



**Universidad**  
Zaragoza

# Trabajo Fin de Grado

## EL EMPLEO DE DRONES EN EL PLANEAMIENTO ARTILLERO

CAC PEDRO MERINO MUÑOZ

Director académico: Antonio Luis Montealegre Gracia

Director militar: Cap. Sergio García del Pozo González

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar

2022





## Agradecimientos

Para realizar este trabajo he contado con el apoyo y ayuda de varias personas, sin las cuales no hubiera sido posible llevarlo a cabo. En primer lugar, me gustaría agradecer al personal del GACA XII, que desde que llegué el primer día me acogieron como si fuera uno más de la Unidad. En especial, quiero destacar a la 2ªBIA, donde estuve haciendo las prácticas; me ayudaron en todo momento con cualquier cosa del trabajo. Quiero agradecer, por supuesto, a mis tutores Antonio Luis Montealegre Gracia y el Capitán Sergio García del Pozo González, quienes me han guiado y ayudado en todo el desarrollo del trabajo. También he de mencionar la labor del Sargento Rosa en la práctica realizada con el dron en el campo, posibilitando que fuera lo más importante del trabajo.





## RESUMEN

Este trabajo surge de la necesidad de introducir nuevos elementos en las Unidades de artillería, como son los drones de pequeño tamaño, para facilitar las tareas del planeamiento y conducción de una operación militar. El objetivo principal es analizar las capacidades de los drones de los que dispone el Grupo de Artillería de Campaña XII (GACA XII) del Ejército de Tierra español, así como la integración de un Modelo Digital de Superficie (MDS) obtenido con estos medios en el Sistema de Información Geográfica "Carta Digital v. 8.2.". La metodología aplicada se fundamenta en el análisis del planeamiento de las Unidades de artillería y cómo el empleo de drones puede ayudar a éste en lo referente a la obtención de información geográfica. Asimismo, se han estudiado las capacidades que presentan los drones en dotación del GACA XII (Dji Mavic 3 y Dji Mavic 2 pro) y lo que supondría implementar el dron Autel EVO 2 RTK V2 en las Unidades de Artillería de Campaña. Los resultados obtenidos evidencian que los dos modelos de dron existentes en el GACA XII tienen características semejantes, siendo necesaria la adquisición del Autel, ya que incorpora nuevas funcionalidades, tales como una cámara térmica y la obtención de coordenadas al instante. El MDS de alta resolución espacial generado a partir de las imágenes tomadas por el Dji Mavic 2 Pro es útil para analizar detalladamente el terreno con las herramientas que incorpora Carta Digital v.8.2, como la ubicación de un observador avanzado o el trazado de una ruta óptima. Como conclusión general del trabajo, tras haber realizado pruebas reales, se ha observado que este tipo de drones de pequeño tamaño son adecuados para las tareas de reconocimiento y adquisición de objetivos en un GACA debido a su fácil manejabilidad y pilotaje, al ahorro de tiempo para extraer información geográfica actualizada, y a la alta precisión para obtener coordenadas de un punto del terreno. Sin embargo, todavía en las Unidades de artillería no se hace un uso efectivo de los drones, tan solo para la toma de fotografía y grabaciones en ejercicios de instrucción y adiestramiento.

## PALABRAS CLAVE

Teledetección, Modelo digital del terreno, Carta Digital, GACA XII



## **ABSTRACT**

This work arises from the need to introduce new elements in the artillery Units, such as small drones, to facilitate the tasks of planning and conducting a military operation. The main objective is to analyze the capabilities of the drones available to the XII Field Artillery Group (GACA XII) of the Spanish Army, as well as the integration of a Digital Surface Model (DSM) obtained with these means in the Geographic Information System "Carta Digital v. 8.2." The applied methodology is based on the analysis of the planning of artillery units and how the use of drones can help it in terms of obtaining geographic information. Likewise, the capabilities of the drones of the GACA XII (Dji Mavic 3 and Dji Mavic 2 pro) and what it would mean to implement the Autel EVO 2 RTK V2 drone in Field Artillery Units have been studied. The results obtained show that the two existing drone models in the GACA XII have similar characteristics, requiring the acquisition of the Autel, since it incorporates new functionalities, such as a thermal camera and the obtention of coordinates instantly. The high spatial resolution of the DSM generated from the images taken by the Dji Mavic 2 Pro is useful for analyzing the terrain in detail with the tools that Carta Digital v.8.2 incorporates, such as the location of a forward observer or the best route. As a general conclusion of the work, after having carried out real tests, it has been observed that this type of small-sized drones is suitable for reconnaissance and target acquisition tasks in a GACA due to its easy handling, saving time for extract updated geographic information, and to obtain high precision coordinates of a point on the ground. However, the artillery units still do not make an effective use of drones, only for taking photographs and recording instruction and training exercises.

## **KEYWORDS**

Remote sensing, Digital Terrain Model, Carta Digital, GACA XII



# INDICE DE CONTENIDO

<b>Agradecimientos</b> .....	<b>I</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>III</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>IV</b>
<b>INDICE DE CONTENIDO</b> .....	<b>V</b>
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>VII</b>
<b>INDICE DE TABLAS</b> .....	<b>VII</b>
<b>INDICE DE IMÁGENES</b> .....	<b>VII</b>
<b>ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS</b> .....	<b>VIII</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA</b> .....	<b>3</b>
2.1 OBJETIVOS Y ALCANCE.....	3
2.2 METODOLOGÍA.....	4
<b>3. ANTECEDENTES</b> .....	<b>5</b>
<b>4 DESARROLLO: ANÁLISIS Y RESULTADOS</b> .....	<b>6</b>
4.1 Requerimientos generales de información geográfica de las unidades de artillería de campaña .....	6
4.1.1 Necesidades previas al planeamiento de una operación .....	6
4.1.2 Necesidades para el despliegue sobre el terreno.....	7
4.2 Tipos de planeamiento y necesidades de información geográfica.....	9
4.2.1 Integración Terreno Enemigo.....	9
4.2.2 Targeting.....	10
4.3 Los drones para el planeamiento artillero.....	11
4.3.1 Especificaciones técnicas de un dron para su empleo operativo en un planeamiento.....	13



4.3.2	Análisis comparativo de los drones disponibles en el GACA XII: Dji Mavic 3 y Dji Mavic 2 pro.....	14
4.3.3	Análisis comparativo de los drones disponibles en el GACA XII con el dron Autel EVO 2 RTK V2.....	16
4.4	<b>Análisis DAFO: AUTEL EVO 2 RTK V2 .....</b>	<b>18</b>
4.5	<b>Estudio de caso: capacidades reales del dron Mavic 2 pro y obtención de un MDS para su implementación en Carta Digital V.8.2. ....</b>	<b>20</b>
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>27</b>
<b>6.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>29</b>



## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Organización orgánica GACA XII. Fuente: elaboración propia. ....	2
Figura 2: Diagrama de Gantt. Fuente: elaboración propia. ....	4
Figura 3: Fases del proceso targeting. Fuente: elaboración propia. ....	10
Figura 4: Componentes de un sistema de teledetección. Fuente: elaboración propia. ....	12
Figura 5: Análisis DAFO. Fuente: elaboración propia. ....	19

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Reconocimiento del terreno y selección de la ubicación. Fuente: elaboración propia. ....	9
Tabla 2: Comparativa de los drones disponibles en el GACA XII. Fuente: elaboración propia. .	16
Tabla 3: Comparativa de los drones disponibles en el GACA XII con el dron Autel EVO 2 RTK V2. Fuente: elaboración propia. ....	18

## INDICE DE IMÁGENES

Imagen 1: Dron Dji Mavic 2 Pro. Fuente: fotografía del autor. ....	14
Imagen 2: Dron Dji Mavic 3. Fuente: fotografía del autor. ....	14
Imagen 3: Dron Autel EVO 2 RTK V2. Fuente: (El vuelo del dron, 2020b.).....	17
Imagen 4: Parámetros en Pix 4D Capture previos a la fotogrametría. Fuente: elaboración propia. ....	22
Imagen 5: Captura de pantalla del programa Agisoft PhotoScan Professional con el apartado flujo de trabajo. Fuente: elaboración propia. ....	23
Imagen 6: Modelo digital de superficies. ....	23
Imagen 7: Resultado del MDS generado en Agisoft PhotoScan Professional. Fuente: elaboración propia. ....	24
Imagen 8: MDS en Carta Digital. Fuente: elaboración propia. ....	24
Imagen 9: Análisis de visibilidad en Carta Digital. Fuente: elaboración propia. ....	25
Imagen 10: Modelo de pendientes generado en Carta Digital. Fuente: elaboración propia. ....	26
Imagen 11: Perfil topográfico creado con Carta Digital. Fuente: elaboración propia. ....	26
Imagen 12: Herramienta de mejor ubicación del observador en Carta Digital. Fuente: elaboración propia. ....	27



## ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS

- CO: Centro de Operaciones.
- CPX: ejercicios de planeamiento de puesto de mando.
- CUMAS: Cuadros de Mandos.
- DAFO: debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades.
- DGAM: Dirección General de Armamento y Material.
- DRECO: Destacamento de Reconocimiento.
- FDC: *Fire Director Centre*.
- GACA XII: Grupo de Artillería de Campaña Nº12.
- GPS: Sistema de Posicionamiento Global.
- HPT: objetivos de gran rendimiento.
- HPTL: lista de objetivos de gran rendimiento.
- HVT: objetivos de gran valor.
- INTE: Integración Terreno Enemigo.
- LAE: líneas de acción del enemigo.
- LOS: *Line of Sight*.
- MDS: modelo digital de superficies
- OAV: observador avanzado.
- Obsio.: observatorio.
- OCOKA: observación y campos de tiro, ocultación y protección, obstáculos, terreno clave y avenidas y corredores.
- ODV: orientación de vigilancia.
- RA: reiteración del ataque.
- RGB: *Red Green Blue*.
- RTK: *Real Time Kinematic*.
- SAC: Superponible de Avenidas y Corredores.
- Sgto.: Sargento.
- SIG: sistema de información geográfica.
- SOC: Superponible de Obstáculos Combinados.
- TST: objetivos sensibles en el tiempo.
- ZACA: zona de asentamientos.
- ZS: zona de servicios.



# 1. INTRODUCCIÓN

La técnica de estudiar y representar el terreno sobre un plano se ha ido practicando desde hace miles de años. Los primeros indicios de representación del entorno se encuentran en Turquía sobre el año 6200 a.C., con una pintura en la que se observa la orografía de un volcán con un centenar de edificaciones, con lo que se puede decir que la cartografía precedió a la escritura (Perfil topografía, 2022). Más tarde, en el sur de la antigua Mesopotamia se empleó la geometría práctica para la construcción de canales de riego y edificaciones, dándose a conocer como la primera civilización urbana. Con los babilonios se empezaron a construir murallas alrededor de la población y a medir los territorios con señales sobre piedras. Ya con los egipcios nació una de las ciencias más precisas que fundamenta la topografía, la geometría, creado sistemas de drenajes por las inundaciones del río Nilo. Los romanos crearon una red de caminos que conectaban el imperio, además de acueductos para transportar el agua. Todas estas invenciones y avances en construcción y cartografía han supuesto que la topografía ha jugado un papel fundamental en la evolución de las civilizaciones y se ha ido extendiendo a muchos ámbitos en nuestros días, sobre todo en el militar (Editorial Etecé, 2020).

Hoy en día, la obtención de información sobre el terreno es un aspecto esencial e indispensable en el planeamiento de cualquier operación militar (Sanz y Calabria, 2015). Disponer de cartografía actualizada y con la mayor cantidad de información y precisión posible del teatro de operaciones es un aspecto clave para la consecución de la misión. Por un lado, la topografía es entendida como la técnica que se basa en la medición, procesamiento y difusión de la información obtenida de puntos y zonas del terreno y, a su vez, también constituye una de las capacidades básicas que debe tener cualquier militar. Orientarse en el terreno con un mapa y saber cómo desplazarse por él es fundamental para cualquier tipo de Unidad militar, ya sea en el día a día en el campo de maniobras o desplegada en una misión en el exterior.

Desde el punto de vista de la Artillería, la topografía tiene como objeto determinar, por un lado, la ubicación relativa y orientación de las bocas de fuego y, por otro lado, la localización de la caída de los proyectiles, la medición de distancias y ángulos relativos y las correcciones necesarias (Castillo, s.f.). Para llevar a cabo estas tareas, todas las Unidades artilleras están articuladas de tal manera que cuentan con equipos de topografía a diferentes niveles (Grupo y Batería) con los medios necesarios. En el caso del Grupo de Artillería de Campaña XII (GACA XII) del Ejército de Tierra español, aparte de los cometidos de llevar la dirección táctica y técnica de los fuegos en apoyo a las Unidades de maniobra de la Brigada Guadarrama XII, realiza misiones que requieren de información topográfica como pueden ser situar observatorios y objetivos, reconocimientos y correcciones del tiro (Ejército de Tierra, s.f.). Para ello, cuenta con una sección de topografía e información a nivel Grupo dentro de la Batería de Plana Mayor que se encarga del reconocimiento de los asentamientos y levantar topográficamente al resto de las Baterías de armas. Cada Batería de armas cuenta a su vez, con un equipo de topografía encargado de levantar topográficamente cada una de las piezas de su Batería. Esta organización del GACA XII se puede ver en la Figura 1. Atendiendo a los medios, cuenta con estaciones totales, teodolitos con un dispositivo electrónico capaz de obtener coordenadas y distancias horizontales con precisión de 20 mm (Leica Geosystems, 2022). Este aparato topográfico es de gran ayuda para los trabajos de topografía y reconocimiento, para levantar los asentamientos de las bocas de fuego y marcar su respectiva orientación de vigilancia (ODV).

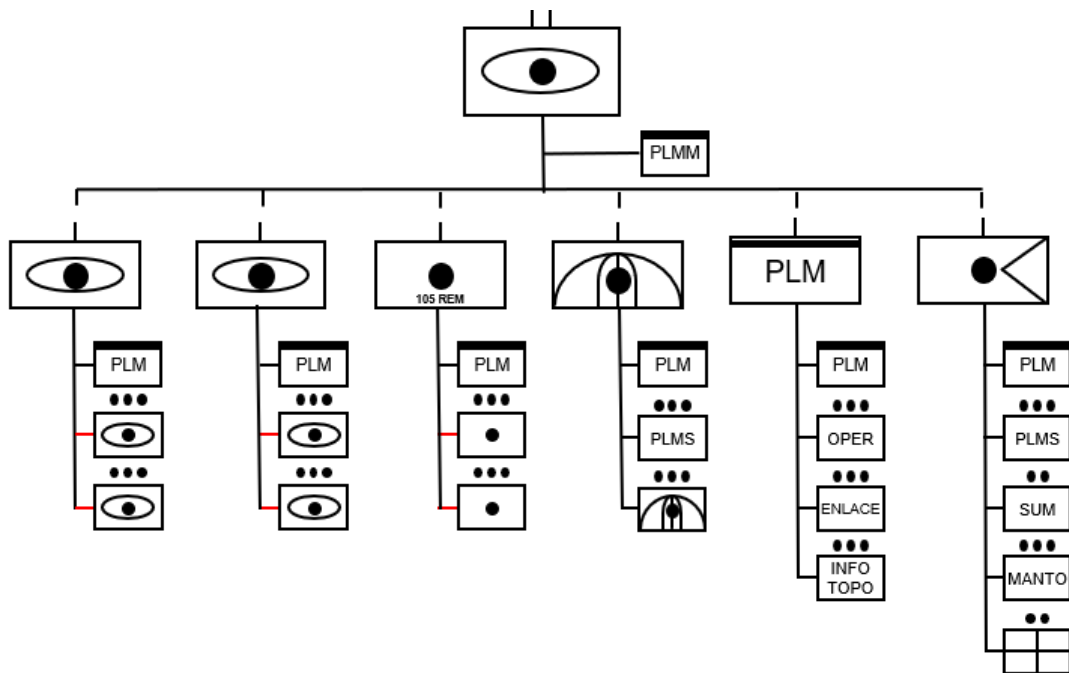


Figura 1: Organización orgánica GACA XII. Fuente: elaboración propia.

Cabe señalar que la cartografía que se utiliza es limitada y se necesita de un estudio más en profundidad del terreno para el planeamiento artillero. En este sentido, disponer de cartografía digital actualizada e integrable en Sistemas de Información Geográfica (SIG) es clave para obtener más información acerca del terreno donde se va a operar. La captura de información de la superficie terrestre con sensores de teledetección permite obtener datos actualizados sobre la topografía y otros aspectos temáticos del terreno en formato digital. Concretamente, el uso de drones posibilita la realización de un minucioso estudio previo del terreno con la gran ventaja de efectuarlo remotamente. Otra gran ventaja es la capacidad que tienen de transmitir datos e información geográfica en tiempo real, un aspecto importante para la conducción de la operación y así ahorrar tiempo. La evolución y el perfeccionamiento de las técnicas para el estudio del terreno mejoran, a su vez, la función de combate de fuegos que realiza la artillería y con ello se mejora la precisión en los disparos.

En el presente Trabajo Fin de Grado (TFG) se va a estudiar el planeamiento artillero desde el punto de vista topográfico, prestando especial interés al papel que juegan los drones para la captura de información geográfica digital. Primeramente, se analizarán qué necesidades de índole geográfica requiere una Unidad de artillería para el planeamiento y conducción de una operación. Aquí se recogen todos los aspectos necesarios tanto para el planeamiento previo como para el despliegue de la Unidad sobre el terreno, incluyendo la selección de ubicaciones y el reconocimiento del terreno. Seguidamente, se expondrán los tipos de planeamiento más usados en artillería y sus necesidades en cuanto a información geográfica. Se tratará la integración terreno enemigo y el *targeting*; el primero centrado en el análisis del terreno y de las líneas de acción que llevará el enemigo, y el segundo enfocado a la adquisición de objetivos. Posteriormente, se tratará el concepto de teledetección para entender la función que realiza el dron al obtener información geográfica y se profundizará en los dos modelos de drones que dispone el GACA XII. Para conocer sus funcionalidades y capacidades reales con más detalle, se presentará un caso práctico con uno de ellos para obtener un modelo digital de superficies (MDS) de una zona del campo de manobras de "El Goloso" (Madrid), mediante la técnica de fotogrametría. Asimismo, se mostrará un estudio de mercado y



se propondrá un nuevo dron que mejore las prestaciones de los ya existentes en la Unidad. Por último, tras haber realizado el MDS, se incorporará dentro del SIG propiedad del ET “Carta Digital v. 8.2.” y se presentarán las herramientas que se pueden utilizar para un estudio más minucioso del terreno. El trabajo finalizará con unas conclusiones sobre como un dron puede complementar el planeamiento y conducción artillero.

## 2. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

### 2.1 OBJETIVOS Y ALCANCE

El objetivo principal de este trabajo es analizar las capacidades de los drones de los que dispone el Grupo de Artillería de Campaña XII del Ejército de Tierra español, así como la integración de la información obtenida con dichos sistemas dentro del SIG “Carta Digital v. 8.2.” compatible con el sistema de mando y control (C2) de artillería de campaña TALOS, herramienta fundamental para el planeamiento adaptativo o conducción de una operación militar.

Este objetivo se fundamenta en otros cuatro objetivos específicos necesarios para su cumplimiento:

- Conocer las necesidades generales de información que tienen las Unidades de artillería para la toma de decisiones en el planeamiento y conducción de una operación y seleccionar los aspectos clave de los distintos tipos de planeamiento que pueden ser potenciados por los sistemas de teledetección.
- Analizar qué tecnología de teledetección puede proporcionar información en tiempo real para la conducción de una operación de artillería y conocer los distintos usos que se le pueden dar según el cometido de la Unidad.
- Comparar los distintos drones utilizados en Unidades de artillería, en especial de los utilizados en el GACA XII.
- Estudiar la integración de la información obtenida por los drones en el SIG “Carta Digital v. 8.2.” y analizar qué capacidades y herramientas ofrece este software para extraer información clave para el planeamiento.

El presente Trabajo Fin de Grado, de acuerdo con los objetivos planteados, contribuye al conocimiento sobre la capacidad de obtención de información geográfica mediante drones para su utilización en tiempo real en el planeamiento artillero. Por un lado, se contactará con las empresas de dichos drones y se estudiarán los costes, viabilidad y compatibilidad de estos. Además, con el dron del que dispone el GACA XII se realizará un análisis tanto teórico como empírico, de tal forma que en un caso práctico se valorará la capacidad de transmitir la información recogida del terreno y su implementación en “Carta Digital v. 8.2.”, el SIG más utilizado por las Fuerzas Armadas y que combina tanto capacidades de los softwares civiles como militares, necesarias para el planeamiento y conducción de una operación. Se realizará una encuesta al personal encuadrado en el GACA XII referente a su nivel de destreza en dicho programa.

En cuanto a los aspectos que no se han podido abordar en este trabajo, destaca el poder experimentar las capacidades de los drones integrados dentro de un ejercicio táctico, para así poder evaluar realmente la velocidad de transmisión de datos e información geográfica. Esto no pudo ser posible debido a falta de personal en el GACA XII, ya que más de la mitad estaban integrados en un contingente para el futuro despliegue en Letonia.



A la hora de estructurar temporalmente la realización del trabajo, se ha hecho uso del Diagrama de Gantt (Venngage, 2022) cómo se puede ver en la Figura 2, dividiendo dicho trabajo en una serie de tareas a cumplir.

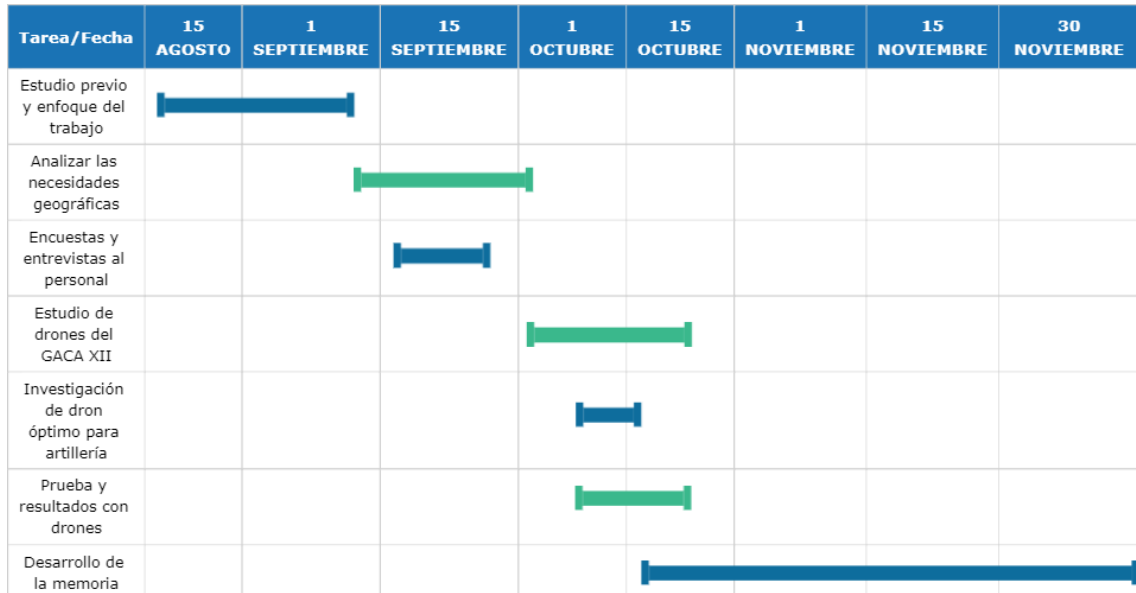


Figura 2: Diagrama de Gantt. Fuente: elaboración propia.

Previamente, antes de la incorporación a la Unidad de prácticas GACA XII, se ha llevado a cabo tanto un estudio previo sobre conocimientos de drones y planeamiento artillero (trabajo de investigación), como del enfoque que se le va a dar al trabajo (estructura y temas a tratar).

Posteriormente, a mediados de septiembre se empezaron a analizar las necesidades de información topográfica de las Unidades de Artillería para realizar el planeamiento y conducción de una operación. Para ello se han realizado una serie de encuestas y entrevistas al personal del GACA XII.

Ya en el mes de octubre, se ha profundizado en el tema de drones. Durante este tiempo se ha hecho un estudio de los dos modelos de los que dispone el GACA XII, tanto de forma teórica como práctica. Además, se ha investigado y elaborado un estudio sobre un posible dron a incorporar en la Unidad que mejore las prestaciones de los ya presentes.

Una vez trabajado estos dos principales apartados del trabajo, a mediados de octubre se empezó a desarrollar la memoria en sí, depurando la información y explicación hasta su final entrega.

## 2.2 METODOLOGÍA

La metodología aplicada se relaciona directamente con los objetivos planteados.

- Elaboración de un Diagrama de Gantt con el objetivo de establecer una línea temporal con las tareas a realizar y sus fechas correspondientes. Esta herramienta ofrece una imagen de las actividades y su duración en el proyecto de forma independiente, representadas en un gráfico donde el eje horizontal es el tiempo.
- Recopilación y revisión de bibliografía especializada sobre la información geográfica necesaria para la toma de decisiones, el uso de sistemas de teledetección y de las



características de los drones. Se hace uso, sobre todo, de manuales del Ejército de Tierra referentes al planeamiento artillero y de informes de las especificaciones de los drones.

- Entrevistas al personal experto del GACA XII sobre el uso de drones en artillería, así como de la integración de la información obtenida con estos sistemas en un SIG para llevar a cabo el planeamiento artillero. Se ha preguntado sobre las capacidades que presentan los drones existentes en la Unidad de destino y cuáles de ellas ayudan significativamente a la conducción y planeamiento de una operación. Asimismo, se estudia en un caso práctico, con la ayuda del personal que hace uso de los drones, la integración de la información obtenida en el SIG “Carta Digital v.8.2.”.
- Evaluación de los drones de pequeño tamaño útiles para los cometidos de una Unidad de Artillería de Campaña mediante técnicas de análisis de mercado y DAFO. Se ha elaborado un análisis de aspectos positivos (fortalezas y oportunidades) y negativos (debilidades y amenazas) de lo que supone implementar un dron en las Unidades de Artillería de Campaña.
- Empleo de la aplicación móvil Pix 4D Capture y del software Agisoft PhotoScan Professional para obtener un MDS a partir de los drones del GACA XII. Se ha utilizado la aplicación móvil sobre el terreno para establecer los parámetros que el dron tiene que seguir para realizar la fotogrametría de la zona de estudio. La gran ventaja de este software gratuito es que es compatible tanto con dispositivos Android como IOS, además de con múltiples modelos de diferentes marcas de drones. Por otro lado, Agisoft PhotoScan Professional se emplea desde un ordenador para, una vez obtenidas todas las fotografías del terreno, componer una ortofotografía así como el MDS.

### 3. ANTECEDENTES

La necesidad de cualquier Unidad militar de obtener información del ámbito geográfico es un aspecto muy importante para llevar a cabo una operación militar. Especialmente, para las unidades de Artillería es primordial disponer de esa información para poder desplegar en el terreno y realizar sus cometidos. Es por ello que todas ellas tienen equipos de reconocimiento encargados de las tareas topográficas, ya sea a nivel Grupo o Batería. Sin embargo, no todas ellas disponen de los medios necesarios que faciliten y agilicen dicho reconocimiento y, por consiguiente, tienen que reconocer la zona de despliegue de forma presencial. Asimismo, la mayoría de las veces se emplea la cartografía clásica de la zona que muchas veces no ofrece la información o las herramientas de estudio necesarias para un buen planeamiento.

Es por ello que, debido al gran avance en la tecnología, se está tendiendo a digitalizar desde documentos hasta mapas topográficos. Esta capacidad de implementar todo tipo de información en un ordenador es de gran utilidad para un estudio del terreno más en profundidad y más rápido. La elaboración de cartografía digital, como puede ser un modelo digital de superficies resulta más preciso y útil para la conducción y planeamiento de una operación (Calabria, 2015).

Actualmente, algunos Grupos de Artillería de Campaña, como el GACA XII, se han dotado de sistemas de teledetección capaces de realizar el reconocimiento de forma remota, así como establecer posibles objetivos a batir por las piezas del GACA. El principal sistema que han adquirido estas Unidades son los drones de pequeño tamaño, que son más rentables y permiten reconocer una zona del terreno con gran precisión, rapidez y seguridad al ser



aparatos difícilmente detectables por el enemigo. Además, la gran ventaja que ofrecen estos drones es la velocidad de obtención de la información, así como su tratamiento en tiempo real y posterior uso en el planeamiento artillero. Son capaces de obtener un MDS en poco tiempo para, posteriormente, introducirlo en un SIG y analizarlo según convenga. No obstante, la utilización de estas aeronaves no ha tenido siempre un enfoque táctico, sino más bien para grabaciones y fotografías de ejercicios de instrucción. Es por ello que en este trabajo se estudiará más en profundidad qué ventajas y funciones pueden aportar este tipo de drones para mejorar y agilizar el planeamiento de una operación artillera.

## 4 DESARROLLO: ANÁLISIS Y RESULTADOS

### 4.1 Requerimientos generales de información geográfica de las unidades de artillería de campaña

La información geográfica que necesitan los GACAs se utiliza fundamentalmente en el planeamiento previo a una operación, aunque también es de gran importancia en el despliegue de la Unidad sobre el terreno.

#### 4.1.1 Necesidades previas al planeamiento de una operación

La información geográfica que va a ser integrada dentro del planeamiento se puede dividir en dos bloques con perspectivas opuestas (García del Pozo, 2016):

- Referente a las líneas de acción propias: este estudio se centra fundamentalmente en los medios que emplea la Unidad. No tienen la misma movilidad los medios de cadenas que los de ruedas que van remolcados.
- Referente a las líneas de acción enemigas: este análisis es conocido como Integración Terreno Enemigo (INTE). Se emplea principalmente para definir las líneas de acción más probables que va a llevar el enemigo según los accidentes geográficos que presente el terreno, del mismo modo sirve de apoyo a la conducción propia de la operación.

Para llevar a cabo estos dos estudios hay que elaborar un análisis en profundidad del terreno. Se puede diferenciar entre los elementos generales del terreno y los puramente militares (García del Pozo, 2016).

- A) Elementos generales del terreno: consiste en analizar los aspectos fundamentales del terreno donde posteriormente va a desplegar la Unidad, basándose en un estudio sobre la topografía y también de los elementos naturales y artificiales del terreno. Se pueden destacar algunos de ellos que son clave para la toma de decisiones en el planeamiento y conducción de una operación.
- Pendientes: estudio en tanto por ciento de las pendientes por las que se va a poder desplazar la Unidad. En relación con esto, se hace un estudio de los medios de los que se dispone, ya que, dependiendo del vehículo, una zona puede ser transitable o no.
  - Vegetación: es uno de los factores más importantes para el planeamiento. La vegetación nos proporciona, por una parte, la ocultación frente al enemigo, y por otra parte una dificultad para el movimiento. Asimismo, hay que tener en cuenta las características más relevantes: el tipo, la densidad y la altura. Será de vital



importancia y debe estar actualizado, ya que este aspecto del terreno puede variar en poco tiempo (desaparecer o disminuir su densidad y altura por un incendio).

- Zonas de drenaje: se hace un estudio sobre los diferentes cursos de aguas, teniendo que estar permanentemente actualizado, sobre todo si la operación militar es de extensa duración. Se incluyen también zonas de vadeo y los posibles puentes a desplegar o los ya presentes en la zona. Para ello se hace un estudio de la profundidad, orillas y velocidad del agua.
- Elementos artificiales: análisis de todo lo referente a edificaciones, vías ferroviarias, carreteras, aeropuertos, núcleos de población, etc. Pueden ser útiles para facilitar el movimiento del material de la Unidad, proteger un objetivo o, por contrario, un obstáculo.

Tras evaluar con personal experto del GACA XII en ejercicios CPX (planeamiento de puesto de mando) este estudio de factores geográficos, lo que se obtiene es un mapa temático que se traduce en el Superponible de Obstáculos Combinados (SOC), empleado fundamentalmente para determinar la situación táctica de la operación, las líneas propias y las del enemigo. Mediante el SOC se definen tres tipos de zonas:

- Zona de movimiento muy limitado: área en la que la movilidad de los medios de la Unidad de estudio es prácticamente invariable.
- Zona de movimiento con restricciones: terreno en el que el movimiento está limitado, pero no está impedido.
- Zona de libre movimiento: zona de fácil movilidad sin obstáculos que la limiten.

Hay que tener en cuenta que este SOC no es definitivo, sino que depende de varios factores, como pueden ser la meteorología o el tipo de Unidad que se va a desplazar por la zona de estudio (no tiene la misma movilidad una unidad acorazada, mecanizada o ligera). Además, hay que tener en cuenta que una zona clasificada con movimiento muy limitado podría ser empleada por el enemigo.

B) Elementos militares del terreno: también denominados OCOKA, se basan en los aspectos generales anteriormente expuestos, así como la extensión doctrinal del despliegue que presente la Unidad. Se centran en los aspectos militares del terreno como la observación y campos de tiro, ocultación y protección, obstáculos, terreno clave y avenidas y corredores. Basándose en el SOC y conociendo las dimensiones doctrinales de los despliegues del posible enemigo, se obtiene primero el Superponible de Avenidas y Corredores (SAC) inicial, descubriendo todos los pasillos que permiten el movimiento de Unidades sorteando los diferentes obstáculos. Después, dicho producto se depura sometiéndolo a la priorización objetiva de sus avenidas y corredores según el resto de los aspectos militares. El propósito es eliminar del SAC inicial, aquellos pasillos no factibles desde el punto de vista de la observación y los campos de tiro, la ocultación y la protección y el acceso a zonas clave. Se obtiene así un SAC depurado. Esta depuración se hace a mano y con los criterios que establezca el mando.

#### 4.1.2 Necesidades para el despliegue sobre el terreno

Una Posición Artillera de un GACA es aquella zona del terreno desde la cual se despliegan los medios y se cumple la misión encomendada. Está compuesta por la Zona de Asentamientos (ZACASs), la Zona de Servicios (ZS) y los observatorios (Obsios). También se



compone de todas las tareas necesarias para materializar dicho despliegue sobre el terreno. Entre sus actividades se encuentra el análisis del terreno, la selección de la ubicación, ocupación y disposición en la Posición Artillera, así como todo lo que incluya el movimiento hasta ésta (Mando de Adiestramiento y Doctrina, 1997). Las acciones que se llevan a cabo para la realización de un despliegue artillero se pueden dividir en dos: reconocimiento del terreno y selección de ubicación (Tabla 1).

Un mal estudio del terreno y de la cartografía puede llevar a que el Destacamento de Reconocimiento (DRECO) del GACA se ponga a reconocer una zona que tendría que haberse clasificado cómo intransitable anteriormente. Por consiguiente, puede suponer un gran retraso en la conducción de la operación. Es por ello que un análisis in situ sobre el terreno sobre el que se van a realizar los cometidos es fundamental para conocer las limitaciones del material propio. Sin embargo, otra opción para dicho reconocimiento in situ pueden ser los drones, capaces de volar a una gran distancia del operador, ahorrando así bastante tiempo en el planeamiento de la operación.

Acción	Características
<b>Reconocimiento del terreno</b>	<p>Se basa en hacer un estudio sobre la zona donde se va a actuar y está centrado en estudiar los siguientes aspectos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Zonas de ocultación y protección de las vistas y fuegos del enemigo.</li> <li>- Los itinerarios que se usarán.</li> <li>- Puntos de dislocación del GACA.</li> <li>- Puntos de paso obligados.</li> <li>- Puntos críticos dependiendo de los vehículos empleados.</li> <li>- Zonas para la entrada en posición inmediata sobre un itinerario.</li> </ul>
<b>Selección de la ubicación</b>	<p>El reconocimiento en sí, así como la adquisición de objetivos, será realizado por los DRECOs, los radares y los observadores avanzados. Mientras que los DRECOs se dedican al reconocimiento presencial de itinerarios y asentamientos, los radares necesitan de información geográfica adecuada para su emplazamiento en un punto óptimo en cuanto a visibilidad e integración en el despliegue. Para ello, se necesita de SIG para buscar la mejor ubicación, ya que con cartografía topográfica sería enrevesado. Por su parte, los observadores avanzados pueden trabajar en los observatorios del GACA para observar los fuegos o ir acompañando a Unidades de primera línea para corregir los fuegos solicitados. En ambos cometidos, estos necesitan de información geográfica referente a la visibilidad sobre una zona de caída de proyectiles. Para este tipo de información es fundamental que este complementado por un MDS para la petición y corrección de los fuegos.</p> <p>Independientemente de que medio se trate, se necesita de una serie de información geográfica común.</p> <p>Medios de reconocimiento y adquisición de objetivos</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Navegación por el terreno: es necesario el mapa topográfico correspondiente para ser capaz de llegar al asentamiento establecido, así como para el movimiento propio en caso de pieza independiente. Es fundamental conocer con precisión las coordenadas de las piezas para poder realizar y corregir los fuegos.</li> <li>- Ocultación y protección frente al fuego enemigo: se emplea una masa cubridora entre la pieza y el enemigo. Se puede hacer uso de un MDS para analizar la visibilidad que tendría la posición de dicha pieza. En la misma línea, se necesita establecer qué ángulo de tiro mínimo dispone la boca de fuego para disparar. Aunque suele establecerse el ángulo del límite superior de la masa cubridora, puede que haya que tener en cuenta una cota o edificación superior tras la masa cubridora. Por tanto, puede ser útil el empleo de un MDS para estudiar la orografía.</li> </ul> <p>Medios productores de fuegos</p>



Acción	Características
Mando y control (C2)	Está compuesto por el Puesto de Mando de Grupo y los Puestos de Mando de las Baterías. El Puesto de Mando de Grupo, se divide a su vez en dos puestos de mando, el avanzado con el Centro de Operaciones (CO) y el FDC (Fire Director Centre) de Grupo, y el retrasado con la primera y cuarta sección. El FDC de Grupo es el encargado de llevar el tiro de todo el GACA, es por ello que realiza todos los cálculos y coordinaciones para realizar fuego adecuadamente. Para ello se utiliza el sistema de mando y control de artillería de campaña TALOS. Por consiguiente, requiere de información geográfica como pueden ser las coordenadas de las piezas, de los objetivos a batir y un MDS con la altimetría adecuada para evitar errores en el tiro.

Tabla 1: Reconocimiento del terreno y selección de la ubicación. Fuente: elaboración propia.

## 4.2 Tipos de planeamiento y necesidades de información geográfica

### 4.2.1 Integración Terreno Enemigo

Según la doctrina, el proceso de Integración Terreno Enemigo (INTE), también conocido como IPB en el marco de la Alianza, es un proceso sistemático, cíclico y dinámico donde se integran el terreno, el enemigo, la meteorología y otros factores. El objeto final del INTE es apoyar al proceso de planeamiento y conducción de las operaciones, determinando las líneas de acción del enemigo (LAE) y describiendo los factores del espacio de batalla. Es un proceso gráfico porque los resultados son una representación de la inteligencia disponible. Ésta suele ser mediante superponibles y matrices, los cuales son siempre mejorables dados los condicionantes de la situación (Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2006).

Este estudio se hace de forma ininterrumpida, antes y durante el planeamiento, y se sigue desarrollando en la conducción. Consta de tres etapas que, normalmente, se necesitan de los resultados de la anterior para la siguiente.

1. Evaluación del espacio de batalla: se estudian los aspectos más relevantes del espacio de batalla, tanto para el enemigo cómo para las fuerzas propias. El resultado de esta fase es el SAC y para ello se delimita el espacio de batalla, se estudia el terreno, la meteorología y otros factores.

2. Evaluación de la amenaza: se trata de saber cuál sería la forma doctrinal de actuar del enemigo, sin restricciones del terreno, de la meteorología ni de las fuerzas propias. El proceso de evaluación de la amenaza finaliza con la determinación de sus capacidades y vulnerabilidades, tratando aspectos como sus tácticas preferidas, sus actuaciones pasadas, su composición actual, su organización y armamento, e incluyendo una propuesta de objetivos de gran valor (HVT). El resultado de la evaluación de la amenaza puede ser un superponible que muestre los despliegues y tácticas del enemigo.

3. Integración de la amenaza: es conocer las líneas de acción del enemigo (LAE.), desarrollándolas todo lo que el tiempo permita. Para ello se combinarán los productos obtenidos en la evaluación del espacio de batalla con los de la evaluación de la amenaza. Esta integración se desarrolla con la elaboración de la plantilla de situación, la plantilla y matriz de posibilidades y la plantilla y matriz de apoyo a la



decisión.

#### 4.2.2 Targeting

La gestión de objetivos o *targeting* (en inglés) es entendido por la doctrina como un procedimiento a través del cual se determinan los efectos necesarios sobre cada uno de los objetivos físicos para alcanzar los objetivos operativos fijados por el comandante operacional, identificando las acciones que conduzcan a lograr los efectos deseados, seleccionando y priorizando los medios disponibles y sincronizando los fuegos entre sí y con otras capacidades militares (Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2015). Este tipo de proceso se lleva a cabo en niveles de decisión político y estratégico (directrices y limitaciones), operacional (planeamiento y valoración) y táctico (ejecución). Se fundamenta en el empleo de medios propios, sobre todo de apoyo de fuegos para actuar sobre los objetivos propuestos. Dentro del proceso de planeamiento a nivel táctico pueden aparecer otra serie de acciones sobre determinados objetivos que no se hayan previsto en el nivel operacional. Estos objetivos o acciones pueden ser propuestos a dicho nivel para que se tenga en cuenta en el proceso de *targeting*. Dichos objetivos se clasifican en (Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2015):

- Objetivos de gran valor (HVT, *High Value Target*): aquellos que el enemigo necesita para cumplir su misión. La supresión de estos objetivos degradaría en gran medida capacidades del adversario dentro del teatro de operaciones.
- Objetivos de gran rendimiento (HPT, *High Pay-Off Target*): aquellos que tienen gran valor para las operaciones propias. La neutralización de estos supondría una ventaja desproporcionada frente al enemigo. Estos objetivos quedan registrados en una lista de objetivos de gran rendimiento priorizada (HPTL, *High Pay-Off Target List*).
- Objetivos sensibles al tiempo (TST, *Time Sensitive Targets*): aquellos que, definidos por el comandante operacional, tienen una prioridad más alta para ejecutar una acción sobre ellos, bien porque son una amenaza evidente para las fuerzas propias o para los objetivos operacionales. Deben ser lo más reducidos posibles por sus implicaciones que suponen.

El proceso que se lleva a cabo para actuar sobre los diferentes objetivos se desarrolla mediante un ciclo de cuatro fases: decidir, detectar, atacar y evaluar (Figura 3). En estas fases, el empleo de drones será de gran importancia para el apoyo a la toma de decisiones, concretamente para la fase de detección y de evaluación.

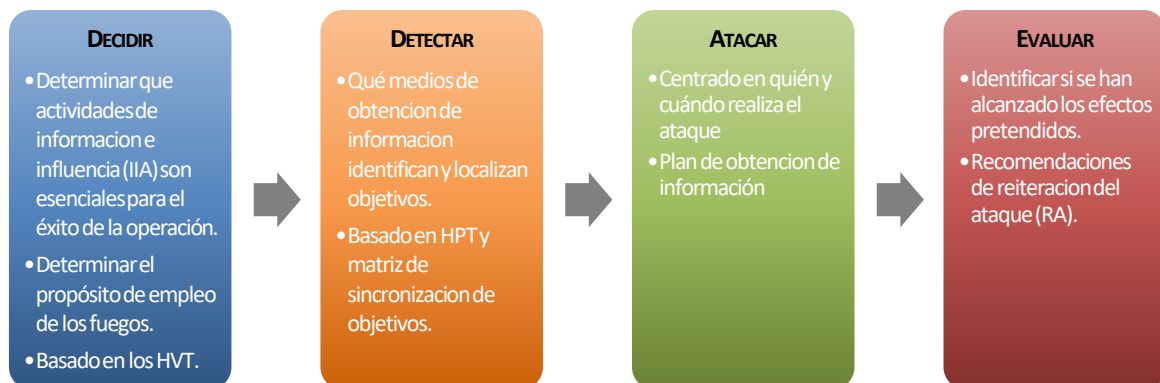


Figura 3: Fases del proceso targeting. Fuente: elaboración propia.



Dentro del proceso “Detectar” hay que identificar qué medios de adquisición deben colaborar. Los objetivos identificados deben adquirirse y seguirse con los medios adecuados. Por ejemplo, los radares AO (adquisición de objetivos) podrían centrarse en la amenaza de los morteros que realizan acciones contra las fuerzas propias. Asimismo, los drones pueden ser muy útiles para el seguimiento de fuerzas enemigas que se preparan para atacar una base amiga. Por otro lado, estos drones también pueden emplearse para la adquisición de objetivos desde una distancia lejana gracias al aumento de la imagen, evitando así el ser detectado por el enemigo.

De igual manera, en la fase “Evaluar” se analizan los efectos realizados sobre el objetivo marcado. Es por ello que los drones pueden jugar un papel muy relevante, siendo capaces de examinar el terreno sobre el que se ha actuado con gran precisión y desde una posición alejada. Con ello se puede determinar si se han conseguido los objetivos de carácter operacional, el punto de caída, el tiempo del ataque y, en su caso, dar recomendaciones de reiteración del ataque (RA).

### 4.3 Los drones para el planeamiento artillero

Los drones son probablemente una de las tecnologías más avanzadas en el campo de la robótica, aeronáutica y electrónica. El nombre técnico de los drones es "vehículos aéreos no tripulados" (UAVs o VANT) o también RPAS (*Remotely Piloted Aircraft System*). Son pequeños vehículos aéreos con una gama amplia de tamaños, formas y funciones, controlados por sistemas de tierra (control remoto) y, generalmente, están equipados con sistemas de posicionamiento global (GNSS) y sensores de teledetección de diversos tipos (cámaras RGB, infrarrojos, térmico, etc.).

La teledetección se fundamenta en la obtención de información sobre un objeto, un área o un fenómeno a través del análisis de los datos adquiridos por un sensor que no está en contacto con ese objeto, área o fenómeno (Instituto Geográfico Nacional, s.f.). Dichos sensores se pueden clasificar en activos o pasivos dependiendo del origen de la fuente de energía electromagnética empleada para obtener información. Los sensores pasivos, como las cámaras fotográficas, de vídeo, o de infrarrojo próximo, se sirven de la energía procedente del Sol, la cual es reflejada en distintas proporciones por los elementos de la superficie terrestre. También se consideran sensores pasivos las cámaras térmicas, que registran la energía calorífica emitida por los objetos. Los sensores activos son aquellos que generan su propio flujo electromagnético, como los radares y el LIDAR (*Light Detection and Ranging*) (Ministerio de transportes, movilidad y agenda urbana, s.f.).

Los sistemas de teledetección son empleados en diferentes ámbitos, gracias a la capacidad de obtener y transmitir información sobre un territorio de forma inmediata y en formato digital, así como por la posibilidad de observar regiones del espectro incapaces de ser visibles por el ojo humano. Toda esta información registrada se puede integrar en un SIG para obtener un conocimiento útil sobre el territorio. En la Figura 4 se muestran los componentes básicos de un sistema de teledetección (Ingeoexpert, 2018):

- Sensor: es el principal elemento encargado de obtener los datos de la superficie y que está colocado en una plataforma (satelital, aerotransportada, terrestre, etc.).
- Sistema de recepción: centro que recoge la información obtenida por el sistema sensor, la trata y corrige para su posterior envío a los usuarios expertos.
- Canal de distribución: medio por el que se transmite la información desde el sistema de recepción hasta los especialistas.



- Intérpretes: tratan la información mediante un análisis visual y/o digital.

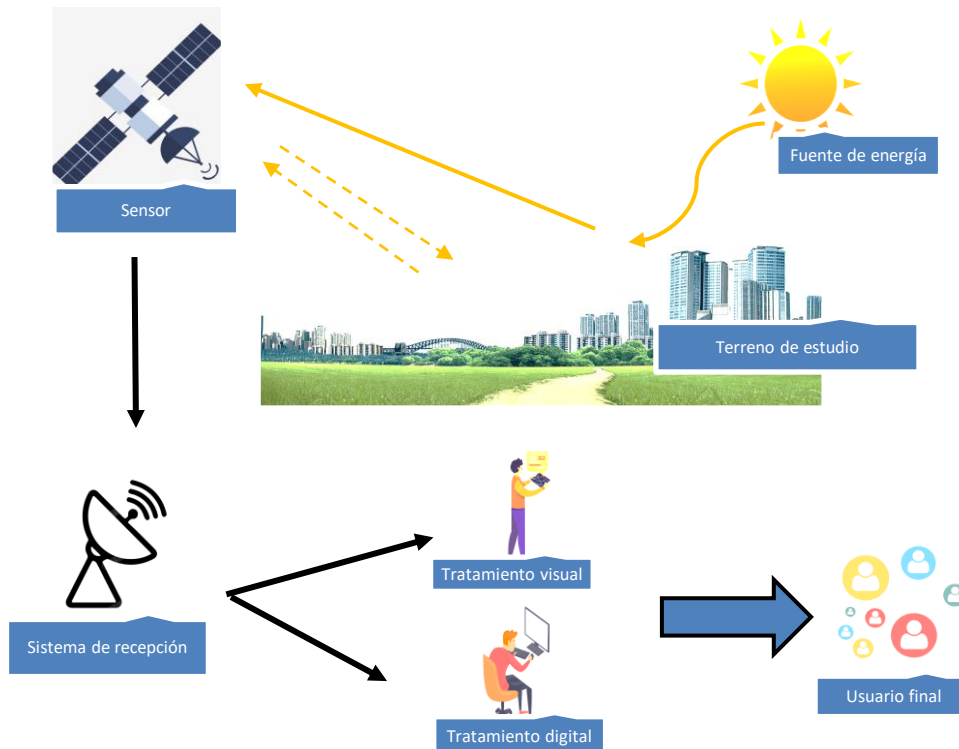


Figura 4: Componentes de un sistema de teledetección. Fuente: elaboración propia.

Los drones son un tipo de plataforma aérea capaz de volar a baja cota proporcionando imágenes con una alta resolución espacial. Se diferencian fundamentalmente en ala fija y ala rotatoria. Cada uno tiene ventajas sobre el otro. Los de ala fija pueden escanear mayor terreno debido a que sus baterías duran más. En cambio, los de ala rotatoria cuentan con una mayor precisión gracias a que se pueden mantener volando de forma estacionaria sobre un punto.

Actualmente los drones que tiene a su disposición el Ejército de Tierra son de ala fija, como pueden ser el Mini-RPAS RAVEN RQ-11B o el SEARCHER MK-III. Ambos tienen el mismo inconveniente: la resistencia a fuertes vientos. No obstante, poco a poco se están introduciendo drones de ala rotatoria de pequeño tamaño a las Unidades, ya que ofrecen unas prestaciones que se ajustan más a las necesidades de hoy en día. Tienen una mejor maniobrabilidad, son más sencillos de usar y son más difíciles de detectar debido a su reducido tamaño.

Teniendo en cuenta que el mercado de los drones está altamente copado por empresas civiles que diseñan aparatos para tareas de grabación profesional de escenas de cine o deportivas y tareas técnicas como la observación de accidentes orográficos y de la vegetación, o inspecciones y controles técnicos de infraestructuras, el Ejército de Tierra español requiere de drones existentes en el mercado para aprovechar las ventajas de esa producción en masa y adaptarlos a las necesidades del equipo de topografía y del observador avanzado de un GACA. En consecuencia, el dron debe complementar la capacidad de análisis del terreno de un equipo de topografía y de la adquisición de objetivos de un observador avanzado, y debe ser de



reducido tamaño y fácil manejo para su transporte y uso en situaciones tácticas de combate en primera línea.

En este contexto, según la clasificación de la Dirección General de Armamento y Material (DGAM) en su plan director de RPAS, se busca un dron de CLASE I MICRO (menos de 66 Julios, hasta 5 km de LOS), para uso en Subunidades tácticas y operadores individuales. También hay que indicar que dentro de la categorización que hace la legislación española en aeronaves no tripuladas, el estudio se enmarca en las categorías de aparatos menores de 2 kg y aparatos entre 2 kg y 25 kg (DGAM, 2015).

#### 4.3.1 Especificaciones técnicas de un dron para su empleo operativo en un planeamiento

A partir de una entrevista al Sgto. Rosa (Anexo I), experto en el uso de los drones en el GACA XII en cuanto a las necesidades tácticas para los diferentes tipos de planeamiento en Artillería, se han extraído una serie de requisitos técnicos que debe tener un dron para su empleo operativo en los GACAs:

1. Dimensiones máximas.
  - 1.1 Peso máximo sin carga de 2 kg.
  - 1.2 Distancia entre hélices opuestas de 50 cm.
2. Distancia mínima de uso de 3 km.
3. Autonomía de la batería de al menos 20 minutos.
4. Capacidad de grabación y fotografía con sensor RGB.
5. Resistencia al viento hasta 25 km/h.
6. Rango de frecuencias dual: 2,4-5,8 GHz.
7. Sistema de posicionamiento GNSS.
8. Capacidad de visión nocturna mediante alguno de los siguientes métodos:
  - 8.1 Cámara infrarroja.
  - 8.2 Intensificador de luz residual.
  - 8.3 Cámara termográfica.
9. Sistema de obtención de coordenadas GNSS.
10. Capacidad de *Return to Home* por los siguientes motivos:
  - 10.1 Pérdida de señal.
  - 10.2 Batería baja.
  - 10.3 Acción desde el control remoto.
11. Sistemas de detección de obstáculos omnidireccional.
12. Capacidad de seguimiento de objetos.
13. Capacidad de zoom sobre un objetivo.
14. Realización de rutas prediseñadas.
15. Capacidad de mapeo por ortofotos.



16. Mostrar en el radiocontrol la orientación y posicionamiento GNSS en tiempo real.

17. Conectividad con cables tipo *Lightning* (IOS), USB (tipo C) o Micro USB (tipo B).

Todos estos requisitos son características mínimas que deberá tener un prototipo de dron operativo para los cometidos de las Unidades de Artillería. No habrá prejuicio en que el dron final deseado tenga capacidades superiores o complementarias a las anteriormente mencionadas. Teniendo en cuenta estas capacidades deseadas, se ha realizado una valoración de los drones *Dji Mavic 3* y *Mavic 2 Pro* disponibles en el GACA XII.

#### 4.3.2 Análisis comparativo de los drones disponibles en el GACA XII: *Dji Mavic 3* y *Dji Mavic 2 pro*

En este apartado se van a comparar los drones que se han adquirido por parte del GACA XII para su uso interno. En un primer momento se disponía únicamente del dron *Dji Mavic 2 Pro*, adquirido especialmente para realizar videos de actividades de instrucción y adiestramiento, más que para ser integrado en ejercicios tácticos puramente artilleros. Sin embargo, recientemente se han adquirido dos unidades del cuadricóptero *Mavic 3*, principal dron de la serie *Mavic*, también de la empresa *Dji*, un nuevo dron con características similares al *Mavic 2 Pro*, las cuales se resumen en la Tabla 2 (El vuelo del dron, 2020a.; Santamaría, 2018).



Imagen 1: Dron *Dji Mavic 2 Pro*. Fuente: fotografía del autor.



Imagen 2: Dron *Dji Mavic 3*. Fuente: fotografía del autor.

Especificaciones técnicas mínimas	DJI MAVIC 3	DJI MAVIC 2 PRO
<b>Peso máximo sin carga de 2 kg.</b>	Peso de 895 g	Peso de 907 g.
<b>Distancia entre hélices opuestas de 50 cm.</b>	380,1 mm.	354 mm.
<b>Distancia mínima de uso de 3 km.</b>	Distancia máxima de uso de 30 km, aunque transmitiendo video alcanza 15 km. Dependiendo del ambiente habrá más o menos interferencias, y con ello cambiará el alcance: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Centro urbano: interferencias fuertes (1,5-3 km)</li> <li>- Áreas suburbanas:</li> </ul>	Distancia de 8km transmitiendo video.



Especificaciones técnicas mínimas	DJI MAVIC 3	DJI MAVIC 2 PRO
	<p>interferencias medias (3-9 km)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Terrero abierto: interferencias débiles (9-15 km)</li> </ul>	
<b>Autonomía de la batería de al menos 20 minutos.</b>	<p>Tiempo máximo de vuelo de 46 minutos con una batería LiPo 4S de 15,4 V.</p> <p>Para el centro de carga de las baterías, presenta un puerto de entrada USB (tipo C) con capacidad de cargar 3 baterías en secuencia.</p>	Duración máxima de la batería de 31 min.
<b>Capacidad de grabación y fotografía.</b>	<p>Equipado con cámara Hasselblad CMOS L2D-20c capaz de realizar fotografías de 20MP, gracias al sensor integrado CMOS 4/3 que da una mayor resolución y capacidad de suprimir el ruido en entornos con poca iluminación (intensificador de luz residual), proporcionando imágenes más nítidas. La resolución de video de la que dispone es de hasta 5.1 k.</p> <p>Presenta una tele cámara secundaria con capacidad de zoom híbrido 28x cuando sea necesario grabar o tomar imágenes desde lejos, ahorrando tiempo de vuelo y evitando ser detectado por el enemigo.</p>	Presenta una cámara Hasselblad Sensor 1" CMOS 20MP, capaz de realizar fotografías y videos en 4K. Además, tiene capacidad para hacer zoom en dos aumentos.
<b>Resistencia al viento hasta 25 km/h.</b>	En comparación con el modelo anterior Mavic 2 Pro, ofrece una mejora significativa con respecto a la resistencia al viento en un 35 %, aguantando vientos de hasta 50 km/h.	Resiste viento de entre 29 y 38 km/h.
<b>Rango de frecuencias dual: 2,4-5,8 GHz.</b>	Cambio automático de frecuencia entre 2,4 y 5,8 GHz.	Cambio automático de frecuencia entre 2,4 y 5,8 GHz.
<b>Sistema de posicionamiento GNSS.</b>	Posicionamiento GNSS por GPS + Galileo + BeiDou.	Posicionamiento GNSS por GPS + Glonass.
<b>Cámara infrarroja.</b>	No	No
<b>Intensificador de luz residual.</b>	Presenta un intensificador de luz residual.	Resulta muy difícil su empleo en ambiente con baja luminosidad ya que no presenta ningún sistema de intensificador de luz.
<b>Cámara termográfica.</b>	No	No
<b>Sistema de obtención de coordenadas GNSS.</b>	No es capaz de obtener coordenadas de un punto al instante. Sin embargo, sí que puede obtener coordenadas de forma indirecta, extrayendo los metadatos de los puntos por los que ha pasado el dron, a partir de un ordenador.	No es capaz de obtener coordenadas de un punto al instante. Sin embargo, sí que puede obtener coordenadas de forma indirecta, extrayendo los metadatos de los puntos por los que ha pasado el dron, a partir de un ordenador.



Especificaciones técnicas mínimas	DJI MAVIC 3	DJI MAVIC 2 PRO
<b>Capacidad de <i>Return to Home</i> por los siguientes motivos: Pérdida de señal, Batería baja, Acción desde el control remoto.</b>	Ofrece la función de regreso al punto de origen avanzado ( <i>Return to Home</i> ) la cual permite que el Mavic 3 busque la ruta óptima de vuelta al punto de despliegue. Esto sucede cuando se pierde la señal con el operador o cuando este lo activa.	Ofrece la función de volver al punto de origen ( <i>Return to Home</i> ) en caso de pérdida de señal o por acción del operador.
<b>Sistemas de detección de obstáculos omnidireccional.</b>	Tiene capacidad de detección de obstáculos omnidireccional gracias a sus sensores delanteros, traseros, superiores e inferiores infrarrojos. Sistema muy útil para volar sobre entornos difíciles cómo pueden ser zonas boscosas.	Tiene capacidad de detección de obstáculos omnidireccional gracias a sus sensores traseros, frontales, superiores e inferiores.
<b>Capacidad de seguimiento de objetos.</b>	Función de ActiveTrack 5.0, para la adquisición y seguimiento automático de objetivos.	Función de ActiveTrack 2.0 con capacidad de seguir a un objetivo e intuir su trayectoria si lo pierde de vista.
<b>Capacidad de zoom sobre un objetivo.</b>	Capacidad de realizar zoom híbrido 28x, muy útil para grabar y tomar imágenes con gran calidad a grandes distancias	Solamente tiene capacidad para hacer zoom en dos aumentos.
<b>Realización de rutas prediseñadas.</b>	Se establecen una serie de puntos y el dron es capaz de seguir la ruta de forma autónoma.	Se establecen una serie de puntos y el dron es capaz de seguir la ruta de forma autónoma.
<b>Capacidad de mapeo por ortofotos.</b>	Posibilidad de obtener un modelo de elevaciones del terreno mediante fotogrametría.	Posibilidad de obtener un modelo de elevaciones del terreno mediante fotogrametría.
<b>Mostrar en el radiocontrol la orientación y posicionamiento GNSS en tiempo real.</b>	Sí.	Sí.
<b>Conectividad con cables tipo Lightning (IOS), USB (tipo C) o Micro USB (tipo B).</b>	En cuanto al control remoto, tiene capacidad de adaptar un dispositivo móvil con puertos compatible a USB (tipo C), micro-USB y Lightning, de dimensiones máximas 180 x 86 x 10 mm (largo x ancho x alto).	Conectividad con cables Lightning, Micro USB (Tipo B), USB (Tipo C).

Tabla 2: Comparativa de los drones disponibles en el GACA XII. Fuente: elaboración propia.

#### 4.3.3 Análisis comparativo de los drones disponibles en el GACA XII con el dron Autel EVO 2 RTK V2

El Autel EVO 2 RTK V2 es un cuadricóptero desarrollado por la empresa americana Autel. A diferencia de los anteriores (Mavic 3 y Mavic 2 Pro), incorpora nuevas capacidades, como pueden ser la obtención de coordenadas en tiempo real o su empleo en ambientes nocturnos



gracias a su cámara térmica, convirtiéndose en una opción muy interesante para los cometidos tácticos que necesita realizar un GACA en una zona de operaciones.



*Imagen 3: Dron Autel EVO 2 RTK V2. Fuente: (El vuelo del dron, 2020b.)*

A continuación, se exponen las especificaciones técnicas más relevantes del Dron Autel EVO 2 RTK V2 (El vuelo del dron, 2020b.):

1. Peso de 1250 g.
2. Distancia diagonal entre hélices de 397 mm.
3. Distancia efectiva de transmisión de señal de 9 km.
4. Duración máxima de la batería LiPo 3S de 36min con un voltaje de 11.55 V
5. Dispone de una cámara dual con un sensor CMOS de 20MP capaz de realizar fotografías y videos en 6 k y con capacidad de zoom de hasta ocho aumentos. Además, presenta otra cámara térmica de alta resolución que puede detectar fuentes de calor con tecnología por infrarrojos. Asimismo, posee hasta diez modos diferentes de color con dicha cámara térmica, proporcionando imágenes nítidas y precisas.
6. Viene provisto de sensores de detección de obstáculos omnidireccional hasta en seis direcciones que le permiten evitar obstáculos de forma autónoma con gran fiabilidad.
7. Presenta una novedad respecto al posicionamiento GPS y la obtención de coordenadas con respecto a otros drones. Incluye un nuevo módulo de posicionamiento en tiempo real gracias al sistema RTK incorporado. Gracias a este sistema, compatible con estaciones base A-RTK y RTK, permite la obtención de coordenadas tanto del propio dron como de un objetivo fijado con una precisión centimétrica. Además, se puede designar una ruta con diferentes “waypoints” o un área poligonal de la cual el dron registra y guarda las coordenadas de dichos puntos de forma autónoma con gran precisión gracias a la inteligencia artificial avanzada que integra.
8. Compatibilidad con cable USB (Tipo C) y MicroUSB

A continuación, como se puede ver en la Tabla 3, se ha realizado una comparativa de las características más importantes de los drones disponibles en el GACA XII y el Autel EVO 2 RTK V2.



Especificaciones técnicas	DJI MAVIC 3	DJI MAVIC 2 PRO	Autel EVO 2 RTK V2
Duración de la batería	46 min.	31 min.	36 min.
Alcance eficaz	15 km	8 km	9 km
Uso en ambiente nocturno	Intensificador de luz residual	No	Cámara térmica
Obtención de coordenadas al instante	No	No	Si
Detección de obstáculos omnidireccional	Si	Si	Si
Fotogrametría	Si	Si	Si
Seguimiento de objetivos	Si	Si	Si
Precio	2100 €	1200 €	3500 €

Tabla 3: Comparativa de los drones disponibles en el GACA XII con el dron Autel EVO 2 RTK V2. Fuente: elaboración propia.

Teniendo en cuenta la información recogida en la Tabla 3 y que el GACA XII dispone de un Mavic 2 Pro y dos Mavic 3, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Observando tanto las fichas técnicas como los resultados de las pruebas prácticas, el Mavic 2 Pro y el Mavic 3 tienen características y funcionalidades similares. Asimismo, estos dos drones tienen los mismos inconvenientes, como son la imposibilidad de obtener coordenadas de un punto al instante y su empleo prácticamente nulo en ambiente nocturno. Además, si se mira el precio de ambos drones (2100 € y 1200 € respectivamente), sale un precio final de 5400€ entre los tres drones que dispone el GACA XII.
- El Autel EVO 2 RTK V2 soluciona los inconvenientes anteriormente mencionados en los otros modelos Mavic, ya que es capaz de obtener coordenadas en tiempo real y de volar en ambiente nocturno gracias a su cámara térmica. Por consiguiente, el precio de este dron es de 3500 €, lo que supone un gasto menor que tener tres modelos Mavic que no disponen de dichas funcionalidades claves para los cometidos artilleros.
- Se puede afirmar que sería más conveniente tener el dron de la empresa Autel ya que se mejorarían significativamente las capacidades topográficas y de análisis del terreno de un GACA.

#### 4.4 Análisis DAFO: AUTEL EVO 2 RTK V2

Con el principal objetivo de implementar el dron Autel EVO 2 RTK V2 como herramienta para el planeamiento y conducción de una operación de Artillería, se ha realizado un análisis de las debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades (DAFO) que puede proporcionar este dispositivo (Figura 5).



Figura 5: Análisis DAFO. Fuente: elaboración propia.

Tras haber realizado este análisis DAFO, se puede observar que ofrece importantes oportunidades de cara a la operabilidad de un GACA, tanto en sus tareas de instrucción y adiestramiento como en sus cometidos en una operación. La integración de este dispositivo inteligente mejora significativamente la capacidad de análisis del terreno antes de desplegar la unidad operativa. Poder reconocer un terreno de forma remota sin tener que desplegar un equipo de reconocimiento in situ, es un gran avance.

Por otro lado, la capacidad que ofrece de seguimiento en tiempo real es una gran oportunidad táctica para los cometidos artilleros, ya que supone una mayor fluidez en la conducción de la operación, ayudando a ahorrar bastante tiempo.

Siguiendo con los aspectos positivos, una fortaleza a destacar es la facilidad de uso de estos aparatos para cualquier persona. Asimismo, proporciona un gran ahorro de tiempo en cuanto a reconocer el terreno gracias a su gran alcance y, por ello supone una mejora en la seguridad del personal al no tener que desplazarse de la base de operaciones. La gran fortaleza que supone incorporar este modelo de dron frente a los otros modelos Mavic, es que incorpora dos funciones esenciales para gran parte de los cometidos artilleros: tanto la capacidad de obtener las coordenadas de un punto al instante, como la cámara térmica que incorpora para ambiente nocturno. Estos aspectos que hacen del dron Autel un cuadricóptero muy completo para las actividades artilleras.

Pasando a los puntos negativos de este análisis, se pueden extraer varias debilidades. La más significativa es que hace falta instruir pilotos en las Unidades para que saquen el máximo partido al dron durante un ejercicio táctico. Por ejemplo, en el GACA XII solamente hay dos



Sargentos con experiencia en el manejo de drones. Otra debilidad a tener en cuenta es la necesidad de permisos de vuelo y seguros de uso por parte del personal encargado. No tener dichos permisos, imposibilita el uso de drones en cualquier zona. Además, la obtención de estas licencias conlleva hacer una serie de cursos y costes para el personal. Asimismo, los límites de uso que presentan todos estos drones es una gran debilidad, haciendo hincapié tanto en la duración de la batería como en las medidas del espacio aéreo. El tipo de dron que se propone ofrece una duración de entre 30 y 40 minutos de uso, siendo un factor limitante, aunque de menor consideración. Del mismo modo, las medidas del espacio aéreo imposibilitan un vuelo libre poniendo como ejemplo la prohibición de un vuelo a más de 120 metros en campos de maniobras.

En cuanto a las amenazas que se pueden encontrar, destaca el presupuesto en el Ejército. Esto es una gran amenaza para el proyecto ya que, debido a la escasez de fondos, puede que no se llegue a implementar de manera correcta un nuevo dron. Además, la incapacidad de hacer frente a ciberataques de este tipo de dron supone un gran factor limitante a tener en cuenta. Un ataque de este tipo podría suponer la pérdida de la aeronave, así como de la información obtenida. Otra amenaza, con menor probabilidad, es la posible negativa de la integración de drones para el planeamiento artillero por parte de los Cuadros de Mandos (CUMAS), principalmente por preferir métodos tradicionales.

#### **4.5 Estudio de caso: capacidades reales del dron Mavic 2 pro y obtención de un MDS para su implementación en Carta Digital V.8.2.**

Se ha preparado, junto al Sgto. Rosa, Observador Avanzado (OAV) de la Batería de Plana del GACA XII y experimentado en el uso de drones, una serie de pruebas sobre el terreno para evaluar las capacidades reales que presenta el Mavic 2 Pro, dron más utilizado en el GACA XII:

1. Práctica de capacidades de vuelo: pruebas de vuelos por zonas boscosas, por desfiladas, vuelos rasantes, vuelos a gran altura. También se ha probado el manejo por parte del personal del GACA XII para analizar su complejidad.

2. Prueba de duración de las baterías: se ha evaluado la duración máxima de uso, tanto en vuelo estacionario como en constante movimiento.

3. Prueba de localización y seguimiento de objetivos: ejercicio para demostrar el seguimiento de un vehículo y localización de un objeto en zonas urbanas o boscosas.

4. Prueba de mapeo por fotogrametría: estudiar la capacidad del dron como herramienta para tareas topográficas y análisis del terreno.

Estas pruebas se llevaron a cabo en el campo de maniobras "El Goloso" (Madrid) en condiciones meteorológicas favorables (25°C de temperatura y sin viento) y siendo capaces de realizar todos los ejercicios propuestos con su posterior evaluación. De los ejercicios y su estudio se han obtenido los siguientes resultados:

- El dron tiene capacidad para volar por cualquier tipo de terreno ya sea despejado o zona arbolada. Gracias a los sensores de detección de obstáculos omnidireccionales es muy difícil colisionar la aeronave con algún arbusto o árbol. Por otra parte, el dron ha sido pilotado por personal de tropa que no tenía experiencia previa en el manejo de drones y el resultado ha sido una adaptación rápida e intuitiva a los controles del radiocontrol.

- Se ha manejado el dron durante la duración de una batería completa en constante



movimiento alrededor de todo el campo de maniobras a diferentes velocidades y adquiriendo objetivos de vez en cuando. El resultado ha sido una duración de 28 minutos con respecto a los 31 minutos teóricos. Sin embargo, también se ha probado un uso más estacionario y la batería llegó a los 31 minutos de duración. En definitiva, era lo esperado, cuantas más funciones y más movimiento se le den al dron, la batería no llegará a su máxima duración.

- En la zona de los hangares del GACA XII se ha probado la función de *Active Track* para el seguimiento de objetivos. Se ha hecho un seguimiento efectivo tanto de un vehículo como de una persona. El dron adquiere el objetivo en pocos segundos y si pierde al objetivo debido a un obstáculo, predice su ruta, lo recupera y vuelve con el seguimiento.

- Se ha empleado el dron con el objetivo de obtener un MDS mediante técnicas fotogramétricas. El resultado ha sido una buena respuesta por parte del dron, realizando el escaneo del terreno marcado de forma autónoma y precisa. El único inconveniente que se ha observado es que para un análisis de un terreno amplio se necesita más de una batería.

Uno de los productos que se pueden extraer a partir de cualquiera de los tres drones anteriormente expuestos, aparte de fotografías y videos de gran calidad y precisión, es un MDS gracias a la capacidad de fotogrametría que tienen estos aparatos. Es una técnica que se encarga de analizar un terreno y definir con precisión sus medidas, dimensiones y posición a través de una serie de fotografías de dicha zona del terreno. Gracias a esto se puede obtener un MDS, información necesaria y fundamental para trabajar sobre el terreno de interés.

Durante la estancia en el GACA XII se hizo una práctica con el *Dji Mavic 2 Pro* junto al Sgto. Rosa para probar esta capacidad. Primero se realizó una prueba dentro de la base y luego nos trasladamos al campo de maniobras de "El Goloso" en la zona donde se realiza tiro con el sistema *Dinamix* (cañón de pequeña medida para instrucción), a unos 4 km de la base.

Para comenzar con la fotogrametría se utilizó la aplicación móvil gratuita *Pix 4D Capture*, compatible con el vuelo y radiocontrol del propio dron *Mavic 2 Pro*. Lo primero que se requiere para empezar es establecer la forma del terreno que se quiere estudiar, ya sea un polígono regular o irregular. Por otro lado, también es necesario establecer a qué altura va a volar el dron para tomar las imágenes, a mayor altura menor calidad y precisión en el modelo de elevaciones final. Acorde con esto, si se establece una baja altura, el dron tendrá que realizar más fotografías para cubrir todo el espacio de estudio, por esto lo aconsejable es marcar una altura entre 60 y 100 m para no perder resolución en el producto final ni emplear demasiado tiempo en ello.

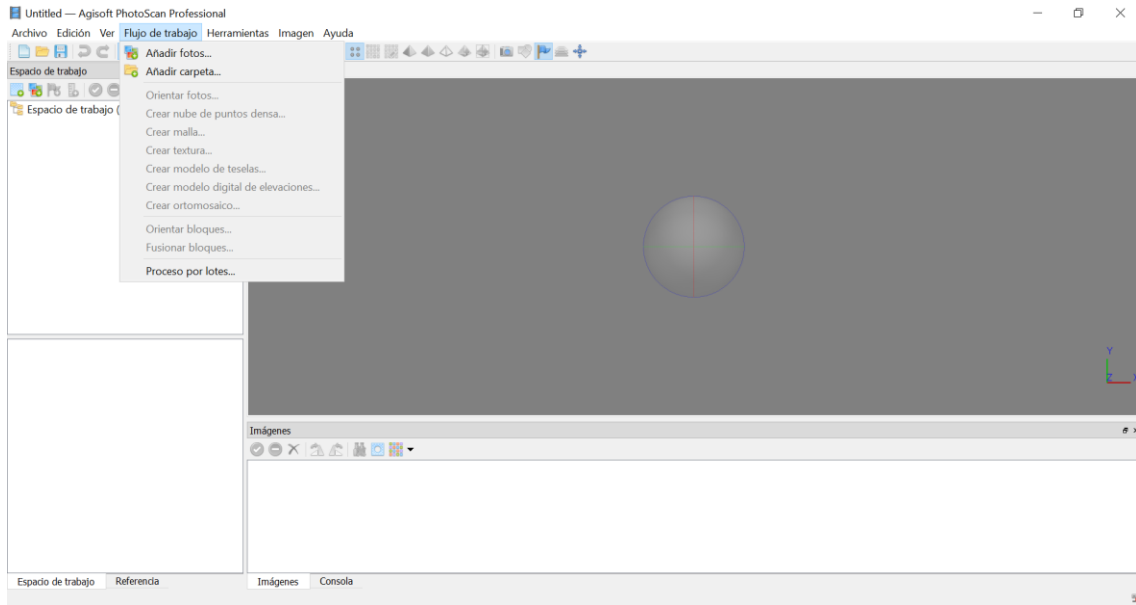
A continuación, se puede ver en la Imagen 4 como se ha delimitado la zona de estudio (160 x 426 m) en la aplicación y se ha marcado una altura de vuelo de 70 m. Asimismo, se puede ver el tiempo que va a emplear el dron (39 min y 40 s) y la batería que le queda (89%). Esto último es importante, ya que muchas veces no vale con una única batería y en mitad del proceso el dron vuelve automáticamente al punto de despliegue para que se le cambie la batería y pueda seguir en el punto donde se quedó.



Imagen 4: Parámetros en Pix 4D Capture previos a la fotogrametría. Fuente: elaboración propia.

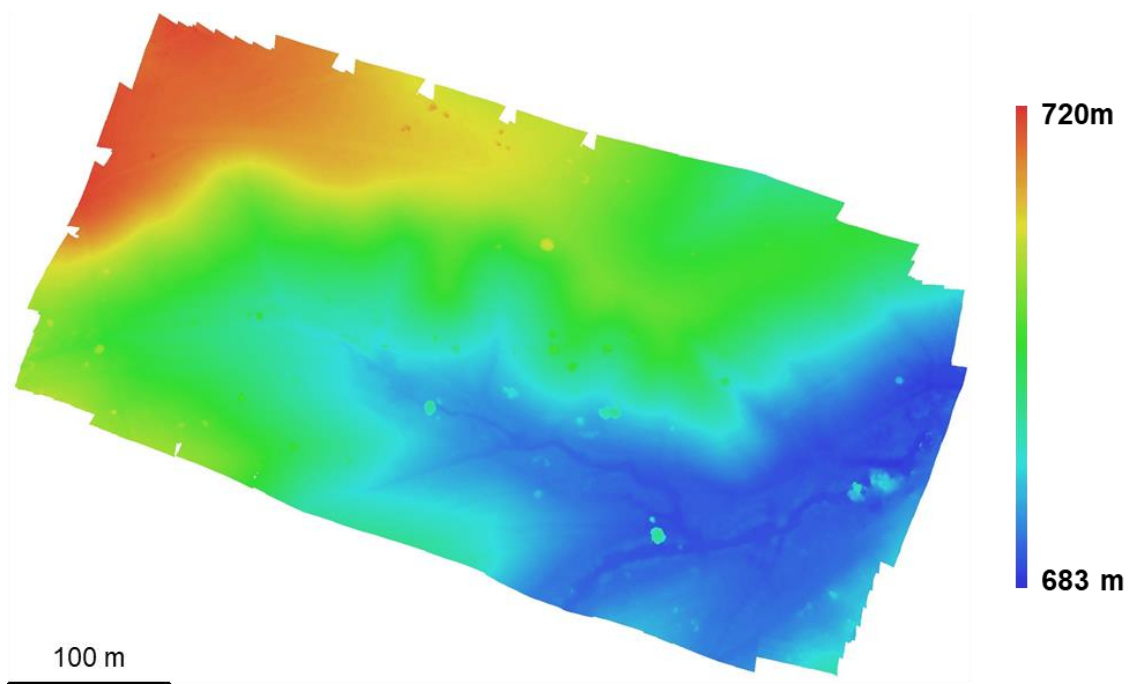
Posteriormente, una vez obtenidas todas las imágenes (485 en total), se introducen en un software denominado Agisoft PhotoScan Professional, que sirve para realizar trabajos de fotogrametría, tratando las imágenes y generando un MDS tridimensional que pueda ser utilizado a posteriori en un SIG. Para componer este modelo digital hay que seguir una serie de pasos a partir del submenú de flujo de trabajo del programa, como se puede ver en la Imagen 5:

- 1) Crear un nuevo proyecto y cargar las imágenes.
- 2) Orientar las fotos.
- 3) Crear nube de puntos densa.
- 4) Crear malla.
- 5) Crear textura.
- 6) Crear modelo de teselas
- 7) Crear modelo digital de elevaciones



*Imagen 5: Captura de pantalla del programa Agisoft PhotoScan Professional con el apartado flujo de trabajo. Fuente: elaboración propia.*

Realizar todas estas tareas del proceso de creación del MDS puede tardar más o menos tiempo, según el tipo de ordenador que se use, pero lo normal es que se emplee media hora. Además, como se puede ver en el Anexo II, se genera un informe con todas las especificaciones del proceso, resaltando el modelo digital de elevaciones correspondiente en la Imagen 6.



*Imagen 6: Modelo digital de superficies.*



Con los parámetros establecidos se ha obtenido un modelo digital con una resolución espacial de 0,14 m. A continuación, se muestra en la Imagen 7 como queda el resultado (MDS con ortofotografía superpuesta).

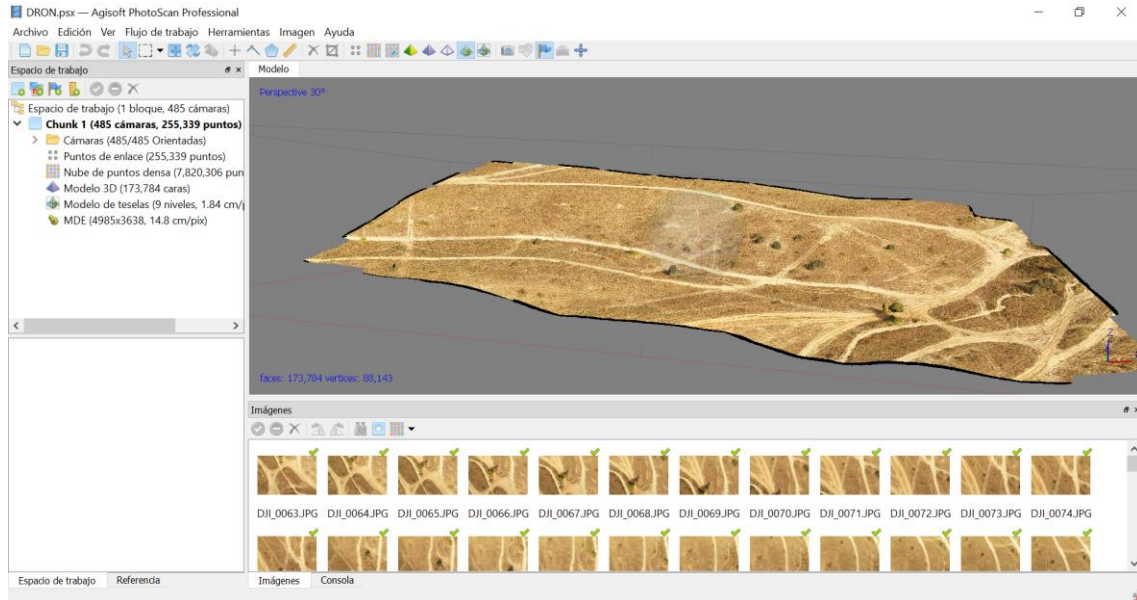


Imagen 7: Resultado del MDS generado en Agisoft PhotoScan Professional. Fuente: elaboración propia.

Una vez obtenido el MDS, este se puede guardar en diferentes formatos y sistemas de coordenadas. Como el SIG de referencia para las Fuerzas Armadas es Carta Digital, este reconoce modelos de elevaciones que estén en formato TIFF/GeoTIFF. Una vez implementado dentro de Carta Digital se pueden obtener las coordenadas de cualquier punto, además de aplicar filtros por colores según la altura del terreno, como se puede observar en la Imagen 8 en la que el terreno se encuentra entre 683 y 720 m. Por otro lado, se pueden emplear varias herramientas útiles para el estudio del terreno, como pueden ser la visibilidad desde un punto, las pendientes máximas o realizar el perfil de un recorrido entre otras.

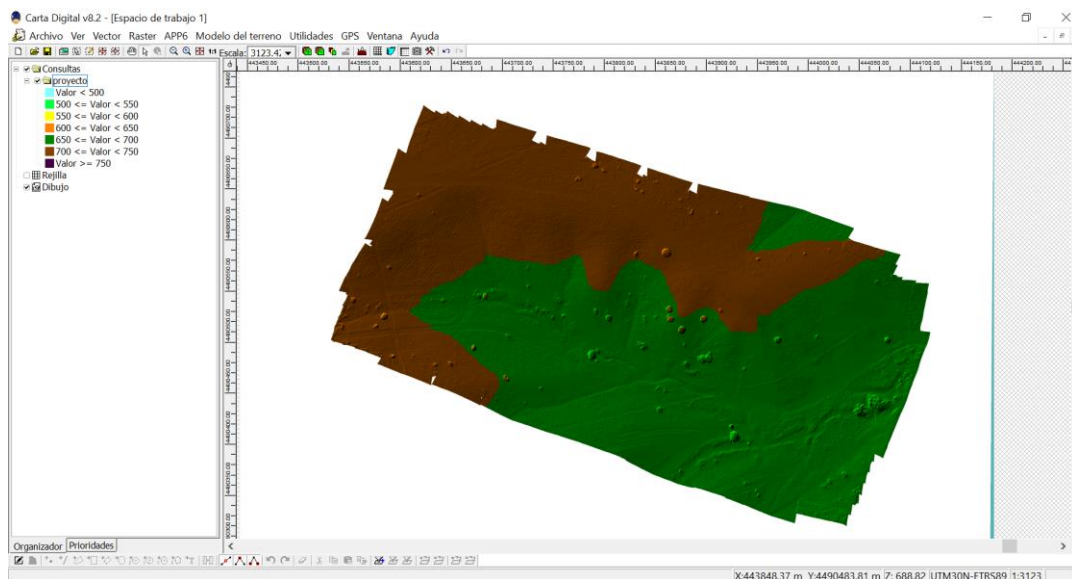


Imagen 8: MDS en Carta Digital. Fuente: elaboración propia.



- Visibilidad: esta herramienta permite ver a partir de un punto, qué zonas son visibles y qué zonas no. Puede ser muy útil, por ejemplo, si se quiere establecer un posible asentamiento de una de las piezas teniendo en cuenta la masa cubridora. Al hacer uso de esta herramienta, solicita marcar el punto, la altura desde la que se va a observar y la altura que va a tener el posible objetivo. En la Imagen 9 se muestra la visibilidad de un punto con 2 m de altura del observador y 2 m del objetivo. En color verde se indican las zonas visibles y con rojo las zonas ocultas.

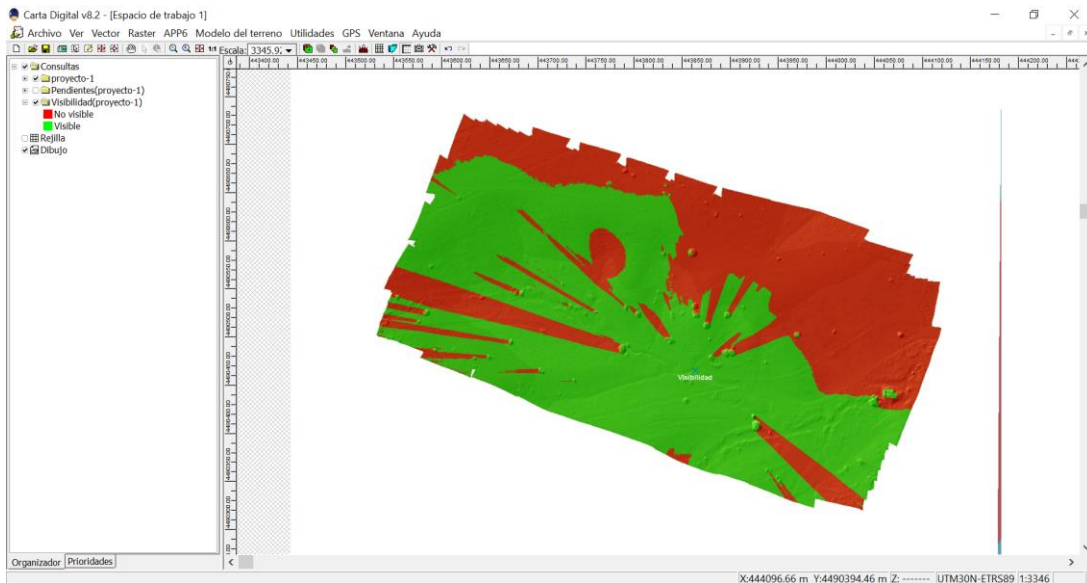


Imagen 9: Análisis de visibilidad en Carta Digital. Fuente: elaboración propia.

- Pendientes: cómo se puede ver en la Imagen 10, esta utilidad sirve para visualizar el desnivel topográfico del terreno de estudio. Esto está enfocado principalmente hacia los medios que va a emplear la Unidad. No tiene la misma movilidad un medio de cadenas que uno de ruedas. Es por ello que se puede hacer uso de esta herramienta para ver por qué pendientes no son capaces de moverse los vehículos y así poder buscar la ruta óptima hasta los asentamientos. Por ejemplo, en la Imagen 9 se han establecido intervalos de 10, 20, 30 y 50% de pendiente con sus respectivos colores. Cabe señalar que, al ser el MDS obtenido con el dron el *input* que necesita la herramienta de pendientes de Carta Digital, se generan desniveles muy acusados en las zonas en las que hay presencia de vegetación, como es el caso de las copas de los árboles. En la Imagen 10 esto se manifiesta en las zonas circulares de color rojo. El sensor óptico del dron no es capaz de registrar la información del terreno que subyace bajo la vegetación, por lo que sería necesario aplicar un proceso de filtrado en el momento en el que el software Agisoft genera la nube de puntos densa. Este procedimiento, mediante algoritmos matemáticos, es capaz de separar los puntos de terreno del resto, aunque no está exento de errores.

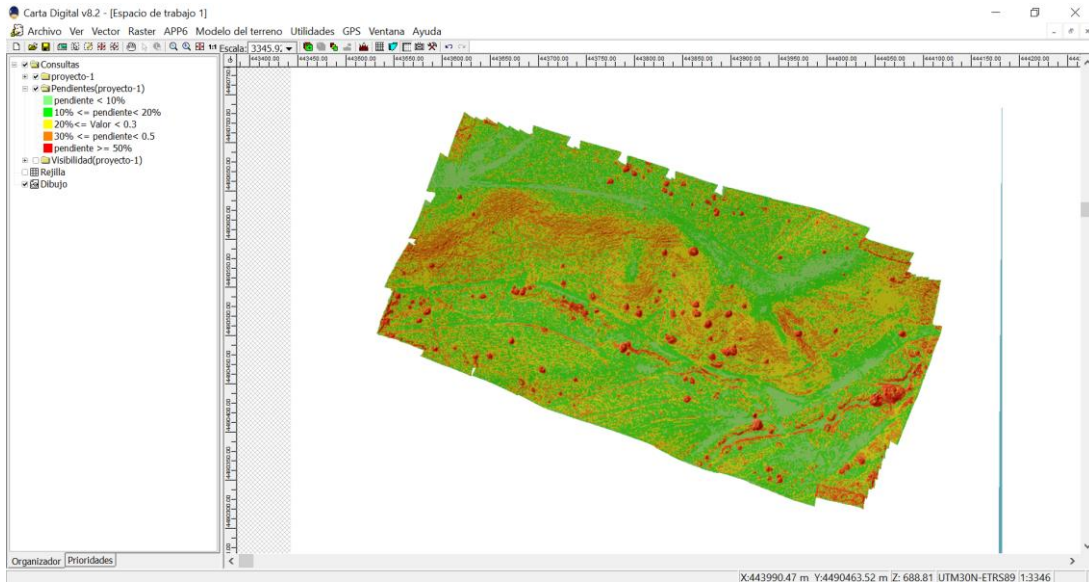


Imagen 10: Modelo de pendientes generado en Carta Digital. Fuente: elaboración propia.

- Perfil: otra gran utilidad que ofrece Carta Digital es la creación de un perfil topográfico a partir de una ruta marcada sobre el MDS. Esta es otra opción para elegir la ruta óptima para nuestros medios. Como se puede ver en la Imagen 11, se ha realizado lo que podría ser el recorrido que llevaría un convoy, evitando cambios de altura bruscos y pendientes elevadas.

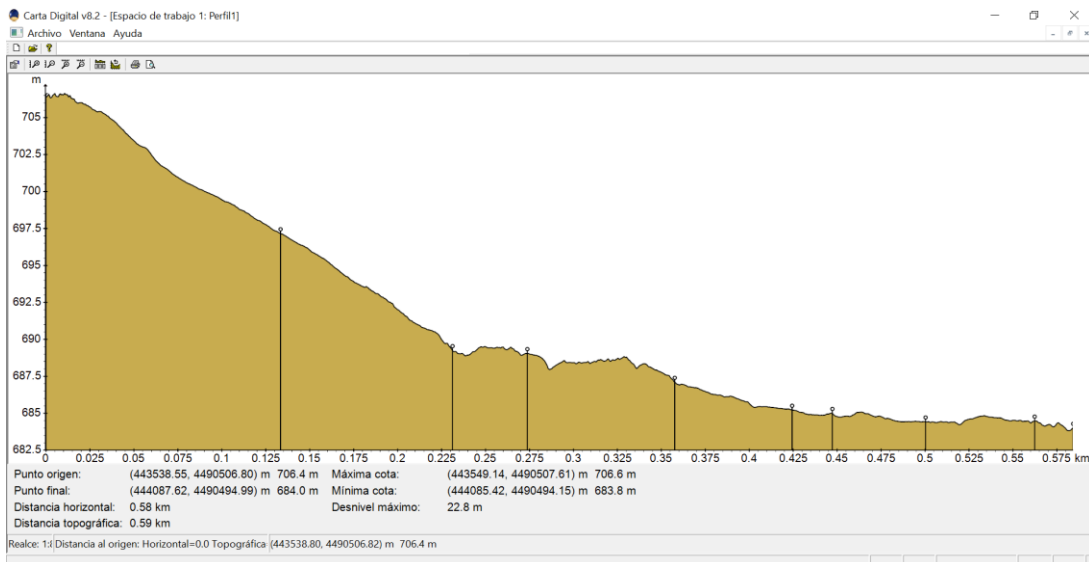


Imagen 11: Perfil topográfico creado con Carta Digital. Fuente: elaboración propia.

- Mejor ubicación del observador: esta otra utilidad se refiere a la búsqueda de la ubicación óptima para un observador avanzado. Como se puede ver en la Imagen 12, extrae la mejor ubicación para un observador desde la cual va a poder ver una zona que se marque en el mapa. El punto “PV” indica la posición óptima para observar la mayor cantidad de superficie de interés (color verde). Primero se delimita la zona que debe ser observada y después la zona donde se asentará el observador. Asimismo, hay que establecer la altura, tanto del observador como del posible objetivo.

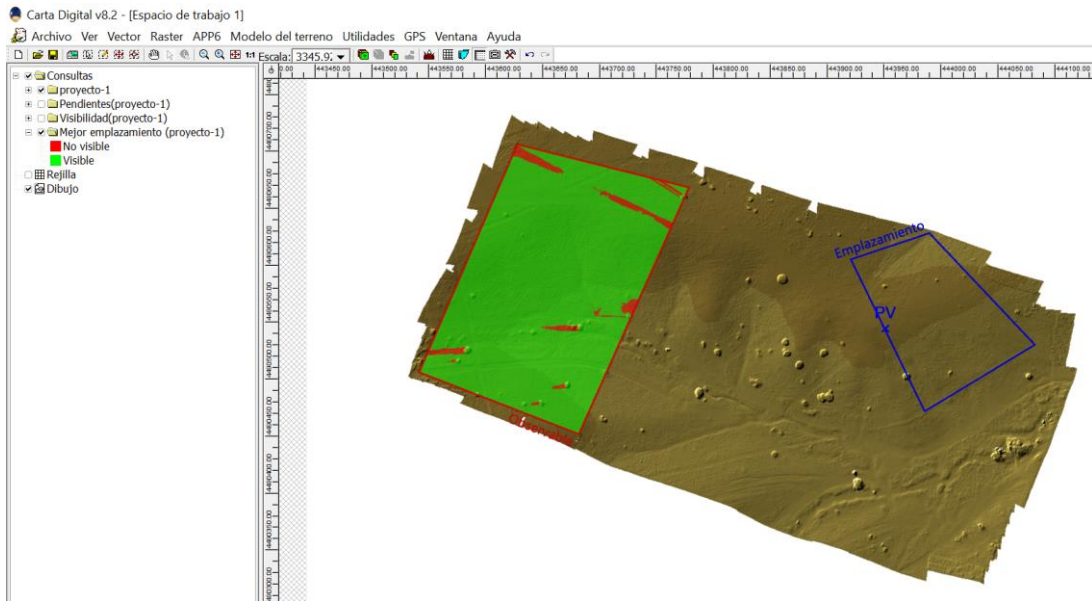


Imagen 12: Herramienta de mejor ubicación del observador en Carta Digital. Fuente: elaboración propia.

## 5. CONCLUSIONES

Los requerimientos de información geográfica de las Unidades de artillería dependen del tipo de puesto táctico que se ocupe. Asimismo, también dependen del tipo de operación que se vaya a realizar, lo que conllevará un planeamiento determinado que, a su vez, necesitará de información geográfica específica. Se puede afirmar que para algunos apartados de los planeamientos del INTE y del *Targeting*, el empleo de drones es de gran utilidad para obtener dicha información geográfica y así agilizar los procedimientos.

Concretamente, los drones de pequeño tamaño son los ideales para las Unidades de artillería, debido a su gran manejabilidad y facilidad de uso con respecto a los otros tipos de plataformas. Sin embargo, el gran problema que se encuentra en las Unidades de artillería es la escasez de personal capacitado para su manejo. Por tanto, sería conveniente que se impartiera de manera interna un curso para obtener los conocimientos necesarios.

A tenor de los resultados de la comparativa entre los dos modelos de dron existentes en el GACA XII, se evidencia que son dos aeronaves con capacidades y funciones muy parecidas. Se puede decir que ha sido un gasto innecesario el comprar dos modelos del Mavic 3 en vez de adquirir otro dron que incluya características realmente innovadoras como lo hace el modelo Autel. Con el estudio de este último, se observa que gastando menos de lo que valen dos Mavic 2 Pro, se obtiene un dron completamente funcional para cualquier cometido artillero, ya que incorpora nuevas funcionalidades, tales como el empleo en ambiente nocturno con una cámara térmica y la obtención de coordenadas al instante.

Con respecto al MDS generado a partir de las imágenes tomadas por el Mavic 2 Pro, se ha observado que es de gran utilidad para un estudio en profundidad del terreno por el alto grado de detalle que proporciona y por la posibilidad de tener información actualizada. Sin embargo, tras consultar en el GACA XII, tanto esta herramienta de apoyo como los drones no se utilizan en los ejercicios tácticos y emplean los métodos y procedimientos tradicionales. En este sentido, sería un gran avance incorporar poco a poco los drones dentro de ejercicios de instrucción y adiestramiento para, en un futuro, que se establecieran en las Unidades de



artillería como una herramienta más de ayuda en la conducción de una operación.

En cuanto a las herramientas que ofrece Carta Digital v.8.2. para el análisis de un MDS, cabe indicar que son prácticas y beneficiosas para sacar información extra del terreno. Dependiendo del puesto táctico y misión a realizar, se hará uso de un tipo de herramienta u otro. Por ejemplo, si se trata de un observador avanzado, se utilizará la herramienta de mejor ubicación del observador, o si se requiere hacer un movimiento con todos los medios del GACA, se tendrán que estudiar las pendientes y el perfil de la ruta.

En definitiva, en las Unidades de artillería no se hace un uso efectivo de los drones, se usan únicamente para grabaciones y fotografías de ejercicios de instrucción y adiestramiento. Si se integraran los drones en la estructura operativa de una misión, se agilizarían los procedimientos e incluso se ganaría mayor precisión en algunos cometidos como la adquisición de objetivos.



## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DGAM (2015). Plan Director de RPAS. Madrid: Ministerio de Defensa.

Editorial Etecé (2020). Topografía. Disponible en: <https://concepto.de/topografia/> [Consultado 12-11-2022]

Ejército de Tierra (2021). Grupo de Artillería de Campaña XII. Disponible en: <https://ejercito.defensa.gob.es/unidades/Madrid/gacaxii/Organizacion/funciones.html> [Consultado 08-11-2022].

El vuelo del dron (2020a). Mavic 3. Disponible en: <https://elvuelodeldrone.com/drones-profesionales/drones-dji/mavic-3-cine/> [Consultado 22-09-2022].

El vuelo del dron (2020b). Autel EVO 2 RTK V2. Disponible en: <https://elvuelodeldrone.com/drones-profesionales/drones-autel/autel-evo-ii-rtk/> [Consultado 27-09-2022].

García del Pozo, S. (2016). Análisis de la utilidad de Carta Digital en la Artillería de Campaña. Trabajo Fin de Grado Universidad de Zaragoza, CUD.

Ingeoexpert (2018). ¿Qué es la teledetección y qué sistemas existen?. Disponible en: <https://ingeoexpert.com/2018/07/06/que-es-la-teledeteccion/> [Consultado 07-11-2022].

Leica Geosystems (2022). ¿Qué es una estación total y para qué sirve?. Disponible en: <https://cpe.leica-geosystems.com/es/blog/post/que-es-una-estacion-total-y-para-que-sirve.html> [Consultado 11-11-2022].

Mando de Adiestramiento y Doctrina (1997). Grupo de Artillería de Campaña. OR4-307 ed. Granada: MADOC.

Mando de Adiestramiento y Doctrina (2006). INTE. Integración terreno enemigo y otros factores. OR7-018 ed. Granada: MADOC.

Mando de Adiestramiento y Doctrina (2015). Apoyo de fuegos. PD3-315 ed. Granada: MADOC.

Ministerio de transportes, movilidad y agenda urbana (s.f.). Teledetección. Disponible en: <https://www.mitma.gob.es/instituto-geografico-nacional/observacion-del-territorio/teledeteccion#:~:text=La%20teledetecci%C3%B3n%20es%20la%20t%C3%A9cnica,informaci%C3%B3n%20interpretable%20de%20la%20Tierra.> [Consultado 11-11-2022].

Perfil topografía (2022). ¿Cuál es el origen de la topografía? Disponible en: <https://perfiltopografia.es/origen-topografia/> [Consultado 07-11-2022].

Santamaría, P. (2018). DJi Mavic 2 Pro, análisis: un nuevo nivel en calidad de vídeo y foto con dron. Disponible en: <https://www.xataka.com/analisis/dji-mavic-2-pro-analisis-nuevo-nivel-calidad-video-foto-dron> [Consultado 18-10-2022].

Sanz y Calabria, A. (2015). Libro Blanco de la Artillería 2025. Segovia: [s.n.].

Vengage (2022). Crea un diagrama de Gantt para planear fácilmente tu próximo proyecto.



Disponible en: <https://es.venngage.com/features/hacer-diagrama-de-gantt> [Consultado 18-10-2022].



## ANEXOS

### Anexo I: Entrevista al Sgto. Rosa. 22 de septiembre de 2022 en “El Goloso” (Madrid).

- 1) ¿Considera útil el uso de drones en ejercicios tácticos de la Unidades de artillería?

Sí, son aparatos que ayudan bastante en los cometidos artilleros, sobre todo en cuanto a reducir tiempo. La gran ventaja que nos ofrecen es la capacidad de poder usarlos a gran distancia, esto nos puede agilizar procedimientos como puede ser un previo reconocimiento del terreno donde se asentarán las piezas u observar zona de caída de los proyectiles con mayor precisión como si fuera un observador avanzado.

- 2) ¿Cómo de fácil es el manejo de los drones?

Cualquier persona que no haya manejado algún dron antes, le va resultar muy sencillo pilotar uno la primera vez. Además, los radiocontroles que incorporan los drones, con tan solo dos *joysticks*, son muy intuitivos. También se puede ver en todo momento lo que está observando el dron, por lo que no hay que estar mirando el aparato mientras vuela.

- 3) ¿Se necesita algún tipo de permiso para volar en campos de maniobras?

Hay que estar pendientes de la normativa que saque la AESA (Agencia Estatal de Seguridad Aérea). Luego, si el dron supera los 250 gramos hay que sacarse la licencia del dron que se quiera volar. Para los drones de los que disponemos, de categoría abierta, es necesario aprobar un examen de Nivel 1 o incluso Nivel 2 dependiendo del riesgo de las operaciones. Por otro lado, es recomendable pero no obligatorio tener un seguro de responsabilidad civil, que por ejemplo en el GACA XII se necesita.

- 4) ¿Hay alguna limitación en el vuelo o es un vuelo libre?

Siempre hay que respetar una altura límite de 120m. Por otro lado, hay que tener en cuenta las medidas de coordinación aéreas de los aeropuertos, en el caso que haya uno cerca.

- 5) ¿Qué aspectos cree usted que son indispensables para un dron que pueda ayudar a llevar a cabo los cometidos artilleros?

A parte de las dimensiones, batería, resistencia al viento y conectividad, lo más importante que debería incorporar un dron para trabajos artilleros sería algún tipo de telemetro o dispositivo GNSS capaz de obtener coordenadas de un punto con gran precisión y con capacidad de transmitir dichas coordenadas en tiempo real. También sería de utilidad que incorpore una cámara térmica o de visión nocturna capaz de operar en ambientes con baja luminosidad.

- 6) ¿Cree que ha sido acertado la incorporación de estos modelos de Dji al GACA XII?

Está bien que se incorporen estos tipos de drones al GACA XII, pero se podría haber preguntado antes a los que tenemos experiencia con drones para saber que funciones interesa que ofrezcan dichos drones. Se podría haber implementado otro dron con mejores prestaciones.

- 7) ¿Qué otros drones hubiera implementado usted?

Hubiera incorporado algún dron con las características que he mencionado antes de



obtener coordenadas al instante y la cámara para ambiente nocturno. Hay algunos modelos como el Dji Matrice 300 RTK o el Autel EVO 2 RTK V2 que podrían ser una opción bastante buena.

8) ¿Qué funciones diría que son los más útiles para el planeamiento artillero?

En cuanto a un buen reconocimiento previo del terreno, la capacidad de realizar una fotogrametría para posteriormente obtener un modelo digital de elevaciones del terreno e incorporarlo en Carta Digital para aprovechar sus herramientas de estudio. Si el dron se emplea como observador avanzado, la función de obtener las coordenadas en tiempo real de la caída del proyectil es muy interesante para evitar posibles errores en el proceso.



## Anexo II: Informe del proceso de fotogrametría para el modelo digital de elevaciones del terreno.

### Agisoft PhotoScan

### Informe de procesamiento 10 octubre 2022

#### Datos del levantamiento

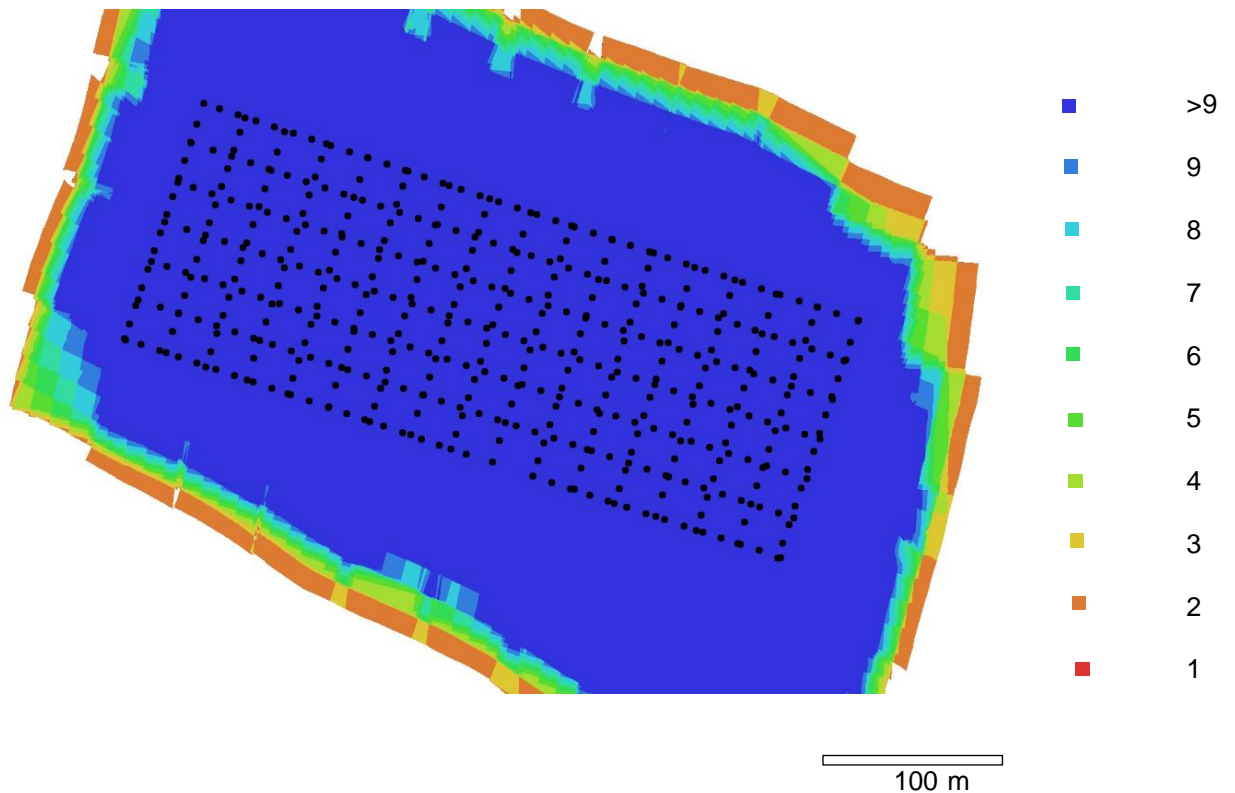


Fig. 1. Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes.

Característica
Modelo de cámara: L1D-20c (10.26 mm)
Resolución: 5472 x 3648
Distancia focal: 10,26 mm
Tamaño de pixel: 2,41 x 2,41 micras
Precalibrada: No
Número de imágenes: 485



Característica
Altitud media de vuelo: 98,5 m
Resolución en terreno: 1,84 cm/pix
Superficie cubierta: 0,148 km <sup>2</sup>
Posiciones de cámara: 485
Puntos de enlace: 255.339
Proyecciones: 1,397,968
Error de reproyección: 2.88 pix

Tabla 1. Características de la cámara y de la captura de datos.

**Posiciones de cámaras**

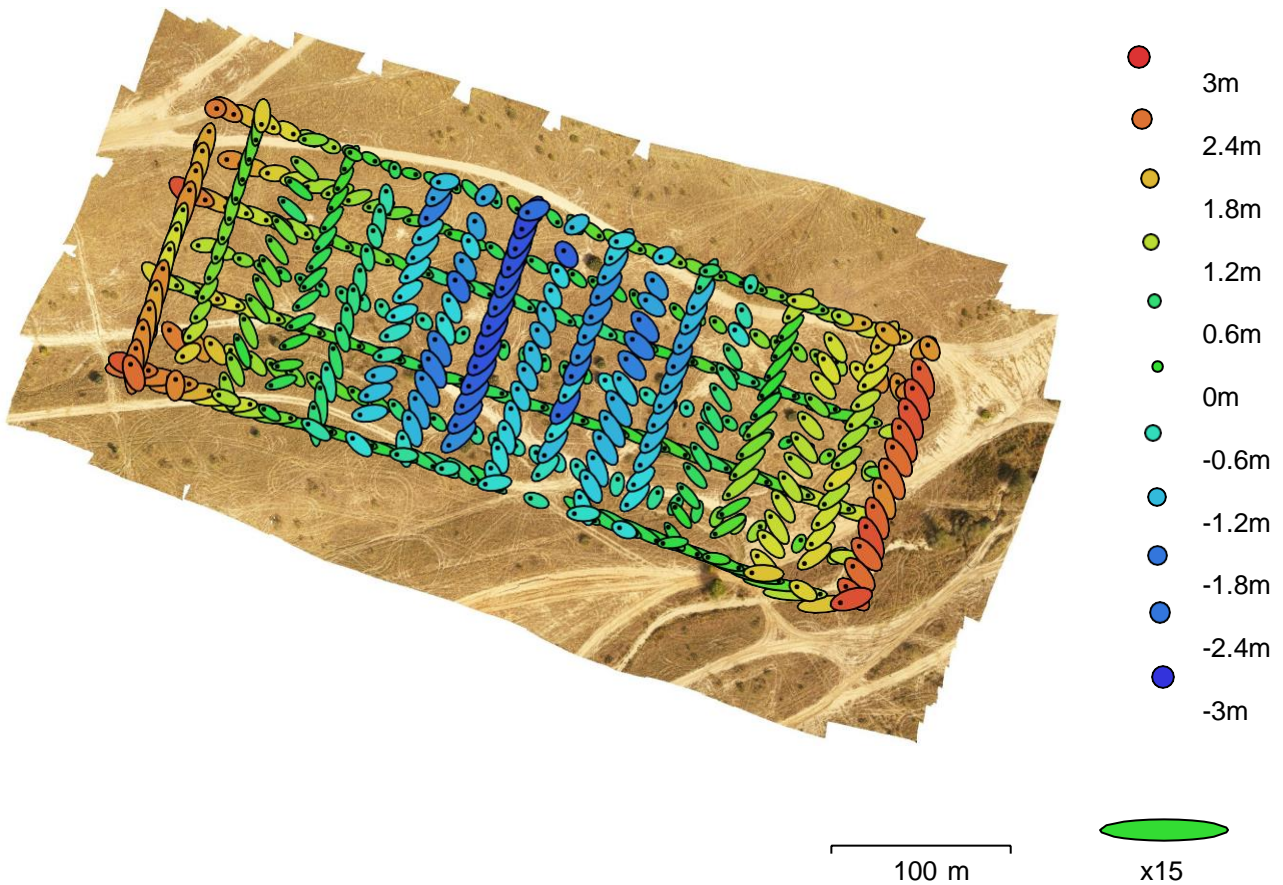


Fig. 3. Posiciones de cámaras y estimaciones de errores.



## Parámetros de procesamiento

<b>Generales</b>	
<b>Cámaras</b>	485
<b>Cámaras orientadas</b>	485
<b>Sistema de coordenadas</b>	WGS 84 (EPSG:4326)
<b>Ángulo de rotación</b>	Guiñada, cabeceo, alabeo
<b>Nube de puntos</b>	
<b>Puntos</b>	255,339 de 287,526
<b>RMS error de reproyección</b>	0.187159 (2.8796 pix)
<b>Error de reproyección máximo</b>	0.5651 (61.1208 pix)
<b>Tamaño promedio de puntos característicos</b>	14.0801 pix
<b>Superposición efectiva</b>	6.43159
<b>Parámetros de orientación</b>	
<b>Precisión</b>	Baja
<b>Pre-selección genérica</b>	Sí
<b>Pre-selección de referencia</b>	Sí
<b>Puntos claves por foto</b>	40,000
<b>Puntos de enlace por foto</b>	4,000
<b>Adaptativo ajuste del modelo de cámara</b>	Sí
<b>Tiempo búsqueda de puntos homólogos</b>	9 minutos 28 segundos
<b>Tiempo de orientación</b>	16 minutos 22 segundos
<b>Nube de puntos densa</b>	
<b>Puntos</b>	7,820,306
<b>Parámetros de reconstrucción</b>	
<b>Calidad</b>	Baja
<b>Filtrado de profundidad</b>	Agresivo
<b>Tiempo de generación de nube de puntos densa</b>	16 minutos 40 segundos



<b>Modelo</b>	
<b>Caras</b>	173,784
<b>Vértices</b>	88,143
<b>Textura</b>	4,096 x 4,096, uint8
<b>Parámetros de reconstrucción</b>	
<b>Tipo de superficie</b>	Arbitrario
<b>Datos fuente</b>	Densa
<b>Interpolación</b>	Habilitada
<b>Calidad</b>	Baja
<b>Filtrado de profundidad</b>	Agresivo
<b>Número de caras</b>	173,784
<b>Duración del procesamiento</b>	7 minutos 33 segundos
<b>Parámetros del texturizado</b>	
<b>Modo de mapeado</b>	Genérico
<b>Modo de mezcla</b>	Mosaico
<b>Tamaño de textura</b>	4,096 x 4,096
<b>Realizar corrección de color</b>	No
<b>Realizar el relleno de agujeros</b>	Sí
<b>Tiempo de mapeado en UV</b>	2 minutos 18 segundos
<b>Tiempo de mezcla</b>	17 minutos 5 segundos
<b>Modelo de teselas</b>	
<b>Parámetros de reconstrucción</b>	
<b>Datos fuente</b>	Nube de puntos densa
<b>Tamaño de tesela</b>	256
<b>Duración del procesamiento</b>	10 minutos 22 segundos
<b>DEM</b>	
<b>Tamaño</b>	4,985 x 3,638



<b>Sistema de coordenadas</b>	WGS 84 (EPSG:4326)
<b>Parámetros de reconstrucción</b>	
<b>Datos fuente</b>	Nube de puntos densa
<b>Interpolación</b>	Habilitada
<b>Duración del procesamiento</b>	19 segundos
<b>Software</b>	
<b>Versión</b>	1.3.3 build 4827
<b>Plataforma</b>	Windows 64