

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN 2019

MEMORIA DEL PROYECTO Nº SV-19-GIJÓN-1-17

1. DATOS DEL PROYECTO

Título: Drones para aplicaciones más allá de lo visible (RadioUAV)

Investigador responsable: Yuri Álvarez López

Tfno: 985182281

E-mail: alvarezzyuri@uniovi.es

Otros investigadores: María García Fernández, Fernando Las-Heras Andrés, Ana Arbolea

Empresas o instituciones colaboradoras: LOCIS SigTech, Gomeru Apps, INDRA Software Labs, SVMAC

2. MEMORIA DESCRIPTIVA DEL PROYECTO

2.1 Resumen ejecutivo

Una de las líneas de I+D del grupo de Teoría de la Señal y Comunicaciones (TSC-UNIOVI) es el **desarrollo de nuevas aplicaciones de diagnóstico, inspección no destructiva, y medida y caracterización de antenas y emisiones radioeléctricas**, empleando sensores embarcados en vehículos aéreos no tripulados (*Unmanned Aerial Vehicles*, UAVs). El aspecto diferenciador de los prototipos en desarrollo es el uso de sensores que trabajan en bandas de frecuencias específicas del ámbito de los sistemas de radiocomunicaciones y microondas (**RadioUAV**), por tanto, invisibles al ojo humano (de ahí la denominación de “aplicaciones más allá de lo visible”).

El proyecto RadioUAV comprende dos líneas principales: por una parte, el desarrollo de un sistema consistente en un georradar (*Ground Penetrating Radar*, GPR) embarcado en un UAV (sistema GEODRON), capaz de **detectar objetos enterrados en el suelo**. Entre las aplicaciones de interés, se puede citar la **detección de minas antipersona** y otros explosivos enterrados (de composición metálica y no metálica).

Por otra parte, se ha desarrollado otro sistema para la **medida de niveles de emisiones** radiadas por sistemas de telecomunicaciones, consistente en un sensor de medida de campos electromagnéticos embarcado en un UAV (sistema UASAM). Este prototipo permite realizar la **medida de antenas** como, por ejemplo, **sistemas radar**.

Otro de los aspectos innovadores es el empleo de **sistemas de posicionamiento y geo-referenciación con precisión centimétrica**, basados en sistemas de navegación global por satélite, GNSS.

Los resultados obtenidos hasta el momento, tanto en el ámbito de detección de objetos enterrados empleando un GPR, como en el de medida y diagnóstico de antenas, están protegidos por dos patentes internacionales (**WO2017125627A1** y **WO2018158472A1**).

Dentro del proyecto SV-19-GIJON-1-17, los principales resultados obtenidos han sido: i) realización de una extensa campaña de medidas para la evaluación de la capacidad de detección del georradar, empleando diferentes tipos de antenas y configuraciones del transmisor y receptor; ii) perfeccionamiento del hardware y software empleados, introduciendo nuevos elementos que facilitan el manejo de los equipos por parte del operador, así como la representación gráfica de los resultados; iii) desarrollo e integración de las técnicas de procesado de datos en micro-ordenadores tipo Raspberry Pi.

Los resultados obtenidos a lo largo del proyecto se esperan publicar en, al menos, una revista científica en el ámbito de “*Remote Sensing*”, a lo largo del año 2020.

2.2 Objetivos iniciales del proyecto y grado de consecución

Los objetivos del proyecto planteados en la memoria incluida en la solicitud de la ayuda se indican a continuación, junto con el grado de consecución de cada uno.

- 1) Adquisición de nuevo hardware para mejorar las prestaciones de los prototipos desarrollados, tanto en lo que se refiere a los sensores embarcados (georradar, detector de radiofrecuencia) como al hardware de los subsistemas de posicionamiento y georreferenciación (GNSS-RTK). Principalmente se persigue conseguir: i) mayor resolución y precisión en las medidas, ii) mejorar la precisión y fiabilidad del posicionamiento y georreferenciación, iii) aumentar la tasa de datos (pudiendo operar el dron a mayor velocidad y, por tanto, escanear zonas de mayor extensión), iv) mejorar la fiabilidad del sistema de comunicaciones entre la plataforma aérea y el equipo de control en tierra, pudiendo también aumentar así el rango de operación.

Grado de consecución: 100%. En mayo de 2019 se adquirió al MediaLab de la Universidad de Oviedo un sistema portable que permite realizar medidas con la carga útil que lleva el dron. El desplazamiento de la carga útil se realiza de forma manual, empleándose los sistemas de posicionamiento y geo-referenciación que constituyen la carga de pago para geo-referenciar las medidas que toma el radar. De esta forma, se pueden realizar ensayos con diferentes configuraciones de forma sencilla y con cierta repetitividad, sin la complejidad que supone realizar medidas con el sistema embarcado en el dron.

Para la geo-referenciación se emplea un receptor GNSS-RTK de doble banda, que proporciona precisión centimétrica, facilitando también el post-procesado de las medidas, para obtener imágenes radar de alta resolución. También, durante el desarrollo del proyecto, se han probado diferentes antenas de banda ancha (entre 1 y 6 GHz), tanto con polarización lineal como con polarización circular.

- 2) Introducción de nuevas herramientas de desarrollo que faciliten la integración del hardware de los diferentes subsistemas de cada prototipo (sensores de radiofrecuencia, altímetro LIDAR, GNSS-RTK, controladora, micro-ordenador, cámara de fotos, etc.). Actualmente, la adición de nuevo hardware requiere una elevada carga de trabajo, requiriendo en ocasiones el desarrollo desde cero de drivers específicos.

Grado de consecución: 100%. Dado que todos los desarrollos se están realizando sobre un micro-ordenador tipo Raspberry Pi, y dada la experiencia del alumno contratado en el proyecto con este tipo de micro-ordenador, se desarrolló un módulo adicional basado en una Raspberry Pi que proporciona información visual y acústica en tiempo real sobre el estado de diversos sensores que constituyen la carga útil del dron.

En este sentido también se han realizado avances en el prototipo para medida de antenas, implementando un sistema de control de un conversor analógico-digital de alta velocidad (de tipo PicoScope) basado en una Raspberry Pi.

Si bien la idea inicial era emplear la plataforma de desarrollo Robot Operation System (ROS), se ha conseguido integrar el nuevo hardware y software de control con los sistemas existentes sin necesidad de emplear dicho entorno de desarrollo.

- 3) Simplificación del procedimiento para creación y ejecución de planes de vuelo (misiones), y procesado, representación, y análisis de los resultados. Es decir, introducir un mayor grado de automatización en estas etapas, facilitando la realización de pruebas en diferentes escenarios.

Grado de consecución: 100%. Uno de los principales problemas para el análisis de los resultados es disponer de una herramienta capaz de procesar los datos en tiempo real, y facilitar la visualización de los mismos. Para ello, se desarrollaron diversas herramientas que, por una parte, permiten sistematizar todo el procedimiento que requiere una medida (arranque de los diferentes subsistemas, verificación de su correcto funcionamiento) y llevar a cabo la visualización de los datos proporcionados por el georradar, tanto en crudo, como procesados.

La evaluación de estas herramientas se realizó aprovechando las diferentes campañas de medidas realizadas. Si bien se dispone de una versión bastante completa de las mismas, se propone la introducción de algunas mejoras basadas en la experiencia de usuario observada durante la toma de medidas.

- 4) Llevar a cabo una extensa campaña de validación experimental a lo largo de 2019, evaluando los prototipos y el nuevo hardware que se vaya adquiriendo e integrando en diferentes escenarios: por ejemplo, análisis de las capacidades para detectar objetos enterrados en diferentes tipos de suelo (en playas, suelo con alto contenido orgánico – prados-, suelo estéril) o medida de diagramas de radiación y emisiones radioeléctricas de diferentes estaciones de telefonía móvil y de radiodifusión en el concejo de Gijón.

Grado de consecución: 100%. A lo largo del proyecto se han realizado medidas en campo en un total de 15 jornadas. El lugar elegido para las medidas ha sido el prado situado delante del módulo 10 del Edificio Polivalente del Campus Universitario de Gijón. Esta tarea no solamente comprende la toma de medidas, sino el procesado de las mismas, y el análisis de los resultados, con el fin de determinar si una determinada configuración hardware / software es adecuada o no. De esta forma, se pueden seleccionar los componentes que ofrecen mejores prestaciones de cara a maximizar la probabilidad de detección de objetos enterrados. Dado que el escenario elegido presenta un elevado grado de humedad en el suelo, se asume que

aquellos objetos detectables en este escenario lo serán también en otros más favorables, como pueden ser playas o terrenos secos.

También a lo largo de los meses de noviembre y diciembre se han realizado ensayos para obtener el diagrama de radiación de un radar secundario, a partir de la medida de la señal pulsada que emiten este tipo de instalaciones. El objetivo fue medir la señal transmitida mediante un conversor analógico-digital de alta velocidad (tipo PicoScope) controlado desde una Raspberry.

5) En conexión con el objetivo 4) se incluye también la difusión tecnológica a empresas TIC asentadas en Gijón (en particular, del Parque Científico y Tecnológico), a través de invitaciones de demostración de la tecnología desarrollada. Por ejemplo, realización de vuelos demostrativos de las capacidades de los prototipos implementados en diferentes escenarios (detección de objetos enterrados, inspección de edificios, carreteras, medida de instalaciones de radiodifusión, etc.).

Grado de consecución: 100%. Las tareas realizadas dentro del presente proyecto están vinculadas a la línea de investigación “Drones y sus aplicaciones más allá de lo visible”. Uno de los proyectos vinculados a esta línea ha sido galardonado en los Galileo Masters 2019 (<https://bit.ly/2Eki3vz>) con lo que se espera poder aprovechar las sinergias entre ambos para poder continuar con las tareas realizadas dentro del proyecto del IUTA.

Durante la ejecución del proyecto se han mantenido reuniones con las empresas colaboradoras. Por ejemplo, en junio de 2019 se realizó una reunión en Indra Software Labs, para evaluar posibles vías de transferencias de la tecnología en el ámbito de medida de antenas y radares, áreas en las que la empresa matriz, Indra, está interesada.

2.3 Tareas realizadas

En la Tabla 1 se muestra la planificación inicial, según figura en la solicitud de la ayuda del IUTA.

MES →	1	2	3	4	5	6	7	8	9
T1. Integración de un nuevo radar de banda ancha y antenas en el vehículo aéreo no tripulado. Realización de pruebas en vuelo.									
T2. Puesta a punto y validación de una cámara de profundidad para fotogrametría y geo-referenciación en tiempo real. Fusión de la información proporcionada con la del resto de sensores del subsistema de posicionamiento.									
T3. Familiarización con el entorno ROS. Integración de módulos hardware empleando la plataforma ROS.									
T4. Desarrollo de una herramienta software que facilite la operación de los prototipos desarrollados: creación y ejecución de misiones, análisis de los datos, y representación de los resultados.									
T5. Asistencia en la realización de medidas en escenarios reales con los prototipos desarrollados.									

Tabla 1. Planificación inicial de tareas.

La tarea T2 de la Tabla 1, incluida en la planificación inicial de tareas de la memoria presentada en enero de 2019 fue realizada parcialmente por una alumna Erasmus+ procedente de la Hochschule Mannheim (Alexandra Schierle) en el período comprendido entre marzo y julio de 2019. En particular, la alumna probó el funcionamiento de una cámara de profundidad. Por ello, esta tarea ya estaba parcialmente realizada en el momento de adjudicación de la beca del IUTA.

Teniendo en cuenta la cuantía final de la ayuda concedida, las necesidades de desarrollo del proyecto SV-19-GIJON-1-17, y las aptitudes y destrezas del alumno beneficiario de la ayuda, se ha modificado dicha planificación inicial de tareas, resultando en la propuesta indicada en la Tabla 2.

MES (2019) →	6	7	8	9	10	11	12
T1. Realización de medidas con un setup portable para emular la carga útil (georradar + RTK) embarcada en el dron.							
T2. Diseño e implementación de hardware para la monitorización de los subsistemas que componen la carga útil.							
T3. Mejora del software para el pre- y post-procesado de medidas.							
T4. Implementación de un sistema de medida de antenas mediante un conversor ADC (PicoScope) y una Raspberry							

Tabla 2. Planificación final de tareas de la ayuda SV-19-GIJON-1-17.

Durante el presente proyecto, el alumno becado propuso establecer una metodología de seguimiento basada en informes semanales, que el investigador consideró muy adecuada y conveniente. Esta metodología ha permitido documentar las diferentes tareas realizadas, incidencias, resultados obtenidos, etc. facilitando el seguimiento de las mismas. A modo de ejemplo, en la Tabla 3 se muestra el informe de seguimiento de la semana #14:

Semana #14	
Inicio: 2/09/2019	Fin: 6/09/2019
Alumno	David Castrillo Martínez
Tutor	Yuri Álvarez López
Trabajo realizado	
4 horas	Reunión con Yuri
Descripción	
Reunión concertada para presentar el trabajo realizado en agosto y para orientar los siguientes campos de actuación.	
Conclusiones	
La línea de actuación a corto plazo sería facilitar una versión a Alessandro de la herramienta de visualización, así como mejorar algunas características. A medio plazo desarrollar una herramienta software/hardware como interfaz en las medidas, para informar mediante LEDs del estado de la medición.	
10 horas	Mejoras en la herramienta de visualización
Descripción	
<ul style="list-style-type: none"> - Se añadieron diversas funcionalidades como añadir planos a las reglas en la visualización 3D acompañada de los cortes y se corrigieron algunos bugs, como el relacionado con las reglas en dicha visualización. 	
~4 horas	Adaptar la herramienta de visualización a unas medidas previas
Descripción	

Se adaptó la herramienta de visualización a unas medidas en el laboratorio previas para que Alessandro pudiera utilizarla. Se trata de un script de Matlab que transforma en cierta medida las variables para que estas sean compatibles con dichas medidas.	
Conclusiones	
Se centró el esfuerzo en visualizar las que están optimizadas para mostrar los cortes en XY. Otras mediciones pueden dar algún problema.	
~4 horas	Planificación del diseño de la interfaz de medidas
Descripción	
Aprovechando el trabajo previo con interfaces GUI en Matlab, se va a desarrollar una interfaz para la realización de medidas que permita automatizar en cierta medida la realización de las fichas y la creación de una base de datos con las mediciones. Relacionado con esto, se tratará de desarrollar una herramienta hardware que indique el estado de las mediciones.	
Conclusiones	
La nueva herramienta se diseñará sobre Matlab App Designer ya que nos permitirá una migración cómoda a poder implementar el servicio sobre un servidor web.	

Tabla 3. Informe de seguimiento de la semana 14 del proyecto.

Tarea T1. Realización de medidas con un setup portable para emular la carga útil (georradar + RTK) embarcada en el dron.

Para esta tarea se empleó un setup portable fabricado por el MediaLab de la Universidad de Oviedo en el cual se embarcó la carga útil que se integrará en el dron. Se realizaron un conjunto de medidas, con diferentes configuraciones, que se indican en la Tabla 4.

En promedio, la realización de las medidas requiere: 1 h entre el montaje y el desmontaje del setup y preparación/inicialización de la medida, y de 15 a 20 minutos por cada medida (adquisición 2D en una malla de aproximadamente 1 metro cuadrado). Si bien las medidas las puede realizar una única persona (especialmente tras las mejoras introducidas en el presente proyecto, orientadas a la automatización y sistematización del procedimiento), en la práctica todas las medidas se han realizado estando presentes al menos dos personas.

Fecha	Configuración de la medida	Descripción del escenario / objetos	Antenas empleadas	Otros elementos del setup	Notas y comentarios
28-06	Monoestático, cortes. 1 Tx, 1 Rx.	Objetos metálicos encima del suelo, sin enterrar	Antenas Vivaldi, banda 650 a 6000 MHz	Atenuador variable, a 6 dB.	Verificación del funcionamiento del radar, principalmente con fines de ilustrar el funcionamiento de todo el sistema.
05-07	Monoestático, cortes y malla 2D. 1 Tx, 1 Rx.	Objetos metálicos encima del suelo, parcialmente cubiertos con hierba.	Antenas Vivaldi, banda 650 a 6000 MHz	Atenuador variable, a 6 dB.	Verificación del funcionamiento del radar, principalmente con fines de ilustrar el funcionamiento de todo el sistema.
11-07	Monoestático, cortes y malla 2D. 1 Tx, 2 Rx.	Objetos metálicos enterrados. Disco metálico de 18 cm enterrado 8 cm, y lata de 9 cm enterrada 4 cm.	Antenas Vivaldi, banda 650 a 6000 MHz	Atenuador variable, a 6 dB.	Pruebas con diferentes antenas para el receptor GNSS-RTK. Una de ellas facilitada por el grupo de Galicia, que no funcionó bien (incluso colocando plano de masa).

Fecha	Configuración de la medida	Descripción del escenario / objetos	Antenas empleadas	Otros elementos del setup	Notas y comentarios
16-07	Monoestático, malla 2D. 1 Tx, 2 Rx.	Disco metálico enterrado a 10 cm, disco de plástico enterrado a 10 cm.	Antenas Vivaldi, banda 650 a 6000 MHz	Atenuador variable, a 6 dB.	Prueba de 2 canales en recepción, para combinación coherente (en fase) de las imágenes del georradar.
23-07	Monoestático, malla 2D. 1 Tx, 2 Rx.	Disco metálico enterrado a 10 cm. Lata encima del suelo (para calibración del sistema). 2 latas en vertical, encima del suelo.	Tx: Vivaldi. Medidas con la Rx1 antena de espiral y Vivaldi. Rx2: Vivaldi siempre	Atenuador variable, a 6 dB.	Prueba con diferentes antenas (Vivaldi, espiral).
29-07	Monoestático, malla 2D. 1 Tx, 2 Rx.	Dos placas metálicas de 5x5 enterradas, con forma de diedro.	Antenas Vivaldi, banda 650 a 6000 MHz	Atenuador variable, a 6 dB.	Prueba con diferentes antenas (Vivaldi, espiral). Prueba enterrando objetos de tipo diedro (cóncavo y convexo) en el suelo, para evaluar cómo se detectan.
01-08	Monoestático, malla 2D. 1 Tx, 2 Rx	Disco metálico enterrado a 10 cm, disco de plástico enterrado a 10 cm. Objetos colocados encima del suelo (baldosas).	Tx: espiral. Rx: Vivaldi formando un ángulo de 90°	Atenuador variable, a 6 dB.	Pruebas orientadas a evaluar si hay diferencias en las imágenes radar según la orientación de antenas receptoras con polarización lineal.
05-08	Monoestático, malla 2D. 1 Tx, 2 Rx	Objetos colocados encima del suelo (camino de tierra).	Tx: espiral. Rx: Vivaldi formando un ángulo de 90°	Atenuador variable, a 6 dB. (comienza a dar problemas).	Pruebas orientadas a evaluar si hay diferencias en las imágenes radar según la orientación de antenas receptoras con polarización lineal
13-09	Monoestático, malla 2D. 1 Tx, 2 Rx	Objetos colocados encima del suelo (camino de tierra, 2 latas). Disco metálico enterrado a 10 cm, disco de plástico enterrado a 10 cm.	Tx: espiral. Rx: Vivaldi formando un ángulo de 90°	Atenuador variable, a 6 dB.	Prueba de los nuevos elementos hardware para automatización de la medida, así como de la nueva interfaz de visualización.
03-10	Monoestático, malla 2D. 1 Tx, 2 Rx	Objeto con forma de granada, y con contenido metálico, enterrado a unos 10 cm.	Antenas Vivaldi, banda 650 a 6000 MHz	Atenuador variable, a 6 dB.	Prueba de los nuevos elementos hardware para automatización de la medida, así como de la nueva interfaz de visualización. Muestra del setup a un nuevo estudiante Erasmus+ (Alessandro De Mitri) en cuya Tesis de Máster se emplearán estas medidas.

Fecha	Configuración de la medida	Descripción del escenario / objetos	Antenas empleadas	Otros elementos del setup	Notas y comentarios
25-10	Multiestático, malla 2D. 1 Tx, 2 Rx. Separación Tx-setup, unos 8 m.	Pruebas en superficie, sin objetos enterrados.	Antenas Vivaldi, banda 650 a 6000 MHz. Polarización horizontal.	Atenuador variable, a 6 dB. ¿fallo del atenuador?	Primer intento de medidas en configuración multiestática. No se pueden extraer resultados de las medidas (escaso rango dinámico).
31-10	Monoestático, malla 2D. 1 Tx, 2 Rx	Sin objetos enterrados.	Antenas Vivaldi, banda 650 a 6000 MHz	Atenuador variable, a 6 dB. ¿fallo del atenuador?	Prueba de funcionamiento de los nuevos elementos hardware para automatización de la medida, así como de la nueva interfaz de visualización.
27-11	Multiestático, malla 2D. 1 Tx, 2 Rx. Separación Tx-setup, unos 8 m.	Pruebas en superficie, sin objetos enterrados.	Antenas Vivaldi, banda 650 a 6000 MHz. Polarización horizontal.	Atenuador variable, a 6 dB. ¿fallo del atenuador?	Segundo intento de medidas en configuración multiestática. No se pueden extraer resultados de las medidas (escaso rango dinámico).
04-12	Multiestático, cortes. 2 Tx (con divisor), 2 Rx. Separación Tx-setup, unos 8 m.	Pruebas en superficie, sin objetos enterrados.	Antenas Vivaldi, banda 650 a 6000 MHz. Polarización horizontal.	Atenuadores de 3 y 10 dBs. Pruebas con y sin absorbente entre el Tx y el setup.	Medidas en configuración multiestática.
10-12	Multiestático, malla 2D. 2 Tx (con divisor), 2 Rx. Separación Tx-setup, unos 8 m.	Pruebas en superficie, sin objetos enterrados. Dos latas metálicas: una fija y otra en posiciones diferentes, para evaluar cambios en la imagen radar.	Antenas Vivaldi, banda 650 a 6000 MHz. Polarización horizontal.	Sin atenuadores en la rama del Tx más alejado. Pruebas con y sin absorbente entre el Tx y el setup.	Medidas en configuración multiestática, con el fin de disponer de elementos de referencia para poder calibrar el sistema de procesado radar multiestático.

Tabla 4. Descripción de las medidas realizadas empleando un setup portátil y una carga útil consistente en un georradar y un sistema de posicionamiento GNSS-RTK.

Tarea T2. Diseño e implementación de hardware para la monitorización de los subsistemas que componen la carga útil.

En esta tarea se implementó un dispositivo que permite monitorizar de forma periódica el estado de los subsistemas de conforman la carga útil, centrándose en el subsistema de posicionamiento GNSS-RTK y en el subsistema radar. El objetivo es que el usuario que esté desplazando manualmente la carga útil en el setup de medida pueda saber, mediante avisos visuales y/o acústicos, en qué estado se encuentran los sensores embarcados en dicha carga

útil. De esta forma, es posible conocer si algún dispositivo no está funcionando correctamente para decidir qué acción tomar.

Tarea T3. Mejora del software para el pre- y post-procesado de medidas.

De forma similar a la tarea T2, el objetivo es mejorar el sistema para la adquisición y procesado de medidas. Para ello se han desarrollado nuevas herramientas informáticas que permiten agilizar el procedimiento de inicialización de los subsistemas que conforman la carga útil del dron. Igualmente, se ha diseñado una herramienta que facilita la visualización en tiempo real de las medidas tomadas (sin procesarlas).

Tarea T4. Implementación de un sistema de medida de antenas mediante un conversor ADC (PicoScope) y una Raspberry

Dado que una de las aplicaciones del proyecto es la medida de antenas, se ha llevado a cabo también una tarea para desarrollar un sistema integrado que permita medir la señal transmitida por un radar secundario. Esta señal es típicamente un tren de pulsos, por lo que se ha empleado un generador de señales para emularla. La captura de la misma se ha realizado mediante un conversor analógico digital de alta velocidad (PicoScope). El objetivo de esta tarea es poder controlar dicho conversor mediante un programa que se ejecuta en una Raspberry Pi, evitando así la necesidad de emplear un ordenador.

2.4 Resultados obtenidos

Tarea T1. Realización de medidas con un setup portable para emular la carga útil (georradar + RTK) embarcada en el dron.

Se han evaluado diferentes configuraciones de medida, descritas en la Tabla 4, empleando el setup portátil mostrado en la Figura 1. En dicho setup se ha embarcado la carga útil consistente en un georradar (módulo radar y antenas) y un sistema de posicionamiento GNSS-RTK. Estos sensores se conectan a una Raspberry Pi que a su vez se conecta vía WiFi con un equipo (ordenador portátil).

El setup permite desplazar la carga útil de forma manual, desplazándolo a lo largo de un eje mediante un sistema de poleas, como se observa en la Figura 1. En el otro eje, es necesario moverlo a mano. Dado que la carga útil tiene un peso inferior a 2 kg, el sistema puede ser operado por una persona.

El sistema, que emula con cierta fidelidad la forma en que se toman las medidas con la carga útil embarcada en el dron, permite obtener medidas radar del subsuelo y de los objetos enterrados en él con una precisión de 2 cm. En la práctica, debido a interferencias, ruido, y clutter, se ha comprobado que es posible distinguir objetos metálicos y no metálicos de tamaño igual o superior a 7 cm de diámetro.



Figura 1. Fotografía del setup portátil que emula el comportamiento del georradar embarcado en un dron. El carrito que está encima del setup contiene los elementos que conforman la carga útil del dron: georradar, receptor GNSS-RTK, controladora que iría embarcada en el dron, y micro-ordenador tipo Raspberry Pi.

Las medidas tomadas con el radar están georreferenciadas en base a las coordenadas proporcionadas por el sistema GNSS-RTK. Dichas medidas se procesan mediante un algoritmo para radar de apertura sintética que, teniendo en cuenta las coordenadas de las medidas, así como las posiciones de las antenas transmisora y receptora, permite obtener imágenes radar de alta resolución. A modo de ejemplo, en la Figura 2 se muestran algunos de los resultados correspondientes a la medida realizada el 3 de octubre de 2019, cuya configuración se ha descrito en la Tabla 4. En la Figura 2 se puede observar la reflexión de la señal transmitida por el radar en la lata metálica (colocada a modo de referencia), la reflexión en el suelo, y la reflexión en el objeto enterrado en el suelo a unos 10 cm de profundidad. Se ha de indicar que el objeto, al tener forma cilíndrica, dispersa más las ondas emitidas por el radar que en los casos en los que el objeto enterrado es plano.

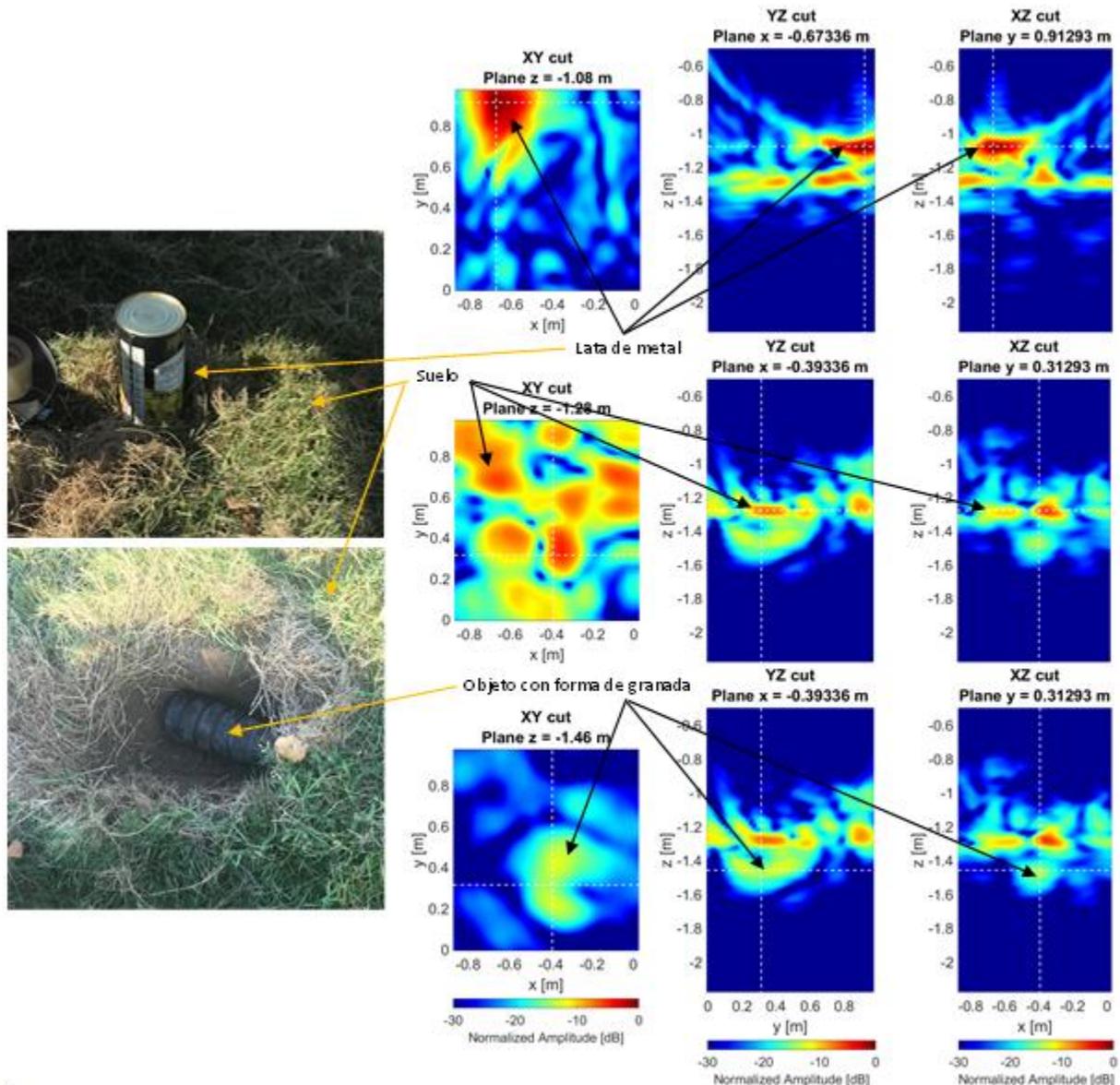
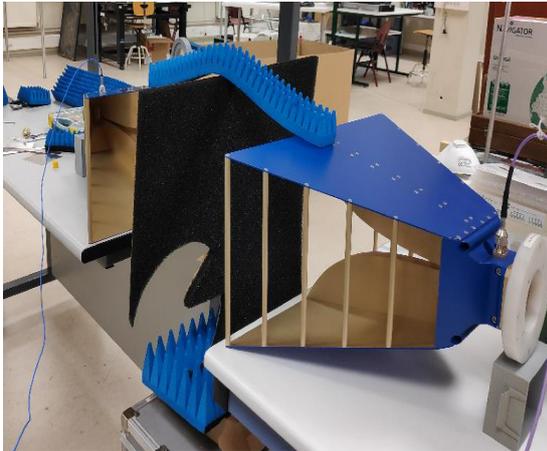


Figura 2. Ejemplo de imágenes radar obtenidas con el setup portátil y los equipos embarcados en el mismo.

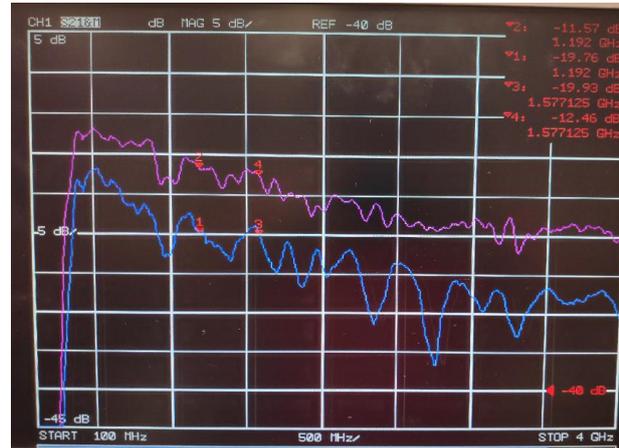
Uno de los problemas observados a lo largo de toda la campaña de medidas es que existe cierta interferencia entre la señal emitida por el radar y la señal GNSS recibida por el sistema GNSS-RTK. Ello se debe a que el radar opera en un ancho de banda de 100 MHz a 6 GHz, por lo que abarca la banda de frecuencias de los sistemas GNSS (1150 MHz y 1500 MHz). En el caso de los sistemas GNSS-RTK, se necesita que la señal GNSS tenga una buena relación señal a ruido.

A lo largo del proyecto se probaron diferentes técnicas, como por ejemplo, colocar un atenuador variable a la salida del módulo radar, con el fin de atenuar la señal emitida por el radar. Sin embargo, debido al uso, este atenuador se estropeó, teniendo que emplear atenuadores de valor fijo en las últimas medidas (Tabla 4). Actualmente se está evaluando el uso de material absorbente de radiofrecuencia, llevándose a cabo la caracterización de la atenuación del material absorbente en las bandas de interés (1150 MHz y 1500 MHz). En la

Figura 3 se muestra una fotografía del setup empleado para caracterizar el absorbente, así como una captura de pantalla del analizador vectorial de redes empleado para la medida de la señal transmitida. Comparando la transmisión de señal sin y con la presencia de absorbente, se puede determinar el nivel de atenuación del mismo. Para la muestra utilizada, se ha encontrado que el nivel de atenuación es de unos 8 dB.



(a) Fotografía del setup para la medida de la atenuación del absorbente. El absorbente a caracterizar es la lámina de color negro situado entre las dos antenas (bocinas de tipo ridge-horn de banda ancha).



(b) Resultados de la caracterización del absorbente. La traza de color rosa corresponde al nivel de señal transmitido sin colocar el absorbente. La traza de color azul corresponde al nivel de señal transmitido al colocar el absorbente entre las antenas.

Figura 3. Caracterización del absorbente empleado para minimizar interferencias entre la señal emitida por el radar y la señal GNSS-RTK.

Tarea T2. Diseño e implementación de hardware para la monitorización de los subsistemas que componen la carga útil.

Durante la realización de las medidas con el setup, se observó que se podían producir errores tales como que el sistema GNSS-RTK pasara de un estado “fixed” (posicionamiento de alta precisión, 2-3 cm) a otros estados como “float” (precisión entre 10 cm y 1 m) o que no recibiera correcciones RTK. Igualmente, dado que el radar toma un elevado número de muestras (medidas) por segundo, en ocasiones el socket empleado para conectar el radar y el equipo portátil que recibe las medidas se satura.

Debido a que la distancia entre la ubicación del equipo portátil que recibe las medidas y la ubicación del setup puede ser de decenas de metros, se consideró necesario disponer de algún tipo de sistema que permita conocer en tiempo real el estado de los subsistemas mencionados. Para ello se implementó un hardware que emplea avisadores acústicos y luminosos (LEDs de diferentes colores) para indicar el estado de los subsistemas radar y GNSS-RTK. Con el fin de independizarlo de la Raspberry Pi embarcada en la carga útil, se empleó otra Raspberry Pi a la que se conectaron los avisadores acústicos y los LEDs. Esta Raspberry Pi se conecta vía WiFi al ordenador portátil que recibe los datos de la carga útil emplazada en el setup.

En la Figura 4 se muestra una fotografía del hardware de aviso implementado. La Raspberry se alimenta mediante un cable USB conectado a una PowerBank. En la fotografía se observan

también los LEDs empleados como indicadores luminosos. Se han programado diferentes secuencias acústicas y luminosas de forma que el usuario puede conocer en todo momento el estado de los subsistemas. Por ejemplo, mientras el sistema GNSS-RTK está en modo “fixed”, uno de los LED parpadea en color verde. Si durante el funcionamiento del sistema cambia a modo “float”, el LED parpadea en color rojo, y el avisador acústico emite un pitido con una periodicidad de varios segundos.

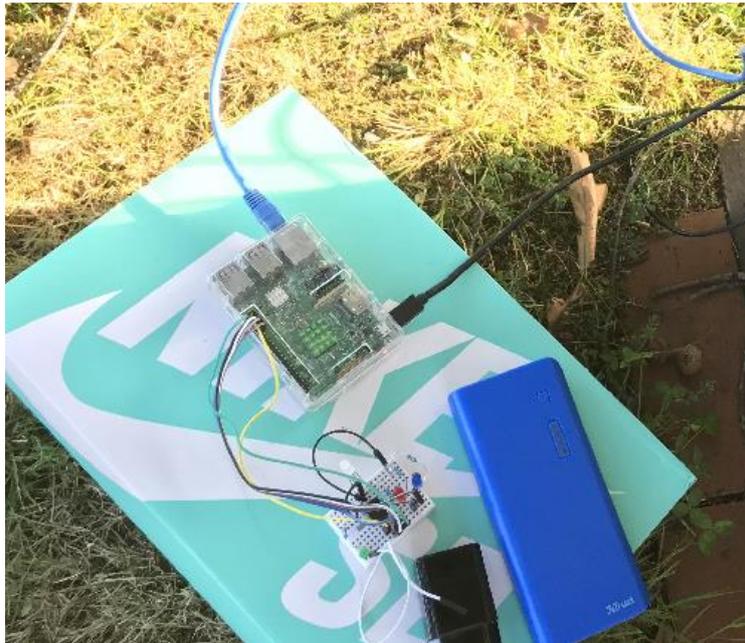


Figura 4. Fotografía del hardware implementado para la monitorización del estado de los subsistemas radar y GNSS-RTK, basado en una Raspberry Pi y en avisadores luminosos y acústicos.

Este sistema hardware se empezó a emplear de forma sistemática en las medidas realizadas a partir del mes de septiembre. Gracias al mismo se han evitado fallos debidos, por ejemplo, a que no se conocía en qué modo de precisión estaba operando el sistema GNSS-RTK (de forma que podía haber varias medidas donde la precisión de geo-referenciación fuera insuficiente por estar el sistema GNSS-RTK en “float”).

Tarea T3. Mejora del software para el pre- y post-procesado de medidas.

Esta tarea ha permitido mejorar la toma de medidas, así como la documentación y visualización de las mismas, lo cual es especialmente importante dado que a lo largo del proyecto se ha realizado un conjunto de medidas significativo.

En esta tarea se ha diseñado e implementado un conjunto de herramientas software destinado a:

- 1) Sistematizar la puesta en marcha del setup de medida y de la carga útil. Para comenzar a hacer medidas se necesitan realizar una serie de pasos secuenciales, tales como: encender los diferentes dispositivos hardware (Raspberrys, radar, placa GNSS-RTK, router WiFi). Se ha diseñado una interfaz que guía al usuario en la realización de estos pasos, avisando además en caso de alguna incidencia durante esta fase de inicialización.

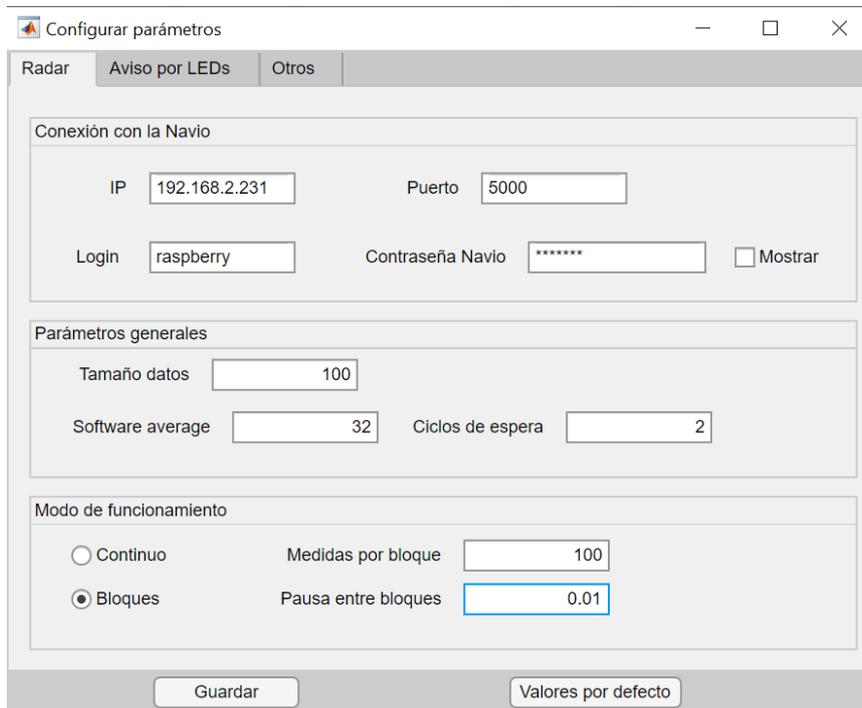


Figura 5. Captura de pantalla de la ventana de la interfaz gráfica destinada a la configuración del hardware que forma la carga útil del georradar embarcado en el dron.

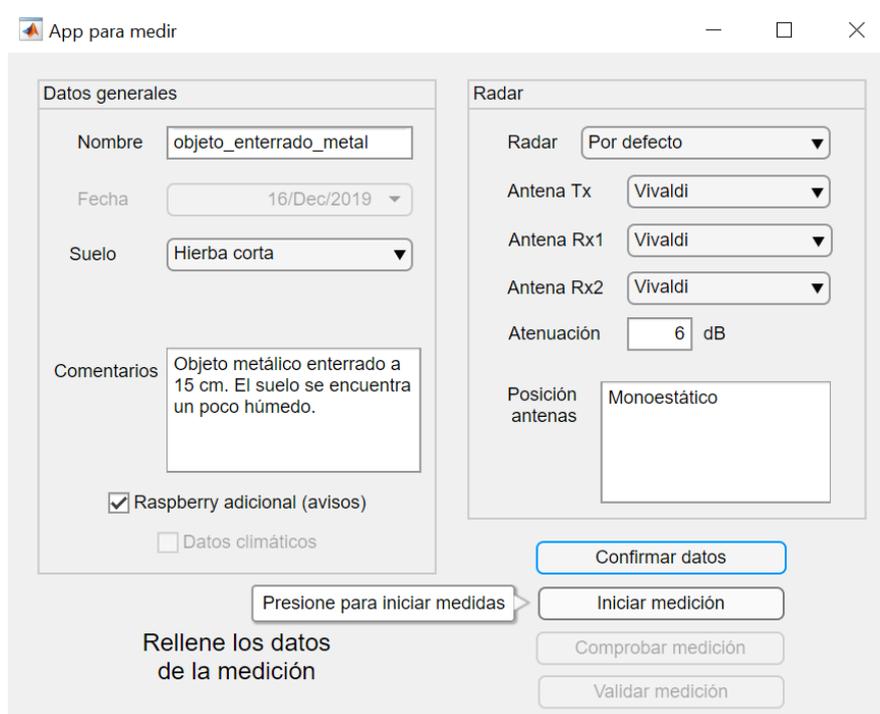


Figura 6. Captura de pantalla de la ventana de la interfaz gráfica destinada a la introducción de los parámetros relativos a la medida a realizar, así como a la configuración del setup de medida.

2) Configuración de los parámetros del radar y del hardware de monitorización. En cada medida puede ser necesario cambiar algunos parámetros para evaluar diferentes configuraciones del radar. Se ha desarrollado una interfaz gráfica, cuyas ventanas se

muestran en la Figura 5 y en la Figura 6, que permite modificar dichas configuraciones de forma sencilla. También permiten introducir información sobre la medida a realizar (tipo de antena, tipo de suelo, nombre de la medida, etc.). Además, estos parámetros de configuración se pueden almacenar en un fichero, de forma que es posible conocer los parámetros empleados en cada medida. Desde esta interfaz se dispone de la capacidad de lanzar las medidas.

3) Visualización en tiempo real de las medidas realizadas. En el caso de medidas en 2 dimensiones, cuya adquisición puede requerir la realización de hasta 20 cortes a lo largo de uno de los dos ejes, se consideró de interés disponer de una herramienta software que permitiera visualizar las medidas tomadas para, al menos, saber si la configuración hardware es correcta (ej. poder detectar si algún conector está suelto). Para ello se implementó la interfaz mostrada en la Figura 7 que, para cada uno de los cortes tomados con el setup de medida, permite visualizar las medidas antes del procesado empleando el algoritmo basado en apertura sintética.

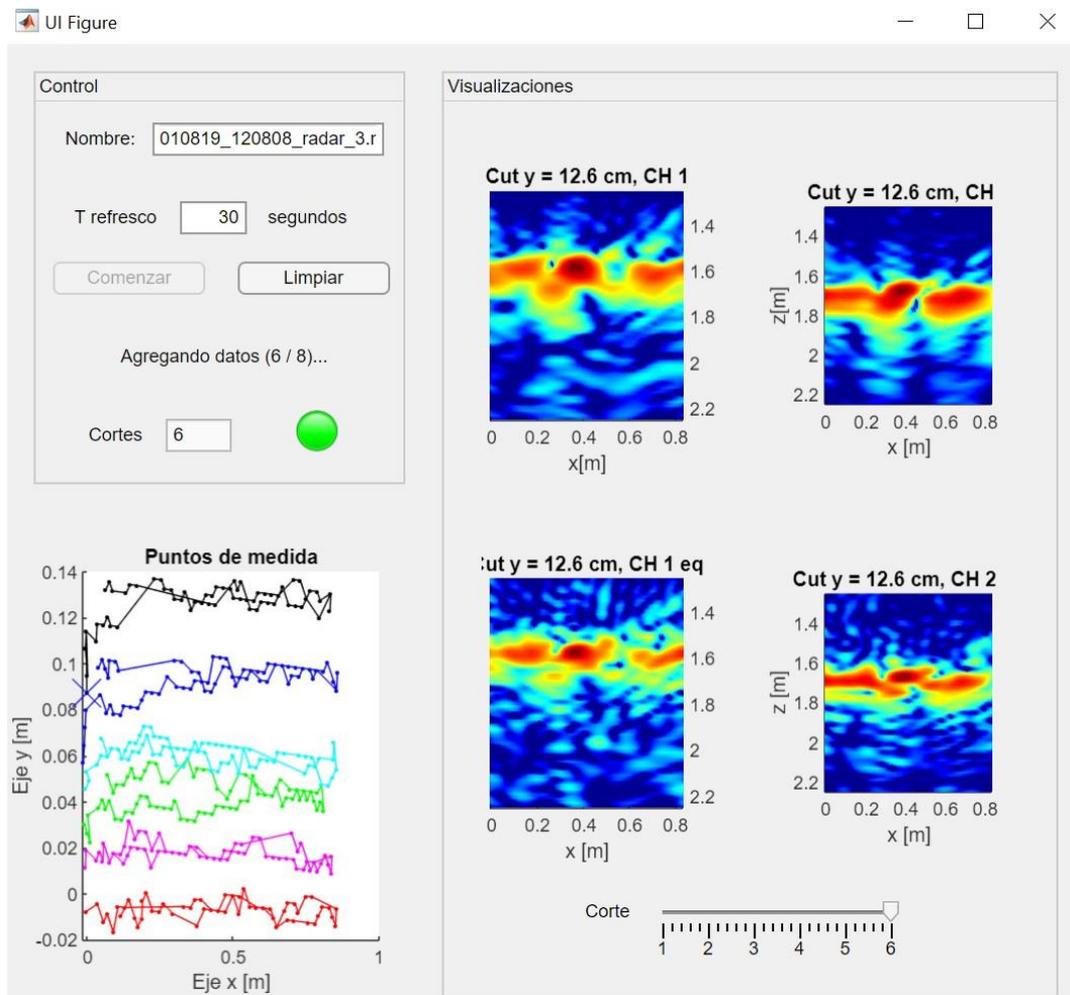


Figura 7. Captura de pantalla de la ventana de la interfaz gráfica destinada a la visualización en tiempo real de las medidas tomadas. En la parte inferior izquierda se muestra una gráfica con los cortes que se han ido realizando, así como los puntos (geo-referenciados) donde se han realizado las medidas.

4) Representación interactiva de las medidas post-procesadas. Tanto con el setup como con el dron, la idea es poder obtener imágenes de alta resolución del subsuelo y de los objetos enterrados en él. Al tratarse de imágenes 3D, uno de los problemas surge en determinar la forma idónea para visualizar los resultados. A partir de una interfaz previa interactiva que permite visualizar cortes en 3 planos (XY, XZ, YZ), se mejoró la técnica de visualización, de forma que el usuario puede hacer click en las imágenes para seleccionar qué plano en concreto desea visualizar, facilitando así el análisis de las imágenes. También se añadió una visualización en 3D basada en isosuperficies que unen puntos que tienen la misma reflectividad. Para facilitar la interpretación de los resultados, la herramienta software detecta automáticamente la posición del suelo a partir de las medidas.

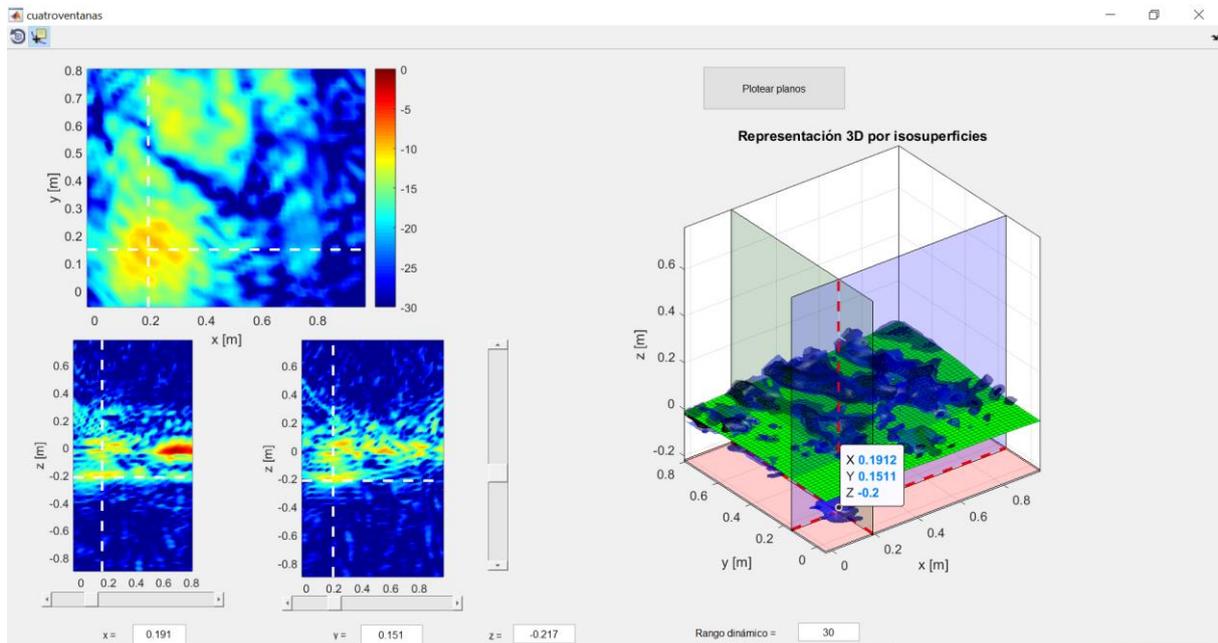


Figura 8. Captura de pantalla de la ventana de la interfaz gráfica destinada a la representación tridimensional y por cortes (planos XY, XZ, e YZ) de las imágenes correspondiente a las medidas radar post-procesadas con el algoritmo de radar de apertura sintética.

Tarea T4. Implementación de un sistema de medida de antenas mediante un conversor ADC (PicoScope) y una Raspberry

En esta tarea se ha desarrollado un sistema que permite controlar un conversor analógico digital de alta velocidad (PicoScope) mediante una Raspberry Pi. El objetivo es evitar tener que recurrir al empleo de un ordenador portátil para el manejo del PicoScope, de cara a la integración del PicoScope como carga útil de un dron para medida de antenas y radares. El hardware empleado para dicha medida se muestra en la Figura 9: básicamente la idea es poder muestrear la señal que se tiene a la salida de un detector de radiofrecuencia.

En el caso particular de un radar secundario, se tiene una señal consistente en pulsos de anchura de 500 ns con separación temporal variable entre 2 us y 20 us. Esta señal se ha emulado en laboratorio mediante un generador de señal. La señal sintetizada se transmite sobre una portadora a 1090 MHz.

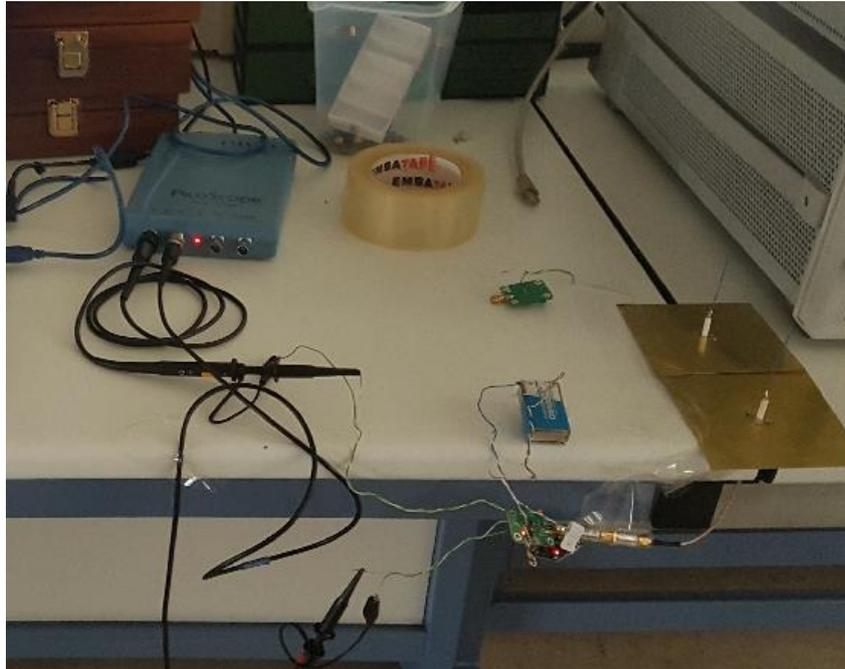


Figura 9. Elementos hardware que conforman el sistema de medida de antenas. De izquierda a derecha se puede observar el PicoScope, los detectores de radiofrecuencia (circuitos con un LED rojo encendido), y las antenas de tipo monopolo.

Conectando la salida de un detector de radiofrecuencia a un PicoScope es posible muestrear con suficiente precisión la señal moduladora y, por tanto, medir la amplitud de los pulsos. En esta tarea se persigue realizar el control del PicoScope mediante un micro-ordenador de tipo Raspberry Pi. Para ello, se implementó un código en C que permite configurar algunos parámetros de adquisición del PicoScope. Los primeros resultados obtenidos muestran que sí se puede muestrear la señal transmitida, tal y como se observa en la Figura 10. Actualmente se está trabajando en analizar qué parámetros se emplean para la configuración del PicoScope para poder aumentar el tiempo de adquisición y ajustar la tasa de muestreo.

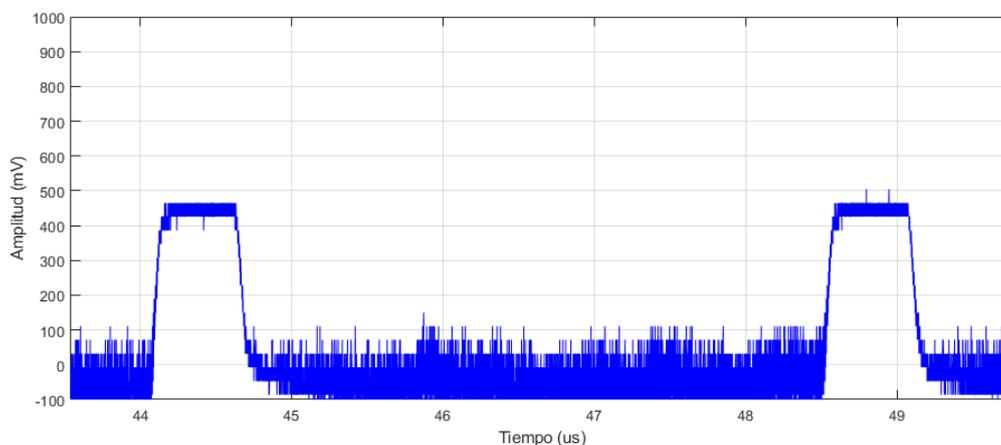


Figura 10. Señal capturada con el PicoScope, controlado desde un código que se ejecuta en una Raspberry Pi. En el ejemplo mostrado en la figura se transmiten pulsos de 500 ns de duración, espaciados 4,5 us.

2.5 Trabajos o necesidades futuras

A corto plazo (enero-marzo de 2020), se pretende finalizar las siguientes tareas:

- Realización de medidas con la configuración multiestática del setup, para verificar la viabilidad de esta técnica para mejorar la capacidad de detección de objetos enterrados.
- Finalización de la integración del control del PicoScope empleando una Raspberry, para la realización de medidas de antenas (en particular, captura de los pulsos transmitidos por un radar secundario).
- Dentro del marco del Trabajo Fin de Grado del alumno contratado, David Castrillo Martínez, se pretende:
 - i) Simulación de configuraciones multiestáticas mediante un código de Método de los Momentos en 2D, teniendo en cuenta algunos parámetros tales como diagrama de las antenas, altura de las antenas, etc.
 - ii) Desarrollo de metodologías que permitan cuantificar los resultados obtenidos con el georradar. Es decir, implementar métricas para evaluar la calidad de los resultados obtenidos. Una de las métricas a considerar es la relación señal a clutter.
 - iii) Implementar técnicas de reconocimiento automático de las imágenes (detección automática de objetos enterrados) empleando técnicas de aprendizaje automático, como pueden ser las redes neuronales.

2.6 Divulgación de los resultados (publicaciones, artículos, ponencias...)

Se indican a continuación las publicaciones en revista y contribuciones a congresos con referencia explícita al proyecto SV-19-GIJON-1-17 (se puede acceder a las mismas a través de los enlaces):

Publicaciones en revista:

- [1] Maria Garcia-Fernandez, Yuri Alvarez Lopez, Fernando Las-Heras, "[Autonomous Airborne 3D SAR Imaging System for Subsurface Sensing: UWB-GPR on Board a UAV for Landmine and IED Detection](#)", *Remote Sensing* (ISSN 2072-4292), Special Issue on Advanced Techniques for Ground Penetrating Radar Imaging. Volume 11, Issue 20, 2357, October 2019.
- [2] Maria Garcia-Fernandez, Yuri Alvarez Lopez, Fernando Las-Heras, "[Dual probe Near Field Phaseless Antenna Measurement System on Board a UAV](#)", *Sensors* (ISSN 1424-8220). Vol. 19, Issue 21, 4663, October 2019.
- [3] Marcos González Díaz, María García Fernández, Yuri Álvarez López, Fernando Las-Heras, "[Improvement of GPR SAR-based techniques for accurate detection and imaging of buried objects](#)", *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* (ISSN 0018-9456). In press, 2019.

Contribuciones a congresos:

- [4] María García-Fernández, Yuri Álvarez López, Fernando Las-Heras, Borja González Valdés, María Graña Varela, José Luis Mingote, "[Proyecto SAFEDRONE: Sistema radar de alta resolución embarcado en vehículos aéreos no tripulados para la detección de IEDs enterrados](#)," VII Congreso Nacional de I+D en Defensa y Seguridad 2019. San Fernando, Cádiz, 19-21 de noviembre de 2019.

También se ha realizado difusión en medios de comunicación de los resultados de esta línea de investigación. En la siguiente noticia se menciona explícitamente al IUTA, así como a los estudiantes contratados con cargo a la presente ayuda y a ayudas anteriores vinculados a esta temática (drones y sus aplicaciones).

Fuente: <https://afondo.lne.es/siglo-xxi/el-dron-de-los-oscar-del-espacio-se-estrella-contra-la-burocracia.html> Domingo, 15 de diciembre de 2019.



Por la izquierda, María García, Yuri Álvarez y Fernando Las-Heras. / JUAN PLAZA

Una patente de raíz asturiana

María García, Yuri Álvarez y Fernando Las-Heras encabezan el proyecto premiado en los "Oscar del Espacio" europeos. Ana Arboleya, ahora en la Rey Juan Carlos, comenzó con ellos, y los cuatro son coautores de la parte asturiana de las patentes internacionales y del proyecto "CX-Geodrone". De la mano del IUTA han colaborado Marcos González y David Castrillo. En Teoría de la Señal hay ahora dos catedráticos, diez titulares, un contratado doctor y seis doctorandos.

3. MEMORIA ECONÓMICA

Financiación		Personal	Inventariable	Fungible	Otros gastos
IUTA	SV-19-GIJÓN-1-17.	4900 EUR	0 EUR	0 EUR	0 EUR
Otras fuentes	Referencia proyecto/contrato				
	Programa Ignicia de transferencia de tecnología de la Xunta de Galicia: RadioUAV. Cuantía total del programa (Universidad de Vigo) 400 000 EUR (Gastos UNIOVI a fecha 20-12-2019, 26920 000 EUR, 6,8% del total)	0 EUR	770 EUR	2150 EUR	24000 EUR (extensión internacional de 2 patentes + protección PCT de una patente + dietas de viajes)
	Plan Propio de Investigación de la Universidad de Oviedo. Convocatoria 2018. PAPI-18-EMERG-23	0 EUR	3705,98 EUR	734,30 EUR	0 EUR
Estudiante con ayuda a la investigación	Nombre	David Castrillo Martínez			
	Tareas	T1. Realización de medidas con un setup portable para emular la carga útil (georradar + RTK) embarcada en el dron.			
		T2. Diseño e implementación de hardware para la monitorización de los subsistemas que componen la carga útil.			
		T3. Mejora del software para el pre- y post-procesado de medidas.			
T4. Implementación de un sistema de medida de antenas mediante un conversor ADC (PicoScope) y una Raspberry					
	Período	Del 19 de junio de 2019 al 31 de diciembre de 2019			

4. OTROS PROYECTOS Y CONTRATOS CON FINANCIACIÓN EXTERNA

Título del proyecto/contrato	
Referencia	
Investigador/a/es principal/es	
Equipo investigador	
Periodo de vigencia	
Entidad financiadora	
Cantidad subvencionada	