

## CASO PRÁCTICO

# RBX: El nuevo radar SAR en banda X del INTA

Larrañaga, J.R.<sup>\*1</sup>, de Porrás Bernácer, R.<sup>1</sup>, del Castillo, J.<sup>1</sup>, Gimeno, N.<sup>2</sup>, Aguilar, P.<sup>1</sup>, Baquero, A.M.<sup>2</sup>, Casal, N.<sup>1</sup>, Cifuentes, P.<sup>2</sup>, Cores, J.F.<sup>1</sup>, Cuerda, J.M.<sup>1</sup>, García, M.<sup>1</sup>, Gómez, B.<sup>1</sup>, González M.J.<sup>1</sup>, López, A.<sup>1</sup>, Madroño, D.<sup>1</sup>, Ojalvo, L.<sup>1</sup>, Pedreira, A.<sup>1</sup>, Sánchez, S.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA). Ctra. Ajalvir s/n, 28850, Torrejón de Ardoz, Madrid.

<sup>2</sup> Asistencia técnica externa de Ingeniería de Sistemas para la Defensa de España. (ISDEFE). C/Beatriz de Bobadilla 3, 28040 Madrid

---

**Resumen:** Este artículo describe las características y los primeros resultados del sistema RBX, nuevo radar de apertura sintética aerotransportado que ha sido desarrollado en el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial. El nuevo sistema soporta resoluciones submétricas con capacidades interferométricas y polarimétricas. La arquitectura del sistema se ha diseñado teniendo en cuenta la facilidad de incorporar mejoras y la calidad de los datos adquiridos, incluyendo múltiples lazos de calibración interna.

**Palabras clave:** SAR (Radar de Apertura Sintética), radar aerotransportado, calibración, procesado radar.

## RBX: The new X-band SAR system from INTA

**Abstract:** This paper describes the characteristics and the first results of the RBX system, the new airborne Synthetic Aperture Radar developed at Spanish National Institute of Aerospace Technology. The new system supports submetric resolution with interferometric and polarimetric capabilities. The system architecture has been designed taking into account an easy upgrade ability and the quality of the acquired data, including multiple internal calibration loops.

**Key words:** Synthetic Aperture Radar, Airborne Radar, Calibration, Radar Processing.

---

## 1. Introducción

El sistema RBX, que sustituye al RIX (el anterior prototipo operativo de desarrollo de tecnología radar del instituto), permite poder alcanzar el estado del arte de los radares SAR aerotransportados tanto en resolución como en modos de operación y calidad de datos que permita continuar en la investigación y desarrollo de dicha tecnología (González Bonilla, M. J. *et al.* 2009).

El sistema va montado en la plataforma aérea de investigación del INTA EADS/CASA C-212 y se ha diseñado para facilitar futuras mejoras y modificaciones ya sea para adaptar el radar a nuevos requisitos o para proporcionar nuevas funcionalidades.

Otro de los objetivos del sistema ha sido el asegurar la calidad de los datos adquiridos. Para ello, se han incluido varios lazos de calibración así como comprobaciones de las condiciones operativas del radar.

\* Autor para la correspondencia: [sduj@inta.es](mailto:sduj@inta.es)

En la actualidad se han realizado los primeros vuelos de ensayo con los resultados preliminares presentados en este artículo.

## 2. Características generales

El objetivo principal de las especificaciones del sistema ha sido el diseño de un prototipo con prestaciones similares a los sistemas actuales más avanzados (G. Bonin *et al.*, 2008) (Horn, Ralf *et al.* 2008), combinando un alto grado de flexibilidad y facilidad de incorporación de mejoras que permita alcanzar el estado del arte en la investigación en la tecnología SAR.

Las características principales del sistema son:

- Frecuencia central: 9,6 GHz
- Potencia Máxima: 2 KW
- Altura de vuelo nominal: 10.000 pies (limitado por la plataforma aérea)
- PRF : variable >6.000 Hz
- Generación de señal: arbitraria I/Q, 8 formas de onda diferentes por pulso
- Ancho de banda: variable hasta 600 MHz (0,25 m en *slant range*)
- Datos por pulso: hasta 64 K muestras complejas.
- Ángulo de incidencia central: 60°, 70°
- Antenas: 4 (2 en H y 2 en V)
  - Ancho de haz en elevación: 30°
  - Ancho de haz en acimut: 10°
- Operación: *stripmap*
- Modos: cualquier secuencia de 4 antenas (bidimensional, interferométrico, dual-pol, quad-pol, etc.)
- Calibración: adquisición antes, después y durante la toma de una réplica de la señal transmitida
- Monitorización de temperaturas
- Procesado en tiempo real

El sistema posee un reloj maestro de 10 MHz disciplinado a la señal GPS al que se enganchan el resto de relojes del radar. Dicha configuración asegura una muy alta estabilidad, rapidez en alcanzar dicha estabilidad una vez encendido en vuelo y que se

puedan sincronizar en el futuro varios radares a la misma señal.

El sistema permite una completa flexibilidad en la selección de antenas, parámetros de transmisión (forma de onda arbitraria, potencia transmitida, etc.) y parámetros de adquisición de datos (retardos, longitud de ventana, etc.) dando como resultado una gran versatilidad de modos de adquisición de datos radar.

## 3. Arquitectura del sistema

El sistema está dividido en unidades modulares. La división se ha realizado teniendo en cuenta varios criterios:

- El núcleo representativo de la tecnología es de desarrollo propio y ha de ser fácilmente ampliable
- Utilización de COTS siempre que sea posible
- Funcionalidad
- Integración en la plataforma aérea

Basado en los requisitos anteriores el sistema se divide en las unidades indicadas en la Figura 1. A continuación se realiza una breve descripción de las mismas, cuyo montaje en el avión se puede ver en la Figura 2.

### 3.1. Unidad Electrónica de Radar (UER)

Su función es la generación y adquisición en banda base de la señal radar, la modulación/demodulación a frecuencia intermedia, control de todas las unidades, formateado y temporización.

Esta unidad está compuesta de varios PCBs conectados a través de VME. El control se realiza a través de un SBC comercial que permite la interacción con el usuario para la configuración del sistema antes de la toma de datos, monitorizar el estado del sistema (temperatura, modo de operación, etc.), mostrar la imagen procesada en tiempo real y grabar los parámetros y estado para un análisis posterior de los mismos.

Las funcionalidades de generación, adquisición y temporización se realizan en una sólo placa. Esta genera la señal a transmitir en banda base y muestrea tanto el eco recibido como la réplica de la señal transmitida. También genera todos los disparos

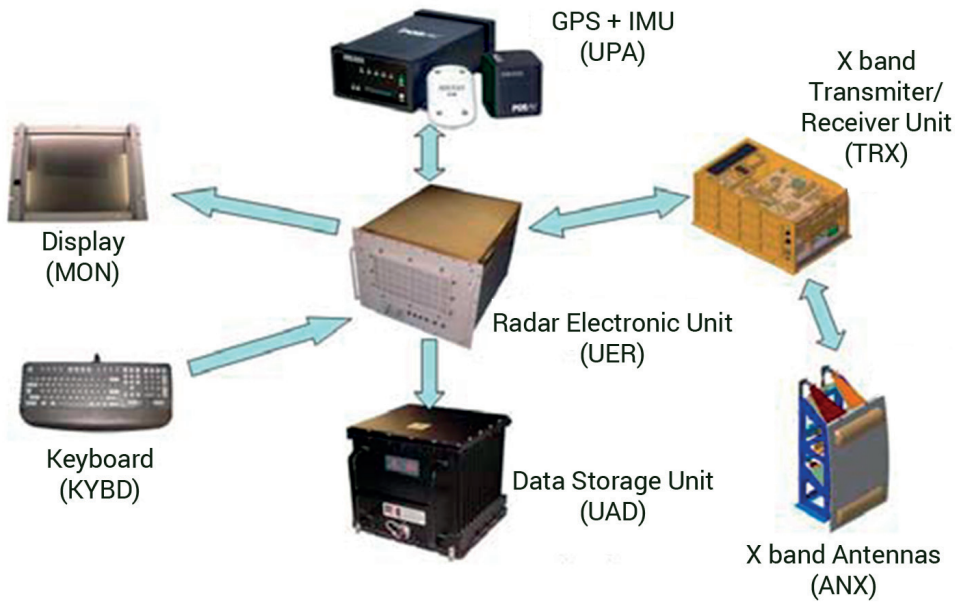


Figura 1. Arquitectura del sistema RBX.

necesarios para controlar las diferentes unidades que componen el radar (García Rodríguez, M., 2008).

Una tercera placa se encarga del formateo de los datos adquiridos, su almacenamiento y su envío al procesador de tiempo real. Este módulo recibe todos los datos de los sensores de temperaturas del sistema. Con ello se comprueba tanto el estado del sistema como la información para la calibración del mismo. Además realiza funciones de interfaz de comunicación del módulo de control con la unidad de Transmisión/recepción.

Una placa adicional realiza la modulación a frecuencia intermedia de la señal a transmitir y la demodulación a banda base del eco recibido.

Uno de los elementos principales del nuevo sistema es el procesador en tiempo real que está implementado en placas COTS con procesadores PPC conectados utilizando buses de alta velocidad para compartir datos, reduciendo el tiempo necesario para el proceso así como el número de procesadores necesario por medio de una optimización del hardware utilizado. El



Figura 2. Sistema RBX montado en C-212.



procesador de tiempo real implementa el algoritmo *chirp scaling* para *stripmap* que incluye una compensación de movimiento de primer orden con resoluciones de 5 metros.

Dado que el proceso se considera ilimitado en acimut, la solución seguida para acelerar el procesamiento es la utilización de un sistema paralelo de dos nodos donde los datos se dividen en bloques más pequeños para después combinarlos generando una imagen completa de radar, como se indica en la Figura 3.

### 3.2. Transmisor/Receptor en banda X (TRX)

Esta unidad modula y amplifica la señal generada para transmitirla por las antenas y también recibe, amplifica y demodula a IF el eco recibido.

El TRX incluye los caminos de transmisión y recepción así como los lazos internos y controles (conmutadores, atenuadores, monitorización de temperatura) necesarios para la calibración interna del sistema.

El camino de transmisión/recepción es único. Esta característica implica doblar o cuadruplicar el PRF para interferometría y polarimetría, pero posee la ventaja añadida de que los errores introducidos por la cadena analógica son los mismos para todas las imágenes.

### 3.3. Antenas en banda X (ANX)

Esta unidad consta de 4 antenas (2 en polarización H y 2 en V) agrupados en 2 pares de antenas HV. Un par está localizado en la parte baja de la estructura y la otra en la parte alta. La selección de las antenas de cada par se realiza por conmutadores de guía y la selección del par inferior o superior lo realiza la unidad TRX.

El inercial está localizado en la mitad de la estructura entre las antenas para minimizar el error de monitorización de actitud y posición de las mismas.

### 3.4. Unidades adicionales

El resto de las unidades que componen el radar son el GPS/INS para obtención de datos de posicionamiento y actitud, la unidad de almacenamiento y el interfaz de usuario (teclado y monitor). Todas estas unidades son COTS.

## 4. Calibración

La calidad de los datos adquiridos es un requisito fundamental del sistema. Por esta razón se han implementado varios lazos de calibración en las diferentes etapas de la cadena de transmisión/recepción para poder medir los errores, permitiendo la caracterización y calibración completa del sistema.

Estos lazos se incluyen después de la modulación de IF (uno en la unidad UER y otro en el TRX) y en RF, antes y después del amplificador de potencia.

Otra característica importante es la capacidad de adquirir el pulso generado a la vez que se transmite, utilizando un acoplador y un conmutador. De esta forma, se obtiene una réplica exacta de la señal transmitida que se puede utilizar en el procesamiento para ajustar el filtro adaptado. Esta adquisición de réplica se puede hacer por cada pulso (o cada N pulsos, según se comande) sin afectar el ancho de banda disponible para enviar datos a la unidad de almacenamiento.

Además posee la capacidad de realizar adquisición de ruido del sistema en vuelo, lo que permite corregir los desequilibrios entre canales previo al proceso de datos así como estimar la sensibilidad del sistema mediante el cálculo de la NESZ.

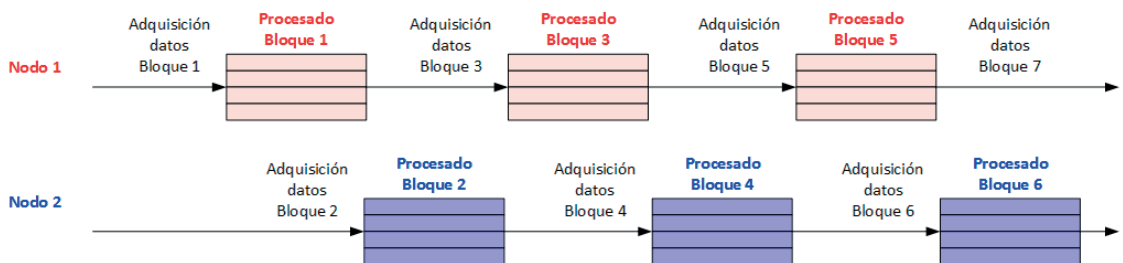


Figura 3. Esquema del Procesador en Tiempo Real.

El sistema también almacena las temperaturas de los componentes más sensibles. De esta forma, durante los pasos de procesado, es posible corregir los errores debido a variaciones de temperatura utilizando características de calibración obtenidas en medidas del equipo.

## 5. Procesado

Se basa en el desarrollado para el sistema RIX, que utilizaba el algoritmo *chirp scaling* (Moreira, A., 1994). Debido a la resolución submétrica, se han añadido etapas de compensación de movimiento de 2º orden *cross-track* y *along-track*, y un nuevo sistema de gestión de bloques y ficheros de datos que mejora el tiempo de procesado.

## 6. Resultados preliminares

En las Figuras 4 a 7 se pueden ver las primeras imágenes procesadas a diferentes resoluciones del radar. En la figura 8(b) se puede ver la primera imagen interferométrica obtenida cerca de Alcalá de Henares, indicada en la figura 8(a). La figura 8 (c) muestra una comparativa con la capacidad del antiguo sensor RIX.

En la figura 9 se observa la primera imagen polarimétrica obtenida con el RBX.

En cuanto a la calidad de los datos, los resultados preliminares son muy prometedores. Las variaciones durante la toma son  $<0,1$  dB en amplitud y  $4^\circ$  en fase (mejorable estabilizando la temperatura). La resolución radiométrica relativa es  $<0,3$  dB y la absoluta  $<0,7$  dB. Todo ello con un NESZ  $>-15$  dB para un *swath*  $>8,8$  km (ver Figura 10).

## 7. Futuras acciones

En la actualidad, mientras se trabaja en el proceso de puesta en marcha del sistema con la configuración actual, se está llevando a cabo las siguientes modificaciones, que se esperan tener operativas antes de final del 2014.

Se está modificando la unidad de Electrónica Radar para integrar el almacenamiento en la misma, eliminando la unidad COTS externa. Esto permitirá aumentar la capacidad y velocidad del almacenamiento, para que no haya ningún tipo de restricción de combinación de PRF y cantidad de datos adquiridos, con lo que permitirá obtener tomas con

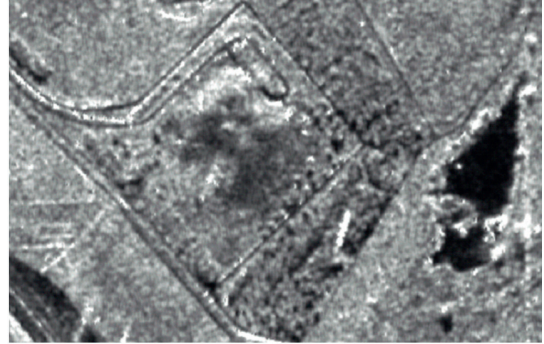


Figura 4. INTA. Resolución  $2\text{ m} \times 2\text{ m}$ .

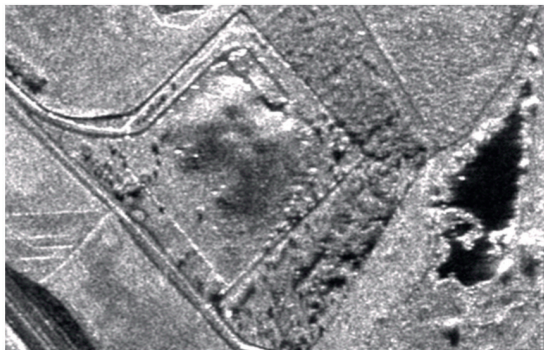


Figura 5. INTA. Resolución  $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ .



Figura 6. INTA. Resolución  $0,5\text{ m} \times 0,5\text{ m}$ .

*swaths* amplios a máxima resolución en cualquier modo. Con el nuevo sistema, basado en discos duros SATA, se aumenta tanto la velocidad como la capacidad total pasando de 64 GB a 500 GB. En los datos almacenados, se integrarán los datos de posicionamiento y actitud, temporización, status de radar, etc. de forma que todos los datos estén en un solo fichero, facilitando su explotación posterior.

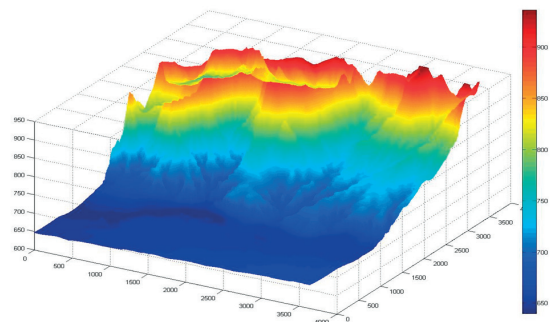
Se modifica las unidades de antenas, de transmisión/recepción y el control de la unidad electrónica de



**Figura 7.** INTA campo de medida de antenas. Resolución  $0,25 \text{ m} \times 0,25 \text{ m}$ .



**Figura 8 (a).** Zona de imagen interferométrica del Encín, Alcalá de Henares.



**Figura 8 (b).** Imagen interferométrica del Encín, Alcalá de Henares. Resolución  $(2 \text{ m} \times 2 \text{ m})$ . Estimación error Z RMS  $<3 \text{ m}$ .

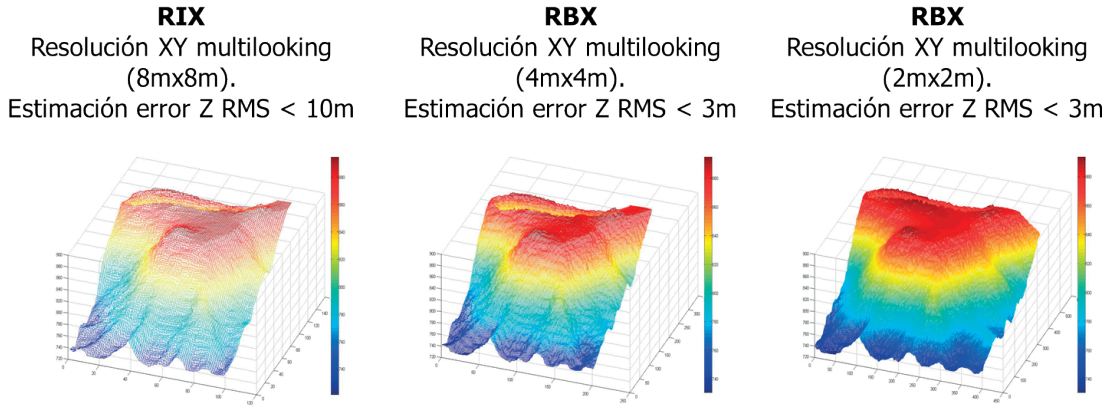


Figura 8 (c). Comparativa de imágenes interferométricas.

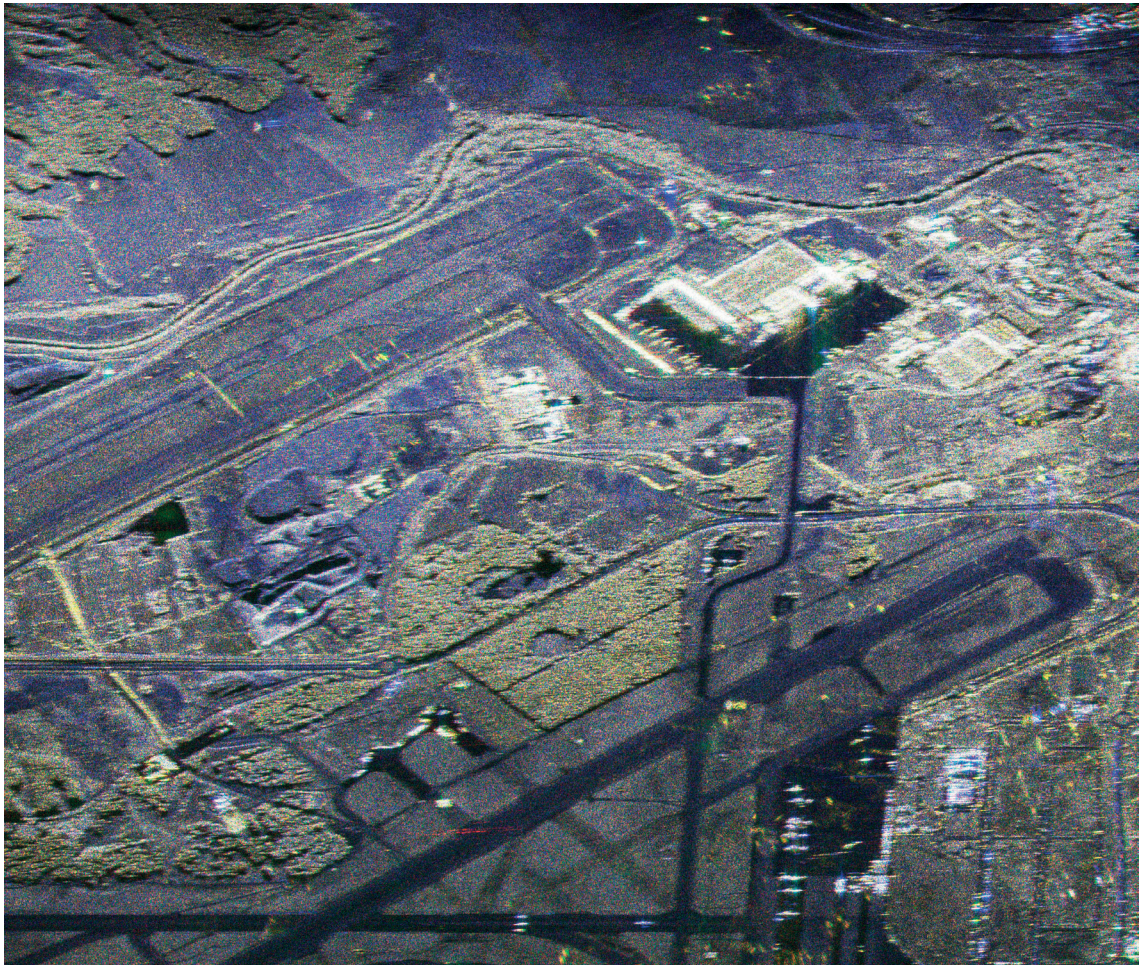


Figura 9. Imagen polarimétrica (HH, VV) del aeropuerto de Barajas. Resolución 2 m × 2 m.

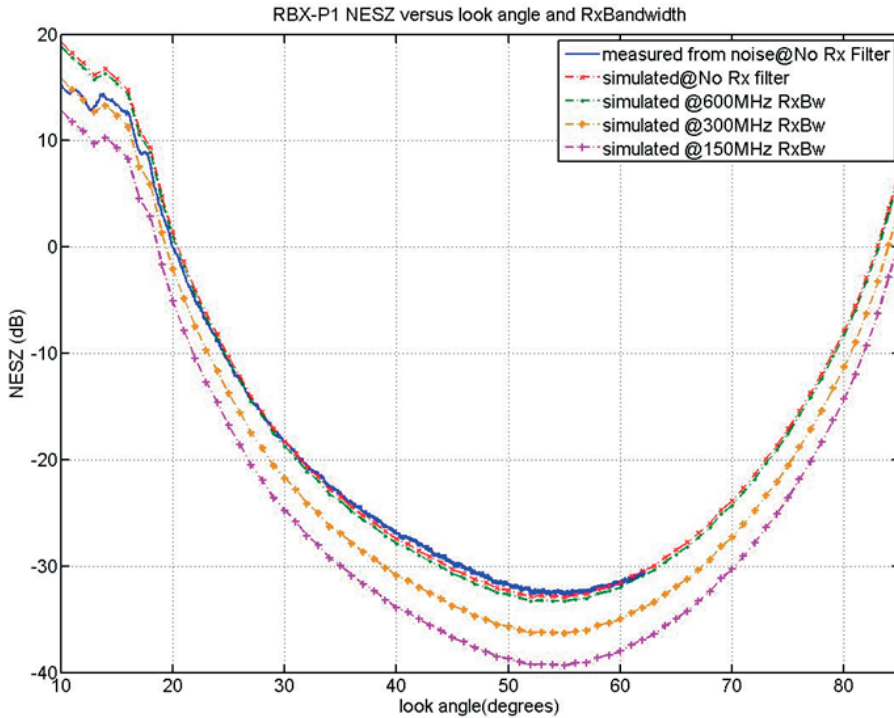


Figura 10.

radar para integrar la conmutación electrónica de las cuatro antenas tanto en transmisión, como en recepción. En las antenas se sustituyen los conmutadores manuales en guía, por circuladores conmutados (similares a los ya existentes en el transmisor/receptor que eligen entre el par de antenas superior e inferior). Dichos conmutadores serán controlados por el subsistema de transmisión/recepción donde el control del radar indicará una secuencia de transmisión y recepción de cuatro antenas cualesquiera, de forma que se puede obtener cualquier modo de operación posible con las mismas (bidimensional de cualquier polarización por cualquier antena, interferometría de camino simple, de doble camino, *along track*, polarimetría quadpol de una sola pasada, interferometría polarimétrica, etc.)

Modificación de la unidad electrónica para que esté preparada para la integración de un STC (*Sensitivity Time Control*) para que el rango dinámico por pulso se adecue al del ADC en todo el *swath*, de forma que la calidad de imagen obtenida sea óptima para *swaths* anchos, aumentando la eficiencia de uso del sensor por vuelo.

## 8. Conclusiones

Se ha presentado el nuevo sistema de radar de apertura sintética del INTA con resultados muy prometedores que nos permitirán en breve plazo poder obtener y ofertar datos de radar con la calidad del estado del arte de los sensores SAR existentes.

## Referencias

- Bonin, G., Dreuillet, P., 2008. *The new ONERA airborne SAR system SETHI*. EUSAR, Dresden, Germany.
- García Rodríguez, M. 2008. *Design of a Coherent Generation and Acquisition System at 1,2 GHz*. 4th Southern Conference on Programmable Logic.
- González Bonilla, M.J., Gómez Miguel, B., Cuerda Muñoz, J.M., Larrañaga Sodupe, J.R., García Rodríguez, M., 2009. *INTASAR program*. Proceedings IGARSS
- Horn, R., Nottensteiner, A., Scheiber, R., 2008. *F-SAR – DLR's advanced airborne SAR system onboard DO228*. Proceedings EUSAR
- Moreira, A., Yonghong H., 1994. Airborne SAR processing of highly squinted data using a chirp scaling approach with integrated motion compensation. *Trans. on Geoscience and Remote Sensing*, 32(5), 1029-1040. doi:10.1109/36.312891