



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

DRONES. CORRECCIÓN DE FUEGOS Y SU
INTEGRACIÓN EN PEQUEÑAS UNIDADES.

CAC Pablo Redondo Atuse

Director académico: Domenico Sicignano

Director militar: Capitán Pablo Aradas García

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar

2023



Agradecimientos

Inicialmente, me gustaría agradecer de forma especial al director militar, capitán D. Pablo Aradas García y al director académico, D. Domenico Sicignano, de mi Trabajo de Fin de Grado por su completa dedicación y disponibilidad. Además, quería destacar su constante interés en la correcta realización del trabajo a través de correcciones y sugerencias.

De igual modo, quería mostrar mi gratitud al Regimiento de Infantería <<Príncipe>> número 3, destacando al Batallón Toledo y más en profundidad a la tercera Compañía, “La Pantera”, que desde el primer momento supieron acogerme y me hicieron sentir uno más.

Quisiera también mencionar a todos los profesores civiles y mandos militares que a lo largo de mi paso por la Academia General Militar han contribuido a mi formación de la mejor manera posible.

Finalmente, es imposible no nombrar a mis familiares y amigos, que han estado desde el primer momento a mi lado, apoyando en los momentos difíciles y celebrando las pequeñas victorias. Estoy seguro de que si he llegado hasta aquí es gracias a ellos.

CAC PABLO REDONDO ATUSE.





RESUMEN

En las Fuerzas Armadas la evolución de la tecnología militar está produciendo que todos y cada uno de los manuales de actuación, encargados de establecer los métodos de trabajo, sean modificados y actualizados.

Un ejemplo muy claro es la notable fuerza que han ido cogiendo los drones en los últimos conflictos militares. Destacando el escenario de Ucrania, los drones han desarrollado un elemento fundamental en las operaciones terrestres.

Los drones, entre la gran variedad de usos que ofrecen, destacan por la capacidad de observación en el apoyo a la función de combate fuegos, de tal forma que pueden ser esenciales en el procedimiento de corrección de fuegos.

El procedimiento de corrección de fuegos habitual emplea a un equipo de observadores avanzados a través del cual se visualiza el impacto en primera persona. Para ello, es evidente que dicho equipo se debe encontrar en una posición suficientemente adelantada como para poder visualizar tanto el objetivo como el impacto real. El principal riesgo que incita esta práctica es que dicho equipo de observadores sea descubierto por el enemigo. Además, la corrección que realiza el ojo humano de los observadores tiene una precisión limitada.

Los drones son una solución eficaz a los dos problemas planteados y pueden potenciar el trabajo del equipo de observadores ofreciendo mayor seguridad y exactitud. Es por ello que la finalidad del presente trabajo es desarrollar un nuevo procedimiento de corrección de fuegos en el que los drones tomen un papel principal junto al equipo de observadores avanzados.

Inicialmente, es necesario analizar, comparar y escoger el dron con mejores prestaciones para ejercer esta función, las características claves son los medios ópticos, la autonomía y la baja huella logística por lo que tras el uso de un gráfico de radar se consideró como óptimo el dron TUCÁN.

Posteriormente, se propone una configuración de las pequeñas unidades de Infantería para poder dotarlas de medios aéreos no tripulados. La solución más factible es el uso de una unidad de drones encargada del mantenimiento, instrucción y administración de sus drones. Será la encargada de ceder sus aeronaves a aquellas unidades que la puedan usar en la corrección.

Finalmente, como objetivo principal se plantea un método de corrección de fuegos que destaca en el uso del dron para la obtención de las coordenadas del impacto y un algoritmo capacitado de la corrección del desvío del impacto a través de fórmulas matemáticas.

A modo de conclusión, las propuestas obtenidas resuelven los problemas principales planteados en el trabajo. Se consigue evitar el riesgo de los observadores avanzados y se aumenta con creces la precisión de los cálculos. Sin embargo, hay limitaciones que se deben tener en cuenta como el aumento de los costes y las restricciones aéreas.

Palabras clave

Drones, Corrección de fuegos, Infantería, pequeñas unidades, algoritmo.



ABSTRACT

Military technology's evolution in Armed the Forces is producing that every action manual, whose function is to establish work methods, will be modified and updated.

A clear example is the big force that drones are catching in recent military conflicts. In Ukraine, drones are a very important element in ground operations.

Drones, among the other functions, are very useful in the observation capability support of fire combat function, so they are able to be essential in the fire correction procedure.

Habitual Fire correction procedure uses an advanced observer team who visualize the first impact from themselves. Therefore, it is obviously that these teams should be in a very advanced position in order to see the objective and the real impact. The principal risk with this practice is that the enemy could discover the advanced observers' team. Also, human fire correction precision is too limited.

Drones are an effective solution to these two problems and they can improve the observer team's work with more security and accuracy. Consequently, the work's objective is to develop a new fire correction procedure in which drones are the main character.

Firstly, it's necessary to analyze, compare and choose the best drone in order to do this function. The key features are the optical media, the autonomy and the small logistics footprint, so thanks to a radar chart studying the result is that the drone TUCÁN is the best drone.

Then, it's important to propose a new small Infantry unit' configuration in order to add unmanned aerial means. The best solution is to use a drone unit whose work is the maintenance, instruction and administration of their drones. This unit would be responsible for giving up the drones to the units that can use them in the fire correction.

Finally, the principal objective is to propose a new fire correction method in which the drones obtain impact coordinates, and to invent a new algorithm with the ability to calculate the impact fire correction with mathematical formulas.

To conclude, the previous proposals solve the problems raised. With this work you can avoid the advanced observer team risk and the precision of calculations is better. However, there are two limitations, the rising costs and the air restriction.

KEYWORDS

Drones, fire correction, Infantry, small units, algorithm.



INDICE DE CONTENIDO

<i>Agradecimientos</i>	<i>I</i>
<i>RESUMEN</i>	<i>III</i>
<i>Palabras clave</i>	<i>III</i>
<i>ABSTRACT</i>	<i>IV</i>
KEYWORDS	IV
<i>INDICE DE FIGURAS</i>	<i>VII</i>
<i>INDICE DE TABLAS</i>	<i>VIII</i>
<i>ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS</i>	<i>IX</i>
<i>1. INTRODUCCIÓN</i>	<i>1</i>
1.1 ESTRUCTURA DE LA MEMORIA	1
1.2 ÁMBITO DE APLICACIÓN	1
1.3 MOTIVACIÓN	2
1.4 OBJETIVOS Y ALCANCE	3
1.5 METODOLOGÍA	3
<i>2. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO</i>	<i>5</i>
2.1 ANTECEDENTES.....	5
2.2 MARCO TEÓRICO	7
2.2.1 Generalidades de los drones.....	7
2.2.2 Generalidades de la corrección de fuegos.	12
<i>3. DESARROLLO: ANÁLISIS Y RESULTADOS</i>	<i>17</i>
3.1 ESTUDIO DEL DRON MÁS CAPACITADO	17
3.2 PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE DRONES EN PEQUEÑAS UNIDADES DE INFANTERÍA	19
3.3 PROPUESTA DE PROCEDIMIENTO DE CORRECCIÓN DE FUEGOS MEDIANTE EL USO	



DE DRONES.....	20
3.4 FACTORES A TENER EN CUENTA.....	27
4. CONCLUSIONES	29
5. BIBLIOGRAFÍA	30
6. ANEXOS	32



INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Bombardeo sobre Venecia (Carrasco, 2020).	6
Figura 2. Drones (izquierda) ala rotatoria, (derecha) ala fija (Pino, 2019).	8
Figura 3. Imagen de SEARCHER MK-IIJ (Ejército de Tierra., 2023).....	10
Figura 4. Imagen de SIVA (Ejército de Tierra., 2023).	10
Figura 5. Imagen de Raven RQ-11 B (AeroVironment, Inc., 2023).	10
Figura 6. Imagen de Atlantic (Sistemas de control remoto (SCR)., 2023).	11
Figura 7. Imagen de Tucán (Sistemas de control remoto (SCR)., 2023).	11
Figura 8. Organigrama BRI “Galicia” VII (Ejército de Tierra., 2023).	13
Figura 9. Organigrama Batallón de Infantería convencional (Academia General Militar., 2021).	13
Figura 10. Representación en planta de los puntos clave en un tiro de mortero (elaboración propia).	14
Figura 11. Representación modificación alcance del disparo en función del ángulo de tiro (elaboración propia).	15
Figura 12. Gráfico de radar para comparar drones (elaboración propia).	19
Figura 13. Unidad de drones (Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2016).	20
Figura 14. Croquis distribución unidad de morteros con unidad de vuelo (elaboración propia).	21
Figura 15. Croquis cálculo de la deriva topográfica (elaboración propia).	22
Figura 16. Disposición de unidades durante el primer disparo (elaboración propia).	23
Figura 17. Corrección lateral de deriva (elaboración propia).	24
Figura 18. Corrección de ángulo de elevación (elaboración propia).	25



INDICE DE TABLAS

Tabla 1 . Clasificación drones en España según OTAN (Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2016).	9
Tabla 2. Tabla con información de los drones en dotación del ET (elaboración propia mediante datos recopilados).	12
Tabla 3. Calificación del 1 al 10 de características de los drones (elaboración propia).	18
Tabla 4. Tabla de tiro de mortero (Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2022).	32



ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS

BON: Batallón.

BRI: Brigada.

BRILAT: Brigada de Infantería ligero aerotransportable.

CALMOR: Calculadora de Morteros.

CIA: Compañía.

DARPA: Defense Advanced Research Project Agency (Agencia de proyectos de investigación avanzada de defensa).

DER: Deriva.

DP: Distancia preparada.

DT: Distancia topográfica.

EDT: Equipo director de tiro.

FAMET: Fuerzas Aeromóviles del Ejército de Tierra.

FAS: Fuerzas Armadas.

FT: Fuerza Terrestre.

GPS: Sistema de posicionamiento global.

ISTAR: Intelligence, Surveillance, Target Acquisition and Reconnaissance (Inteligencia, vigilancia, adquisición de objetivos y reconocimiento).

JCGUA: Joint Capability Group on UA/UAS (Grupo de capacidad conjunta en UA/UAS).

LR: Línea de referencia.

NBQ: Nuclear, Biológica, Química.

OAV: Observador Avanzado.

OTAN: Organización del Tratado del Atlántico Norte.

PASI: Plataforma aérea sensorizada de inteligencia.

PLM: Plana Mayor.

PU: Pequeña Unidad.

REG: Regimiento.

RPA: Remoted Piloted Aircraft (Aeronave pilotada remotamente).

RPAS: Remotely Piloted Aircraft System (Sistema de aeronaves tripuladas por control remoto).

SCC: Sección.

SCR: Sistemas de Control Remoto.

SIVA: Sistema integrado de vigilancia aérea.

SV: Servicios.

TACOM: Tactical Command.

UAS: Unmanned Aerial System (Sistema aéreo no tripulado).



UAV: Unmanned Aerial vehicle (Vehículo aéreo no tripulado).

UCAV: Unmanned Combat Aerial System (Sistema de combate aéreo no tripulado).

ZA: Altura del asentamiento.

ZO: Altura del objetivo.



1. INTRODUCCIÓN

El presente Trabajo de Fin de Grado está basado en el estudio de los drones y su uso en las pequeñas unidades de infantería como elemento clave ante la corrección de fuegos. Dicho trabajo se ha llevado a cabo durante las prácticas externas realizadas en el Regimiento de Infantería <<Príncipe>> número 3 perteneciente a la Brigada <<Galicia>> VII, situado en el acuartelamiento Cabo Noval, en Siero, Asturias. Encuadrado en la segunda sección (SCC) de la compañía (CIA) “Pantera” del batallón (Bon) Toledo.

1.1 ESTRUCTURA DE LA MEMORIA

La estructura que se va a desarrollar a lo largo del trabajo comienza con la introducción en la que se explicará cuáles son las bases sobre las que se asienta la memoria. Se expone donde se ha desarrollado el trabajo, en qué ámbito, se define lo que se consideran como conceptos clave para entender la totalidad del informe. También, se incluye una justificación que sirve como motivación a la realización del proyecto. Además, se añade una explicación del objetivo puro del informe, junto a los objetivos secundarios que permitirán su ejecución y el alcance al que se pretende llegar. Finalmente, aparecen las diferentes metodologías que se llevarán a cabo para la realización del mismo.

Posteriormente, en el segundo apartado denominado como antecedentes y marco teórico, se expone el estado del arte del procedimiento que se quiere llevar a cabo. Inicialmente se hará un contexto histórico de la evolución de los drones y posteriormente se añadirá la información necesaria que sirva como base del objetivo del trabajo.

En el tercer apartado, tendrá lugar el desarrollo del protocolo de actuación, objetivo puro del informe, donde se propone un modelo de corrección de los fuegos a través del uso de drones. Por último, se concluirá este apartado con una serie de factores a tener en cuenta.

Finalmente, en las conclusiones del trabajo, se hace una pequeña reflexión sobre lo que supone la creación de este procedimiento.

1.2 ÁMBITO DE APLICACIÓN

Profundizando en el tema de la memoria, en primer lugar, es clave comprender los conceptos clave en lo que se asienta. Por un lado, el concepto de dron o RPAS (Remotely Piloted Aircraft System), definido como vehículo aéreo no tripulado que desde el siglo XIX ha ido evolucionando y que se ha convertido en una tecnología de gran potencia en muchos sectores de la sociedad (Pino, 2019) que va a ser la base sobre la que se articule la investigación. Reduciendo el ámbito de aplicación de los drones al ámbito de las fuerzas armadas, y más exclusivamente, en la especialidad fundamental de infantería del Ejército de Tierra, puede acaparar gran cantidad de funciones, debido a ello es necesario aclarar que el presente informe busca maximizar su potencial en el proceso de corrección de fuegos. Y para conocer el concepto de corrección de fuegos hay que plantearse: ¿qué es?, ¿qué unidades la llevan a cabo? Y ¿a qué sistemas de armas se les aplica?

La corrección de fuegos es un procedimiento que utiliza cualquier unidad que porte sistemas de armas de tiro indirecto, desde morteros, misiles, etc. El tiro indirecto es una técnica de disparo que se caracteriza por realizar el tiro desde una posición en la que no se tiene visión visual sobre el objetivo, de tal forma que los proyectiles se envían realizando un ángulo previamente calculado. La cuestión que surge ahora es: ¿ha impactado el proyectil en el objetivo requerido? Por ello toma importancia la corrección de fuegos propiamente dicha. Procedimiento de reajuste de cualquier tiro indirecto con el objetivo de mejorar la precisión



del impacto. El proceso se divide en tres pasos, la observación del impacto, el cálculo de la corrección y la ejecución de un segundo disparo corregido.

La observación del impacto es la función específica de los observadores avanzados (OAV), personal especializado en las capacidades y limitaciones de los sistemas de armas y expertos en emitir una valoración de los efectos tras el ataque (Formigo, 2022).

Por último, para terminar de acotar las partes fundamentales en las que se va a desarrollar el proyecto, es clave destacar sobre que unidades de la Infantería se pretende hacer el estudio. Actualmente, las unidades¹ de infantería del Ejército de Tierra español se encuentran encuadradas en diferentes orgánicas dependiendo de la cantidad de combatientes que englobe. Para poder hacer un mejor estudio especializado de los drones y su aplicación a la corrección de fuegos, es conveniente centrarse en las pequeñas unidades (PU) de infantería, que abarcan desde la unidad mínima que es el binomio hasta nivel brigada (BRI), dejando entre ambas, la escuadra, el pelotón (PN), la sección (SCC), la compañía (CIA) y el batallón (BON) en orden ascendente. Las características que diferencian cada tipo de unidad se verán a lo largo del trabajo.

1.3 MOTIVACIÓN

La velocidad con la que la tecnología va aumentando y mejorando sus características en todos y cada uno de los ámbitos de la vida supone un reto para sus usuarios. El hecho de poder realizar tus obligaciones diarias mediante el uso de materiales cada vez más desarrollados exige una mayor preparación y especialización de sus beneficiarios.

En las Fuerzas Armadas (FAS) la evolución de la tecnología militar está produciendo que todos y cada uno de los manuales de actuación, encargados de establecer los métodos de trabajo, sean modificados y actualizados.

Un ejemplo muy claro, es la notable fuerza que han ido cogiendo los drones en los últimos conflictos militares. Destacando el escenario de Ucrania, los drones han desarrollado un elemento fundamental en las operaciones terrestres. Provocando que la desventaja en este ámbito sea un pilar fundamental para el desenlace de los conflictos (Pila, 2023).

Los RPAS, principalmente, están realizando funciones que se pueden dividir en dos grandes apartados, por un lado, realizan misiones de guerra electrónica² y, por otro lado, misiones de inteligencia, vigilancia y adquisición de objetivos (ISTAR). Dentro de este último tipo de misiones, los drones pueden ofrecer información que puede ser utilizada para apoyar la función de combate de fuegos³ y, de esta manera, ser de gran ayuda para el procedimiento de corrección de fuegos (Alonso, 2023).

El procedimiento de corrección de fuegos habitual emplea a un equipo de OAV a través del cual se visualiza el impacto en primera persona. Para ello, es evidente que dicho equipo se debe encontrar en una posición suficientemente adelantada como para poder visualizar tanto el objetivo como el impacto real. Este método induce a que los observadores avanzados

¹ Una unidad es una expresión genérica en el Ejército para referirse a uno de los grupos en los que se divide la institución. Pueden ser grupos de cualquier entidad.

² La guerra electrónica envuelve todos los conflictos en los que el objetivo principal sea controlar e identificar cualquier irradiación de energía para prevenir amenazas (Fernández, 2006).

³ La función de combate fuegos es la misión principal de la Artillería, involucra todas las acciones basadas en realizar fuego.



se tengan que ocultar en zonas muy próximas al objetivo, que normalmente estará compuesto por personal enemigo. El principal riesgo que incita esta práctica es que el equipo de OAV sea descubierto por el enemigo. Además, la corrección que realiza el ojo humano de los observadores tiene una precisión limitada y conlleva tener un margen de error en la estimación de la corrección.

Los drones son una solución eficaz a los dos problemas planteados y pueden potenciar el trabajo del equipo de OAV ofreciendo mayor seguridad y exactitud. Es por ello que la finalidad de la memoria es desarrollar una nueva técnica de corrección de fuegos que minimice al máximo los peligros.

1.4 OBJETIVOS Y ALCANCE

El objetivo principal del presente trabajo es desarrollar un método eficaz para llevar a cabo la corrección de fuegos mediante el uso de drones como elemento esencial del equipo de OAV. La idea es complementar las capacidades que ofrecen los drones con la preparación de los OAV para exprimir al máximo la eficacia de este procedimiento con el doble propósito de evitar la exposición del personal de observación ante el enemigo y mejorar la precisión de su trabajo.

Para poder llegar al objetivo primordial de la memoria se han establecido como objetivos secundarios:

- Comparar los drones que se encuentran en dotación en el Ejército de Tierra, para lo cual hará falta hacer un análisis exhaustivo de ellos.
- Estudiar el procedimiento de corrección de fuegos actual para poder buscar mejoras, implementaciones y alternativas.
- Examinar los resultados de este estudio con el fin de maximizar su proyección en el futuro.

Respecto al alcance de la memoria, la finalidad de la misma es proponer un procedimiento adecuado y eficaz capacitado para corregir los fuegos con ayuda de los drones pertenecientes a las unidades. No se tiene como objetivo, ni la búsqueda de drones civiles con mejores capacidades de los que se tienen actualmente, ni la creación de un plan de instrucción para el uso de drones o la corrección de fuegos.

Para ello se tendrán en cuenta diferentes opiniones internas del personal dedicado a la observación de fuegos, con la idea de proponer un cambio en la orgánica⁴ de las compañías de infantería. La idea es establecer un pequeño núcleo formado por dos personas cuya misión principal sea la especialización en los drones dentro de las secciones de armas.

1.5 METODOLOGÍA

Para alcanzar los objetivos propuestos se han llevado a cabo una serie de técnicas que se pueden dividir en dos grandes grupos.

Por un lado, se han utilizado métodos cuantitativos, caracterizados por el estudio de resultados propiamente numéricos. Por otro lado, métodos cualitativos que hacen referencia a una forma de análisis que descarta el uso de números. Finalmente, destacar los métodos

⁴ La orgánica de una unidad es la organización con la que cada unidad distribuye a su personal.



mixtos que unen cualidades de ambos métodos.

A. MÉTODOS CUANTITATIVOS

En cuanto a métodos cuantitativos, principalmente se van a utilizar procedimientos matemáticos e informáticos para desarrollar un procedimiento de corrección de fuegos rápido y eficaz.

B. MÉTODOS CUALITATIVOS

En lo referente a métodos cualitativos, se pretende usar tanto la observación como la revisión documental con el fin de examinar las mejores opciones que establezcan un protocolo de actuación lo más óptimo posible. Asimismo, se realizarán estudios de caso y entrevistas con personal especializado para comprobar cuál es la forma más eficaz de realizar el procedimiento de corrección de fuegos que se quiere desarrollar. Finalmente, se añadirán posibles limitaciones que aparecen con esta nueva alternativa.

C. MÉTODOS MIXTOS

Por último, relacionado con los métodos mixtos, se utilizará una forma de estudio denominada gráfico de radar, cuya función es mostrar diferentes datos sobre varias cualidades con el fin de comparar los distintos drones.



2. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES

Desde la existencia de los primeros conflictos entre diferentes culturas, países o etnias, cada una de las partes del conflicto siempre han buscado la superioridad en el campo de batalla. En cada época se tenía una visión y unos objetivos diferentes. Inicialmente, la importancia la tomaba el dominio físico y moral de los soldados. Posteriormente, cogió mayor categoría la estrategia militar. Sin embargo, un factor que siempre ha estado como primordial ha sido el avance tecnológico de los sistemas de armas. La evolución del armamento militar, que tanto ha mejorado en estos últimos años, supone que la carrera entre las potencias mundiales por tener los mejores avances militares sea interminable.

Contextualizando con el tema del informe, uno de los ámbitos tecnológicos en los que la evolución ha sido altamente notoria son los drones. Los RPAS se están convirtiendo en una parte esencial de los ejércitos actuales. A raíz de los últimos conflictos, se está observando la gran cantidad de oportunidades que ofrece.

Pero, la cuestión que nos puede surgir ahora es: ¿cuándo surgieron los drones puramente militares? ¿por qué se crearon? y ¿cuáles eran sus funciones?

Uno de los sectores en los que la ventaja sobre el adversario suponía una victoria sencilla, era el espacio aéreo. El hecho de controlar el movimiento aéreo aportaba a las fuerzas terrestres un escudo de vigilancia, inteligencia y seguridad esenciales para el transcurso de los conflictos.

Para poder controlar este sector, era necesario contar con aeronaves suficientemente preparadas y con personal especializado en su manejo. La formación de este personal y la fabricación de estos mecanismos provocaba que por cada baja producida en combate el coste perdido fuese muy elevado. De ahí surgió la idea de un sistema aéreo capaz de realizar funciones similares, pero con menor alcance económico y sin poner en riesgo la vida de sus tripulantes.

Esta idea viene de lejos, habría que remontarse a 1849 cuando el gobierno austriaco tuvo que mantener el control por las revueltas en la República de Venecia que Napoleón les había cedido previamente. Debido a las fuertes fortificaciones de Venecia, los austriacos no eran capaces de atacar la ciudad. Ahí surgió la idea de bombardearla mediante el uso de globos equipados con proyectiles (Ver figura 1).

La esencia del uso de drones y la necesidad de desarrollar una aeronave no tripulada comenzaron con este suceso (Carrasco, 2020).



Figura 1. Bombardeo sobre Venecia (Carrasco, 2020).

Con el transcurso de las siguientes décadas, se fueron desarrollando diferentes modelos de drones con características todavía mejorables.

Hasta que el físico John Stuart Foster elaboró los primeros planos de un dron que cumplía todas las necesidades que se buscaban y en 1973 la empresa DARPA (Defense Advanced Research Project Agency) construyó los primeros prototipos convirtiéndose en elementos bélicos de la doctrina de los principales ejércitos de la época.

Sin embargo, fue Irán, en la guerra de Irak de 1980, con un nuevo modelo de dron equipado con 6 misiles RPG-7, quien demostró que los RPAS podían ser de gran valía debido a que proporcionaba la capacidad de vigilar a la insurgencia de manera rápida y eficaz.

Inicialmente entraron en conflicto con las fuerzas aéreas, quienes preferían los aviones tripulados de gran éxito en guerras pasadas. Sin embargo, contra el terrorismo se siguió dando prioridad a los vehículos aéreos no tripulados, por lo que pasaron a ser de gran importancia en muchos ejércitos del mundo (Allende, 2017).

Debido a esto, los modelos de drones son cada vez más innovadores y potentes. Incorporan cámaras de gran potencia, diferentes tipos de láser y velocidades que a lo largo del trabajo aparecerán reflejadas.

Gracias a estos avances, a lo largo de los años, los drones han ido abarcando un amplio abanico de misiones que potencian las capacidades de las Fuerzas Terrestres (FT). Las principales son:

- Vigilancia del campo de batalla.
- Localización de material o amenazas NBQ (Nuclear, Biológico, Químico).
- Realizar enlace entre diferentes mallas radio.
- Facilitar reabastecimiento en zonas de difícil acceso.
- Realizar señalamiento e identificación de objetivos como la petición y posterior corrección de las acciones de fuego indirecto, ya sea de morteros o de artillería.

Para cada una de estas misiones, han sido incorporados con relativa actualidad por lo que en muchas de ellas no existen manuales de procedimientos de su uso. Es el caso del uso de los drones en la corrección de fuegos para pequeñas unidades tipo SCC o Cía.

La corrección de fuegos es un procedimiento que se ha utilizado mucho antes de la aparición de los drones sin ni siquiera saberlo. La evolución ha hecho que se trate de un proceso exacto y preciso, pero el hecho de corregir el fuego se remonta al uso de catapultas en la época del imperio romano.



Con los avances que proporcionó el imperio romano poco antes del nacimiento de Cristo, destacó la catapulta. En el momento en el que se lanzaba un proyectil con una catapulta y no impactaba sobre el objetivo que se requería, el personal más adelantado comunicaba hacia donde se había desviado el lanzamiento para poder corregirlo. Esa forma de actuar ya se puede considerar como corrección de fuegos. Se trataba de una corrección manual que se ha ido utilizando durante muchos años.

Posteriormente, aparecieron utensilios como telescopios que seguían siendo métodos manuales de corrección pero que permitían obtener una exactitud mucho más avanzada.

Más adelante, se comenzaron a utilizar aparatos electrónicos capaces de calcular distancias y que proporcionaban la capacidad de calcular el impacto real de forma mucho más exacta. Se trataban de telémetros láser, capaces de realizar cálculos de distancias y ángulos gracias al rebote del láser contra el objetivo y su relación con el tiempo que tardaba en regresar.

Actualmente, el GPS y el uso de radares permiten que la precisión de los disparos disminuya los errores al mínimo. Se trata de un mecanismo de gran complejidad y con elevados costes, lo que hace pensar la necesidad de nuevos avances.

2.2 MARCO TEÓRICO

En el marco teórico se van a presentar los principales estudios que nos permitan obtener los conocimientos necesarios para llegar al objetivo del trabajo. Esta información servirá de base para poder realizar el posterior desarrollo del protocolo de actuación.

2.2.1 Generalidades de los drones.

Para comenzar, es fundamental realizar un estudio de las principales características y generalidades de los drones.

Inicialmente, ¿Qué es un dron? Un dron según el diccionario de la Real Academia Española (Real Academia española, 2023) se define como “una aeronave no tripulada”. Sin embargo, la palabra dron, puede tener diferentes expresiones que la diferencian en pequeños detalles.

Tal y como lo definen en *¿Qué es un DRONE? Tipos, nombres y componentes* (Anon., 2017).

Por un lado, tenemos expresiones que se utilizan más genéricamente en ámbitos militares como son UAV (Unmanned Aerial Vehicle), vehículo aéreo no tripulado y UAS (Unmanned Aerial System), sistema aéreo no tripulado, que se diferencian porque en la segunda se tiene en cuenta la integración de un sistema de control remoto. También encontramos la expresión UCAV (Unmanned Combat Aerial Vehicle), vehículo aéreo no tripulado de combate, acotando su significado a aquellos que portan armamento.

Por otro lado, de uso civil, encontramos RPA (Remotely Piloted Aircraft), aviones controlados de forma remota y RPAS (Remotely Piloted Aircraft System), sistema aéreo tripulado de forma remota. Aquí la diferencia se encuentra en que en la segunda se tiene en cuenta el sistema de control remoto.

En definitiva, todas estas expresiones pueden ser recogidas con la palabra dron, la cual será la más repetida a lo largo del trabajo.

Tal y como lo explica el manual del Mando de Adiestramiento y Doctrina sobre el empleo táctico de las unidades RPAS (Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2016), los componentes que conforman un dron son de especial relevancia cuando se quiere realizar actividades con ellos. De forma esquemática, los dispositivos que dan lugar a un dron se pueden separar en



dos grandes grupos, por un lado, tenemos la plataforma aérea y por otro la estación terrestre.

La plataforma aérea constituye todos aquellos materiales que permiten el vuelo individual de la aeronave sin la necesidad de un tripulante a bordo, distinguimos todos los módulos electrónicos, como son designadores láser, medios de comunicación, armamento, munición, cámaras, etc. Así como los materiales físicos que permiten la propulsión, navegación y sustentación del aparato. Entre todos estos componentes, dependiendo de qué dron se trate, hay multitud de tamaños, formas y características que los distinguen.

En la siguiente figura (Ver figura 2) se pueden ver dos tipos de medios de sustentación diferente, por un lado, ala rotatoria y por otro, ala fija.



Figura 2. Drones (izquierda) ala rotatoria, (derecha) ala fija (Pino, 2019).

La estación terrestre, sin embargo, conforma todas las terminales que permiten el control, la transmisión de información y manejo del aparato para que realice lo que se precise. Además, cuenta con los sistemas necesarios para despegar y aterrizar el mecanismo.

Para clasificar los drones, España se ha basado en la clasificación acordada por el grupo de trabajo OTAN denominado JCGUA (Joint Capability Group on UA/UAS). Esta categorización separa a los drones en función de su masa máxima al despegue, categoría OTAN y acrónimo y distancia máxima desde su despegue a la cual se espera que pueda cumplir su misión. En la siguiente tabla (Ver tabla 1) se puede ver esta clasificación añadiendo un ejemplo para cada categoría.



Tarjeta operador RPA	Clase según peso máximo al despegue	Categoría OTAN y acrónimo	Radio normal de misión	Ejemplos de RPAS
Tipo I	Clase I ≤ 150 kg	Micro-RPA	2 km	Black Hornet
		Mini-RPA	10 km	Raven RQ-11 B
		Small-RPA	50 km (alcance medio: MR, <i>Medium Range</i>)	Pelícano
Tipo II	Clase II > 150 y ≤ 600 kg	TUAV (táctico)	200 km (largo alcance: LR, <i>Long Range</i>)	Searcher MK-III
	CLASE III > 600 kg	UCAV (de combate)	Sin límite (enlace por satélite: BLOS, <i>Beyond Line of Sight</i>)	Reaper
		MALE (<i>Medium Altitude Long Endurance</i>)		Heron TP
		HALE (<i>High Altitude Long Endurance</i>)		Global Hawk

Tabla 1 . Clasificación drones en España según OTAN (Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2016).

Actualmente, en el ET español se cuenta con varios drones de diferentes características que han sido proporcionadas de la web oficial del Ejército de Tierra español (Ejército de Tierra, 2023).

Uno de los más conocidos es el dron denominado como plataforma aérea sensorizada de inteligencia (PASI), más conocido como Searcher MK-IIJ, de fabricación israelí con una masa de 305 kilogramos, una longitud de 5,85 metros y una masa máxima de despegue de hasta 427 kilogramos. Tiene un alcance de 250 kilómetros, techo⁵ de hasta 19.000 pies y velocidad máxima de 170 nudos. Además de estar equipado con sensores y cámaras visibles desde monitores terrestres (Ejército de Tierra., 2023).

⁵ El techo hace referencia a la altura máxima.



Figura 3. Imagen de SEARCHER MK-IIJ (Ejército de Tierra., 2023)

Por otro lado, se encuentra el sistema integrado de vigilancia aérea (SIVA), fabricado en España por el Instituto internacional de técnicas aeroespaciales (Ver figura 3). Con una masa de 23 kilogramos, longitud de 4,025 metros y masa máxima de despegue de 300 kilogramos. Alcance de hasta 150 kilómetros y techo de 13.000 pies de altura con una velocidad máxima de 190 kilómetros por hora. Además, cuenta con cámara infrarroja y para el espectro visible (Ejército de Tierra., 2023).



Figura 4. Imagen de SIVA (Ejército de Tierra., 2023).

Después de haber visto los drones de mayor envergadura, con mayor flexibilidad por su pequeño tamaño destaca el Raven RQ11B (Ver figura 4). Según se puede ver en su ficha técnica publicada por AeroVironment (AeroVironment, Inc., 2023), el dron Raven cuenta con una masa de 1,9 kilogramos, sin opción a añadir más peso, longitud de 0,9 metros, alcance de hasta 10 kilómetros y techo de hasta 14.000 pies de altura. Además, cuenta con una velocidad de hasta 81 kilómetros por hora. Importante mencionar que cuenta con cámara y telémetro láser capaz de calcular distancias.



Figura 5. Imagen de Raven RQ-11 B (AeroVironment, Inc., 2023).



Finalmente, de tamaños más intermedios se encuentran el Atlantic y el Tucán. El Atlantic con una masa máxima de despegue de 55 kilogramos, longitud de 2.822 milímetros, alcance de 100 kilómetros, altura máxima de 3500 metros y velocidad máxima de 170 kilómetros por hora, destaca por ser un dron de características muy completas (Ver figura 5) (Sistemas de control remoto (SCR)., 2023).



Figura 6. Imagen de Atlantic (Sistemas de control remoto (SCR)., 2023).

El Tucán, sin embargo, pese a ser también un dron de menor alcance, puede llegar hasta 25 kilómetros que son más que suficientes para la función que se le exige en la corrección de los fuegos (Ver figura 7). Longitud de 1.440 milímetros, masa máxima de despliegue de 5 kilogramos, altura máxima de 2.500 metros y velocidad máxima de 100 kilómetros por hora son las características de este dron, diseñado especialmente para misiones ISTAR. Puede despegar de forma manual o mediante una plataforma de despegue y es controlada mediante un pequeño portátil ruggedizado⁶ (Sistemas de control remoto (SCR)., 2023).



Figura 7. Imagen de Tucán (Sistemas de control remoto (SCR)., 2023).

A continuación, se podrá observar una tabla (Ver tabla 2) con los datos anteriormente mencionados para facilitar su comparación y se añadirá la autonomía de cada dron, dato de bastante relevancia.

⁶ Un elemento ruggedizado es un objeto diseñado para resistir físicamente más de lo normal ante cualquier imprevisto.



CARACTERÍSTICAS	MASA (Kg)	LONGITUD (m)	ALCANCE (Km)	ALTURA MÁXIMA (m)	VELOCIDAD MÁXIMA (Km/h)	AUTONOMÍA (h)
SEARCHER MK-IIJ	305	5,85	250	5790	314	12
SAVI	23	4,025	150	3960	150	7
RAVEN RQ-11 B	1,9	0,9	10	150	81	1,5
ATLANTIC	55	2,822	25	3500	100	8
TUCÁN	5	1,440	25	2500	100	1,5

Tabla 2. Tabla con información de los drones en dotación del ET (elaboración propia mediante datos recopilados).

2.2.2 Generalidades de la corrección de fuegos.

Para conseguir realizar un protocolo de actuación en el que se implementen los drones para la corrección de fuegos en las pequeñas unidades de Infantería, tras haber realizado un amplio repaso de la información necesaria sobre los drones, es necesario realizar el mismo estudio sobre la corrección de fuegos.

Como se ha explicado anteriormente, la corrección de fuegos es un método mediante el cual se observa donde ha caído un proyectil lanzado mediante tiro indirecto, y se corrige en el caso de no haber impactado sobre el objetivo requerido.

Este proceso se realiza en unidades de Artillería e Infantería, sin embargo, este informe se centrará en las pequeñas unidades de Infantería.

Las unidades de Infantería que realizan dicha práctica son aquellas que ejecutan tiro indirecto. Normalmente, la realizan las unidades de morteros, pero para poner en contexto dónde se encuentran estas unidades, a continuación, se expondrá una pequeña explicación de cómo están distribuidas las unidades de Infantería y especialmente las de morteros.

La orgánica del ET se divide en grandes unidades y pequeñas unidades. Las pequeñas unidades, ordenadas de más grandes a más pequeñas comienzan por nivel brigada (BRI). A continuación podemos ver cómo está organizada una Brigada tipo en el ET.

Utilizando la orgánica de la BRI Galicia VII podemos ver que está formada, entre otras unidades de diferentes armas fundamentales, por dos regimientos (REG) de Infantería señalizados en fondo rojo y separados por una línea discontinua (Ver figura 8).

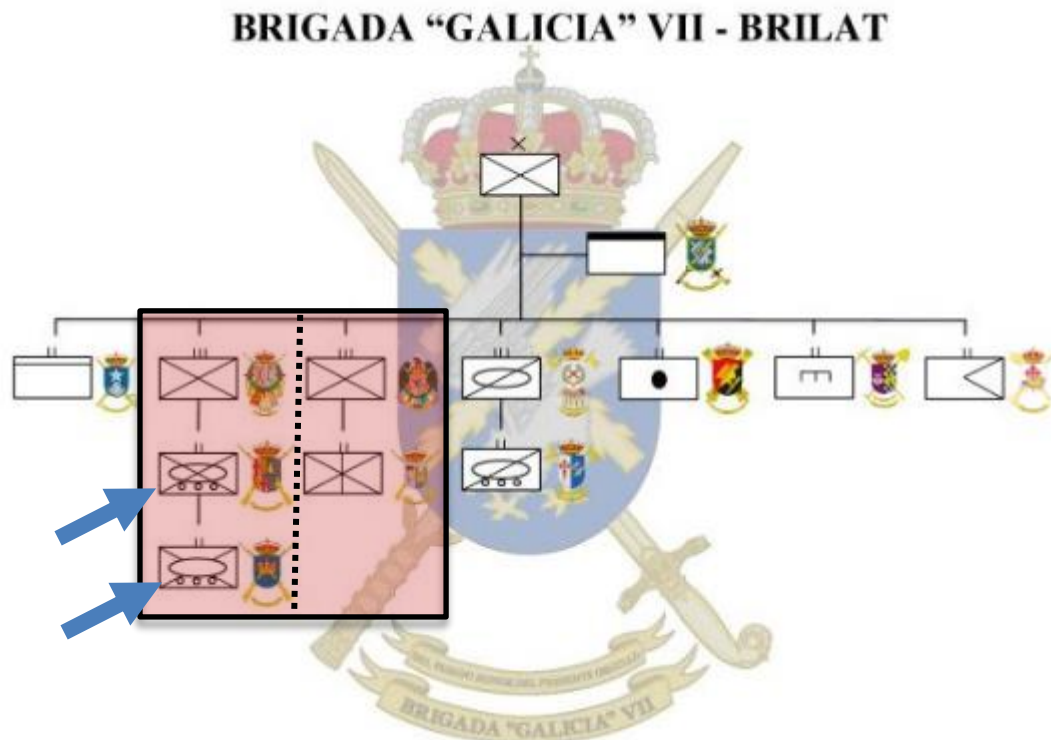


Figura 8. Organigrama BRI "Galicia" VII (Ejército de Tierra., 2023).

Si cogemos uno de esos dos REG, por ejemplo, el Regimiento de Infantería "Príncipe" nº 3, podemos ver que está formado por dos batallones (BON) de Infantería señalizados con dos flechas azules. Llegados a este punto, los batallones de Infantería suelen tener una organización semejante, como la que podemos ver a continuación en la figura 9 (Ver figura 9).

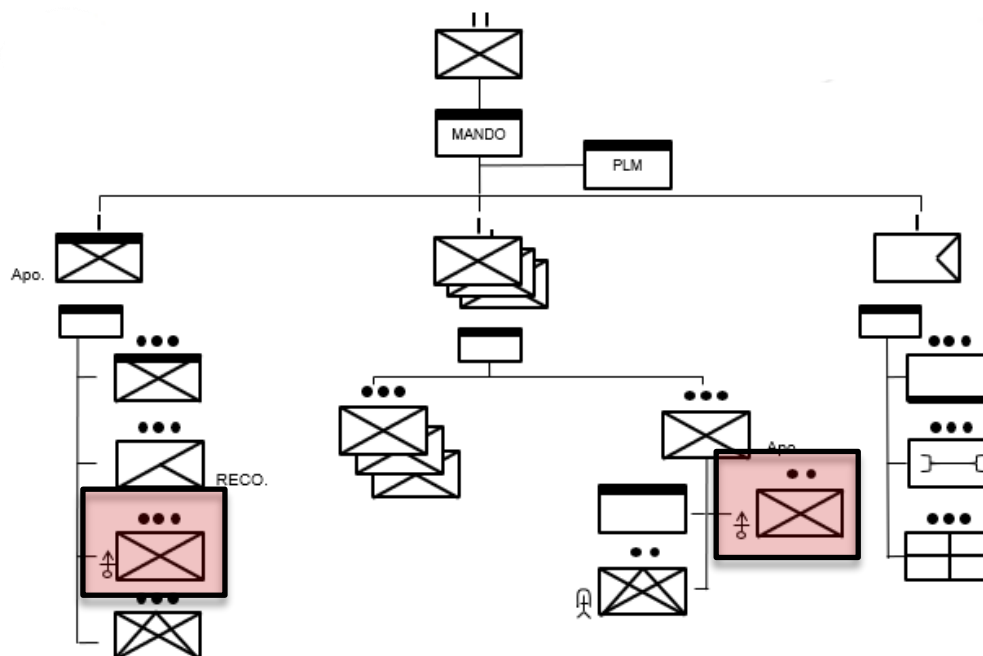


Figura 9. Organigrama Batallón de Infantería convencional (Academia General Militar., 2021).

En esta imagen podemos observar que está dividido en tres grupos, a la izquierda la compañía de mando y apoyo, que cuenta con una sección de morteros señalizada en fondo rojo. En el medio vemos que tiene tres compañías de fusiles, que cada una cuenta con una



sección de apoyo que a su vez cada una cuenta con un pelotón de morteros señalizados también en rojo.

En resumen, contamos con que cada BON cuenta con una sección y tres pelotones de morteros, entonces, cuando se habla de la corrección de fuegos de pequeñas unidades de Infantería, queda acotado a SCC y PN que son las unidades que cuentan con morteros y que, por lo tanto, van a realizar la corrección propiamente dicha.

Una vez definidas las pequeñas unidades de Infantería en las que se realiza la corrección de fuegos, se va a realizar un repaso del procedimiento que se tiene establecido actualmente en el ET para realizar la corrección.

La corrección de fuegos comienza tras la realización del primer disparo y su posterior calificación. Calificar el tiro consiste en calcular el desvío del impacto con respecto a una línea imaginaria que une el observatorio y el objetivo.

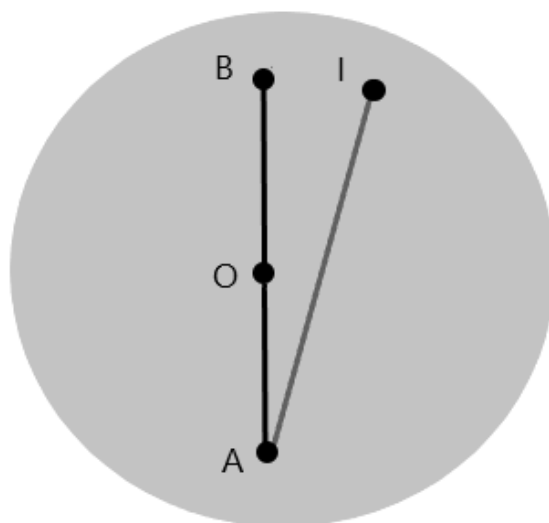


Figura 10. Representación en planta de los puntos clave en un tiro de mortero (elaboración propia).

Para ello, la unidad encargada de realizar el tiro, se divide en tres núcleos. La línea de piezas encargada de realizar el tiro en sí, el puesto de observación encargado de evaluar el tiro y un puesto de mando encargado del cálculo del tiro denominado equipo director de tiro (EDT). La mayoría de las veces el EDT se integra dentro de alguno de los otros dos núcleos dependiendo de en cuál de ellos quiere realizar mejor el mando de su unidad.

En la figura 10 (Ver figura 10) es posible ver un ejemplo de una representación en planta de la colocación de los principales puntos que se destacan en un tiro indirecto.

En la parte de arriba se aprecia un punto “B” representando el blanco u objetivo. El punto “O” representa el observatorio desde el que se va a observar el impacto y con una posición notablemente adelantada del punto “A” que representa el asentamiento desde el cual se va a hacer fuego.

Además, se incluye también el punto “I” que representa el impacto real del disparo, el cual es preciso corregir hasta que caiga en “B”.

Una vez establecida la unidad en sus respectivas posiciones, el puesto de mando realiza un cálculo en el cual se tienen en cuenta coordenadas del asentamiento y del objetivo. Inicialmente se calcula la distancia topográfica, entre el asentamiento y el objetivo y posteriormente la diferencia entre las alturas de ambos. Además, se calcula el ángulo de deriva, formado entre la línea imaginaria que une el asentamiento y el objetivo y la línea que usamos como referencia al asentar los morteros y que suele ser el Norte magnético.



La línea de referencia (LR) que se utiliza para asentar los morteros tiene que ser un accidente del terreno que podamos identificar tanto en el plano como en el terreno, al igual que se ha nombrado anteriormente, el Norte magnético es una buena opción.

Tras calcular esta cantidad de datos, se podrá calcular la distancia preparada, como la suma de la distancia topográfica más la mitad de la diferencia de alturas.

Teniendo la distancia preparada y la deriva sería posible realizar una selección de la granada más conveniente a lanzar y con qué ángulo se debería disparar gracias a unas tablas de tiro de morteros previamente calculadas, en los anexos aparecerá un ejemplo de una tabla de tiro de mortero (ver anexo A).

En este momento la pieza estaría en disposición de realizar fuego, pero hay gran variedad de factores que pueden desviar el disparo: condiciones meteorológicas, granadas defectuosas, inexactitud en los cálculos, etc.

Por ello, es probable que con el primer disparo no se impacte en el objetivo y sea necesaria una corrección de tiro.

La fase de corrección de tiro la realiza el núcleo situado sobre el observatorio. Normalmente el observatorio se encuentra ubicado en una zona de altura razonable para poder visualizar el impacto además de estar escondido de la vista del enemigo.

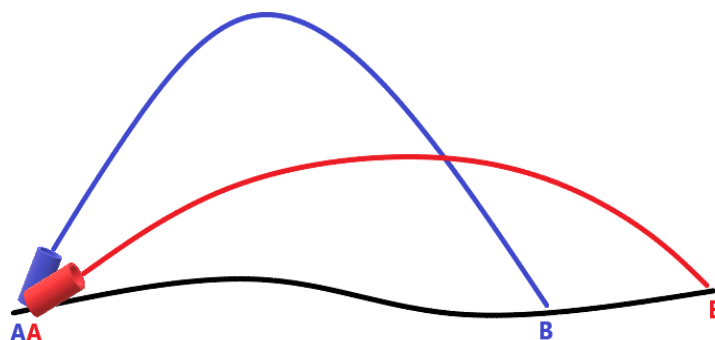


Figura 11. Representación modificación alcance del disparo en función del ángulo de tiro (elaboración propia).

El proceso comenzará con la calificación del disparo, en la cual los observadores estimarán a qué distancia ha caído el primer impacto con respecto al objetivo. De tal forma podrán decir si es necesario aumentar o disminuir el ángulo de disparo en caso de que el disparo se haya quedado largo o corto respectivamente. De igual forma, podrán decir si hay que tirar más a la izquierda o a la derecha en función de si el disparo ha caído demasiado a la derecha o a la izquierda respectivamente (Mando de Adiestramiento y Doctrina., 1997).

En la figura 11 (Ver figura 11) se puede ver cómo al aumentar el ángulo de lanzamiento el impacto es más cercano. De tal forma que, al disminuir el ángulo de disparo, el alcance aumenta.

Para la calificación, los observadores cuentan con algunos aparatos como la cámara coral o el vector 21, capaces de calcular la distancia de lo que se esté observando a través de ellos. Los observadores con esa información y junto al plano deben ser capaces de calcular esta variación del impacto con respecto al objetivo.

De tal forma, la corrección se resume en añadir la información de los observadores a los cálculos del segundo disparo para poder realizarlo con mayor exactitud.

La secuencia completa de una corrección de tiro sería:

- Asentamiento de los núcleos de la unidad.



- Cálculo de los datos de tiro.
- Ejecución del primer disparo.
- Observación del impacto.
- Calificación del impacto.
- Cálculo de la corrección.
- Ejecución del segundo disparo.

Todos estos apartados serán explicados con mayor exactitud en la propuesta del uso de drones en la corrección de fuegos que se expondrá más adelante en el trabajo.



3. DESARROLLO: ANÁLISIS Y RESULTADOS

En este apartado se pretende analizar la información necesaria para poder proponer un protocolo de actuación del uso de drones en la corrección de los fuegos. Inicialmente se decidirá cuál es el dron más adecuado para ejecutar esta función. Se propondrá una orgánica en el que se introduzcan drones en las compañías de infantería. Y finalmente, se presentará la propuesta definitiva destacada por la implementación de los drones como elemento primordial en el proceso. Para finalizar, se analizarán las posibles limitaciones que presenta esta nueva propuesta.

3.1 ESTUDIO DEL DRON MÁS CAPACITADO

Para escoger el dron más capacitado que permita realizar las funciones que se le exigen es necesario analizar qué requisitos tiene que cumplir al mínimo detalle.

En primer lugar, sabiendo que se quiere corregir el tiro de mortero de pequeñas unidades de Infantería, hay que analizar qué alcance tienen estos sistemas de armas. Los morteros integrados en estas unidades pueden tener un calibre de 60, 81 o 120 milímetros. De tal forma que el máximo alcance al que se puede tirar con ellos es de un máximo de 8 kilómetros (Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2022).

Por otro lado, en las unidades de Infantería, debido a su flexibilidad en los movimientos, es importante evitar los materiales de gran peso, por ello se buscará un dron ligero, con la menor masa y dimensión posible.

La observación, es la característica más importante para las labores del dron. Será necesario que cuente con una cámara de alta resolución con un mínimo de 10 aumentos, altimetría y telémetro láser para poder calcular distancias. Además, deberá contener sistema GPS para poder obtener coordenadas de sus imágenes (Ramírez, 2019).

Un factor a tener en cuenta es la necesidad de ir cambiando de asentamiento con relativa frecuencia para evitar que el enemigo identifique el origen de los fuegos. Por ello, la huella logística de la aeronave debe ser de nivel bajo ya que las pequeñas unidades de Infantería no cuentan con capacidades de alto nivel logístico y supondría un gasto de tiempo inadmisibles. Por ello, aquellas aeronaves con equipos muy sofisticados pueden ser un inconveniente.

La velocidad a la que el dron pueda llegar no es un requisito fundamental para sus cometidos, si bien cuanto mayor rapidez pueda alcanzar, más rápido podrá llegar a la zona de observación, y el proceso se realizará con mayor fluidez.

Por último, será necesario una autonomía capaz de aguantar una acción de fuego de mortero hasta que el tiro esté corregido y entre en eficacia.

En resumen, las características en las que se va a hacer especial hincapié son:

- Características físicas (masa y dimensiones).
- Alcance.
- Elementos electrónicos (cámara, sensores, GPS)
- Evitar plataformas terrestres de alta huella logística.
- Velocidad.
- Autonomía.



Antes de realizar una comparativa de los cinco drones con los que cuentan las unidades de Infantería, teniendo en cuenta cuales son los requisitos que deben cumplir se puede realizar un descarte de aquellos que desde un principio se consideran inadmisibles.

En primer lugar, debido a sus excesivas dimensiones y por consiguiente elevada masa, el SEARCHER MK-IIJ se considera inservible para esta práctica. Se trata de un dron de más de trescientos kilogramos de masa y con unas dimensiones cercanas a los seis metros. Para una pequeña unidad de Infantería supone una carga logística superior a la sostenible. Pese a tener un gran alcance y velocidad punta, son cualidades de menor importancia para la misión que se le va a exigir.

En segundo lugar, el ATLANTIC se trata de un dron con buenas características de observación muy propias para el objetivo de este trabajo. Sin embargo, por razones semejantes al descarte del SEARCHER MK-IIJ, su alto peso, combinado con la necesidad de una amplia zona para su despegue y aterrizaje supone un claro limitante para su uso en la Infantería.

Tras realizar estos dos descartes, quedarían el RAVEN RQ-11B, el TUCÁN y el SAVI. Para poder realizar una comparativa de ellos se utilizará un gráfico de radar en el cual a simple vista se podrá ver cuál de ellos cumple las características esenciales.

Un gráfico de radar es un método de comparación que permite representar las características que se consideren reflejándose sobre un polígono de tantas aristas como cualidades se quieran comparar. Cada arista tomará el valor de cada cualidad de tal forma que el polígono con mayor área tendrá las cualidades de mayor valor.

Para realizar este método será necesario calificar del 1 al 10 las características de cada dron en función del objetivo que se requiere. De esta manera, pese a que cada característica toma un valor diferente en función de su magnitud, con esta tipificación podremos acotarlos todos entre valores del 1 al 10 y así la comparación será posible. Se basará en la siguiente tabla de valores (Ver tabla 3):

CALIFICACIONES	< 5(MAL)	5,6(REGULAR)	7,8(BIEN)	9,10(MUY BIEN)
MASA (Kg)	15<MASA	10<MASA<15	5<MASA<10	MASA<5
LONGITUD (m)	5<LONG	3<LONG<5	1<LONG<3	LONG<1
ALCANCE (Km)	ALC<10	10<ALC<20	20<ALC<50	50<ALC
ALTURA MÁXIMA (m)	ALT<300	300<ALT<1000	1000<ALT<2000	2000<ALT
VELOCIDAD MÁXIMA (Km/h)	VEL<50	50<VEL<80	80<VEL<100	100<VEL
AUTONOMÍA (h)	AUT<0,5	0,5<AUT<1	1<AUT<2	2<AUT

Tabla 3. Calificación del 1 al 10 de características de los drones (elaboración propia).

Como podemos ver en la anterior tabla (Ver tabla 3), se ha asignado un valor determinado a los diferentes intervalos que puede tomar cada cualidad.

Siguiendo el anterior criterio y plasmando los resultados sobre un gráfico de radar, quedaría el siguiente gráfico (Ver figura 12). Tal y como se ve en la imagen, se pueden observar en la parte inferior las entidades que se quieren comparar, representadas como masa, longitud, alcance, altura máxima, velocidad máxima y autonomía, mientras que, en el esquema central, el polígono de cada entidad recogerá una forma en función del valor de las características que se quieren comparar.

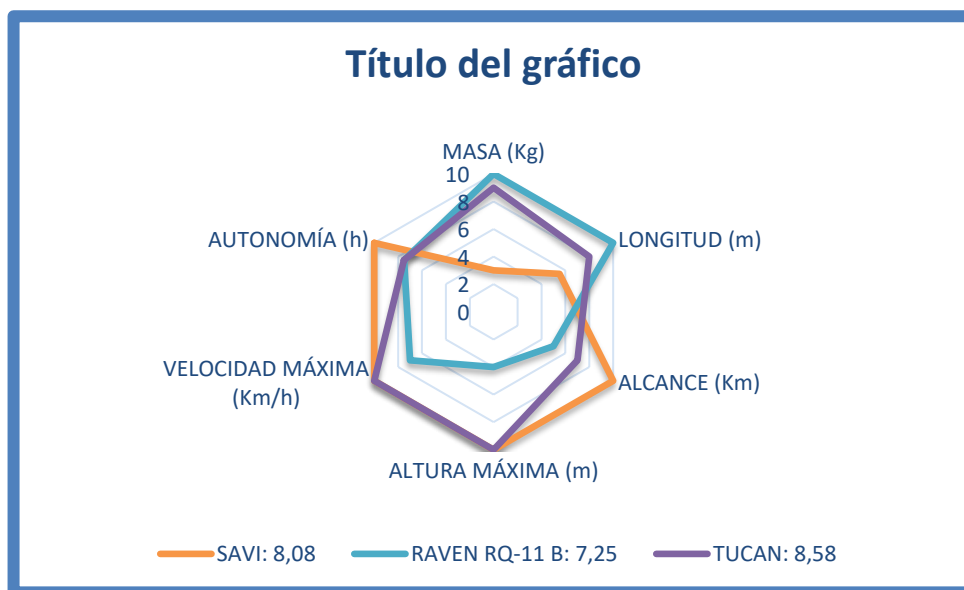


Figura 12. Gráfico de radar para comparar drones (elaboración propia).

En la anterior figura (figura 12) podemos ver como cada polígono representa un cómputo global de las características de los tres drones que nos quedan por estudiar. Según las calificaciones que se han dado a cada cualidad, el polígono con mayor área será el que se adapte mejor a los requerimientos que se le exigen.

Si se realiza una media de las calificaciones obtenidas para cada dron, se tiene como resultados:

- SAVI: 8,08
- RAVEN RQ-11 B: 7,25
- TUCÁN: 8,58

De esta forma queda claro que el dron con mayores capacidades para realizar la función de corrección de fuegos es el TUCÁN. Además, en la figura 12 anteriormente mencionada, podemos observar cómo su polígono es el de mayor superficie.

3.2 PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE DRONES EN PEQUEÑAS UNIDADES DE INFANTERÍA

En este apartado se va a proponer una posible configuración de las pequeñas unidades de Infantería. La intención es poder dotarlas de un pequeño núcleo capacitado para el uso de drones en la corrección de los fuegos.

Como se ha explicado anteriormente, en las pequeñas unidades de Infantería solo se va a realizar tiro con morteros en la sección de morteros de las compañías de mando y apoyo y en el pelotón de morteros de la sección de armas de cada una de las tres compañías de fusiles, por lo tanto, la corrección de tiro será necesaria única y exclusivamente en estas cuatro unidades (Ver figura 9).

Teniendo en cuenta estas unidades tipo, en un batallón de Infantería serían necesarios cuatro núcleos compuestos por un dron apto para la corrección de fuegos. Para ello, será necesario que en cada batallón se encuadre una unidad de drones desde la cual se realice el control de los cuatro drones destinados en cada núcleo.



Una unidad de drones (Ver figura 13), según establece la doctrina del ET español en cuanto al empleo táctico de drones estará compuesta por cuatro ejes bien diferenciados (Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2016).

- La unidad de vuelo está formada por un jefe de unidad, la propia aeronave en sí, la estación terrestre y operadores tanto para la plataforma aérea como para la estación terrestre. Además, sería la encargada de la realización de la misión.
- La unidad de plana mayor y servicios cuya labor es la coordinación y administración entre la unidad de drones y cada uno de los núcleos a los que da servicio.
- La unidad de tierra, formada por personal técnico y especializado que se encarga de la preparación de todos los sistemas para el cumplimiento de la misión.
- Oficina de seguridad de vuelo que auxiliará al mando en cualquier tarea para permitir la máxima operatividad de las aeronaves.

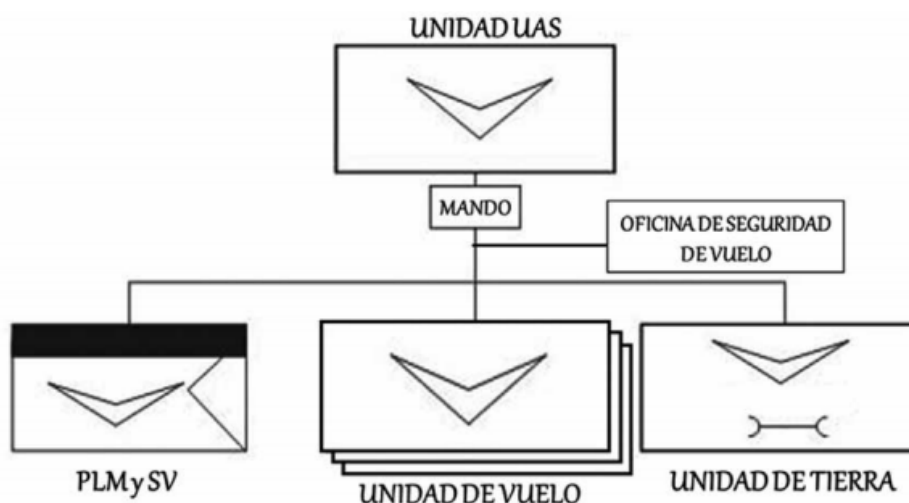


Figura 13. Unidad de drones (Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2016).

Tras establecer la unidad de drones que se encuadraría en cada batallón, para poder realizar la corrección de fuegos en las cuatro unidades capacitadas para el tiro de mortero, será necesario agregar a cada una de ellas una unidad de vuelo cada vez que vayan a realizar un tiro. Dicha unidad será asignada bajo control táctico (Tactical command, TACOM), es decir, pese a que la unidad de vuelo pertenezca orgánicamente a la unidad de drones, cuando se agregue a una unidad de tiro de mortero, cumplirá todas y cada una de las órdenes que el mando de la unidad de morteros considere necesarias.

A modo de resumen, en cada batallón se encuadraría una unidad de drones encargada del mantenimiento, instrucción, adiestramiento, coordinación y administración de las aeronaves y su personal. De esta forma, en el momento en el que una de las cuatro unidades realice tiro de mortero, se les agregue una unidad de vuelo a cada una para poder realizar el procedimiento de corrección de fuegos con drones.

Con esta distribución, la realización de la corrección de fuegos sería realizada por la unidad de vuelo unida al equipo de OAV que cada unidad estime oportuno.

3.3 PROPUESTA DE PROCEDIMIENTO DE CORRECCIÓN DE FUEGOS MEDIANTE EL USO DE DRONES

Mediante la recopilación y estudio de la información que se ha ido elaborando durante los anteriores capítulos, en este se pretende plasmar el objetivo puro del trabajo: la creación



de un protocolo de actuación del procedimiento de protección de fuegos mediante el uso de drones.

Un protocolo de actuación es un documento que muestra las instrucciones que se deben seguir en un determinado suceso. En este caso se trata de un protocolo específico, ya que es útil, única y exclusivamente, para casos puntuales de corrección de fuegos con drones y su uso no podrá expandirse en otros casos.

La secuencia que se va a seguir en este procedimiento vendrá dividida en seis apartados bien diferenciados, los cinco primeros seguirán una secuencia cíclica que se irá repitiendo hasta tener el disparo perfectamente corregido y alcanzar el objetivo con precisión, por lo tanto, será el sexto apartado el que supondrá el fin del proceso.

1. Asentamiento de la unidad de morteros con unidad de vuelo integrada.

Para la realización de un tiro de mortero, el primer paso a seguir será la elección de una zona de asentamiento oportuna para colocar las piezas. Siempre será una zona localizada a retaguardia de las fuerzas propias y deben estar ocultas ante posibles reconocimientos aéreos enemigos. Las mejores opciones serán posiciones con gran vegetación que puedan proporcionar ocultación. Deben de estar a una distancia desde la que puedan abatir al objetivo, es decir, no superior a ocho kilómetros.

Una vez asentada la línea de piezas de mortero, será necesario que la unidad de vuelo se estacione sobre una zona amplia para su despegue y aterrizaje. Para ello se deberá encontrar una zona sensiblemente llana, pudiéndose situar a retaguardia de la línea de piezas con bastante margen debido al alcance que nos proporciona la aeronave. Allí será necesario el montaje y la preparación de la lanzadera de propulsión que proporciona a la aeronave la fuerza suficiente para el despegue a través de la energía proporcionada por una batería.

Además, se deberá realizar el montaje de la estación terrestre, capacitada para el control de la aeronave durante su vuelo y recepción de los datos del impacto. Por lo tanto, también será importante la ocultación de esta posición, sin necesidad de estar junto a la zona de despegue.

A continuación, sobre la figura 14 se muestra un croquis de una posible distribución de una unidad de morteros con la integración de la unidad de vuelo (Ver figura 14).

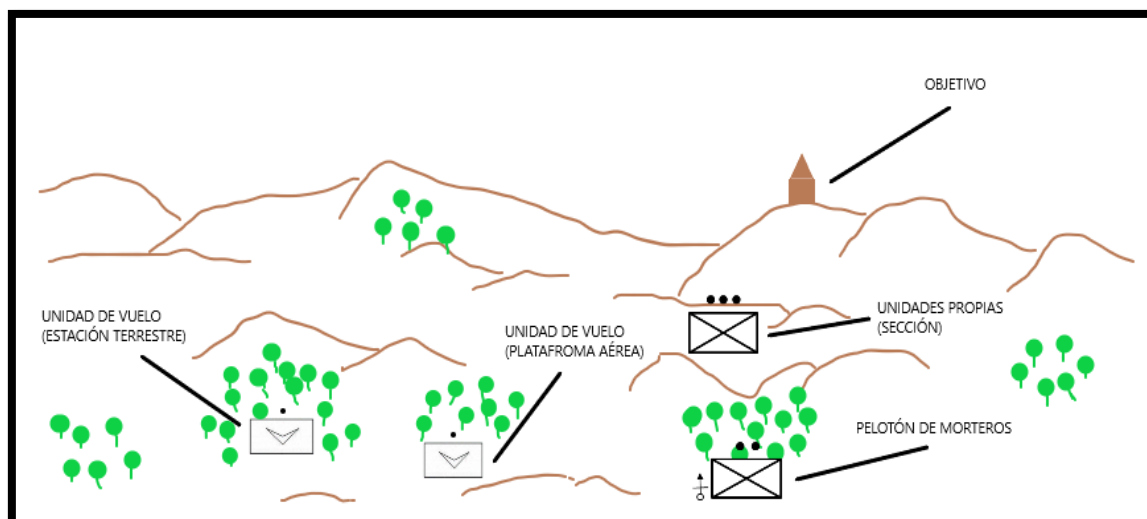


Figura 14. Croquis distribución unidad de morteros con unidad de vuelo (elaboración propia).

Es importante recalcar, que la búsqueda y ocupación de estas posiciones debe ser lo más rápido posible. Esto se debe a que, tras realizar una acción de fuego sobre algún objetivo, será necesario cambiar de asentamiento, ya que, el enemigo podría adquirir desde dónde se



está realizado el fuego y podrían intentar batir el asentamiento de morteros.

2. Cálculo de los datos de tiro.

En el momento en el que la unidad de morteros y la unidad de vuelo estén asentadas y preparadas se procederá al cálculo de los datos de tiro. Tomando como base el manual del Mando de Adiestramiento y Doctrina (Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2022).

Inicialmente será necesario calcular la distancia preparada (DP) siguiendo la siguiente ecuación:

$$DP = DT \pm \frac{1}{2}(ZA - ZO) \quad [1]$$

Dónde:

- La distancia topográfica (**DT**): Es la distancia que hay desde el asentamiento de morteros hasta el objetivo.
- La altura del asentamiento de morteros (**ZA**).
- La altura del objetivo (**ZO**).

En caso de que la altura del asentamiento sea menor que la del objetivo, se sumarían las dos partes de la ecuación. En el caso contrario, se restarían.

A continuación, se calcularía la deriva topográfica (DER): ángulo en sentido horario formado entre la línea de referencia y la línea que une el asentamiento con el objetivo. La línea de referencia es un accidente natural del terreno y que se pueda percibir en un plano, que se utiliza como punto inicial al que apuntar con los morteros de tal forma que para apuntar al objetivo solo se tendrá que añadir el ángulo de deriva calculado (Ver figura 15).

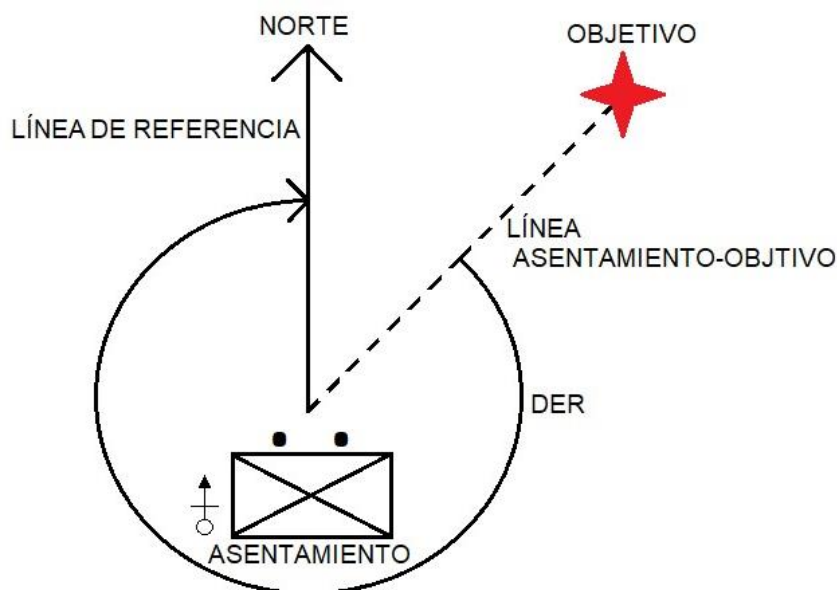


Figura 15. Croquis cálculo de la deriva topográfica (elaboración propia).

Una vez se tienen calculados estos dos datos, la deriva topográfica se aplicará directamente al mortero mediante el goniómetro⁷ desde la línea de referencia, de manera que tras su aplicación el mortero quedaría apuntando al objetivo horizontalmente.

⁷ Instrumento que permite construir ángulos de forma visual mediante el uso de un visor óptico.



La distancia preparada se utilizará a través del uso de una tabla de tiro de mortero previamente calculada y que para cada distancia preparada nos proporciona que granada se debe introducir y con qué ángulo de elevación debe apuntar el mortero, dato que también se aplica al arma mediante el goniómetro.

Este proceso podría ser calculado mediante sistemas informáticos, el más común es la CALMOR (Calculadora de Morteros).

En este momento el mortero estaría en disposición de realizar el primer disparo.

3. Ejecución del primer disparo.

Tras introducir los datos necesarios sobre cada una de las piezas de mortero, se encontrarán en disposición de realizar el fuego.

En este mismo instante se realizará el despegue del dron Tucán. Mediante la lanzadera de propulsión se proyectará el dron hasta que sobrevuele la zona del objetivo dónde deberá realizar vuelos rotatorios a la espera del disparo del mortero. Este vuelo se realizará por detrás del posible objetivo para evitar una posible colisión entre la granada de mortero y el dron, por lo tanto, el dron se deberá colocar como mínimo a una distancia de 200 metros más lejos que la distancia previamente calculada (Ver figura 16).

Desde la estación terrestre se controlará la trayectoria hasta dejarlo en la posición deseada para poder observar el tiro.

Con la confirmación de la estación terrestre de que el dron se encuentra en la situación deseada se procederá al primer disparo.

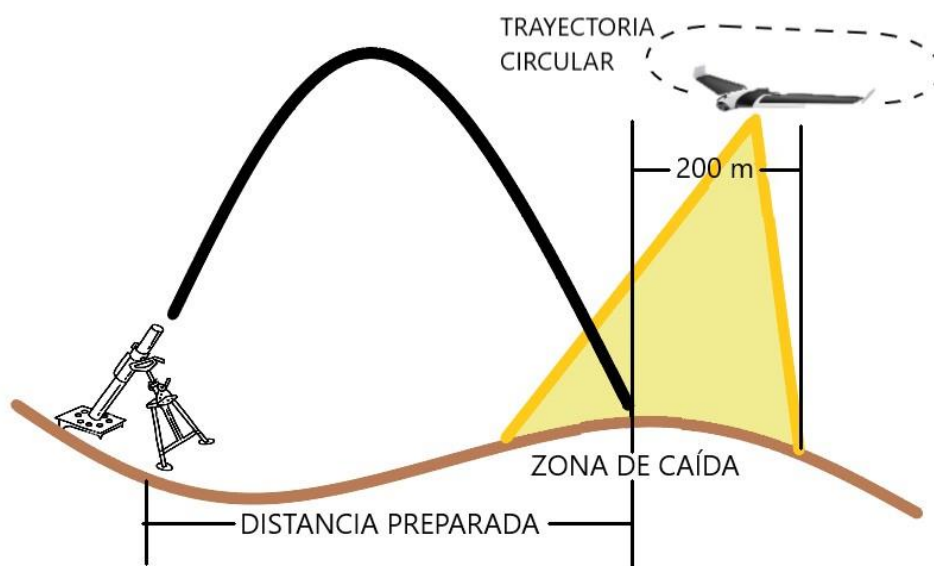


Figura 16. Disposición de unidades durante el primer disparo (elaboración propia).

4. Observación y calificación del disparo.

El cuarto paso comienza en el momento en el que se realiza el primer disparo con el dron sobrevolando la zona de caída (Ver figura 16) y abarca dos partes: la observación y la calificación del tiro.

Inicialmente se realizará la observación del tiro. Mediante los sensores y cámaras con los que cuenta el dron Tucán, la estación terrestre estará observando en todo momento la zona sobrevolada por el dron. De esta manera, en el momento en el que la granada impacte, la estación terrestre obtendrá al instante las coordenadas del impacto. Además, en esta fase de observación se evaluarán los daños causados sobre el objetivo con el fin de confirmar si la misión ha sido completada.



Llegados a este punto, en caso de que el impacto no haya caído en el blanco, se procederá a la calificación del tiro, que consiste en situar el impacto con respecto al objetivo, es decir, a través de las coordenadas extraídas se obtiene si el disparo se ha quedado corto o largo y si se ha desviado a izquierda o derecha.

Finalmente, se decidirá si es necesario hacer una corrección en función de si el impacto no cumple los requisitos deseados.

5. Cálculo de la corrección.

Hasta este proceso, la principal novedad de la propuesta es el uso del dron para calcular de forma precisa las coordenadas del impacto, mejorando así el método de visión actual de menor exactitud.

El comienzo de la quinta fase se produce cuando se considera que el disparo debe ser modificado debido a que no se ha conseguido impactar en el objetivo.

La corrección del tiro consiste en modificar los datos que se han calculado previamente y se han introducido en las piezas de mortero de tal forma que los corregidos sean capaces de aproximarse lo máximo posible al blanco.

El procedimiento de corrección del tiro se puede realizar de manera manual o a través de la CALMOR. Ambos métodos son utilizados a día de hoy, la diferencia sería el uso del equipo de vuelo para ello.

- MANUAL:

El procedimiento manual se realizaría en la estación terrestre. Mediante la comparación entre las coordenadas del objetivo y del impacto se calcularía cuanta distancia se ha desviado hacia izquierda o derecha y si se ha quedado corto o largo. Estos cálculos se realizan sobre plano, es decir, se anotarían en el plano los puntos del objetivo y del impacto y se calcularían los datos necesarios manualmente.

En los casos en los que el impacto se haya desviado hacia izquierda o derecha habría que calcular de nuevo la DT. Por ejemplo, si se produce un desvío hacia la izquierda, el impacto se produciría a una distancia X a la izquierda del objetivo. Para ello habría que calcular la DT imaginando que el objetivo se encuentra a una distancia X a la derecha de donde está situado realmente. De esta forma, en el siguiente disparo al estar disparando hacia la derecha del objetivo, el desvío hacia la izquierda produciría que cayera en el objetivo.

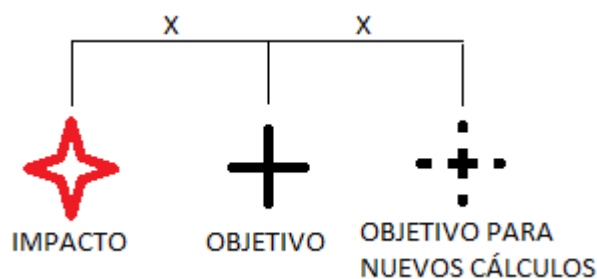


Figura 17. Corrección lateral de deriva (elaboración propia).

Por otro lado, cuando el disparo queda corto o largo con respecto al objetivo, el procedimiento de corrección haría variar el ángulo de elevación del mortero. Por ejemplo, si el disparo queda una distancia Y antes del objetivo, quiere decir que apuntando al objetivo con los datos introducidos previamente suponen que el impacto quede corto, por ello habría que realizar de nuevo los cálculos imaginando que el objetivo se encuentra una distancia Y más lejos. De esta manera, para calcular la nueva distancia preparada se cogería como DT la distancia topográfica del objetivo junto a la distancia Y de desvío.

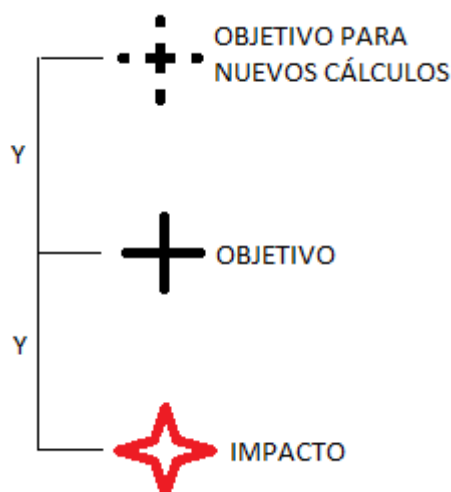


Figura 18. Corrección de ángulo de elevación (elaboración propia).

- CALMOR:

El procedimiento a través de la calculadora de morteros se basa en la introducción manual de las coordenadas del objetivo y de los desvíos provocados. La CALMOR calcularía por sí misma los datos, el único inconveniente sería la cantidad de datos que necesita para realizar los cálculos. Además, para llegar a tener un manejo fluido en este dispositivo hará falta una profunda especialización en las posibilidades que ofrece.

- ALTERNATIVA DE CORRECCIÓN MEDIANTE MÉTODOS MATEMÁTICOS:

Como alternativa a estos dos objetivos se plantea la creación de un algoritmo capacitado para calcular la nueva DP y la nueva DER mediante la introducción manual de las coordenadas del objetivo, del impacto y del asentamiento únicamente.

Dicho algoritmo se propone como base y punto de partida para la creación de un sistema automático idóneo en la realización de los cálculos a través de la aplicación de un programa informático.

Inicialmente se obtienen las coordenadas del impacto, obtenidas gracias al dron, por lo que el primer paso sería evaluar donde ha caído con respecto al objetivo. Para ello habría que comparar las coordenadas horizontales de ambos y las coordenadas verticales de ambos:

Comprobación horizontal:

- Si $\text{COORD_X_OBJ} - \text{COORD_X_IMP} = \text{DESV_X} > 0 \rightarrow$ Impacto a la izquierda del objetivo.
- Si $\text{COORD_X_OBJ} - \text{COORD_X_IMP} = \text{DESV_X} < 0 \rightarrow$ Impacto a la derecha del objetivo.

Comprobación vertical:

- Si $\text{COORD_Y_OBJ} - \text{COORD_Y_IMP} = \text{DESV_Y} > 0 \rightarrow$ Impacto se ha quedado corto.
- Si $\text{COORD_Y_OBJ} - \text{COORD_Y_IMP} = \text{DESV_Y} < 0 \rightarrow$ Impacto se ha ido largo.

- Dónde:

COORD_X_OBJ: Son las coordenadas en el eje de abscisas del objetivo.

COORD_X_IMP: Son las coordenadas en el eje de abscisas del impacto.

COORD_Y_OBJ: Son las coordenadas en el eje de ordenadas del objetivo.

COORD_Y_IMP: Son las coordenadas en el eje de ordenadas del impacto.

DESV_X: Desvío del impacto en dirección horizontal.



DESV_Y: Desvío del impacto en dirección vertical.

En este proceso se distinguen cuatro opciones, que el impacto se haya quedado corto, que se haya quedado largo, que haya caído a la izquierda del objetivo o a la derecha del objetivo.

- Si impacto → Y distancia **más cerca** del objetivo (Ver figura 18) → entonces:

$$DP_{CORREGIDA} = DP_1 + Y \quad [2]$$

- Dónde:

DP_CORREGIDA: Nueva distancia preparada.

DP₁: Distancia preparada anterior errónea.

Y: Distancia en el eje de ordenadas entre impacto y objetivo.

- Si impacto → Y distancia **más lejos** del objetivo → entonces:

$$DP_{CORREGIDA} = DP_1 - Y \quad [3]$$

- Dónde:

DP_CORREGIDA: Nueva distancia preparada.

DP₁: Distancia preparada anterior errónea.

Y: Distancia en el eje de ordenadas entre impacto y objetivo.

- ✓ **La nueva DP corregida será la que se aplique directamente sobre las tablas de tiro de mortero (Ver anexo A), a partir de las cuales se obtiene el ángulo de elevación.**

A continuación, en las ecuaciones [4] y [5] se tendrá en cuenta la comprobación vertical previamente calculada, distinguiendo tres posibles casos:

- Si DESV_Y = 0 → Y = 0.
- Si DESV_Y > 0 → En el denominador de la ecuación se usará la resta.
- Si DESV_Y < 0 → En el denominador de la ecuación se usará la suma.
- Si impacto → cae X distancia a la **izquierda** del objetivo (Ver figura 17) → entonces:

$$DER_{CORREGIDA} = DER_1 + \left(\tan^{-1} \frac{X}{D \pm Y} \right) \quad [4]$$

- Dónde:

DER_CORREGIDA: Nueva deriva.

DER₁: Deriva utilizada en el primer disparo.

X: Distancia desviada hacia la izquierda.

D: Distancia entre asentamiento y objetivo.

Y: Distancia en el eje de ordenadas entre impacto y objetivo.

- Si impacto → cae X distancia a la **derecha** del objetivo → entonces:

$$DER_{CORREGIDA} = DER_1 - \left(\tan^{-1} \frac{X}{D \pm Y} \right) \quad [5]$$



- Dónde:

DER_CORREGIDA: Nueva deriva.

DER₁: Deriva utilizada en el primer disparo.

X: Distancia desviada hacia la derecha.

D: Distancia entre asentamiento y objetivo.

Y: Distancia en el eje de ordenadas entre impacto y objetivo.

✓ **La nueva DER Corregida podría introducirse directamente sobre las piezas.**

Con esta última corrección, la quinta fase ya se habría completado, y se tendrían que volver a repetir los cinco primeros pasos en el caso en el que el segundo disparo siga sin impactar en el objetivo requerido.

6. Ejecución del segundo disparo.

En este momento, ya se tienen los datos calculados, corregidos y preparados para introducir directamente sobre las piezas de mortero.

Al igual que en el primer disparo habría que esperar a que el dron se encuentre en disposición de visualizar el impacto de nuevo. Cuando esté preparado, se realizaría el segundo disparo, y si el impacto se ejerce sobre el objetivo se daría por finalizada la fase de corrección.

A partir de aquí se realizarían la cantidad de disparos que el mando de la unidad estime oportuno, el dron regresaría a su zona de aterrizaje y la unidad se prepararía para realizar un cambio de asentamiento en cualquier momento para evitar ser levantados por el enemigo.

3.4 FACTORES A TENER EN CUENTA

En este último apartado se va a hacer una valoración sobre dos posibles limitaciones que conlleva el uso de los drones para esta práctica.

Actualmente, el trabajo de corrección de fuegos que se realiza en el Ejército de Tierra español no utiliza ningún recurso externo al material que tienen las pequeñas unidades de Infantería por lo que la logística no se ve alterada.

Sin embargo, al integrar sistemas sofisticados de última generación como son los drones, hay dos posibles limitaciones que se deben tener en cuenta y que pueden alterar el funcionamiento logístico habitual. Uno de ellos es el aumento de costes que supondría realizar esta práctica a través de estos mecanismos. Además, habría que tener en cuenta en qué zonas es posible volar el dron, pudiendo haber restricciones en su movilidad.

I. AUMENTO DE COSTES.

Según la información recogida a lo largo del trabajo, para poder ejecutar la corrección de los fuegos es necesario añadir a cada batallón una unidad de drones. Teniendo en cuenta el uso que se le va a dar, deberían de estar compuestas por cuatro unidades de vuelo, número suficiente para apoyar a las cuatro unidades capacitadas para realizar tiro de mortero en un batallón.

En los últimos años, el ET se hizo con seis ejemplares de drones Tucán y dos de drones Atlantic por un valor de un millón y medio de euros (Infodron, 2017). Además, el gasto que suponen los gastos de combustible y cuidados anuales de estos dispositivos rondan los nueve mil euros (Ramírez, 2019).

Conociendo la situación económica actual, sería necesario un aumento del suministro



económico en defensa para que el ET pudiera suministrar de drones a todos los batallones de Infantería.

Como principal resultado del coste que supone la compra y mantenimiento de los drones, a día de hoy, existen necesidades más prioritarias en las que el ET debe emplear sus fondos.

II. RESTRICCIONES DE MOVILIDAD.

El uso de los drones para cualquier ámbito supone un estudio de la norma que regula las restricciones en cuanto a su movilidad. Normalmente, lo que se busca es evitar accidentes entre aeronaves.

En el Ejército, estos riesgos son de especial importancia. Todas aquellas operaciones interejércitos⁸ en las que el ET trabaja mano a mano con el Ejército del Aire, o simplemente con las Fuerzas Aeromóviles del Ejército de Tierra (FAMET), hay un constante flujo de aeromóviles sobrevolando las fuerzas propias. En estos casos los drones sufren una serie de restricciones más estrictas en cuanto a altura máxima a superar para evitar posibles colisiones.

Por ello, habría gran cantidad de situaciones en las que no sería factible el uso de este procedimiento.

⁸ Un ejercicio interejércitos es aquel en el que participan diferentes ejércitos en una misma operación.



4. CONCLUSIONES

En este último apartado se pretende hacer un repaso de los objetivos principales y secundarios que se han abordado durante el mismo para realizar una valoración sobre los resultados obtenidos y añadir posibles soluciones.

El objetivo puro de este trabajo de fin de grado es proponer un protocolo de actuación a modo de manual que permitiera una clara explicación de un proceso novedoso: comenzar a realizar la corrección de fuegos del tiro indirecto mediante drones.

Inicialmente tras analizar los procedimientos actuales que realiza el ET para esta práctica se pueden considerar como mejorables. Los actuales métodos son factibles, pero presentan detalles que deben ser renovados. En primer lugar, la seguridad del personal que observa y corrige se puede ver amenazada y la exactitud de los cálculos no es completamente eficaz. Como resultado a este aspecto se considera oportuna la posibilidad de implementar este nuevo método.

Por otro lado, ha sido necesario realizar una búsqueda del dron con mejores capacidades para el uso exclusivo de corregir el fuego de mortero. Tras analizar las cualidades de aquellos que pertenecen al ET se obtuvo como idóneo el dron TUCÁN. Sin embargo, en comparación con otros ejércitos puede ser determinante recalcar que el ET español no cuenta con los mejores dispositivos de este campo.

Con la interpretación de toda esta información se ha propuesto un protocolo de actuación que como principal resultado implementa de forma novedosa los drones para dos tareas fundamentales:

- La obtención de las coordenadas del impacto que son compartidas instantáneamente con la estación terrestre.
- El cálculo de las correcciones de forma rápida y sistemática mediante la propuesta de un algoritmo.

Estas implementaciones dejan como efecto una mejora en la velocidad con la que se realiza el proceso, un aumento de exactitud en el procesamiento de los datos y un tipo de modelo con mayores facilidades que evitan la exposición al peligro de sus operarios.

Asimismo, se plantea un algoritmo cuya función es servir de base para la creación y aplicación de un sistema automático que aplique sus fórmulas mediante posibles programas informáticos y establezca el inicio de futuras líneas de estudio

Dichas implementaciones también dejan algunas limitaciones que son necesarias tener en cuenta. Los costes se verían aumentados y el margen de uso de los drones puede llegar a ser un inconveniente debido a las restricciones físicas.

Para finalizar, se destaca la necesidad de que el ejército español se conciencie del impacto que están teniendo en la actualidad los drones y que invierta en su mejora y desarrollo. Un ejército actualizado en el uso de sistemas aéreos no tripulados toma grandes ventajas en el campo de batalla. Los conflictos actuales hacen gala de ello.



5. BIBLIOGRAFÍA

Academia General Militar., 2021. *Táctica y Logística II. Infantería..* Zaragoza: s.n.

AeroVironment, Inc., 2023. *AeroVironment..* [En línea]
Available at: <https://www.avinc.com/uas/raven>
[Último acceso: 4 Octubre 2023].

Allende, W., 2017. *Drones. La siguiente guerra..* s.l.:s.n.

Alonso, E. G., 2023. El empleo de los drones por las Fuerzas Terrestres. *Revista Ejército*, Agosto, pp. 81-87.

Anon., 2017. *Juguetechnik..* [En línea]
Available at: <https://juguetechnik.com/blog/que-es-un-drone-tipos-nombres-componentes.html>
[Último acceso: 18 Septiembre 2023].

Carrasco, J. M.-M., 2020. *Estudio y caracterización de materiales estructurales para drones*, Cartagena: s.n.

Ejército de Tierra., 2023. *Ministerio de Defensa. Ejército de Tierra..* [En línea]
Available at: https://ejercito.defensa.gob.es/materiales/vehiculo_aereo_no_tripulado/PASI.html
[Último acceso: 4 Octubre 2023].

Ejército de Tierra., 2023. *Ministerio de Defensa. Ejército de Tierra..* [En línea]
Available at: https://ejercito.defensa.gob.es/materiales/vehiculo_aereo_no_tripulado/SIVA.html
[Último acceso: 4 Octubre 2023].

Ejército de Tierra., 2023. *Ministerio de Defensa. Ejército de Tierra..* [En línea]
Available at: <https://ejercito.defensa.gob.es/unidades/Pontevedra/brilat/Organizacion/index.html>
[Último acceso: 6 Octubre 2023].

Ejército de Tierra, 2023. *Ministerio de Defensa. Ejército de Tierra..* [En línea]
Available at: <https://ejercito.defensa.gob.es/materiales/index.html>
[Último acceso: 3 Octubre 2023].

Fernández, L. G.-C., 2006. *Guerra electrónica*, s.l.: s.n.

Formigo, S. P., 2022. *Integración de RPAS como medio de adquisición de blancos y observación de fuegos de artillería..* s.l.:s.n.

Infodron, 2017. El Ejército español adquiere los RPAS Atlantic y Tucán de SCR. *Infodron*, 19 Diciembre., p. 1.

Mando de Adiestramiento y Doctrina., 1997. *Observador de Fuegos..* s.l.:s.n.

Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2016. *Empleo táctico de las unidades de RPAS..* s.l.:s.n.

Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2022. *Tiro de Infantería.* s.l.:s.n.

Pila, J. A., 2023. *Revista Ejército. Ejército*, Agosto, pp. 78-79.

Pino, E., 2019. *Los drones una herramienta para una agricultura eficiente: un futuro de alta tecnología.* s.l.:s.n.

Ramírez, J. R., 2019. *Observación del tiro de Artillería de campaña por RPAS*, s.l.: s.n.

Real Academia Española, 2023. *Real Academia Española.* [En línea]
Available at: <https://dle.rae.es/dron>
[Último acceso: 23 Septiembre 2023].



Sistemas de control remoto (SCR)., 2023. *Sistemas de control remoto (SCR)*.. [En línea]
Available at: <https://scrdrones.com/producto-item/atlantic-i/>
[Último acceso: 5 Octubre 2023].

Sistemas de control remoto (SCR)., 2023. *Sistemas de control remoto (SCR)*.. [En línea]
Available at: <https://scrdrones.com/producto-item/tucan/>
[Último acceso: 5 Octubre 2023].



6. ANEXOS

ANEXO A: TABLA DE MORTEROS

MORTERO 81 mm MOD. LL				CARGA: 4				
GRANADA: M-AE-84				VELOCIDAD INICIAL: 264.0 m/s				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ALCAN.	ANGULO	ORDEN.	TIEMPO	ZONA		ANGUL.	VIENTO	NUDO
ELEVAC	MAXIMA	VUELO	LONGIT.	TRANSV.	CAIDA	LONG.	TRANS.	
M	m	M	S	M	M	m	M	m
500	1547.5	2715	47.1	14	20	1559	5.4	10.82
600	1537.1	2716	47.1	14	20	1550	5.4	8.99
700	1526.6	2716	47.1	15	20	1542	5.4	7.69
800	1516.1	2715	47.1	15	20	1534	5.4	6.71
900	1505.7	2714	47.1	16	20	1526	5.5	5.95
1000	1495.2	2712	47.1	16	20	1517	5.5	5.34
1100	1484.6	2709	47.1	17	20	1509	5.5	4.85
1200	1474.1	2706	47.0	18	20	1501	5.6	4.43
1300	1463.5	2703	47.0	18	20	1492	5.6	4.08
1400	1452.8	2698	47.0	19	20	1484	5.6	3.78
1500	1442.1	2693	46.9	19	20	1476	5.7	3.52
1600	1431.4	2687	46.9	20	20	1467	5.7	3.30
1700	1420.6	2681	46.8	20	20	1459	5.7	3.10
1800	1409.7	2674	46.7	21	20	1450	5.8	2.92
1900	1398.7	2666	46.7	22	20	1441	5.8	2.76
2000	1387.7	2657	46.6	22	20	1433	5.9	2.61
2100	1376.6	2648	46.5	23	20	1424	5.9	2.48
2200	1365.3	2638	46.4	23	20	1415	6.0	2.36
2300	1354.0	2627	46.3	24	20	1406	6.0	2.25
2400	1342.5	2616	46.2	24	20	1397	6.0	2.15
2500	1330.9	2603	46.1	25	20	1388	6.1	2.06
2600	1319.1	2590	46.0	26	20	1379	6.1	1.98
2700	1307.2	2576	45.9	26	20	1370	6.2	1.90
2800	1295.2	2561	45.7	27	20	1360	6.2	1.82
2900	1282.9	2544	45.6	27	20	1350	6.3	1.75
3000	1270.5	2527	45.4	28	20	1345	6.3	1.69
3100	1257.8	2509	45.3	28	20	1331	6.4	1.63
3200	1245.0	2490	45.1	29	20	1320	6.4	1.57
3300	1231.8	2469	44.9	30	20	1310	6.5	1.51
3400	1218.4	2448	44.7	30	19	1299	6.5	1.46
3500	1204.6	2425	44.5	31	19	1288	6.5	1.41

Tabla 4. Tabla de tiro de mortero (Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2022).

