips activos. Una vez ensamblados todos los componentes, la tapa intermedia (2) se atornilla a la base (1), sellando de esta manera el canal de RF. Para el acceso de OL al mezclador, se conecta un *bullet* al conector mini SSBB guiado a través de un orificio mecánico en la tapa intermedia.

Entre la tapa intermedia (2) y la tapa del chasis (3), se encuentra un PCB diseñado para el sintetizador de OL, que permite la comunicación desde el exterior del chasis para poder configurarlo y generar la señal de OL necesaria para el mezclador. El PCB lleva montado otro mini conector SSBB

que, mediante el *bullet*, permite guiar la señal de OL entre las diferentes capas que forman el chasis. Esto ha dado como resultado un diseño multicapa compacto que prioriza la optimización del espacio disponible, gracias a que el rol del conector SSBB permite hacer un diseño modular y apilar los subsistemas en dirección vertical, siendo uno de los puntos más desafiantes del diseño del chasis.

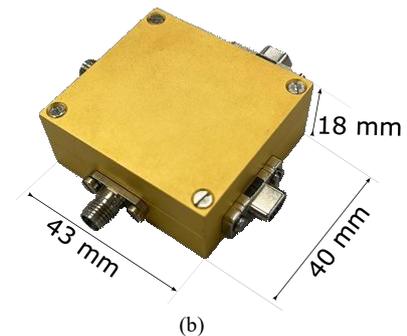
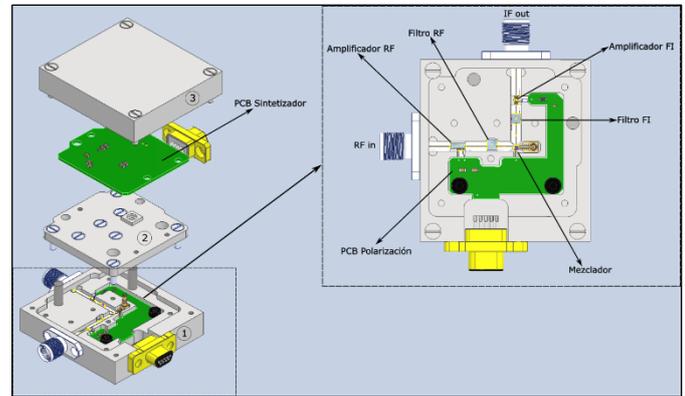
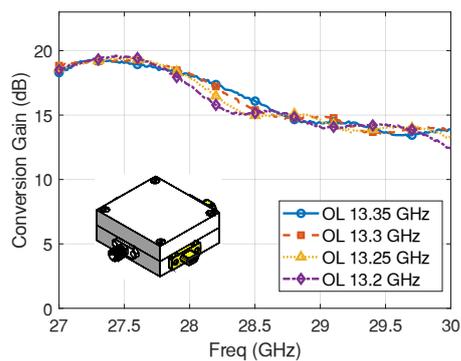


Fig. 2. (a) Vista simplificada de la estructura del chasis. (b) Chasis fabricado.

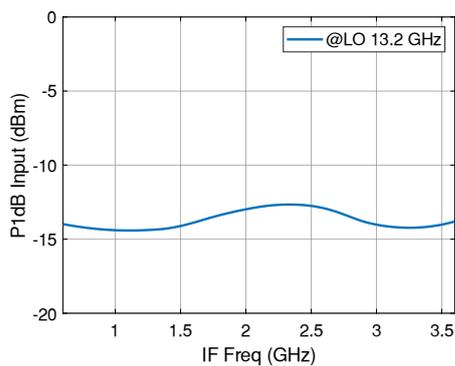
### IV. CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA

Una vez ensamblado el chasis, que integra el receptor de satélite fabricado con componentes COTS, el siguiente paso es caracterizarlo eléctricamente. Para ello, se han medido los componentes individuales del sistema, así como el conector mini SSBB, para el que se han creado diseños personalizados de transición *back-to-back*. Tras verificar el correcto funcionamiento de todos los componentes, se ha montado el

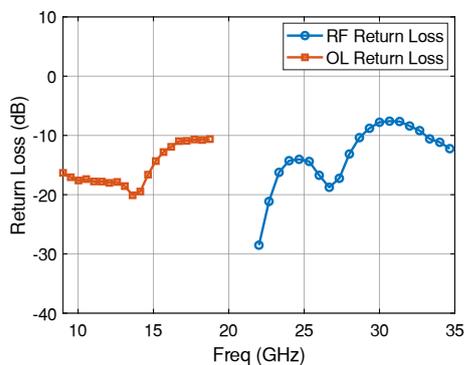
chasis y se ha desarrollado el setup de medida adecuado para medir los parámetros de ganancia de conversión, P1dB, y pérdida de retorno, tal y como se muestra en la Fig. 3.



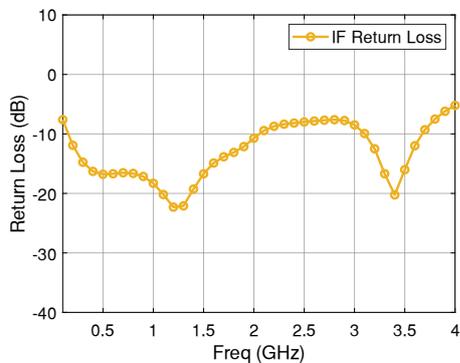
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 3. (a) Ganancia de conversión vs. frecuencia de RF. (b) IP1dB vs. frecuencia de RF a IF 1GHz. (c) Pérdidas de retorno de RF y OL. (d) Pérdidas de retorno de IF.

Basado en la caracterización de cada componente individual del sistema, considerando la ganancia de los amplificadores, las pérdidas de inserción de los filtros y la ganancia de conversión del mezclador, la ganancia de conversión global del sistema se sitúa entre 12.4 y 19.6 dB. La ganancia de conversión estimada coincide con el valor medido, produciéndose una reducción de los valores de la ganancia para frecuencias mayores, debido al comportamiento del mezclador. El P1dB del sistema viene determinado por el LNA, cuyo valor medido está entre -14.5 dBm y -12.4 dBm, referido a la entrada, como se muestra en la Fig. 3 (b).

Las pérdidas de retorno para el acceso de OL del sistema se miden en el puerto OL del mezclador, una vez integrado en el diseño general, y su valor coincide con el esperado para el rango de frecuencias 13-16 GHz, superando los 10 dB. Para el caso de la FI de salida, el rango de operación es 0.5-2.5 GHz, ya que está desacoplado en DC, y las pérdidas de retorno son superiores a 7.6 dB para ese rango de frecuencias de operación. En el caso de las pérdidas de retorno de RF, los valores medidos cumplen las especificaciones del LNA dadas por el fabricante, ya que es el primer componente de la cadena de RF, y el valor es superior a 7.8 dB.

## V. CONCLUSIONES

Este trabajo demuestra con éxito la integración y validación de un sistema receptor de satélite en banda Ka basado en componentes COTS. Aprovechando una combinación de MMICs en formato chip y un sintetizador de frecuencias empaquetado en QFN, el sistema receptor consigue funcionar dentro de la banda de frecuencias de 27-30 GHz, con un rango de FI de 0.5-2.5 GHz.

El diseño del chasis es esencial para integrar estos componentes cumpliendo el objetivo de optimizar el espacio total, manteniendo al mismo tiempo la modularidad y el rendimiento del sistema. El uso de un conector *board-to-board* (SSBB) facilita el enfoque modular, permitiendo la conexión de subsistemas apilados, como el PCB del sintetizador con el resto de los componentes que forman el receptor. Este diseño modular no sólo simplifica la integración, sino que también constituye un importante paso intermedio hacia la transición a una solución SiP para aplicaciones espaciales.

Los resultados de la caracterización validan el funcionamiento del sistema, confirmando su potencial para aplicaciones Satcom. La respuesta en frecuencia y la integridad de la señal cumplen las expectativas, lo que proporciona confianza en la viabilidad de los componentes COTS seleccionados para sistemas de aplicación espacial.

Este diseño demuestra el rendimiento del sistema y la idoneidad de sus componentes para su posterior desarrollo hacia una integración SiP completa. El encapsulado del sistema receptor en un módulo SiP promete ofrecer varias ventajas, como la reducción del tamaño, el aumento de la fiabilidad y una mayor resistencia a los entornos espaciales. El trabajo futuro se centrará en abordar los retos del diseño SiP, como la tolerancia a la radiación, el rendimiento térmico y las pruebas ambientales en condiciones similares a las del espacio.

En conclusión, este trabajo no sólo pone de manifiesto la viabilidad del uso de componentes COTS para sistemas receptores de alto rendimiento en banda Ka, sino que también establece una hoja de ruta para su evolución hacia soluciones de grado espacial.

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación a través de las “Ayudas para la formación de doctores en empresas «Doctorados Industriales» del Programa Estatal para Desarrollar, Atraer y Retener Talento, en el marco del Plan Estatal de Investigación Científica, Técnica y de Innovación 2021-2023” bajo la beca DIN2021-011986 y por la Universidad de Cantabria a través de “Programa de doctorados industriales 2022” mediante la beca 12.DI35.649.

#### REFERENCIAS

- [1] G. Amendola et al., "Low-Earth Orbit User Segment in the Ku and Ka-Band: An Overview of Antennas and RF Front-End Technologies," in IEEE Microwave Magazine, vol. 24, no. 2, pp. 32-48, Feb. 2023, doi: 10.1109/MMM.2022.3217961
- [2] F. Alimenti, P. Mezzanotte, G. Tasselli, A. Battistini, V. Palazzari and L. Roselli, "Development of Low-Cost 24-GHz Circuits Exploiting System-in-Package (SiP) Approach and Commercial PCB Technology," in IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology, vol. 2, no. 8, pp. 1265-1274, Aug. 2012, doi: 10.1109/TCPMT.2012.2184111.
- [3] J. Lu, H. Liu, J. Chang and M. Yu, "Research of Dual-Channel Receiver Based on SIP Technology with Novel Structure," 2024 International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology (ICMMT), Beijing, China, 2024, pp. 01-03.
- [4] K. K. Samanta and D. Kissinger, "Multilayer Millimeter-Wave MCMs [From the Guest Editors' Desk]," in IEEE Microwave Magazine, vol. 19, no. 1, pp. 20-135, Jan.-Feb. 2018, doi: 10.1109/MMM.2017.2762479.
- [5] S. -K. Yeo, J. -H. Chun and Y. -S. Kwon, "A 3-D X-Band T/R Module Package with an Anodized Aluminum Multilayer Substrate for Phased Array Radar Applications," in IEEE Transactions on Advanced Packaging, vol. 33, no. 4, pp. 883-891
- [6] K. Erkelenz, F. Goepfert, N. Sielck, A. Koelpin and A. F. Jacob, "A Heterodyne Transceiver for Hybrid-Integrated K-/Ka-Band Phased Arrays," 2023 53rd European Microwave Conference (EuMC), Berlin, Germany, 2023, pp. 364-367
- [7] European Conference of Postal and Telecommunications Administrations (CEPT). (2019). ECC Report 152: The use of the frequency bands 27.5–31 GHz and 17.7–21.2 GHz for high-throughput satellite systems. <https://docdb.cept.org/download/616>