



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Métodos de desminado humanitario Humanitarian Demining Methods

Autor

CAC Eduardo Antonio Gálvez Martínez

Director/es

Director académico: Dr. D. Óscar de la Iglesia Pedraza
Director militar: Capitán D. Francisco Javier Ciria Amores

Centro Universitario de la Defensa
2019

AGRADECIMIENTOS

Agradecer por su labor a los tutores tanto académico, el Doctor Don Óscar de la Iglesia Pedraza y al militar, el Capitán Don Francisco Javier Ciria Amores, por su tutela durante el periodo dedicado a las prácticas externas y al Trabajo Fin de Grado. A su vez, agradecer al Regimiento de Ingenieros número 7 por la ayuda proporcionada por parte de expertos en la materia de desminado humanitario, a la Sección de Desactivación de Explosivos, encuadrada en la Compañía de Apoyo del Batallón de Zapadores, en especial al Sargento Primero Berrocal, al Cabo Primero Iglesias, al Teniente Mendo, al Teniente Quiñones, al Sargento Kaddour y un largo etcétera por aportar su experiencia al trabajo aquí presente. Agradecer también al Capitán Don Francisco Javier San Martín Sánchez por su colaboración mediante el aporte de documentación y orientaciones.

Por otro lado, agradecer a todos los compañeros de promoción y de otras promociones que han hecho posible la elaboración del trabajo aunque sea de forma indirecta, gracias por su compañía durante este tiempo y por hacer de todo ello algo más sencillo y llevadero.

Además, mencionar a Alex Reizer, encargado del apartado de marketing de la empresa Mine Kafon, por hacer lo posible por facilitar datos de difusión limitada sobre el Mine Kafon Drone.

Por último, pero no por ello menos importante, agradecer a mi familia todo el apoyo que me han prestado y la confianza que desde un principio depositaron en mí. Sin ellos esto jamás habría sido posible.

RESUMEN

Las minas antipersona suponen un problema humanitario de gran magnitud ya que cada año miles de personas, incluyendo un gran número de niños, sufren lesiones graves o incluso mueren debido a la detonación accidental de este tipo de artefactos explosivos. Estos fueron utilizados en conflictos pasados, quedando enterrados en zonas de uso civil sin ningún registro ni de cuántas minas quedan por detonar ni de su localización.

En la actualidad, gran número de empresas y de ejércitos de diferentes países dedican un gran esfuerzo al desminado de zonas que han sufrido conflictos bélicos. Esta es una tarea muy costosa puesto que deben ser examinadas grandes extensiones de terreno. Por tanto, se requiere de una tecnología adecuada que permita realizar este trabajo de la forma más eficiente y segura posible pero sin dejar artefactos que puedan causar daños a posteriori.

El principal objetivo del trabajo es analizar los métodos de desminado que se utilizan actualmente con el fin de evaluar la viabilidad del posible uso de drones para el desminado humanitario. Para ello se ha realizado una entrevista personal, un análisis de los costes que supondría emplear los métodos actuales de desminado y los de un desminado mediante la tecnología dron y, por último, un análisis de los riesgos que entraña dicha incorporación. Para utilizar estas metodologías se ha contado con la ayuda de personal militar experto en la materia, algunos de los cuales han realizado personalmente labores de desminado humanitario en diferentes países, y de empresas cuya actividad es el desminado humanitario.

ABSTRACT

Anti-personnel mines present a great humanitarian issue since thousands of people every year, including a large number of children, face everlasting damages or even death from the accidental detonation of one of these devices. Such deadly weapons used to be part of already ended conflicts, being buried underground in civil areas with no such thing as a record of where these mines are located or how many of them are.

Nowadays, enterprises and armed forces are facing this problem together, putting in a lot of effort in digging these mines out of the war-zones regions. Such task, is quite expensive, since it involves large quantities of terrain, then an adequate technology is necessary so it can be efficiently and safely conducted without leaving any device that could do further damage.

The main objective of this work is to analyze nowadays methods and to considerate the use of drones as our main weapon against this threat. In order to achieve such thing three methodologies were applied: a personal interview, a detailed analysis of the cost of the current system and the also the ones involving drones, and finally, an analysis of the risks of implanting the new doctrine. For the use of these methods expert military personnel has been directly involved, who, in some cases have found themselves digging out mines in different countries, and also, some enterprises which specialize in such activity.

CONTENIDO

1	Introducción	1
1.1	Generalidades.....	2
1.2	Motivación	3
1.3	Objetivos y alcance	4
1.4	Ámbito de aplicación	4
1.5	Metodología	4
2	Desminado manual.....	6
2.1	Desminado mediante detectores de metales	8
2.2	Desminado mediante sondeo.....	9
2.3	Análisis del método de desminado manual	10
3	Técnicas de desminado alternativas	13
3.1	Desminado mecánico	13
3.2	Desminado biológico	16
3.3	Desminado mediante drones	17
4	Estudio de viabilidad del desminado mediante drones	20
4.1	Análisis de costes.....	20
4.1.1	Coste de personal.....	21
4.1.2	Costes en caso de accidentes.....	22
4.1.3	Determinación de los costes	23
4.2	Análisis de riesgos.....	27
5	Conclusiones.....	30
6	Bibliografía.....	32
7	Anexos	37
	ANEXO A: DAFO.	37
	ANEXO B: Vallon VMH3CS.	45
	ANEXO C: Vallon VMR3G.	46
	ANEXO D: UPEX740.	47
	ANEXO E: MAGNEX120.....	48
	ANEXO F: Bastón buscaminas ramul amagnético.	49

ANEXO G: Cuestionario de la entrevista.....	50
ANEXO H: Traje ligero de desminado.....	53
ANEXO I: Cadenas.....	54
ANEXO J: Arado.....	55
ANEXO K: Rodillos.....	56
ANEXO L: Perros.....	57
ANEXO M: Ratas.....	58
ANEXO N: Mine Kafon Drone.....	59
ANEXO O: Zona del supuesto desminado.....	60
ANEXO P: Fotografía aérea durante un desminado en Angola.....	61
ANEXO Q: Minas encontradas en Angola.....	62
ANEXO R: Material empleado en labores de desminado.....	63

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Evolución de las víctimas civiles por minas antipersonal.	1
Ilustración 2. Zapadores del RING nº1 rastreando en pasillos de 25 x 1,5 m.	7
Ilustración 3. Soldados del RING nº 7 realizando prácticas de sondeo.	9
Ilustración 4. RG-31 con los rodillos instalados.	14
Ilustración 5. Mine Kafon Drone demostrando sus tres capacidades.	18
Ilustración 6. Gráfico de coste total según misión y método de desminado.	26
Ilustración 7. Coste acumulado a lo largo de las misiones según el método de desminado.	26
Ilustración 8. Desglose de los riesgos, clases y medidas tomadas.	27
Ilustración 9. Matriz de riesgos y estadística.	28
Ilustración 10. Vallon VMH3CS.	45
Ilustración 11. Soldados españoles con el Vallon VMH3CD en Afganistán.	45
Ilustración 12. Demostración de utilización del Vallon VMR3G.	46
Ilustración 13. Utilización del UPEX 740 en distintos escenarios.	47
Ilustración 14. Utilización del MAGNEZ 120 para uso civil y militar.	48
Ilustración 15. Bastón de desminado.	49
Ilustración 16. Desminadores utilizando el traje ligero de desminado.	53
Ilustración 17. Vehículos con las cadenas.	54
Ilustración 18. Vehículos con arados tanto civil como militar.	55
Ilustración 19. Vehículos RG31 españoles con los rodillos.	56
Ilustración 20. Perros desminando.	57
Ilustración 21. Ratas desminando.	58
Ilustración 22. Mine Kafon Drone con los implementos de mapeo, detección y detonación.	59
Ilustración 23. Zona supuesta a desminar.	60
Ilustración 24. Fotografía aérea durante una labor de desminado en Angola donde se distinguen los pasillos.	61
Ilustración 25. Minas encontradas en Angola.	62
Ilustración 26. Material utilizado en labores de desminado expuesto por el RING nº1.	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resultados de las entrevistas.	11
Tabla 2. Datos recogidos de las prácticas realizadas con Vallon VMR3G y VMH3CS.	21
Tabla 3. Datos recogidos de los históricos de misiones de desminado en Angola.....	23
Tabla 4. Costes totales y acumulados de las misiones con ambos métodos de desminado.....	25
Tabla 5. Definición de los parámetros DAFO.	37
Tabla 6. DAFO de detectores de metales junto a sonda.....	38
Tabla 7. DAFO de Mine Kafon Drone.	40
Tabla 8. Matriz de Confrontación de detector de metales y sonda.	43
Tabla 9. Matriz de Confrontación de Mine Kafon Drone.....	44

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

APN: Ayuda Popular Noruega.

Atexx: Asociación de técnicos expertos en explosivos.

CCCM: Campaña Colombiana Contra Minas.

DAFO: Debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades.

DGAM: Dirección General de Armamento y Material.

EOD: Explosive Ordnance Disposal.

EPI: Equipo de Protección Individual.

EVASAN: Evacuación sanitaria.

FUTER: Fuerza Terrestre.

IMAS: International Mine Detection Standards (Estándares internacionales de detección de minas).

ONU: Organización de Naciones Unidas.

SIGLE: Sistema Integral de Gestión Logística del Ejército.

TNT: Trinitrotolueno.

1 Introducción

Después de cada conflicto bélico, los países intervinientes tratan de volver a la normalidad, pero en los últimos años se ha comprobado que esto no es tan sencillo como parece. En la actualidad, hay más de 110 millones de minas repartidas por 64 países, las cuales matan o hieren a más de 26.000 personas al año [1] (Ilustración 1). Es por ello que los esfuerzos posbélicos deben centrarse en la realización de labores de desminado humanitario, desarrolladas en la actualidad tanto por los ejércitos como por organizaciones civiles.

Víctimas de artefactos explosivos



Fuente: Dirección para la Acción Integral contra Minas Antipersonal (DAICMA). Datos con corte al 31 de diciembre de 2016.

Ilustración 1. Evolución de las víctimas civiles por minas antipersonal.

Fuente: [2].

Existen factores a favor y en contra de utilizar estas dos opciones. Analizando la cuestión desde un punto de vista militar, es cierto que emplear tropas poco tiempo después de la finalización de un conflicto puede derivar en un rechazo por parte de la población civil. Además, si la tarea se prolonga, el coste económico puede llegar a ser excesivo. Por otro lado, el hecho de que las fuerzas militares trabajen a diario con materiales similares a los que tratan de buscar hace que sea una labor más sencilla. A esto hay que añadir el entendimiento entre los militares tras tanto tiempo trabajando juntos. También se ha de mencionar que el apoyo logístico del que dispondrían facilitaría en distintas ocasiones la sustitución o entrega de distintos materiales. Por último, se ha de tener en cuenta que el salario de los militares no varía en función de las horas trabajadas, es por ello que podría resultar también rentable económicamente su aplicación.

A diferencia de un desminado militar, que trata de abrir paso dentro de un campo de minas durante un conflicto, dejando minas sin explotar, el desminado humanitario

se realiza en tiempos de paz con la intención de eliminar cualquier artefacto explosivo de guerra y restablecer las tierras para el uso de la población civil.

A su vez, hay que mencionar que existe otro despeje de campos llamado tierra limpia, en el cual el personal está encargado de limpiar por completo la zona indicada sea cual sea la profundidad, para ello se utilizan unos métodos diferentes a los empleados en el desminado humanitario. Como este tipo de limpieza no forma parte de este trabajo no se estudiará en profundidad, simplemente se ha creído conveniente mencionarlo para dejar constancia de su existencia.

Tres pasos muy importantes para hacer frente al problema de las minas fueron: en primer lugar el Convención de Ottawa, el cual prohíbe la adquisición, producción, almacenamiento y desarrollo de minas antipersonales [3]; el Protocolo Enmendado II a la Convención de Armas Dañinas; y la creación del Centro Internacional de Desminado Humanitario de Ginebra [4], el cual trata de impulsar acciones contra las minas y de regular el cumplimiento de la Convención de Ottawa [5].

España se acogió a estos acuerdos en 2002, fundando el Centro Internacional de Desminado [6], que se ha convertido en unos de los centros de desminado humanitario más importantes del mundo, donde se prepara y actualiza el personal en los últimos periodos antes de salir desplegados de misión [7].

Como se puede comprobar, el desminado humanitario es un tema que abarca gran cantidad de aspectos, es por ello que en el presente trabajo se procederá a describir los principales métodos de desminado humanitario y las principales herramientas utilizadas en cada uno de ellos, para luego comparar el más utilizado de todos con un posible método futuro, el uso de drones.

1.1 Generalidades

El desminado humanitario consiste en una serie de actividades para la limpieza y la remoción de minas y de municiones sin estallar, su objetivo es transformar áreas peligrosas confirmadas en áreas despejadas susceptibles de ser entregadas a la comunidad con el fin de ser reintegradas en sus procesos de desarrollo social y económico. Las áreas despejadas deberán ser entregadas a la comunidad siguiendo lo establecido en los Estándares de Desminado Humanitario [8]: “Es responsabilidad de la autoridad nacional comunicar formalmente los resultados del despeje con técnica manual a la comunidad y demás entidades y organizaciones involucradas”.

Las actividades de desminado incluyen estudios técnicos, levantamientos cartográficos, remoción de minas y municiones sin estallar, señalización, documentación posterior al desminado, contacto directo con las comunidades afectadas y traspaso de las tierras desminadas [9]. El proceso de desminado incluye las siguientes fases:

- Primera fase: identificación y localización de la zona minada.
- Segunda fase: adecuación de la zona para poder trabajar en ella.
- Tercera fase: señalización de la zona, que incluye [10]:
 - Paso 1: análisis y evaluación del riesgo para determinar la técnica a emplear.
 - Paso 2: inspección visual.
 - Paso 3: remoción de vegetación y maleza cuando sea necesario.
 - Paso 4: investigación del terreno.
 - Paso 5: marcación de avance durante operaciones.
 - Paso 6: aislamiento e investigación de señales.
- Cuarta fase: eliminación de artefactos explosivos mediante detonación o retirada.
- Quinta fase: comprobación del cumplimiento de las medidas de calidad y seguridad.

1.2 Motivación

En la actualidad, el desminado humanitario se lleva a cabo principalmente de forma manual. A pesar de ser el método más utilizado, su peligrosidad es evidente, debido a la cercanía con respecto a los artefactos explosivos a la que trabajan los desminadores. De hecho, según un estudio [11] por cada 5.000 minas que se extraen, muere un desminador y otros dos sufren lesiones. Además, el desminado manual requiere mucho tiempo, lo que hace que el coste de estas tareas sea muy elevado, se estima que gira en torno a los 1.000 dólares por cada mina [11].

Por tanto, es necesario buscar otros métodos de desminado alternativos que consigan: disminuir el riesgo al que está expuesto el personal que realiza las labores de desminado; aumentar la velocidad del proceso, manteniendo su eficacia; y reducir el coste que supone el desminado humanitario.

De entre todas las posibles alternativas al desminado manual, que se presentarán a continuación, en este trabajo se ha propuesto el posible uso de aeronaves no tripuladas como método alternativo al de desminado manual.

1.3 Objetivos y alcance

El objetivo principal de este Trabajo Fin de Grado es determinar la viabilidad de la sustitución del método de desminado humanitario por el método manual, utilizado en la actualidad en el Ejército de Tierra español por el desminado mediante la tecnología dron. Este objetivo principal se divide en dos objetivos secundarios: en primer lugar, analizar el método de desminado manual; y en segundo lugar, hacer un estudio comparativo entre el método de desminado manual y mediante drones.

Los análisis realizados para satisfacer estos objetivos se han centrado en las características técnicas de estos dos métodos de desminado, en la seguridad con la que se llevan a cabo, en su eficiencia y, por último, en el coste que suponen (incluyendo el coste del material, el de los recursos humanos empleados, transporte, etc.).

1.4 Ámbito de aplicación

Este estudio no solo será aplicable a una unidad concreta del ejército sino que se puede hacer extensible a todas aquellas unidades que sean empleadas en labores de desminado, siempre y cuando se cumplan las condiciones que más adelante se mencionan. Además, las conclusiones de este estudio no se restringen únicamente al ámbito militar, ya que la tecnología propuesta puede ser utilizada también por organizaciones civiles, tales como APN, CCCM, Atexx y Perigeo NGO [12], que realizan labores de desminado.

1.5 Metodología

Para el desarrollo de este Trabajo de Fin de Grado se ha realizado una revisión bibliográfica para obtener información sobre las técnicas de desminado utilizadas actualmente, sobre otras técnicas en desuso y sobre técnicas en fase de estudio. Además, se han conseguido datos sobre el diferente material que tiene el ejército para labores de desminado humanitario a través del sistema SIGLE y documentos de uso interno del Ejército de Tierra y de las Fuerzas Armadas. Para toda esta tarea de adquisición de datos se ha contado con el asesoramiento de expertos en desminado de la unidad y de empresas del sector.

Se ha evaluado el sistema de desminado manual, utilizado actualmente en el Ejército de Tierra español, a través de una entrevista personal a varios expertos en desminado de la unidad. Para poder cuantificar los resultados de dicha entrevista se ha empleado una escala Likert.

Por otra parte, se ha realizado un análisis del coste que supone realizar las tareas de desminado mediante el método manual usado actualmente y del coste que supondría la adquisición e implementación de la tecnología dron en estas tareas. Con el fin de calcular el coste del desminado manual se han hecho medidas del tiempo que tarda el personal de una unidad bien instruida en realizar labores de desminado manual. A partir de estos datos se puede determinar el número de horas de trabajo necesarias para realizar el desminado y, por consiguiente, el coste de personal. De esta manera se pretende determinar la viabilidad económica de la incorporación de las aeronaves no tripuladas para el desminado humanitario en el Ejército de Tierra español (más concretamente en las unidades de Ingenieros que se ocupan de estas labores).

Además, debido a la importancia que entraña la introducción de un nuevo material al Ejército de Tierra, se ha creído conveniente llevar a cabo la elaboración de un análisis de riesgos con la intención de determinar aquellos riesgos más críticos de la utilización de esta nueva tecnología con la intención de proponer soluciones a los mismos antes de que ocurran, ya sea para su completa eliminación, para su transferencia, para asumirlos o para implantar medidas con el fin de mitigarlos [13].

Por último, para el análisis comparativo entre las herramientas y tecnologías actuales y la tecnología dron para labores de desminado humanitario en el Ejército de Tierra, se ha llevado a cabo un análisis de Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades por confrontación (DAFO por confrontación) del uso del dron. Este análisis se ha obtenido gracias a una metodología de *brainstorming* con varios expertos en la materia (ver ANEXO A).

2 Desminado manual

En este tipo de desminado, el desminador ha de adentrarse en la zona minada y, con las herramientas adecuadas, detectar la presencia de la mina. La forma de detección va desde la introducción de una sonda en el suelo hasta detectores más complejos, que producen una perturbación en el terreno y reciben una señal en el caso de que exista una mina, estos detectores pueden utilizar corrientes de Foucault, radares, resonancia nuclear, infrarrojos, etc. [14]. Los métodos más utilizados en cuanto al desminado mediante procedimientos manuales son las sondas, los detectores de metales por corrientes inducidas y los detectores de variación de campo magnético.

Sea cual sea la herramienta utilizada, el procedimiento utilizado a la hora de realizar labores de desminado humanitario es el mismo en todos ellos. El primer paso consiste en señalar mediante estacas de maderas y cintas la zona a desminar para que cada desminador identifique el pasillo donde realizará su trabajo. Una vez situado en su posición, lo primero que debe hacer es una meticulosa inspección visual de la zona por si pudiese haber algún tipo de alambre de tropiezo. Tras esta primera operación, los desminadores introducen en la zona minada una varilla de forma paralela al suelo sin llegar a hacer contacto con este y comienza a subirla manteniendo la misma inclinación, este proceso se realiza para intentar localizar cualquier cable de tropiezo que no haya sido detectado mediante la inspección visual. Una vez que se asegura de que no existen cables de tropiezo, el desminador comienza a adentrarse en la zona donde se encuentran los artefactos avanzando lentamente rastreando con el detector de metales. La sonda será utilizada cada vez que el desminador considere necesaria una inspección más exhaustiva de un positivo marcado por el detector. Tras la comprobación, el experto puede comenzar a escarbar en el terreno desde una distancia de aproximadamente 15 cm por detrás del punto señalado como posible artefacto para así ir avanzando con cuidado hasta averiguar de qué se trata.

Este procedimiento de desminado manual se viene utilizando desde finales de la Segunda Guerra Mundial [15] y aun a día de hoy es el método más utilizado debido a que es el que más artefactos logra eliminar. Desde el comienzo de su utilización, la ONU respaldó su empleo en países como Mozambique, Camboya y Afganistán [16].

Para llevar a cabo esta técnica se divide la zona minada en pasillos de aproximadamente 1,5 m de ancho (ver Ilustración 2). Cada desminador va por uno de estos pasillos haciendo barridos de lado a lado con el detector de metales. Cuando se detecta un metal, se marca el lugar donde se encuentra el posible artefacto para, posteriormente, tratar de descubrirlo mediante una pequeña excavación con distintos

utensilios y limpiando la zona con brochas. Una vez señalizada una posible amenaza en un pasillo, el desminador se cambia de pasillo para continuar con el mismo procedimiento hasta que el jefe del equipo de desminado decida qué hacer con los artefactos encontrados, si retirar para su posterior estudio o detonar in situ.



**Ilustración 2. Zapadores del RING nº1 rastreando en pasillos de 25 x 1,5 m.
Fuente: CAC. D. Alfonso Mansilla Rodríguez.**

El principal problema de este método es que es muy lento¹; es el que más personal emplea; costoso, se estima que puede ser de hasta 1.000 dólares por cada mina [11] (cuando el precio de una mina está entre 3 y 15 dólares); es peligroso, ya que, aunque el número de víctimas civiles se ha ido reduciendo, como se ha mostrado en la Ilustración 1, por cada 5.000 minas que se extraen, muere un desminador y otros dos sufren lesiones [11].

El desminado manual es muy repetitivo y el cansancio puede llevar a faltas de concentración que provoquen accidentes. Por eso se recomienda hacer numerosos y cortos descansos (10 minutos cada 60 minutos de trabajo [17]).

¹aproximadamente entre 4 y 5 minutos por cada metro cuadrado en el caso del sondeo.

2.1 Desminado mediante detectores de metales

El desminado humanitario mediante detectores de metales aprovecha el hecho de que las minas contienen piezas metálicas. Estos equipos son capaces de detectar la presencia de piezas metálicas enterradas en el suelo a distintas profundidades.

Existen varios modelos de detectores de metales, desde los más rudimentarios hasta algunos muy sofisticados. Los más utilizados son el detector por corrientes inducidas, el detector por inducción de pulsos como es el Vallon VMH3CS (ANEXO B) y el detector de onda sinusoidal continua como el Vallon VMR3G (ANEXO C). Los tres trabajan de forma muy parecida y basan su funcionamiento en la emisión de un estímulo que es alterado por la presencia de un metal, emitiendo de esta forma una señal que puede ser visual o acústica.

Uno de los inconvenientes que presentan los detectores descritos anteriormente es su escaso poder de penetración, limitado a pocos centímetros de la superficie. Para hacer frente a esta situación, se crearon los detectores de metales de gran bucle (ANEXO D) y el detector de variación de campo magnético (ANEXO E). En cuanto al detector de gran bucle, tiene similares características a los tres anteriormente descritos a excepción del tamaño de la cabeza de búsqueda. En este caso la cabeza de búsqueda tiene un diámetro mucho mayor, el cual, permite localizar objetos metálicos a mayores profundidades que los anteriores, sin perder la capacidad de localizar aquellos que se encuentran más en superficie.

Por último, en cuanto al detector de variación de campo magnético, su principal diferencia con el resto es que se trata de un objeto pasivo, es decir, no necesita emitir ningún tipo de estímulo, simplemente se basa en la detección de las variaciones de campo magnético a través de un galvanómetro.

A pesar de las evoluciones que han ido experimentando los detectores de metales a lo largo de los años, el procedimiento de desminado no ha cambiado. El desminador se encuentra sobre la zona minada portando el detector a muy poca distancia de los posibles artefactos, con el peligro que esto conlleva. Además de esto, el desminador debe confiar su propia vida a dispositivos que no distinguen entre una moneda y una mina antipersonal ya que solo detecta masas metálicas.

En adición a los riesgos que conlleva este método de desminado, el problema más importante de este sistema, el cual es señalado por el Centro Internacional de Desminado de la Academia de Ingenieros [18], es que las minas cada vez llevan menos piezas metálicas, limitándose incluso a simplemente cebo pirotécnico, lo que complica en gran medida la labor de estos detectores.

2.2 Desminado mediante sondeo

El sondeo consiste en ir introduciendo un objeto largo y estrecho (ver ANEXO F) en el terreno para ver si penetra o si choca contra algún objeto duro enterrado. En tal caso se debe comprobar si es realmente una mina o cualquier otro objeto, como una piedra por ejemplo. Esta maniobra es muy peligrosa, ya que la cara y las manos del operador siempre están muy cerca del artefacto explosivo (Ilustración 3), lo que puede causar accidentes. Además, algunos artefactos explosivos llevan una espoleta anti-manipulación o detonador de alta sensibilidad.

La sonda se debe introducir con un ángulo de incidencia no muy elevado, de unos 30 grados [19] para que toque de forma lateral el artefacto explosivo. Si se introduce la sonda con un ángulo de incidencia mayor, se corre el riesgo de golpear la zona superior o la zona sensible de la mina, lo que podría ocasionar su explosión. Este dispositivo es el último que se utiliza a la hora de detectar una mina, por lo que debe ser eficaz para aumentar al máximo la seguridad del desminador.



Ilustración 3. Soldados del RING nº 7 realizando prácticas de sondeo.

Fuente: CAC. D. Eduardo A. Gálvez Martínez.

Como sonda se utilizan desde elementos de bajo coste, como pequeñas barras de armadura del hormigón armado sacadas de los escombros de algún edificio, a dispositivos de coste más elevado, sondas de plástico o sondas amagnéticas, para evitar cierto tipo de iniciación por imanes, por ejemplo. Cuanto mayor sea la complejidad de la sonda mayor será su coste.

Actualmente se están probando dos tipos de sondas, de mango recto y de empuñadura tipo “pistola”. Ambos tienen sus detractores, pero inicialmente parece que el de empuñadura tipo “pistola” facilita la inclinación de 30°, como es el caso del bastón

buscaminas RAMUL amagnético, lo que supone un método de seguridad añadido en caso de que la mina o el artefacto explosivo tuviese un sistema de detección ante la presencia de un objeto metálico.

En esta técnica de desminado, además de la evidente peligrosidad que presenta para el desminador debido a su cercanía al explosivo, se le suma su extrema lentitud ya que un sondeador es capaz de inspeccionar al día una reducida cantidad de terreno [20].

2.3 Análisis del método de desminado manual

Con el fin de analizar el método de desminado manual que se usa actualmente se ha realizado una entrevista personal (ver ANEXO G) a varios miembros de la unidad, todos con un mínimo de 10 años de servicio y que han estado desplegados en al menos 2 operaciones de desminado en países como Bosnia, Kosovo, Líbano, Malí y Senegal. Para poder cuantificar las opiniones de los expertos se ha utilizado una escala Likert entre 1 y 5. Se ha elegido una escala de 5 puntos, con un punto medio, para dar la opción a los entrevistados a no comprometerse excesivamente, puesto que han dado su opinión sobre sus condiciones de trabajo y podría darse el caso de que algún entrevistado no deseara hacer una valoración negativa de las mismas.

La entrevista la han realizado 17 personas del Regimiento de Ingenieros nº 7 de Ceuta. Hay que indicar que en esa unidad hay más personal que está relacionado con las tareas de desminado pero algunos de ellos no pudieron realizarla porque estaban realizando maniobras y algunos no quisieron participar. Las preguntas de la entrevista realizada a los expertos son las siguientes:

- **Pregunta 1.** Valore del 1 al 5 su nivel de satisfacción con la preparación previa a la primera vez que llevó a cabo labores de desminado. Siendo 1 totalmente insatisfecho y 5 totalmente satisfecho.

- **Pregunta 2.** Valore del 1 al 5 su nivel de satisfacción con las medidas de seguridad adoptadas en la zona de desminado. Siendo 1 totalmente insatisfecho y 5 totalmente satisfecho.

- **Pregunta 3.** Valore del 1 al 5 su nivel de satisfacción con los EPI (Equipos de Protección Individual) (ver ANEXO A) que se usan durante labores de desminado humanitario. Siendo 1 totalmente insatisfecho y 5 totalmente satisfecho.

- **Pregunta 4.** Valore del 1 al 5 la eficacia del método de desminado manual actual. Siendo 1 muy baja y 5 muy alta. Indique el motivo de su respuesta.
- **Pregunta 5.** Valore del 1 al 5 la eficiencia del método de desminado manual actual. Siendo 1 muy baja y 5 muy alta. Indique el motivo de su respuesta.

En la Tabla 1 se muestran los valores numéricos de las respuestas de los expertos a las preguntas anteriores, junto con el promedio y la desviación estándar calculados a partir de esos valores.

Tabla 1. Resultados de las entrevistas.

		Respuestas a las preguntas				
		1	2	3	4	5
Expertos	1	5	4	1	5	3
	2	4	4	4	4	3
	3	5	4	1	4	2
	4	3	5	2	4	3
	5	4	3	2	4	2
	6	5	4	3	5	1
	7	5	3	1	5	2
	8	4	4	2	5	3
	9	4	5	1	5	2
	10	3	4	3	5	2
	11	4	3	3	4	1
	12	5	4	2	5	3
	13	3	3	1	5	2
	14	3	4	3	5	3
	15	5	4	2	4	3
	16	4	3	2	4	2
	17	4	5	1	5	2
Promedio		4,1	3,9	2,0	4,6	2,3
Desviación		0,8	0,7	0,9	0,5	1,7

A partir de las respuestas de los expertos a la entrevista personal se han podido extraer varias conclusiones en cuanto al desminado humanitario manual.

En cuanto a la preparación previa (pregunta1), el resultado refleja que los entrevistados se sentían muy preparados para realizar las misiones encomendadas. A este

respecto se debe hacer notar que antes de realizar misiones de desminado, los desminadores reciben un curso en el Centro Internacional de Desminado de la Academia de Ingenieros en Hoyo de Manzanares (Madrid). Por tanto, este curso es adecuado para la formación del personal en estas tareas.

Como se explicó anteriormente, uno de los problemas del desminado manual, y el más importante, es el riesgo que conlleva. Es por eso que se consultó sobre las medidas de seguridad adoptadas (pregunta 2). Las respuestas obtenidas a esta pregunta han sido bastante altas (ninguna por debajo de 3) por lo que se puede decir que el personal está bastante satisfecho con las medidas de seguridad. Por otro lado, no todos los entrevistados están totalmente satisfechos con la seguridad, esta discrepancia puede deberse a las diferentes situaciones que hayan vivido dependiendo del país en el que se encontraban desplegados. Es necesario hacer hincapié en que, aunque el personal esté conforme con las medidas de seguridad, la tarea de desminado manual tiene un riesgo bastante alto, por lo que su sustitución evitaría riesgos al personal.

La pregunta 3 trata de los equipos de protección individual usados en el desminado. Esta pregunta ha recibido una valoración bastante baja (promedio de 2,0), por lo que se puede ver que para los entrevistados el traje ligero de desminado (ANEXO H) resulta poco práctico, puesto que dificulta mucho la tarea y no es muy efectivo (ya que realmente el traje ligero de desminado ante una detonación de un artefacto con cierta carga explosiva no evita al 100 % que el desminador fallezca, lo cierto es que cuando realmente protege es ante una detonación provocada por un desminador cercano). De hecho, antes de la confección de la entrevista, la mayoría de los expertos a los que se consultó tenían una opinión similar. Por ello, se decidió incluir esta pregunta en la entrevista para tener una valoración cuantitativa a este respecto.

Las preguntas 4 y 5 hacen referencia a la eficacia y a la eficiencia del desminado manual. Aunque la opinión de los expertos es que es un método muy eficaz (valor promedio de 4,6), la valoración que recibe la eficiencia es bastante baja (valor promedio de 2,3), por tanto, se evidencia que los expertos en la materia no encuentran eficiente el método de desminado actual. Según los comentarios escritos por los expertos, es un método excesivamente lento, lo que hace que sea poco eficiente.

3 Técnicas de desminado alternativas

Existen otras técnicas alternativas a la técnica de desminado manual, que es la empleada actualmente por el Ejército de Tierra, como el desminado mecánico, llevado a cabo en su mayoría mediante el uso de vehículos blindados, o el desminado biológico mediante el uso de animales e incluso plantas.

3.1 Desminado mecánico

El desminado mecánico se basa en el empleo de un vehículo blindado (pudiendo ser civil) en cuya parte delantera porta un implemento para detonar o remover las minas. Las tres técnicas de desminado mecánico más importantes son:

- Cadenas: mediante el giro de un eje rotatorio, instalado en la parte frontal del vehículo, que tiene cadenas y martillos, de forma que los martillos van golpeando violentamente el terreno y se adentran en el suelo para destruir las minas que se encuentra a su paso (ver ANEXO I). Este es el método mecánico que mayor porcentaje de neutralización asegura, un 98 %.

Este método presenta algún que otro inconveniente, el principal de ellos es que el Ejército no posee actualmente ningún vehículo con estas características y a corto/medio plazo no se plantea adquirir ninguno puesto que la prioridad actual de la Dirección General de Adquisiciones de Armamento y Material (DGAM) pasa por la incorporación a las unidades de los vehículos 8x8. Además, otro de los inconvenientes es el desgaste que sufren los martillos y los vehículos en general tras las continuas detonaciones que se producen al encontrarse con algún artefacto.

- Arados: al igual que el vehículo de cadenas, este vehículo lleva en su parte delantera unos salientes de acero, encargados de ir levantando el suelo y detonar todas las minas y restos de explosivos de guerra que vayan encontrando (ver ANEXO J). El arado asegura un porcentaje de limpieza del 90 % de los artefactos que se encuentra a su paso.

Al igual que el vehículo anterior, este vehículo también presenta los mismos defectos. Aunque los zapadores de Infantería de Marina si poseen este material, no ocurre lo mismo con el Ejército. Además del desgaste que en este caso producen las minas anti-remoción² ya que este sistema no produce impactos sobre los artefactos evitando así la mayoría de las detonaciones, una desventaja que debemos añadir al sistema de arados es que a su paso va produciendo montones de residuos en los laterales del vehículo, en los

² Minas diseñadas para detonar al sufrir un desplazamiento de la posición donde se depositaron.

cuales se van acumulando tanto arena como minas removidas de su sitio. Esto va dificultando el desminado ya que el vehículo cada vez tiene que realizar mayor esfuerzo para desplazar el terreno.

- Rodillos: en este caso los rodillos, colocados también en la parte delantera de los vehículos, producen el mismo efecto que el de una pisada humana o un vehículo a su paso por una zona minada. Debido a que la mayoría de las minas son activadas mediante presión, el rodillo puede hacerlo y además absorber la explosión gracias a su diseño (ver ANEXO K). Este método asegura la detonación de entre un 90-95 % de los artefactos.

En este caso, este sistema posee defectos similares a las cadenas, puesto que detonaría todas las minas que encuentra a su paso, de forma que produce un gran desgaste en los rodillos, los cuales, al igual que los martillos, habría que ir sustituyendo, exponiendo al personal a merodear por las inmediaciones de las minas. Pero, a diferencia de los vehículos anteriores, este sistema lo tiene el Ejército en dotación pero no con los fines de desminado humanitario si no que lo emplean durante las limpiezas de rutas cuando existe la amenaza de artefactos improvisados o IED (Improvised Explosive Device) ya que está implementado sobre vehículos RG31 (Ilustración 4), los cuales están diseñados para ir por caminos y no campo a través.



Ilustración 4. RG-31 con los rodillos instalados.
Fuente: CAC. D. Eduardo A. Gálvez Martínez.

A parte de los distintos inconvenientes que presenta cada una de estas técnicas de forma individual, el principal problema de los procedimientos mecánicos viene a raíz de la legislación internacional sobre desminado. Una vez realizadas las tareas de desminado, la ONU hace una inspección con un detector de metales con el fin de asegurar que la zona está correctamente desminada. Según el experto en desminado de la ONU Patrick Blagden [21], para que una operación de desminado humanitario se considere exitosa debe tener una tasa de depuración de más del 99 %, si bien es cierto que la ONU puede llegar a exigir en algunas operaciones un 99,6 % [22] de negativos³ en la zona en función del uso que se le vaya a dar. Este porcentaje y las condiciones de desminado quedan reflejadas en los estándares internacionales de detección de minas (IMAS, de International Mine Detection Standards) específicos⁴ para cada operación; es por ello, que en países donde el porcentaje exigido sea menos restrictivo se podrían aplicar otros métodos con menor tasa de depuración.

Al utilizar un método mecánico los artefactos van siendo detonados, lanzando esquirlas y fragmentos metálicos en toda la zona, que son detectados al pasar el detector de metales (lo que se llama un positivo). Cada vez que se detecta un objeto metálico hay que buscarlo y extraerlo para asegurarse de que es un fragmento desprendido y no una mina. El gran número de fragmentos desprendidos en cada detonación hacen que la tarea de inspección posterior al desminado sea larga y tediosa.

Como se puede ver, a pesar de que el desminado mecánico es mucho más rápido que el manual, no exime de hacer una inspección con el detector de metales en la que se producen más positivos que el número de minas que pudiera haber inicialmente, por tanto seguimos teniendo un problema por la baja eficiencia del proceso de inspección. Es por eso que el desminado mecánico no puede sustituir al desminado manual, aunque se puede utilizar en algunas circunstancias, dependiendo de la amenaza, la velocidad que requiera la acción y el nivel de limpieza que se exija.

³La no presencia de objetos metálicos que detecte el detector de metales en toda la zona desminada. Para su comprobación, se eligen parcelas de aproximadamente 2 m² al azar y se comprueba si realmente se cumple la condición.

⁴ Estos estándares internacionales para la detección de minas pueden variar en función del país donde se realiza la operación, en función del uso que se le vaya a dar a la zona desminada, etc.

3.2 Desminado biológico

En el desminado biológico [23] la detección de las minas la llevan a cabo seres vivos. Dentro de este tipo de desminado lo más habitual es el uso de animales: se utilizan perros, ratas, abejas e incluso animales marinos como delfines.

- Perros: son los animales más empleados debido a su capacidad para desarrollar trabajos acompañados por humanos. Debido a su sensibilidad olfativa, los perros detectan sustancias explosivas contenidas en las minas antipersonal u otros artefactos. Estos animales tienden a ser muy efectivos en lugares con minas poco densas o zonas de alta contaminación, ya que discriminan los metales que no discriminaría, por ejemplo, un detector de metales. La raza preferida de perros para este tipo de trabajo es el pastor belga, que alcanzan un precio de mercado de hasta 3.000€ en los criaderos de Ámsterdam. Estos perros ya han realizado misiones en Líbano, Serbia, Croacia, Afganistán, Azerbaiyán, Angola, Turquía o Irak [24] (ver ANEXO L).

El inconveniente de los perros es que pueden hacer explotar los artefactos involuntariamente, cuando eso ocurre no solo se pierde la vida del animal sino casi tres años de entrenamiento y gastos.

Unos de los principales inconvenientes que se presentan a la utilización de estos animales son las organizaciones defensoras de los animales ya que defienden que los animales podrían morir a causa de una explosión. Otra de las desventajas es el tiempo necesario para adiestrar a un perro hasta el nivel de desarrollar estas misiones sin riesgo ya que este proceso puede durar como mínimo 18 meses [25]. Adicionalmente, hay que dejar evidencia de que los perros no se desplazan con total libertad, sino que van acompañados de su dueño, el cual, a pesar de ir a una distancia de seguridad, queda expuesto a las posibles esquivas fruto de una detonación.

- Ratas: recientemente, empresas como APOPO⁵ [26] se están enfocando en utilizar ratas (denominadas HeroRATS) en lugar de perros. La ventaja de las ratas frente a los perros es que son mucho más ligeras, por lo que, aunque se muevan, no producen detonaciones accidentales. Además, el coste de las ratas es mucho menor que el de los perros, según el cuidador Peter Mushi [27]: "entrenar a una rata cuesta no más de 4.000 euros, aproximadamente un tercio de lo que cuesta formar a un perro". Además, su rápida reproducción facilita la labor de adquisición (ver ANEXO M).

⁵ Organización más representativa en cuanto a lo que a ratas desminadoras se refiere.

A pesar de todas las ventajas que suponen estos animales, existe un problema a la hora de adiestrarlos y este es que padecen agorafobia [28], es decir, miedo a los espacios abiertos por lo que además de tener que adiestrarlos para detectar explosivos, parte del tiempo de adiestramiento va encaminado a reducirle ese miedo por lo que ralentiza el periodo de instrucción, aumentando los costes.

- Plantas y bacterias [29]: una compañía danesa de biotecnología está investigando sobre el desminado con una planta llamada berro, que cambia de color cuando sus raíces entran en contacto con el óxido nitroso (NO_2) desprendido de las minas enterradas. Además, una bacteria conocida como *bioreporter* ha sido genéticamente modificada para exhibir fluorescencia bajo luz ultravioleta en presencia de TNT. En las pruebas realizadas, que han incluido una pulverización de estas bacterias en un campo de minas simulado, se ha conseguido localizar las minas con éxito, por lo que puede ser una interesante alternativa para el futuro. Por último, en 2016 se estudió una modificación en las espinacas de forma que sus raíces absorbieran compuestos químicos de los explosivos y mediante luz ultravioleta fuesen detectables.

El principal defecto de esta técnica es que aún no se han realizado pruebas reales [30]. Además, dichas plantas y bacterias solo son capaces de señalar la zona donde hay minas pero no permiten localizar las minas para eliminarlas. Por tanto, no exime de utilizar otra técnica de desminado de las comentadas anteriormente. Este factor, unido a la reducida velocidad del proceso, hace que la aplicación de esta técnica no aparente ser viable en un futuro próximo.

3.3 Desminado mediante drones

Desde hace algunos años, la tecnología dron se ha ido haciendo hueco en nuestras vidas. Hoy en día, las aeronaves no tripuladas son utilizadas para la realización de gran cantidad de actividades. Es por ello que las empresas no han tardado mucho en diseñar drones con diferentes objetivos. Prueba de esto ha sido el diseño y desarrollo de un dron destinado a labores de desminado humanitario por parte de una empresa holandesa.

La empresa Mine Kafon está desarrollando la aeronave no tripulada Mine Kafon Drone (Ilustración 5), un hexacóptero de 4,5 kg de peso cuya utilidad es detectar y explosionar todos los artefactos explosivos de una zona de terreno. El objetivo principal para el que está siendo desarrollado este producto es acelerar el proceso de limpieza de artefactos en todo el mundo. A su vez, otro de los motivos es la reducción del coste que supondría desactivar minas, según asegura la empresa Mine Kafon [31], a pesar de su

elevado precio, que es de 120.000 euros. Más adelante se analizarán los costes para comprobar si sería rentable económicamente adquirir esta tecnología.

Una ventaja importante que ofrece este dron es que los desminadores necesarios se reducirían en gran medida puesto que la entidad necesaria para realizar un desminado pasaría de aproximadamente una sección de unas 30 personas a un pelotón de solo 10. Además, en ningún momento un desminador tendría que adentrarse en el campo de minas lo que reduce casi en su totalidad la probabilidad de accidentes por detonaciones de artefactos.

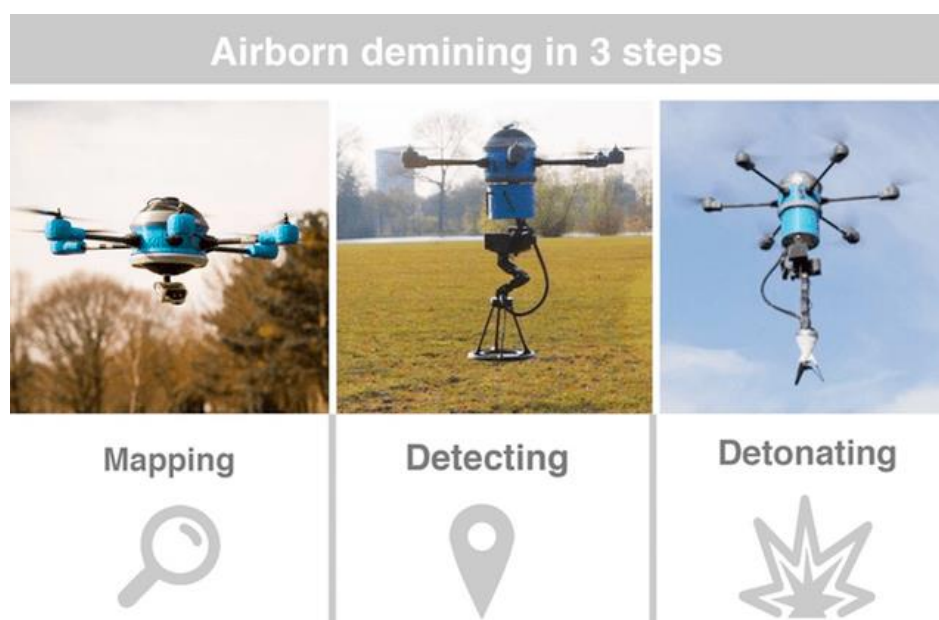


Ilustración 5. Mine Kafon Drone demostrando sus tres capacidades.

Fuente: [56].

El procedimiento de funcionamiento del Mine Kafon Drone se divide en tres pasos (ver ANEXO N):

- El primero consiste en un mapeo de la zona en la que se va a realizar el desminado. Para ello, la aeronave sobrevuela la zona con una especie de cámara. De esta forma se obtiene un mapa tridimensional de la superficie.
- El segundo de los pasos es el de detección. Para esta fase, se le acopla un nuevo dispositivo parecido a la raqueta del Vallon VMH3CS. En este proceso, el dron sobrevuela a 4 cm del suelo la zona previamente mapeada, detecta donde hay artefactos explosivos y, a su vez, va señalando las coordenadas de los puntos detectados en el mapa realizado en el primer paso.

- Por último, el tercer paso consiste en hacer detonar los artefactos. Para ello, la aeronave tiene un accesorio con forma de brazo que va depositando cargas con un pequeño retardo en las coordenadas anteriores. Estas cargas poseen un retardo que permite a la aeronave distanciarse para así no sufrir los efectos de la explosión.

Si se realiza la detonación nos encontraremos con el mismo problema que en el desminado mecánico que se ha explicado en el apartado 3.1. Sin embargo, con el dron esta acción es opcional, pudiendo detonar las minas o no.

Si se utilizase el Mine Kafon Drone únicamente para realizar sus dos primeras funciones (mapeo y localización) podría resultar muy útil aunque hubiera que extraer las minas manualmente. Por ello esta opción resulta mucho más ventajosa que el desminado mecánico. El único inconveniente del uso del dron sería que el dron involuntariamente tropezase con un cable de tracción e hiciese detonar una mina de tracción⁶.

Por último, indicar que la opción de detonado podría emplearse en situaciones donde el IMAS correspondiente no obligue a certificar un elevado porcentaje de limpieza, suponiendo un coste de adquisición y transporte menor que el de un vehículo blindado.

⁶ Mina que posee unos cables unidos a su espoleta y los cuales son extendidos por el terreno. Dichos cables al sufrir una tracción provocan la detonación de la mina.

4 Estudio de viabilidad del desminado mediante drones

Como se ha podido comprobar, tanto el desminado mecánico como el desminado biológico presentan deficiencias graves que hacen imposible que sustituyan al desminado manual. La única alternativa viable para sustituir al desminado manual es la tecnología dron. A continuación se van a presentar los estudios realizados para determinar la viabilidad de la implementación de esta tecnología en el Ejército de Tierra de España.

4.1 Análisis de costes

Dadas las circunstancias económicas que viven nuestras Fuerzas Armadas, se ha creído conveniente analizar cuánto costaría una supuesta misión realizada por cada uno de los métodos que se presentan con el objetivo de determinar qué tecnología es la más ventajosa económicamente.

Para ello, se ha decidido analizar los costes de una misión en Angola, debido a la cantidad de zonas minadas que quedan en ese país. Concretamente se evaluará los costes de realizar el desminado humanitario de una zona con una superficie de 1 km² dentro de la población de Malanje (ANEXO O), donde recientemente se han llevado a cabo labores de desminado (ANEXO P). En Angola, la guerra civil duró desde 1975 hasta 2002 y en ella participaron tanto países de Europa del Este como aliados de Estados Unidos apoyando a las partes beligerantes [32]. De ahí la diversidad de minas que se encuentran en sus territorios (ANEXO Q).

Los costes de ambas misiones se dividen en las siguientes partidas:

- Coste del material necesario para la operación.
- Transporte del personal y del material hasta la zona donde se debe hacer el desminado.
- Coste para el desplazamiento de vehículos en la zona de operaciones.
- Dietas del personal que realiza la misión.
- Gastos de evacuación sanitaria en caso de sufrir alguna baja.

Antes de realizar el análisis de costes se deben justificar algunos costes que se presentarán posteriormente.

4.1.1 Coste de personal

Con la intención de determinar el tiempo que se necesita para cumplir la misión de desminado por el método manual se debe determinar el tiempo que se necesita en realizar estas tareas. Para ello se ha hecho una prueba con el personal del Regimiento de Ingenieros n° 1 de Burgos (se debe indicar que todo el personal que participó estaba perfectamente instruido para estas labores). Se midió el tiempo que tarda una persona en limpiar un pasillo de 25 m de largo por 1,5 m de ancho. Esta prueba se ha hecho con los dos detectores disponibles en la unidad (Vallon VMR3G y Vallon VMH3CS) y los resultados obtenidos con ambos detectores se muestran en la Tabla 2.

En dicha tabla podemos apreciar en primer lugar el tiempo de puesta en servicio que consiste en el tiempo que transcurre desde que el desminador abre la bolsa de transporte del detector hasta que comienza a detectar, como el dron también tiene un tiempo de puesta en servicio, estos datos no han sido considerados en los cálculos. En segundo lugar encontramos el número de señalizaciones con conos que hace el desminador, situando un cono en cada positivo o indicio que encuentra a su paso y, en último lugar, tenemos el tiempo que emplea el desminador en realizar la limpieza de un pasillo de 25 m de largo por 1,5 m de ancho.

Tabla 2. Datos recogidos de las prácticas realizadas con Vallon VMR3G y VMH3CS.

	Tipo de detector	Media	Desviación típica
Tiempo de puesta en servicio (min)	VMH3CS	3,51	3,72
	VMR3G	11,8	12,9
	VMR3G	3,07	2,32
Nº de señalizaciones con conos	VMH3CS	7,00	3,45
	VMR3G	6,07	3,47
Tiempo de reconocimiento (min)	VMH3CS	13,5	11,4
	VMR3G	14,0	11,5

En primer lugar, a la vista de los tiempos requeridos para los dos detectores utilizados, se van a utilizar los datos obtenidos con el detector Vallon VMH3CS.

En la misión se debe desminar una superficie de 1 km², que se divide en 26.667 pasillos de 25 x 1,5 metros. Atendiendo a los datos de la tabla anterior, si reconocer un pasillo cuesta 13,5 minutos, se necesitan 6.000 horas de trabajo. Para asegurar que los detectores operen sin riesgo de interferencias se decide que los desminadores trabajen a

una distancia de 70 m, de forma que en la superficie se encuentren trabajando 15 desminadores simultáneamente. Además se establecen dos turnos de 8 horas de trabajo al día, por lo que cada día trabajan 30 personas. Por tanto, para el desminado manual se necesita trasladar a una sección, compuesta por 30 soldados (desminadores), 3 suboficiales y 1 oficial.

El tiempo total de trabajo de los 30 desminadores durante 8 horas al día es de 240 horas al día. De esta forma el tiempo que se tardaría en limpiar la zona es de 25 días. Por ello, añadiendo los días de traslado y asentamiento se ha decidido considerar un tiempo de duración de la misión de 30 días.

Por otro lado, la empresa que comercializa el dron asegura que con su método se lograría desminar 20 veces más rápido que con el método manual. Considerando el tiempo de una operación manual como lo que tardan esos 15 desminadores trabajando a la vez, esto quiere decir que se necesitan 20 horas de trabajo del dron. Para determinar el tiempo que duraría la misión se debe tener en cuenta su autonomía. Las baterías de hidrógeno que alimentan el dron le confieren una autonomía de 3 horas, pero para poder recargarlas se necesitaría una hidrogenera. Para evitar el problema de la recarga se ha decidido adquirir las 7 baterías necesarias para cumplir la misión y una más de seguridad. Si el dron trabajara durante 10 horas al día, se tardarían 2 días en realizar el desminado, pero teniendo en cuenta que no se debe forzar el material a su rendimiento máximo, que se pierde algo de tiempo en cambiar las baterías, que las inclemencias del tiempo pueden afectar en cierta medida a la misión, el tiempo de traslado y el tiempo para el asentamiento se ha considerado una misión de 7 días.

Para el desminado mediante el dron se ha considerado que la entidad óptima que se necesita es un Pelotón, compuesto por 10 soldados, 1 suboficial y 1 oficial, de esta forma se podrán establecer relevos en el pilotaje del dron, vigilancia y descanso.

4.1.2 Costes en caso de accidentes

Para determinar los costes de la evacuación sanitaria, se ha realizado un análisis para estimar la probabilidad de que un desminador resulte damnificado durante la labor de desminado. Para ello, mediante el registro que proporciona Landmine Monitor [33], se ha realizado un estudio de los históricos de damnificados en función de la superficie que se desminó para así determinar la probabilidad de que un desminador sea baja en la superficie a desminar en esta misión (Tabla 3).

Tabla 3. Datos recogidos de los históricos de misiones de desminado en Angola.

	Desminadores damnificados	km ² limpios
2009	1	8,02
2010	6	33,3
2011	Sin datos	Sin datos
2012	2	0,0495
2013	2	3,70
2014	1	2,60
2015	0	2,20
2016	5	4,10
2017	1	1,20
Promedio	2,30	6,90
Desviación	2,12	10,9

Con los datos de la tabla 3 se deduce que por cada 6,9 km² desminados sufren daños un promedio de 2,3 desminadores, por tanto la probabilidad de que un desminador sufra un accidente en el desminado de 1 km² sería de 0,32.

4.1.3 Determinación de los costes

- Desplazamiento del personal: tal y como viene sucediendo en las misiones que actualmente España está llevando a cabo, el traslado del personal hasta el país donde se va a realizar la operación se realiza mediante una aerolínea civil. En este caso, la oferta más económica era de 90 €/persona para un viaje de ida y vuelta.

Desminado manual: 90 € x 34 personas = 3060 €

Desminado con dron: 90 € x 12 personas = 1080 €

- Adquisición del material: en el caso del desminado manual, el material ya está disponible en las unidades del Ejército, en cambio el dron habría que adquirirlo a un coste de 120.000 € cada unidad. Se decide adquirir 2 unidades (para mantener una en reserva) acompañadas de las 8 baterías necesarias para el desarrollo de la misión a un coste de 30.000 € cada una⁷.

Desminado manual: 0 €

Desminado con dron: (2 x 120.000 €) + (8 x 30.000 €) = 480.000 €

⁷ Tras ponernos en contacto con la empresa Mine Kafon, estos nos han confirmado dichos datos.

- Transporte del material: como para este tipo de operaciones no hay criterio de urgencia, el material será transportado en barco. Para ambos despliegues el material necesario para el desminado ocupa 1 TEU⁸ (ANEXO R). Además hay que tener en cuenta que hay que transportar los vehículos: una sección necesita un total de 8 vehículos que ocupan 7 TEU mientras que un pelotón necesita 4 vehículos, los cuales ocupan 4 TEU. Cada una de estas TEU tienen un coste de 1.123 € por viaje, recibiendo un descuento por parte de la naviera en función del número [34]. Se tiene en cuenta el viaje de ida y el de vuelta.

Desminado manual: $2 \times 8.829,2 \text{ €} = 17.658,4 \text{ €}$

Desminado con dron: $2 \times 5.522 \text{ €} = 11.044 \text{ €}$

- Dietas: las dietas están compuestas por el coste de manutención y el de alojamiento en la base por día y varían en función de la escala. La dieta para un oficial es de 194,73 €/día, para un suboficial 184,67 €/día y 174,89 €/día en el caso de la tropa [35].

Desminado manual: $30 \text{ días} \times 1 \text{ oficial} \times 194,73 \text{ €/día} = 5.841,9 \text{ €}$

$30 \text{ días} \times 3 \text{ suboficiales} \times 184,67 \text{ €/día} = 16.620 \text{ €}$

$30 \text{ días} \times 30 \text{ soldados} \times 174,89 \text{ €/día} = 157.401 \text{ €}$

TOTAL = 179.862,9 €

Desminado con dron: $7 \text{ días} \times 1 \text{ oficial} \times 194,73 \text{ €/día} = 1.363,1 \text{ €}$

$7 \text{ días} \times 1 \text{ suboficial} \times 184,67 \text{ €/día} = 1.292,69 \text{ €}$

$7 \text{ días} \times 10 \text{ soldados} \times 174,89 \text{ €/día} = 12.242,3 \text{ €}$

TOTAL = 14.898,09 €

- Evacuación sanitaria: el coste de una evacuación sanitaria con avión medicalizado puede ascender desde 50.000 € hasta 100.000 € por éste motivo se ha decidido calcular los costes con el más desfavorable, es decir, 100.000 €. Éste coste sólo será aplicable al método manual ya que en el método con dron los soldados no se adentran en la zona minada. Además, a este coste habrá que aplicarle la probabilidad de que suceda un accidente [36].

Desminado manual: $100.000 \text{ €} \times 0,32 = 32.000 \text{ €}$

Desminado con dron: 0 €

⁸ Twenty-foot Equivalent Unit (equivalente a un contenedor de 20 pies de medida).

- Coste de desplazamientos de vehículos: el coste del diésel en Angola es de 0,39 €/L [37], para la misión se ha decidido emplear vehículos URO VAMTAC los cuales tienen un consumo de 17 L/100km [38]. La distancia desde el puesto de Luanda donde se recoge el material y vehículos hasta Malanje es de 381 km, es decir, los vehículos han de recorrer 762 km a los cuales se les ha añadido un porcentaje de seguridad (800km). Esto hace que el coste en diésel por vehículo sea de 53,04 €.

Desminado manual: $8 \times 53,04 \text{ €} = 424,32 \text{ €}$

Desminado con dron: $4 \times 53,04 \text{ €} = 212,16 \text{ €}$

Todos estos datos se recogen en la Tabla 4, se puede observar que, aunque la inversión inicial para el dron es alta, en la segunda misión ya supone un ahorro respecto al método de desminado manual.

Tabla 4. Costes totales y acumulados de las misiones con ambos métodos de desminado.

Variables	1ª misión		2ª misión		3ª misión	
	Desminado manual	Desminado con dron	Desminado manual	Desminado con dron	Desminado manual	Desminado con dron
Viaje	3060	1080	3060	1080	3060	1080
Material	0	330000	0	0	0	0
Transporte del material	17658,4	11044	17658,4	11044	17658,4	11044
Dietas	179863,2	14.898,09	179863,2	14.898,09	179863,2	14.898,09
Evacuación sanitaria	32000	0	32000	0	32000	0
Movilidad de vehículos	424,32	212,16	424,32	212,16	424,32	212,16
Coste total	233005,92	357234,25	233005,92	27234,25	233005,92	27234,25
Coste acumulado	233005,92	357234,25	466011,84	384468,5	699017,76	411702,75

Una vez calculados los datos económicos, se ha procedido a representarlos gráficamente para facilitar su visualización. En la Ilustración 7 se puede apreciar el coste en euros de cada una de las misiones según el método que utilizemos. Por otro lado, en la Ilustración 8 se han representado gráficamente los costes acumulados a lo largo de las misiones. En la misma se puede apreciar que a medida que aumentan las misiones, la utilización de la metodología dron es cada vez más ventajosa económicamente en comparación con el método manual.

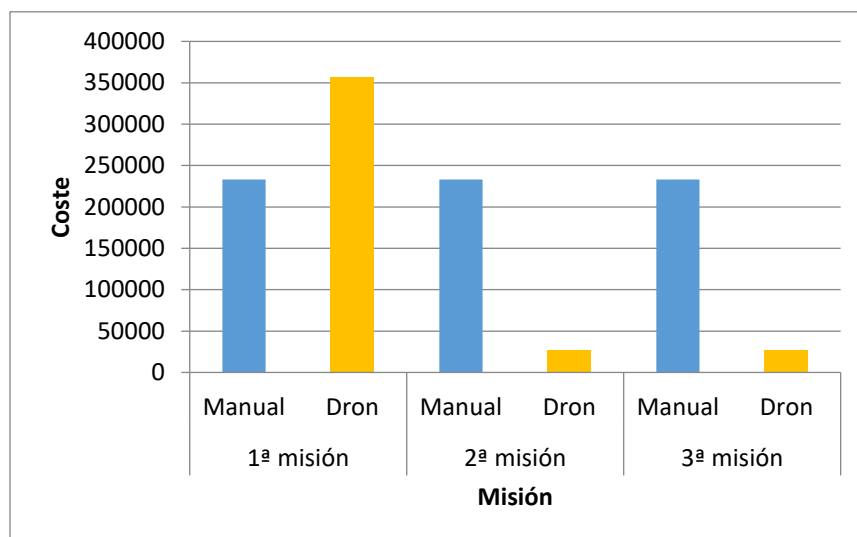


Ilustración 6. Gráfico de coste total según misión y método de desminado.

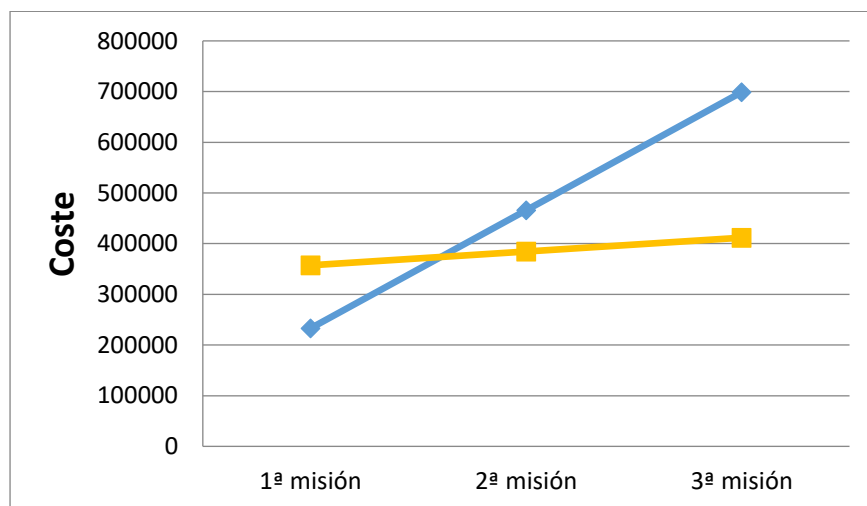


Ilustración 7. Coste acumulado a lo largo de las misiones según el método de desminado.

En vista a los datos recabados del análisis de costes, se puede concluir que, siempre que las limitaciones legales lo permitan, sería viable económicamente la utilización de la tecnología dron para labores de desminado humanitario. A partir de su segundo despliegue ya se notaría un ahorro en el coste de la misión, esto se debe a que, a pesar del coste de adquisición del material, el coste de desplegar a un Pelotón en una misión en el extranjero es menor que el de desplegar a una Sección.

4.2 Análisis de riesgos

Dada la importancia que supone la inclusión de un nuevo material de elevado coste a la dotación del Ejército de Tierra, se ha creído oportuno realizar un análisis de riesgos en el que se estudia la adquisición y utilización del dron.

Para la elaboración del análisis de riesgos (ver Ilustración 9), se realizó un *brainstorming* con licenciados en el curso de desactivación de explosivos (EOD, explosive ordnance disposal) que se encuentran destinados en el Centro Internacional de Desminado en la Academia de Ingenieros, algunos de estos profesionales fueron los capitanes Albadalejo, Roa y Fontecha.

Título Proyecto:		Adquisición Mine Kafon Drone		Equipo:							
Jefe de proyecto:		Eduardo Antonio Gálvez Martínez						Fecha comienzo:		22/02/2019	
Evaluación de riesgos											
ID	Descripción riesgo	Categoría riesgo	Causa del riesgo	Impacto (bajo, medio, alto)	Probabilidad (1,2,3)	Clase riesgo	Efectos riesgo	Medida	Clase riesgo tras implementar medida	Responsable	
1	Precio	Compra	Impuestos o comisiones	H	1	1H	Coste del proyecto superado	Realizar contratos previos y PPT	1L	DGAM	
2	Precio respuestos de componentes principales	Compra	Estrategias de la empresa proveedora	M	2	2M	Coste del proyecto superado	Realizar contratos previos y PPT	1L	DGAM	
3	Retrasos en la adquisición	Contractual	La empresa no cumple con los plazos	H	3	3H	Aborto de la operación	Realizar contratos previos y PPT	2H	DGAM	
4	Mal funcionamiento	Calidad	Fallo en el funcionamiento del Mine Kafon Drone	H	2	2H	Aborto de la operación	Contratar garantía	2M	DGAM	
5	Falta de recursos	Recursos	No existencia de hidrogenas en la zona a desminar	H	3	3H	Aborto de la operación	Comprar más baterías	1H	DGAM	
6	Falta de expertos	Recursos	Falta de personal con capacidad de pilotaje de drones	L	3	3L	Aborto de la operación	Impartir curso de pilotaje d dron	1M	FUTER	
7	Accidentes durante el manejo	Técnico	Diversas causas	H	2	2H	Aborto de la operación	Extremar las precauciones	1H	Unidad	
8	Condiciones meteorológicas	Planificación temporal	Tiempo adverso durante la operación	M	1	1M	Ralentización de plazos	Desplegar en fechas favorables historicamente	1L	FUTER	
9	Pérdida del control	Técnico	Enemigo roba el control del dron	H	2	2H	Pérdida del dron	Proteger la zona donde se va a trabajar	1M	Unidad	
10	Daños en propiedades cercanas	Técnico	Pérdida del control del dron	L	3	3L	Rotura del dron	Extremar las precauciones	2L	Unidad	
11	Imposibilidad de despegue	Legislación / regulaciones	Necesidad de permiso para el uso del espacio aereo	H	2	2H	Ralentización de plazos	Asegurar los permisos antes del despliegue	1H	FUTER	
12	Accidente con aves		Deterioro del dron por impacto con aves	H	3	3H	Rotura del dron	Contratar a un cetrero local	2H	Unidad	
13	Falsos positivos	Técnico	Dron no distigue minas de otro material y desperdicia explosivo	L	1	1L	Ralentización de plazos		1L		
14	Imprecisión de GPS	Técnico	Colocación erronea de las cargas tras el inicial rastreo	L	2	2L	Ralentización de plazos		2L		
15	Minas de tracción	Proceso	Detonación de una mina de tracción al chocar con un cable de tracción durante el rastreo	H	3	3H	Rotura del dron	Aumentar la distancia del rastreo	3H	Unidad	
16	Detonación de minas	Técnico	Detonación de minas por firma electromagnética	H	2	2H	Rotura del dron	Implementar accesorio que no emita firma electromagnética	1H	Unidad	
17	Software	Técnico	Necesidad de actualizaciones	L	2	2L	Ralentización de plazos	Actualizar software antes del despliegue	1L	Unidad	
18	Vegetación	Proceso	Imposibilidad de vuelo debido a la vegetación	H	3	3H	Aborto de la operación		3H		

Ilustración 8. Desglose de los riesgos, clases y medidas tomadas.

Fuente: Elaboración propia.

Todos los riesgos identificados en el análisis de riesgo se han clasificado en función del nivel de riesgo. En la Ilustración 10 se presenta el número de riesgos de cada nivel que se han identificado.

Probabilidad	Alta	0	0	2	Clase riesgo	Número
	Media	2	1	2		
	Baja	5	2	4	Alto - medio (naranja)	2
		Bajo	Medio	Alto	Medio (amarillo)	9
		Impacto			Bajo (verde)	5
					Total:	18

Ilustración 9. Matriz de riesgos y estadística.

Mediante este análisis se han extraído los principales factores de riesgo de la implementación de la tecnología dron. Una vez identificados podemos proponer medidas para tratar de proponer medidas para eliminarlos o contrarrestarlos.

Se ha identificado un total de 18 riesgos. Los riesgos de clase “Bajo” y “Medio” son asumibles y no se propone ninguna medida respecto a ellos. Para los riesgos de clase “Alto – medio” se proponen las siguientes medidas:

- Retrasos en la adquisición: dado que un retraso en la adquisición podría suponer el aborto de la misión, para eliminar este riesgo, la DGAM debería adquirir el material con amplios plazos de tiempo con respecto a la misión, a su vez, a través de contratos se podría conseguir una indemnización por parte de la empresa proveedora en caso de que incumpliera los plazos.

- Accidentes con aves: este riesgo se presenta como difícil de eliminar, por ello se ha planteado transferir el riesgo y recurrir a una empresa externa de cetrería que lleve a cabo una limpieza del espacio aéreo mediante aves rapaces antes de iniciar la operación de desminado.

Por último, se han identificado 2 riesgos de clase “Alto”, estos son la vegetación y la existencia de minas de tracción. Ambos problemas se intentarían solucionar de la siguiente forma:

- Vegetación: la vegetación en Angola se presenta en forma de sabana, pradera y bosques xerófilo [39]. Esto puede suponer un serio obstáculo para el empleo del dron, por ello, como posible solución se ha planteado la quema controlada de la superficie a desminar. Pero mediante esta acción las minas que estén en superficie se pueden ver afectadas incluso llegando a detonar.

-Minas de tracción: la existencia en Angola de minas de tracción como las DM31 o M16A2, hace que el dron pueda incidir sobre los cables de tracción durante la labor de rastreo con el detector de metales y, por ende, activar la mina, lo que podría provocar la destrucción o inutilización de la aeronave. La solución a este problema únicamente la encontramos en que, a través de la inteligencia obtenida, sepamos con certeza que en la zona que se va a desminar no existen minas de tracción.

A la vista de estos resultados, el método de desminado mediante drones sería totalmente seguro para zonas desérticas, donde no existen los riesgos más altos. Para otras zonas sería necesario hacer un detallado estudio de la zona que se va a desminar para conocer la vegetación y el tipo de minas que hay en la zona.

5 Conclusiones

Se ha realizado una prospección de los distintos métodos para llevar a cabo el desminado humanitario. De todos estos métodos, el método manual es el que se utiliza en el Ejército de Tierra, es por esto que se ha realizado un análisis de este método de desminado humanitario con el fin de sustituirlo.

De la entrevista personal a varios expertos, realizada para analizar el método manual, se puede concluir que los expertos no están muy satisfechos con su utilización. Destaca principalmente su falta de seguridad, a pesar de que las medidas adoptadas sean adecuadas y la falta de comodidad del equipo ligero de protección, que además no es totalmente efectivo. Aunque hay consenso entre los expertos en cuanto a que es un método muy eficaz, estos destacan su baja eficacia, debido a que requiere un tiempo excesivo.

A la vista de estos resultados se ha propuesto la incorporación de aeronaves no tripuladas para sustituir al método de desminado manual. El método de desminado por drones podría utilizarse en operaciones donde no haya que asegurar el 99,6 % de no positivos en la superficie o, en operaciones con mayor exigencia de tasa de negativos, podría usarse únicamente para localizar las minas.

Se ha hecho un estudio de la viabilidad de la utilización de los drones en el desminado mediante un análisis de costes y un análisis de riesgos. De los resultados del análisis de costes se concluye que, la tecnología dron (en concreto utilizando el Mine Kafon Drone) supondría un ahorro del coste a partir de la segunda misión que realice la unidad.

En cuanto al análisis de riesgos, la mayoría de los riesgos son de clase “Bajo” o “Medio-bajo”, sin embargo hay algunos riesgos difíciles de eliminar, estos riesgos son la vegetación de la zona a limpiar y las posibles minas de tracción que se pueda encontrar a su paso. Teniendo en cuenta eso, este método sería totalmente seguro para zonas desérticas, donde no existen estos riesgos. Por último, se concluye que para llevar a cabo una operación de desminado humanitario mediante la tecnología dron sería necesario hacer un detallado estudio de la zona que se va a desminar para conocer el tipo de minas que se encuentran en dicha zona y si el tipo de vegetación pondría impedimento al normal desarrollo de las acciones de la aeronave.

Finalmente hay que decir que si la empresa Mine Kafon cumple con las expectativas generadas y su producto, el Mine Kafon Drone, funciona como se tiene previsto, los ejércitos y las organizaciones que realizan labores de desminado deberían contemplar su incorporación para emplearlo en algunas operaciones ya que supondría una reducción en

los riesgos para los desminadores y del coste de estas operaciones. Además, si esta tecnología se afianzase daría pie a mejoras en los equipos debido a la competencia entre las empresas del sector, lo que redundará en beneficios para la tarea de desminado humanitario, tan necesaria en la actualidad.

6 Bibliografía

- "Mina antipersona," 2018. [Online]. Available:
[1] https://es.wikipedia.org/wiki/Mina_antipersona. (Consultado el 17/08/2018)
- "Descontamina Colombia," 2018. [Online]. Available:
[2] <http://www.accioncontraminas.gov.co/prensa/2018/Paginas/180112-2017-es-ano-con-menos-victimas-por-minas-en-Colombia-desde-1991.aspx>. (Consultado el 17/08/2018)
- "Convención sobre la prohibición de minas antipersonales," 1997. [Online].
[3] Available:
https://es.wikipedia.org/wiki/Convenci%C3%B3n_sobre_la_prohibici%C3%B3n_de_minas_antipersonales. (Consultado el 17/08/2018)
- "CIDHG," [Online]. Available: <https://www.gichd.org/>. (Consultado el
[4] 17/08/2018)
- Tratado de Ottawa, 1997.*
[5]
- "BOE," in *Boletín Oficial del Estado*, 2002, p. 11479.
[6]
2002. [Online]. Available:
[7] http://www.belt.es/noticias/2002/02_abril/01_05/03_desminado.htm. (Consultado el 24/08/2018)
- D. P. L. A. INTEGRAL, "ASIGNACIÓN DE TAREAS PARA EL DESMINADO HUMANITARIO," 2016, p. 15.
[8]
- C. I. d. D. Humanitario, 2004.
[9]
- D. c. minas, "Estándares Nacionales de Desminado Humanitario," 2016, p. 11.
[10]
- ¡Despertad! 2000, 2000. [Online]. Available: <https://wol.jw.org/es/wol/d/r4/lp-s/102000322>. (Consultado el 05/10/2018)
[11]

- [12] C. I. D. H. Ginebra, "CIDHG," 2018. [Online]. Available: <https://www.gichd.org/topics/land-release/detection-and-clearance/#.W9HxhWgzbIW>. (Consultado el 18/10/2018)
- "Instituto Nacional de Ciberseguridad," 16 01 2017. [Online]. Available: <https://www.incibe.es/protege-tu-empresa/blog/analisis-riesgos-pasos-sencillo>. [Consultado el 02 03 2019].
- Centro Internacional de Desminado Humanitario, "Guía de actividades relativas a las minas".
- Centro Internacional de Desminado Humanitario, 2018. [Online]. Available: <https://www.gichd.org/topics/land-release/detection-and-clearance/#.W9IQaGgzbIV>. (Consultado el 10/10/2018)
- F. J. C. Amores, "Desminado Humanitario," 2011.
- [16]
- Dirección contra minas, *Estándares Nacionales de Desminado Humanitario*, 2016.
- [17]
- "Wikipedia," 28 10 2018. [Online]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Mina_terrestre. [Consultado el 22 02 2019].
- [18]
- Mando de Adiestramiento y Doctrina, *Manual de Procedimientos MP-401 Contraminado*, 2018.
- [19]
- "Watchtower," 8 5 2000. [Online]. Available: <https://wol.jw.org/es/wol/d/r4/lp-s/102000322#h=12>. [Consultado el 22 02 2019].
- [20]
- Universidad Militar Nueva Granada, "Resolución de conflictos: cuatro referentes sobre desminado," Bogotá, Pictograma Creativos S.A.S., 2015.
- [21]
- A. Yarovoy, "LANDMINE AND UNEXPLODED ORDNANCE DETECTION AND CLASSIFICATION WITH GROUND PENETRATING RADAR," 2014.
- [22]
- C. I. d. D. H. d. Ginebra, 2018. [Online]. Available:

[23] <https://www.gichd.org/topics/land-release/detection-and-clearance/#.W9HvY2gzblV>.

Nedim Hasic, "Perros artificieros ayudan a limpiar de minas Bosnia-

[24] Herzegovina," RTVE, 2018. [Online]. Available:

<http://www.rtve.es/noticias/20180312/perros-artificieros-ayudan-limpiar-minas-bosnia-herzegovina/1694340.shtml>. [Consultado el 02 01 2019].

P. D. C. Holland. [Online]. Available:

[25] <http://www.policedogscentre.com/es/entrenamiento-de-perros-detectores-de-minas>. [Consultado el 02 01 2019].

Detection Rats Tecnology APOPO, "Detecting Landmines," 2018. [Online].

[26] Available: <https://www.apopo.org/en/what-we-do/detecting-landmines-and-explosives>.

David Rengel; Álvaro Laiz, "Estas ratas gigantes detectan minas antipersona en

[27] Mozambique," eldiario.es, 2015. [Online]. Available:

https://www.eldiario.es/desalambre/Ratas-gigantes-nuevas-detectar-Tanzania_0_404209891.html.

"La Vanguardia," [Online]. Available:

[28] <https://www.lavanguardia.com/internacional/20111128/54239441886/policia-colombia-usara-roedores-detectar-minas.html>. [Consultado el 02 01 2019].

"Wikipedia," 04 03 2019. [Online]. Available:

[29] <https://es.wikipedia.org/wiki/Desminado#Plantas>. [Consultado el 11 03 2019].

"Ciencia y tecnología," 20 03 2018. [Online]. Available:

[30] https://www.lainformacion.com/tecnologia/la-deteccion-de-minas-antipersona-con-bacterias-estancada-por-la-falta-de-fondos_EV54bNOwrR6EtFdUs3bG6/. [Consultado el 01 03 2019].

Nacho Palou, "El dron que limpia campos de minas con rapidez y seguridad,"

[31] 2016. [Online]. Available:

https://elpais.com/tecnologia/2016/08/02/actualidad/1470155328_088974.html.

"Wikipedia," 13 02 2019. [Online]. Available:

[32] https://es.wikipedia.org/wiki/Guerra_civil_angoleña. [Consultado el 01 03 2019].

"Landmine & cluster munition monitor," [Online]. Available: <http://www.the->

[33] monitor.org/en-gb/home.aspx. [Consultado el 16 02 2019].

"<https://www.icontainers.com/es/cotizaciones/FCL/ESALG/PORT/ES/AOLAD/P>
[34] [ORT/AO/?dv20=0&dv40=4&hc40=0](https://www.icontainers.com/es/cotizaciones/FCL/ESALG/PORT/ES/AOLAD/PORT/AO/?dv20=0&dv40=4&hc40=0)," [Online]. Available:
[https://www.icontainers.com/es/cotizaciones/FCL/ESALG/PORT/ES/AOLAD/PORT/AO](https://www.icontainers.com/es/cotizaciones/FCL/ESALG/PORT/ES/AOLAD/PORT/AO/?dv20=0&dv40=4&hc40=0)
[/?dv20=0&dv40=4&hc40=0](https://www.icontainers.com/es/cotizaciones/FCL/ESALG/PORT/ES/AOLAD/PORT/AO/?dv20=0&dv40=4&hc40=0). [Consultado el 01 03 2019].

"BOE," 30 05 2002. [Online]. Available:
[35] <https://www.boe.es/buscar/pdf/2002/BOE-A-2002-10337-consolidado.pdf>.
[Consultado el 01 03 2019].

"Ministerio de asuntos exteriores, UE y cooperación," [Online]. Available:
[36] [http://www.exteriores.gob.es/Portal/es/ServiciosAlCiudadano/SiViajasAlExtranjero/P](http://www.exteriores.gob.es/Portal/es/ServiciosAlCiudadano/SiViajasAlExtranjero/Paginas/QueDeboHacerAntesDeViajarAlExtranjero.aspx)
[aginas/QueDeboHacerAntesDeViajarAlExtranjero.aspx](http://www.exteriores.gob.es/Portal/es/ServiciosAlCiudadano/SiViajasAlExtranjero/Paginas/QueDeboHacerAntesDeViajarAlExtranjero.aspx). [Consultado el 01 03 2019].

"Global Petrol Prices," [Online]. Available:
[37] https://es.globalpetrolprices.com/Angola/diesel_prices/. [Consultado el 01 03 2019].

"Wikipedia," 03 02 2019. [Online]. Available:
[38] https://es.wikipedia.org/wiki/URO_VAMTAC. [Consultado el 01 03 2019].

"Fotografías viajes fotos consejos," 15 06 2018. [Online]. Available:
[39] http://www.voyagesphotosmanu.com/fauna_flora_angola.html. [Consultado el 11 03
2019].

7 Anexos

ANEXO A: DAFO.

Un análisis mediante el método DAFO⁹ aporta información de carácter estratégico a la persona u organismo que lo realiza, por lo que se utiliza para la toma de una decisión futura. De este modo, se podría llegar a tomar una decisión en función del resultado obtenido pudiendo asumir un riesgo.

En nuestro caso, este método ha sido empleado para analizar la posible futura adquisición para los ejércitos del Mine Kafon Drone.

Con esta herramienta se han analizado tanto los puntos débiles como los fuertes según las amenazas y las oportunidades que se le presentan. En la Tabla 5 se presentan las definiciones de los cuatro parámetros evaluados en esta metodología [40].

Tabla 5. Definición de los parámetros DAFO.

Interno al producto	<p>Debilidades: situaciones o problemas existentes que constituyen un obstáculo para el progreso y el desarrollo del producto.</p> <p>Fortalezas: situaciones o elementos positivos existentes que pueden considerarse como relevantes para asentar el proceso de transformación del producto.</p>
Externo al producto	<p>Amenazas: situaciones o circunstancias (factores políticos, económicos, sociales, tecnológicos...) externas que se dan / previsiblemente se darán en el futuro y que pueden constituir un riesgo o incidir negativamente en el progreso del producto.</p> <p>Oportunidades: situaciones o circunstancias externas (factores políticos, económicos, sociales, tecnológicos...) que se dan / previsiblemente se producirán en el futuro y que pueden ser aprovechadas favorablemente por el producto, constituyéndose en ventajas comparativas.</p>

Para realizar el estudio de los factores a incluir en el método DAFO, se ha llevado a cabo una reunión con el personal experto disponible en el Regimiento de Ingenieros nº 7 en la cual se ha utilizado una metodología de *brainstorming*, a través del cual se ha completado la Tabla 6 y la Tabla 7.

⁹Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades

Tabla 6. DAFO de detectores de metales junto a sonda.

Detector de metales + sonda	
Debilidades	Amenazas
D1-Lentitud del proceso D2-Mucho personal y sobre la zona minada D3-Complicación por el uso del traje de desminado ligero y el equipo a portar D4-Sensible a la climatología extrema	A1-Nuevas tecnologías A2-Terreno no apto por composición o dureza A3-Artefactos de difícil localización A4-Difícil cobertura de los seguros en caso de accidentes
Fortalezas	Oportunidades
F1-Personal con instrucción F2-Método muy fiable F3-Realizable en varios terrenos F4-Material más económico	O1-Legislación menos intrusiva O2-Muchas empresas trabajando en el sector O3-Experiencia de los proveedores O4-Tecnología en continua evolución

De todas las ideas recogidas en la reunión para el *brainstorming*, se han extraído cuatro de cada uno de los apartados de cara a realizar la matriz de confrontación. Todos ellos se han elegido siguiendo los siguientes razonamientos:

D1: se tarda hasta 4 días para una superficie similar a una pista de tenis.

D2: el trabajo se realiza por pasillos de 1,5m por persona por lo que se necesitan varias para conseguir más velocidad de trabajo.

D3: gran limitación de movimientos, equipo pesado que puede provocar una pérdida más rápida de concentración y aumentar el cansancio prematuramente.

D4: debido al traje portado, en climas calurosos pueden sufrir insolaciones y golpes de calor.

A1: prueba de ellos es el Mine Kafon Drone que busca sustituir a este método.

A2: dependiendo de la composición del suelo en cuanto a minerales o dureza, hay situaciones en las que es más complicado de emplear este método.

A3: ya sea debido a su profundidad o a su bajo contenido en metal.

A4: los seguros buscan en estos casos cualquier negligencia para no hacerse cargo de los daños sufridos.

F1: al ser un método que lleva en uso muchos años, el personal sabe desarrollarlo sin problemas.

F2: debido a que el detector es muy sensible y con la sonda se comprueba prácticamente centímetro a centímetro del terreno.

F3: tanto en vegetación baja, arena, hierba, etc.

F4: el detector más caro de los usados por nuestro ejército cuesta 31.018,35€y la sonda 76€¹⁰.

O1: no tienen que prestar atención al uso del espacio aéreo como en el uso de drones.

O2: ya que es un método antiguo, hay muchas empresas que se dedican a ello.

O3: del mismo modo que O2.

O4: como las minas cada vez reducen más su contenido en metal, los detectores tienen que estar en evolución constante.

En la Tabla 7 se presenta el análisis DAFO para el uso del Mine Kafon Drone.

¹⁰Datos obtenidos de Sistema de Gestión Logística del Ejército (SIGLE). No se puede anexar los documentos debido a su difusión limitada.

Tabla 7. DAFO de Mine Kafon Drone.

Mine Kafon Drone	
Debilidades	Amenazas
D1-Tecnología costosa D2-Autonomía de las baterías D3-Necesidad de hidrogenera para recargar las baterías D4-Contaminación de la zona minada	A1-Falta de instrucción del personal A2-Zona apta y despejada para el vuelo A3-Nuevas innovaciones A4-Guerra electrónica
Fortalezas	Oportunidades
F1-No hay contacto con la superficie minada F2-Considerablemente más rápido que otros métodos F3-Necesita menos personal F4-Puede ser utilizado en diferentes terrenos	O1-Poca competencia de mercado O2-Tecnología innovadora O3-Aplicable a ejércitos y organizaciones civiles O4-Interoperable con otras tecnologías

Estos parámetros se han asignado en función de estos criterios:

D1: la empresa informa que el coste será aproximadamente de 120.000€.

D2: las baterías de hidrógeno tienen una duración de 3 horas.

D3: no existen hidrogeneras para recargar las baterías en los países donde se llevan a cabo estas operaciones.

D4: cada vez que el dron detona un artefacto explosivo, los trozos de metal se reparten por el terreno contaminando la superficie.

A1: como aún no se ha introducido en las unidades, el personal no tiene instrucción para su uso. Habría que proporcionar un curso de uso a cada uno de los zapadores que lo van a utilizar.

A2: a priori no podrá ser utilizado en zona de árboles o con tendidos eléctricos bajos, además cuenta con la necesidad de poseer autorización para ocupar el espacio aéreo.

A3: como todo producto, sufre la amenaza de que se produzca uno con mejores capacidades. Por ello, en un futuro podrían aparecer tecnologías similares a un menor coste.

A4: los enemigos podrían llegar a interferir en la frecuencia de radio control y hacerse con el control del dron y, de esta forma, hacer un uso peligroso contra nuestra unidad o incluso destruir el aparato.

F1: por lo cual evita las detonaciones de minas por ser manipuladas o pisadas.

F2: es capaz de desminar una superficie 20 veces más rápido que con los métodos actuales.

F3: la necesidad de personal se reduce a un pelotón.

F4: ya que su medio es el aire, no depende apenas de la superficie terrestre.

O1: Mine Kafon sería la empresa pionera en desarrollar este tipo de productos.

O2: nadie ha realizado nada parecido hasta ahora.

O3: no tiene limitación de uso en diferentes empresas y organizaciones.

O4: la detección se podría hacer mediante otro método y solo utilizar el dron para depositar las cargas por ejemplo.

En principio, tomando como referencia las ideas recogidas en las tablas, parece que a nivel cualitativo el Mine Kafon Drone se postula como posible método alternativo al desminado manual en países cuyas IMAS no obliguen a certificar una limpieza del 99,6% puesto que la contaminación producida haría más complicada la labor de limpieza de metales de la superficie, la cual finalmente debería realizarse mediante detectores de metales.

Matriz de confrontación

Una vez determinados los atributos a estudiar, cada uno de los expertos realiza unas tablas de confrontación con la intención de obtener un valor cuantitativo para poder hacer la comparación entre los diferentes métodos. Para ello cada experto asigna valores del 0 al 10 dentro de cada una de las celdas de las tablas según su opinión contestando a las siguientes preguntas:

- Si acentúo la fortaleza, ¿puedo aprovechar mejor la oportunidad? ¿En qué medida?
- Si supero la debilidad, ¿puedo aprovechar mejor la oportunidad? ¿En qué medida?
- Si acentúo la fortaleza, ¿estoy minimizando la amenaza? ¿En qué medida?
- Si supero la debilidad, ¿minimizo la amenaza? ¿En qué medida?

De esta manera, cada uno de los 17 expertos participantes rellena una tabla dando una valoración a la confrontación entre fortalezas y oportunidades, fortalezas y amenazas, debilidades y oportunidades, y debilidades y amenazas. Cuanto mayor es la valoración obtenida en cada casilla mejor se aprovecharan las virtudes o se compensarán los defectos.

A partir de esos datos se han obtenido los valores promedio para cada relación. En las Tablas 8 y 9 se presentan las matrices de confrontación elaboradas para el desminado de detección y sondeo, y para el uso del dron. Para finalizar el proceso de análisis se deben sumar los valores obtenidos en todas las casillas.

Tabla 8. Matriz de Confrontación de detector de metales y sonda.

Detector de metales + sonda		Oportunidades				Amenazas				SUMA
		O1	O2	O3	O4	A1	A2	A3	A4	
Fortalezas	F1	3,2	0	7,5	6,3	4,8	8,8	10	3,6	44,2
	F2	6,2	8,1	6,4	2,3	1,6	0,8	6,1	8,9	40,4
	F3	1,2	1,3	2,1	3,5	7,1	6,4	1,1	0,6	23,3
	F4	0	7,8	4,3	7,2	7,6	1,3	0	0	28,2
Debilidades	D1	0,6	6,8	2,2	3,1	7,3	0	0	0	20
	D2	2,3	1,1	0,6	1,3	0,4	0,8	0	0	6,5
	D3	0,8	0,4	4,1	6,4	2,8	0	7,1	1,2	22,8
	D4	0	0,7	0,4	5,3	6	0	2,4	0	14,8
SUMA		14,3	26,2	27,6	35,4	37,6	18,1	26,7	14,3	200,2

Tabla 9. Matriz de Confrontación de Mine Kafon Drone.

Mine Kafon Drone		Oportunidades				Amenazas				SUMA
		O1	O2	O3	O4	A1	A2	A3	A4	
Fortalezas	F1	6,8	7,1	6,3	3,4	0,8	3,4	6,1	0	33,9
	F2	9,2	10	10	8,8	1,2	5,5	5,8	7,6	58,1
	F3	2,3	8,1	9,3	9,4	8,9	2,4	6,1	4,3	50,8
	F4	4,8	7,2	9,5	9,2	3,1	6,7	4,6	0,9	46
Debilidades	D1	10	9,9	10	10	2,1	0,3	5,1	0,9	48,3
	D2	6,4	3,2	1,1	3,7	4,8	0,6	4,2	0,7	24,7
	D3	9,1	9,8	7,3	4,5	7,2	0,4	4,7	0,6	43,6
	D4	1,1	1,9	4,2	5,1	0,8	3,2	1,7	0,6	18,6
SUMA		49,7	57,2	57,7	54,2	28,9	22,5	38,3	15,6	324

Como puede observarse, el uso del dron es el que mejor valoración ha obtenido en la matriz de confrontación. Quiere decir esto que, a pesar de tener factores negativos, estos son menos graves o se compensan con los factores positivos más que en el caso del desminado manual. Por tanto, parece que la tecnología que nos brinda el Mine Kafon Drone en un principio podría suponer una buena alternativa al método más aplicado actualmente que consiste en una mezcla entre detectores de metales y sondeo.

A pesar de ello, se percibe que el Mine Kafon Drone tiene aún ciertos problemas en cuanto a lo que sus debilidades respecta, pero como aún es un producto en desarrollo estas debilidades podrían subsanarse o, al menos, reducirse en gran medida.

ANEXO B: Vallon VMH3CS.



Ilustración 10. Vallon VMH3CS.



Ilustración 11. Soldados españoles con el Vallon VMH3CD en Afganistán.

ANEXO C: Vallon VMR3G.



Ilustración 12. Demostración de utilización del Vallon VMR3G.

ANEXO D: UPEX740.



Ilustración 13. Utilización del UPEX 740 en distintos escenarios.

ANEXO E: MAGNEX120.



Ilustración 14. Utilización del MAGNEZ 120 para uso civil y militar.

ANEXO F: Bastón buscaminas ramul amagnético.



Ilustración 15. Bastón de desminado.

ANEXO G: Cuestionario de la entrevista.

Encuesta Trabajo de Fin de Grado

“Métodos de desminado humanitario”

C.A.C. Eduardo A. Gálvez Martínez

Para valorar de una forma más objetiva y con información de primera mano los métodos de desminado humanitario, se decide realizar entrevistas a personal con experiencia en la materia.

La siguiente encuesta será utilizada solo y exclusivamente para el desarrollo del Trabajo de Fin de Grado realizado por el Caballero Alférez Cadete de quinto curso de Ingenieros Eduardo A. Gálvez Martínez que será presentado ante tribunal del Centro Universitario de la Defensa de Zaragoza.

Los datos personales solicitados no son obligatorios de rellenar, estos irán destinados a la identificación del individuo y poder mencionarlo debidamente. A su vez, en caso de poseer archivos, informes o documentos que reflejen su participación, sería de gran utilidad para el alumno facilitar una copia de los mismos.

Nombre:

Empleo:

Edad:

T.I.M.:

Año, duración y lugar de la misión de desminado:

Unidad con la que desplegó:

Entidad de la unidad:

Método empleado:

Número aproximado de minas localizadas:

Cuestionario:

Pregunta 1. ¿Piensa que la primera vez que asistió a una labor de desminado iba lo suficientemente preparado? Del 1 al 5, indique su nivel de satisfacción con la preparación previa a la labor de desminado. Siendo 1 totalmente insuficiente y 5 totalmente suficiente.

Pregunta 2. ¿Cuáles son las medidas de seguridad adoptadas en la zona de desminado? Del 1 al 5, indique su nivel de satisfacción con las medidas adoptadas. Siendo 1 totalmente en desacuerdo y 5 totalmente de acuerdo.

Pregunta 3. Del 1 al 5, indique su nivel de satisfacción con el uso de los EPI (Equipos de Protección Individual) durante labores de desminado humanitario. Siendo 1 totalmente en desacuerdo y 5 totalmente de acuerdo.

Pregunta 4. En cuanto a la eficacia del desminado manual, del 1 al 5, indique su nivel de satisfacción. Indique el motivo de su respuesta.

Pregunta 5. En cuanto a la eficiencia del desminado manual, del 1 al 5, indique su nivel de satisfacción. Indique el motivo de su respuesta.

Datos de interés que puedan ser de validez:

ANEXO H: Traje ligero de desminado.



Ilustración 16. Desminadores utilizando el traje ligero de desminado.

ANEXO I: Cadenas.



Ilustración 17. Vehículos con las cadenas.

ANEXO J: Arado.



Ilustración 18. Vehículos con arados tanto civil como militar.

ANEXO K: Rodillos.



Ilustración 19. Vehículos RG31 españoles con los rodillos.

ANEXO L: Perros.



Ilustración 20. Perros desminando.

ANEXO M: Ratas.



Ilustración 21. Ratas desminando.

ANEXO N: Mine Kafon Drone.



Ilustración 22. Mine KafonDrone con los implementos de mapeo, detección y detonación.

ANEXO O: Zona del supuesto desminado.



Ilustración 23. Zona supuesta a desminar

ANEXO P: Fotografía aérea durante un desminado en Angola.



Ilustración 24. Fotografía aérea durante una labor de desminado en Angola donde se distinguen los pasillos.

ANEXO Q: Minas encontradas en Angola.

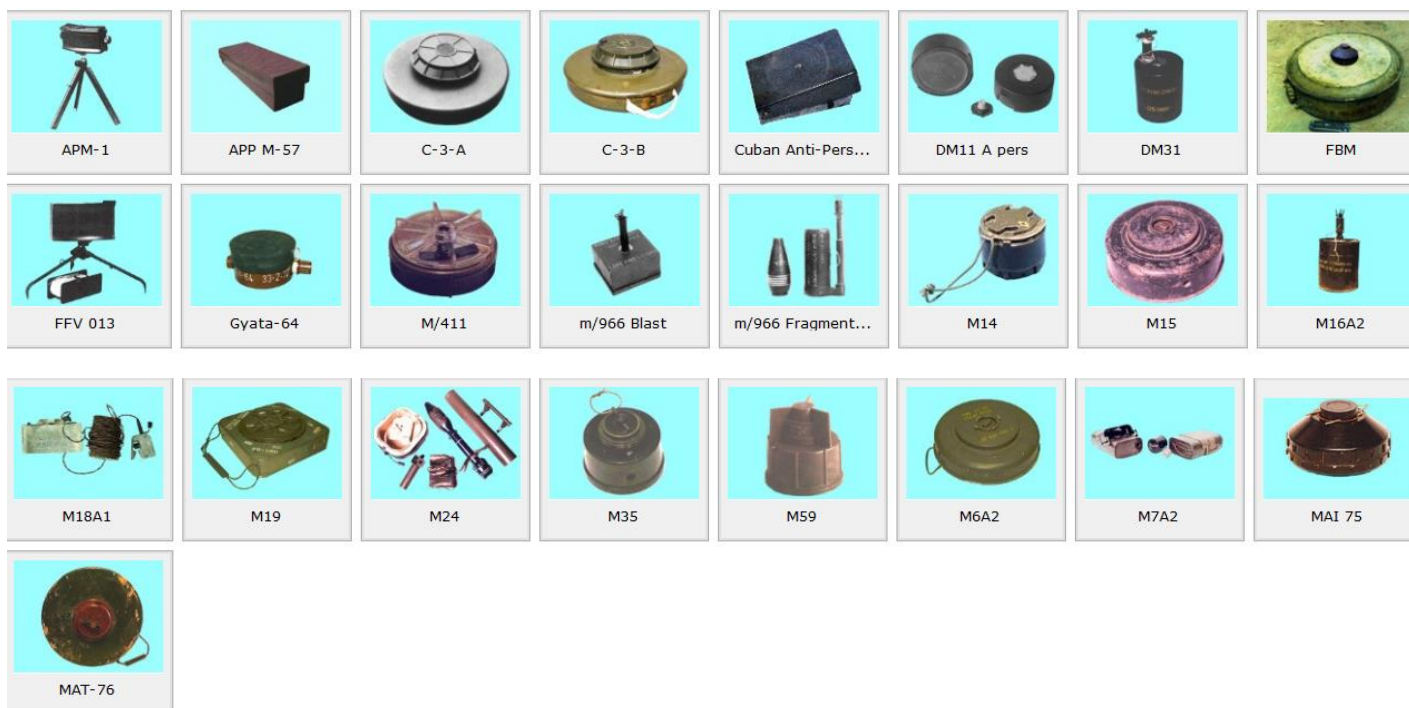


Ilustración 25. Minas encontradas en Angola

ANEXO R: Material empleado en labores de desminado.



Ilustración 26. Material utilizado en labores de desminado expuesto por el RING nº1