

Modificación de un prototipo para elaboración de mallas de cordón detonante (MCD) y destrucción de artefactos explosivos (AE) bajo calibre y accesorios de voladura (AV)

Modification of a prototype for the production of detonating cord meshes (DCM) and destruction of low caliber explosive devices (DE) and blasting accessories (BA).

Jorge E. Fonseca¹, Julián Quintero², Tania Peña³

¹Químico, Especialista en Técnicas de voladuras de Obras Civiles y Militares. Docente, Escuela de Ingenieros Militares ESING. jorge.fonsecab@esing.edu.co

²Especialista en Técnicas de voladuras de Obras Civiles y Militares. julian.quintero@buzonejercito.mil.co

³Especialista en Técnicas de voladuras de Obras Civiles y Militares. tania.pena@buzonejercito.mil.co

Especializaciones Voladuras y Tecnológica de Explosivos, Escuela de Ingenieros Militares, Bogotá, Colombia
explosivos_voladuras@esing.edu.co

RESUMEN

Este artículo de investigación presenta la modificación del prototipo (cuadrante Mitchell) para el diseño y elaboración de mallas, a partir del accesorio de voladura cordón detonante, cuya composición explosiva de dicho material es pentrita (PETN). Las mallas elaboradas con explosivo de pentrita en forma de cordón detonante son elementos de bajo costo, de fácil destrucción, transporte y manejo. Por otra parte, el uso de la malla de cordón detonante (MCD) facilita la mitigación de riesgos, entre estos, las proyecciones ocasionadas por otros explosivos en la destrucción de artefactos explosivos (AE) y accesorios de voladuras (AV). Finalmente, el artículo presenta la elaboración y modificación de un prototipo (cuadrante Mitchell), de fácil empleo para la construcción de mallas de diferente área con cordón detonante, lo que facilita el empleo y su detonación para la destrucción o neutralización en cualquier lugar de contenedores de AE y destrucción de AV.

PALABRAS CLAVE

Explosivos, accesorios de voladura de destrucción, destrucción de explosivos, artefactos explosivos.

ABSTRACT

This research paper presents the modification of the prototype (Mitchell quadrant) for the design and elaboration of meshes; from the detonating cord blast accessory, whose explosive composition of said material is pentrite (PETN). The meshes made with pentrite explosive in the form of a detonating cord, are low-cost elements, easy to destroy, transport, and handle. On the other hand, the use of the detonating cord mesh (MCD) facilitates the mitigation of risks, among these, the projections caused by other explosives in the destruction of explosives devices (DE) and blasting accessories (BA). Finally, the article presents the elaboration and modification of a prototype (Mitchell quadrant), easy to use for the construction of meshes of different area with detonating cord; thus facilitating the use and its detonation for the destruction or neutralization in any place of (DE) containers and destruction of (BA).

KEYWORDS

Explosives, destruction-blasting accessories, destruction of explosives, explosive devices.

INTRODUCCIÓN

Este artículo de investigación evalúa la modificación del prototipo Mitchell para la elaboración de mallas a partir de cordón detonante mediante su eficacia en la elaboración, empleo y detonación de las mallas en la destrucción de artefactos explosivos (AE) y accesorios de voladura (AV). Es decir, las mallas son hechas mediante la modificación del prototipo y empleo del cordón detonante denominado también este material accesorio de voladura.

Lo anterior lleva a plantear el siguiente interrogante: ¿Cuál es la mejor modificación del cuadrante Mitchell para la elaboración de mallas y destrucción de artefactos explosivos y accesorios de voladura a partir de cordón detonante?

Finalmente, se entrega un prototipo modificado para ensamblar MCD de área mínima de 14×14 pulgadas cuadradas y área máxima de 24×24 pulgadas cuadradas. El uso de este elemento reduce el costo de la operación en el proceso de destrucción de AE y AV y disminuye el riesgo contra la integridad física del personal técnico militar.

La modificación del prototipo y ensamble se hace a partir de una patente fabricada en Estados Unidos, lo que le permite al prototipo modificado la fácil realización de MCD, a la cual se le hacen mejoras para la maniobrabilidad y practicidad en el ensamblaje.

En el estado de arte se presentan los tipos de AE y AV, la estructura y uso de la MCD, los métodos de destrucción más favorable para el ámbito militar y civil de los AE y AV y, finalmente, las ventajas de la MCD en relación con las técnicas de destrucción, incineración y detonación para los AE y AV.

En seguida, en la metodología se exponen cinco fases que ilustran la elaboración y modificación del

prototipo para la elaboración de MCD. La última sección del artículo describe los resultados. Entre estos, detalles como la construcción del prototipo, la elaboración de la malla y el uso de la MCD mediante detonación para la destrucción de AE de bajo calibre y AV.

ESTADO DEL ARTE

Artefactos explosivos (AE) y accesorios de voladura (AV)

Se denomina artefacto explosivo (AE) a un dispositivo explosivo construido de manera tal que pueda producir explosión bajo condiciones de iniciación determinadas. Los AE pueden ser construidos para afectar personas, vehículos y/o estructuras. Generalmente están hechos con materiales fáciles de conseguir y a bajo costo [1]. En el territorio colombiano, los AE utilizados en los conflictos internos o que son utilizados en actos terroristas son las minas antipersona (MAP) [2] y las municiones usadas sin explotar (MUSE).

Las MAP son un tipo de AE, de fabricación improvisada o industrial. Las MAP improvisadas son llamadas artefactos explosivos improvisados (AEI) y han sido utilizadas por estados y movimientos irregulares por más de un siglo [3], por “ejércitos y grupos de actores no-estatales en Angola, Mozambique, Sudán, Camboya, Nicaragua, Afganistán, Ecuador, Perú, Guatemala, Chechenia, Chile, Egipto, Bosnia, Kosovo, El Salvador y Colombia, entre otros países”.

En Colombia, más del 90% de las MAP son AEI y no de fabricación industrial. Las improvisadas son elaboradas en talleres o fábricas artesanales, con materiales y elementos de uso común y fácil adquisición en el mercado local. Es decir, utilizan explosivos caseros, como nitrato de amonio (80%), aserrín fino (15%) y aluminio en polvo (5%); algunas veces, agregan metralla integrada (tuercas, tornillos, clavos, grapas y trozos de metal) o cianuro y excremento para acelerar la infección de las heridas [3].

Las MAP improvisadas o AEI son hechas con diferentes tipos de materiales artesanales y sistemas o mecanismos diferentes de iniciación. Los AEI más sobresalientes son las de sistemas por presión y/o eléctrico y químico. Generalmente, la presión de las MAP es realizada por tensión, movimiento y tropiezo [4].

Por sistema de presión, tenemos aquellas MAP de iniciación mecánica por presión directa, en combinación con energía eléctrica y mecanismos de iniciación para los detonadores por tensión, movimiento y tropiezo. En la mina de presión directa, su iniciación consiste en pisar y activar mecánicamente el gancho que sobresale de un contenedor de policloruro de vinilo (PVC), el cual almacena explosivos, entre estos pentolita y cordón detonante. La mina es utilizada para bloquear caminos y proteger zonas campamentarias [4]. Dicho artefacto es el preferido por los grupos armados cuando requerían bloqueos por corto tiempo debido a la facilidad para removerlos y reubicarlos de acuerdo con sus tácticas de guerra. Por otra parte, las minas por presión, en combinación con energía eléctrica, activan el detonador mediante los siguientes mecanismos: a) con tensión, al halar un hilo o alambre para cerrar un circuito eléctrico y suministrar energía eléctrica para iniciar el detonador; b) con movimiento, al ladear o pisa el contenedor para accionar el detonador, y c) con tropiezo, con un alambre dulce, nailon o cáñamo atado desde la mina a un obstáculo fijo. Por último, la mina química, a diferencia de las demás, es su mecanismo de iniciación al detonador, el cual es hecho de sustancias químicas que producen una reacción exotérmica. Las sustancias químicas empleadas para reacción exotérmica son: a) ácido sulfúrico, b) pólvora negra y c) cloratos. La mina se caracteriza por ser empleada en profundidades entre 2 y 17 centímetros [4].

Otro tipo de AE de bajo calibre y que genera problemas, al igual que las MAP, son las MUSE. Las MUSE bajo calibre (munición y granadas) son usadas en épocas de posconflicto en diversos países [5]. En Colombia, hoy en día, la gran cantidad de artefactos de guerra utilizados y que nunca

se detonaron son una amenaza directa y latente para la población cercana y para los miembros de la Fuerza Pública [6]. La problemática de los AE que se encuentran abandonados en los campos del país donde se vivió el conflicto interno agrava la situación de contaminación de los terrenos rurales en Colombia y afecta la actividad económica de zonas campesinas, siendo esta población la involucrada y directamente afectada. El Gobierno de Colombia, en su compromiso por restituir las zonas afectadas por campos minados y en presencia de MUSE, ha adelantado relaciones interinstitucionales para lograr campos intervenidos y posteriormente descontaminados, con el fin de contrarrestar este inconveniente que afecta la sostenibilidad económica de los campesinos [6]. Entre los principales ejemplos de MUSE tenemos los diferentes tipos de munición (calibre 5,56 × 45 mm ametralladora, 5,56 × 45 mm tipo ss109 fusil, munición 9 mm [M882], cartuchos calibre 7,62 × 51 mm tipo M80 para fusil y ametralladora) y finalmente las granadas.

Las municiones calibre 5,56 × 45 mm para ametralladora son eslabones en acero con tratamiento térmico y recubrimiento superficial en fosfatado mate, utilizados como elementos de unión de cartuchos, para formar las cintas de alimentación de ametralladoras calibre 5,56 × 45 mm [7].

Tabla 1. Características técnicas de la munición calibre 5,56 × 45 mm

4 cartuchos	SS 109 (M 855)
1 cartucho trazador	M 856
Eslabón	M 27
Cinta eslabonada	4, SS 109 (M 855) × 1, M 856 o especificación del cliente
Tensión mínima cinta de eslabones	15 kg durante 30 s

Fuente: Indumil [7], 2016.

Los cartuchos calibre $5,56 \times 45$ mm tipo ss109 para fusil se utilizan en fusiles y ametralladoras con recámara para munición $5,56 \times 45$ mm NATO con paso en el cañón de un (1) giro por 7" de recorrido [7].

Tabla 2. Características técnicas de la munición calibre $5,56 \times 45$ mm tipo ss109

Peso del proyectil	$4 \pm 0,10$ g
Peso del cartucho	$13 \text{ g} \pm 0,10$ g
Velocidad promedio	915 ± 12 m/s
Precisión	Desviación estándar promedio $45,72$ mm a 180 m
Presión máxima	3867 kgf/cm^2

Fuente: Indumil [7], 2016.

La munición 9 mm (M882) es aprobada para ser utilizada en armas calibre 9 mm NATO [7].

Tabla 3. Características técnicas de la munición calibre 9 mm (M882)

Peso del proyectil	$8,035 \pm 0,06$ g
Peso del cartucho	$12,3 \text{ g} \pm 0,10$ g
Velocidad promedio	375 ± 15 m/s
Precisión	Radio promedio inferior 38 mm a 50 m
Presión máxima	$2193/\text{cm}^2$

Fuente: Indumil [7], 2016.

Por último, los cartuchos calibre $7,62 \times 51$ mm tipo M80 para fusil y ametralladora se utilizan en fusiles y ametralladoras con recámara para munición $7,62 \times 51$ mm NATO [7].

Tabla 4. Características técnicas de la munición calibre $7,62 \times 51$ mm (M80)

Peso del proyectil	$9,35 \pm 0,1$ g
Peso del cartucho	$25,2 \pm 0,1$ g
Velocidad promedio	838 ± 15 m/s
Precisión	Radio promedio inferior $39,68$ mm a 183 m
Presión máxima	3515 kgf/cm^2

Fuente: Indumil [7], 2016.

Para terminar, en las MUSE están también las granadas de bajo calibre, que son dispositivos con material del tamaño, forma y peso adecuado para ser arrojados con la mano. En la actualidad existen varios tipos de granadas, entre estas tenemos las de humo, que son utilizadas para generar cubierta, bloquear visibilidad y señalar de aeronaves para el marcaje de la zona de aterrizaje. Por otra parte, están las granadas que pueden ser lanzadas con fusiles o lanzadores de granadas especializados [7].

Tabla 5. Características técnicas de las granadas de mano IMC MG M26 HE

Altura total	103 mm
Peso total	440 g
Espoleta	M 8524 A2
Tiempo de retardo	$4,5 \pm 0,5$ segundos
Radio de acción mortal mín.	11 metros desde el centro de explosión
Radio de seguridad	20 metros mínimo
Fragmentación	900 fragmentos mínimos

Fuente: Indumil [7], 2016.

Tabla 6. Características técnicas de la granada 40 mm HE lanzada con lanzadores M203 o MGL

Diámetro exterior máx.	40 mm
Longitud total	103 mm
Peso total	242 g
Alcance efectivo máx.	375 m
Radio de acción mortal mín.	5 metros desde el centro de explosión
Velocidad de salida	71,5 a 76,5 m/s
Fragmentación	400 fragmentos máx.
Distancia de armado	8 a 28 m

Fuente: Indumil [7], 2016.

Las recomendaciones generales de empleo de las granadas son: a) ser arrojadas a aproximadamente a una distancia de 30 metros en promedio; b) que cuenten con mecha de activación de 4,2 a 5 segundos, que causan la detonación del explosivo que se encuentra contenido dentro de la estructura metálica redondeada; c) recubrimiento, al estallar la carga, se destruye en cientos de fragmentos, produciendo heridas en un radio de 15 metros y causando fatalidades a 5 metros o menos; algunos fragmentos pueden volar hasta 230 metros, y e) al observar este artefacto es importante tener presente que no se debe tocar, ni mover, y se debe esperar a un grupo especializado [8].

Los AV se encuentran dentro de la clasificación de explosivos industriales y, como su nombre lo indica, incluye todos aquellos accesorios que son necesarios para complementar el proceso de detonación en una sustancia explosiva, tales como: cordón detonante, detonadores, mecha de seguridad, multiplicadores (booster o primer), microrretardos y conectores para el cordón detonante para iniciar la mecha lenta [9]. Se encuentran otros AV tales como conectores de fondo y de superficie y detonadores o cápsulas eléctricos y no eléctricos [7, 10].

La mecha de seguridad está formada por un núcleo

de pólvora negra recubierto con varias capas de hilados y materiales impermeabilizantes que la hacen resistente a la humedad, a la abrasión y a los esfuerzos mecánicos. Habitualmente se utiliza para la iniciación de detonadores ordinarios y de la pólvora de mina [7]. Este accesorio transmite una llama o fuego, a una velocidad conocida y constante para iniciar una cápsula de iniciación que finalmente detona el explosivo que esté en contacto con él. Se emplea como medio de iniciación del detonador número 8 fijado en uno de sus extremos.

Tabla 7. Características técnicas de la mecha de seguridad

Densidad de carga	4,5 a 6,0 g/m
Resistencia a la humedad	Excelente
Longitud de bobina	250 ± 2 m
Diámetro exterior	5,0 ± 0,2 mm
Tiempo de combustión a 2565 m s. n. m.	130 ± 13 s/m
Alcance de la llama	50 mm mínimo

Fuente: Indumil [7], 2016.

Los multiplicadores (también conocidos como boosters) son iniciadores de voladura que se utilizan para iniciar explosivos de baja sensibilidad, como pueden ser ANFO, emulsiones, tanto si se emplean en modalidad de encartuchados o a granel. Están compuestos por un cilindro de pentolita que está envuelto en cartón. La pentolita es una mezcla binaria explosiva de trinitrotolueno (TNT) y tetranitrato de pentaeritritol (PETN) [7].

La pentolita es sensible a la iniciación con las cápsulas de iniciación o detonadores comunes, eléctricos, no eléctricos y electrónicos de mínimo fuerza 8.

Los microrretardos son cápsulas de iniciación para programar la detonación con tiempos de 15 o 25 milisegundos de retardo, en las voladuras conexionadas con cordón detonante, similares al proporcionado por las cápsulas eléctricas.

Tabla 8. Características técnicas multiplicadores Pentofex

Densidad	1,60 ± 0,1 g/cm ³
Pesos	80 g; 337,5 g; 450 g
Diámetro de ubos	33 ± 0,2 mm; 50 ± 0,5 mm; 60,6 ± 0,5 mm
Resistencia a presión hidrostática	Excelente (2 kgf/cm ² por 24 h)
Velocidad de detonación	6700 + 200 m/s
Presión de detonación	180 kbar (mínima)
Sensibilidad al detonador 8	Positiva (perforar placa de acero de ½)

Fuente: Indumil [7], 2016.

Los conectores son elementos utilizados para asegurar la conexión entre cordones, de manera que se asegure la propagación de la detonación de uno a otro. Su sistema es conformado por un tubo de polietileno exterior y polisurlyn interno con una capa de HMX/polvo de aluminio (tubo de choque, que lleva una señal o pequeña onda de detonación a un detonador para conformar un mecanismo de iniciación) [10].

Tabla 9. Características técnicas del tubo de choque

Carga de tubo de choque (g/m)	0,016 ± 0,005
Velocidad de señal (m/s)	2000 ± 200
Resistencia a la tensión (kfg)	30 máx.
Resistencia a la elongación (%)	300

Fuente: Indumil [10], 2018.

En la Tabla 10 se presentan los tiempos de los detonadores o cápsulas de iniciación de las series MS y LP, que conforman los diferentes tipos de accesorios no eléctricos llamados Exel Handidet, Exel MS, Exel Conectadet,

Tabla 10. Características de las técnicas de retardo y tiempo de los detonadores de las series MS y LP

Número retardo	Tiempo serie MS (milisegundo)	Tiempo serie LP (milisegundo)
0	Instantáneo	Instantáneo
1	25	200
2	50	400
3	75	600
4	100	1000
5	125	1400
6	150	1800
7	175	2400
8	200	3000
9	250	3800
10	300	4600
11	350	5500
12	400	6400
13	450	7400
14	500	8500
15	600	9600
16	700	--
17	800	--
18	900	--
19	1000	--
20	1100	--
21	1200	--
22	1300	--
23	1400	--
24	1500	--
25	1600	--
26	1700	--
27	1800	--

Fuente: Indumil [10], 2018.

Exel LP y Exel MSC [7, 10]. A este grupo pertenecen también los conectores, tanto para superficie únicamente y los conectores de conexión a la misma línea, de fondo y superficie de manera simultánea. Dichos conectores de superficie se caracterizan por tener en ambos extremos del tubo de choque un detonador bidireccional de fuerza 8, de igual tiempo de retardo, ensamblados, que permiten fijarlos rápida y sencillamente a la línea del cordón detonante 3 g/m. Es empleado también para retardar líneas troncales de cordón detonante en voladuras de minería a cielo abierto como en canteras y obras civiles. Finalmente, en este mismo grupo está el conector compuesto por dos cápsulas y el tubo no eléctrico de choque. Una de las cápsulas se utiliza en superficie (fuerza 1) para iniciar mientras que la otra (fuerza 12) se usa en el interior de los barrenos, tanto para iniciar boosters como explosivos encartuchados. Permite diseñar o modificar disparos en el mismo terreno, por medio de conexiones simples y versátiles. Se utiliza en voladuras a cielo abierto [7, 10].

Para terminar los AV están las cápsulas eléctricas, que se caracterizan por poder generar programación del tiempo en la gota pirotécnica, determinando ella el tiempo de retardo, mientras en las cápsulas no eléctricas no interviene ningún tipo de corriente eléctrica en su iniciación. La parte explosiva es común en los detonadores eléctricos, pero en lugar de una gota pirotécnica la carga ya cuenta con un tiempo de retardo programado, el cual se inicia por medio de una onda de choque de baja energía producida por un explosor que se transmite a través de un tubo de transmisión.

Estructura y uso de la MCD

La malla es una matriz tejida con cordón detonante hecha a partir del prototipo final, que tiene la opción de poner tendidos de cordón detonante de forma horizontal y vertical [11]. Las mallas elaboradas con cordón detonante tienen múltiples aplicaciones, entre estas la destrucción de

explosivos o productos terminados e intermedios que se consideran no conformes por no cumplir especificaciones técnicas, o que experimentan degradación durante su almacenamiento, fallidos a su uso o perder garantía por caducidad; salvaguardando con este elemento la mayor seguridad en la integridad física del personal que debe realizar la destrucción. El cordón detonante es un accesorio de voladura hecho a partir del PETN [7, 12], recubierto de fibras sintéticas y revestido exterior plástico de PVC, de color que forma un conjunto flexible, resistente a la tracción, humedad y abrasión. La pentrita es un explosivo militar, de color blanco, altamente sensible y es uno de los materiales explosivos militares más poderosos, comparable a la ciclonita (RDX) y a la nitroglicerina [7, 12]. La PETN se usa en algunas cargas multiplicadoras, cordones detonantes y en algunos detonadores. Es casi insoluble en agua y puede usarse en demoliciones subacuáticas, alcanza una velocidad de detonación de 8300 m/s [7, 13]. Incluso, cuando detona se transforma mediante un estímulo en energía de choque [13]. Por otra parte, el cordón detonante es utilizado como accesorio de voladura, iniciador e intercomunicador de barrenos entre sí para trabajos de corte y voladuras especiales. Es empleado como línea principal de transmisión, puede iniciar cualquier cantidad de líneas adicionales conectadas con nudo hasta formar una malla. Este producto está diseñado como elemento transmisor de una onda detonante desde un punto a otro o de una carga explosiva a otra. Tiene excelente resistencia al agua, siempre y cuando se preserve su revestimiento plástico [7, 10].

La presentación de los cordones detonantes es en metros por bobinas, de 3 g/m (C3), 6 g/m (C6), 9 g/m (C9) y 38 g/m (C38), este último se usa específicamente como explosivo precorte y recorte en tunelería [7].

Tabla 11. Características técnicas del cordón detonante

Presentación	3, 6, 12 y 38 g/m
Impermeabilidad a la presión hidrostática 3kgf/cm ²	Excelente (máximo 1% ganancia de agua)
Velocidad de detonación	7000 ± 300 m/s
Resistencia a la tensión	70 kgf (3, 6 y 12 g/m) y 90 kgf (38 g/m)

Fuente: Indumil [7], 2016.

La geometría de las mallas hechas con el prototipo final permite la forma y la unión en cualquier tamaño. El peso neto de los explosivos de la malla se puede cambiar para las diversas necesidades del usuario modificando la geometría y el tipo de cordón detonante, que puede ser únicamente de 3 y 6 g/m [11].

Métodos de destrucción de AE y AV y ventajas de la MCD

Entre los métodos de destrucción de AE y AV de bajo calibre los más empleados son la incineración y detonación a cielo abierto, con la MCD en el método de detonación. A continuación, se relacionan los fundamentos de los métodos de incineración y detonación a cielo abierto, así como las ventajas del uso de la MCD.

Incineración a cielo abierto

La incineración a cielo abierto se utiliza principalmente para destruir excedentes (a granel) de propulsores y compuestos pirotécnicos. Esta técnica también es apropiada para destruir explosivos (a granel) no confinados, aunque en pequeñas cantidades, debido al riesgo de que la combustión conjunta de explosivos y propulsores derive en una explosión total [14].

La incineración a cielo abierto de munición que contenga humo, componentes pirotécnicos y colorantes o sustancias irritantes está prohibida en los Estados Unidos y en muchos otros países, dada

la alta concentración de productos peligrosos que se generan durante la incineración a cielo abierto [15].

La incineración a cielo abierto se realiza por regla general sobre estructuras diseñadas a tal efecto, como plataformas específicas o cubetas metálicas, con el fin de evitar el contacto directo con la superficie del suelo y posibles filtraciones en la capa freática [15]. Las cubetas destinadas a la incineración a cielo abierto deberían estar fabricadas con un material resistente al proceso de combustión y tener una profundidad y tamaño suficientes que les permitan retener los residuos resultantes del tratamiento. Deberían colocarse a cierta distancia respecto del nivel del suelo a fin de facilitar el enfriamiento y permitir la inspección de posibles fugas. Las cubetas deberían ser cubiertas cuando no estén en funcionamiento [15, 16].

Finalmente, el método es de bajo costo, muy sencillo de utilizar y adecuado para elementos propulsores, materiales de pirotecnia, deflagradores, espoletas, bengalas de señales y de iluminación, pólvora y materias propulsoras y materiales de embalaje. Puede favorecerse la combustión mediante el agregado de combustibles tales como gasolina y queroseno [17].

Las desventajas de este procedimiento consisten en los obvios perjuicios ambientales, emisión de vapores tóxicos y posible contaminación del suelo y en el hecho de que al quemar los explosivos puede producir detonaciones. La posibilidad de detonación significa que se necesita una superficie de seguridad despejada, igual que en el caso de la destrucción por detonación [17].

Detonación a cielo abierto

La destrucción de munición también es posible mediante la detonación a cielo abierto (OD) y la incineración a cielo abierto (OB), práctica que sigue siendo muy extendida y que comúnmente se denomina OBOD, por su sigla en inglés [14].

En la OD la munición se agrupa y amontona para su destrucción, induciendo una detonación en cadena mediante cargas cebo de explosivos comunes. Eso se consigue haciendo estallar cargas explosivas para voladuras que han sido colocadas junto a los elementos de la munición densamente amontonados. Por ese motivo, este método solo es factible para un tipo de municiones cuyo coeficiente de peso explosivo sea relativamente alto [14].

La munición estalla a causa de la onda explosiva generada por las cargas excitadoras. La ventaja de la OD reside en su capacidad de destruir grandes cantidades de munición de manera eficiente. El campo de destrucción deberá disponer de una superficie suficientemente grande para velar por que los efectos de la explosión, el ruido y la fragmentación permanezcan dentro de los límites del recinto. En general, la superficie de la mayoría de campos de destrucción por detonación situados fuera de las zonas de combate es muy limitada [14]. La OD también posibilita la destrucción de munición sin necesidad de usar equipos especiales.

Desventajas de la OD [14]

- Riesgo de contaminación incontrolada del suelo, el agua (subterránea) y el aire.
- Riesgos originados por la onda expansiva y los fragmentos.
- Posibilidad de que no se destruyan adecuadamente todas las piezas de la munición, lo que provocaría la aparición de UXO (artefactos no explosionados) en las inmediaciones.
- Solo puede llevarse a cabo con luz diurna y en condiciones meteorológicas favorables.

A fin de prevenir la contaminación debido a una fuga incontrolada, la OD deberá realizarse preferiblemente en lugares que no sean vulnerables a filtraciones de agentes contaminantes en la capa freática [14].

La onda expansiva y los fragmentos pueden atenuarse mediante la reducción de la cantidad total de munición que vaya a destruirse simultáneamente, o aislando adecuadamente el recinto. Estas medidas de seguridad adicionales dependerán de lo vulnerable que sea la infraestructura del entorno donde esté situado el campo [14].

En muchos países occidentales está prohibida la OD de grandes cantidades de munición, a causa de la contaminación incontrolada que puede provocar [14].

Además, la OD debería llevarse a cabo usando equipo protector con el fin de evitar la exposición a sustancias contaminantes del personal dedicado a la neutralización de municiones explosivas. Se puede lograr ese objetivo simplemente dotando al personal de monos de trabajo (desechables), guantes y máscaras antipolvo, que brinden protección cutánea y de las vías respiratorias [14].

Por último, este método resulta eficaz para procesar sistemas de misiles y cohetes, municiones de armas pequeñas y ligeras de todo calibre, granadas de mano, detonadores y cordón detonante. Según el tipo de municiones de que se trate, puede ser necesario que el sitio de destrucción esté rodeado por una zona amplia con fines de seguridad. La zona de peligro se determina según el alcance máximo de los fragmentos o de la detonación, según el tipo de municiones. El material arrojado o expulsado puede reducirse al mínimo mediante técnicas de taponado tales como el empleo de tierra, sacos de arena o sacos de agua para cubrir las municiones procesadas, así como rejillas y protectores de acero. Con la OD se debe tener en cuenta el ruido, la conmoción del suelo y la reflexión de los efectos de la detonación por baja nubosidad y accidentes geográficos [17].

Ventajas de la MCD

Al emplear la MCD se tiene un mayor control en la cantidad de AE y AV que se va a destruir; con el empleo controlado de las mallas, se evita el daño a estructuras específicas, así mismo, el no uso de plataformas o cubetas metálicas para destrucción

de AE y AV. Seguidamente, con el control operacional de empleo de las MCD se mitigan las posibles afectaciones de capa freática, emisión de vapores tóxicos y probable contaminación del suelo, agua (subterránea) y el aire. Igualmente, también el control de las MCD regula la cantidad a destruir de AE y AV al agrupar y amontonar, induciendo una detonación controlada por la dosificación de mallas que se van a emplear y la cantidad de cargas de cebo mediante el empleo de explosivos comunes. Otro hecho que favorece el empleo de las MCD son los siguientes: a) control de la onda expansiva y los fragmentos; b) destrucción adecuadamente de todas las piezas de la munición, al mitigar la aparición de UXO; c) el empleo de tierra, sacos de arena o sacos de agua para cubrir las municiones, en este caso, sustituidas por las MCD; por último, el control de la onda de detonación en relación con las vibraciones en zonas tanto rurales como urbanas.

METODOLOGÍA

Inicialmente, se parte como primera fase la descripción de la patente, cuadrante Mitchell n.º US 7.913624b2; la segunda fase presenta el diseño y modificación del prototipo; la tercera fase el ensamble o construcción del prototipo, la cuarta fase la entrega del prototipo para la elaboración de las MCD y, la quinta fase es la evaluación frente al uso del prototipo para la obtención de la malla a partir del accesorio de voladura cordón detonante y su uso en la destrucción de los AE de bajo calibre y AV.

Elaboración y modificación prototipo

La elaboración del prototipo parte inicialmente de la construcción del cuadrante Mitchell, cuya patente es la n.º US 7.913624B2 de marzo del 2011 de Jon Mitchell (ver Figura 1) [11].

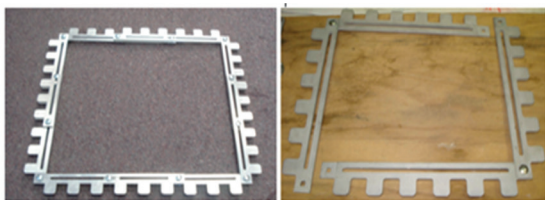


Figura 1. Cuadrante Mitchell para la elaboración de la malla.

Fuente: Mitchell [11], 2011.

En seguida, al cuadrante de Mitchell o prototipo se le incorporan cuatro columnas (ver Figura 2). Esta modificación le permite al prototipo final ser más funcional en el momento de realizar las MCD, facilitando la comodidad y construcción de la MCD al entrelazar las vueltas sin necesidad de levantar todo el elemento.

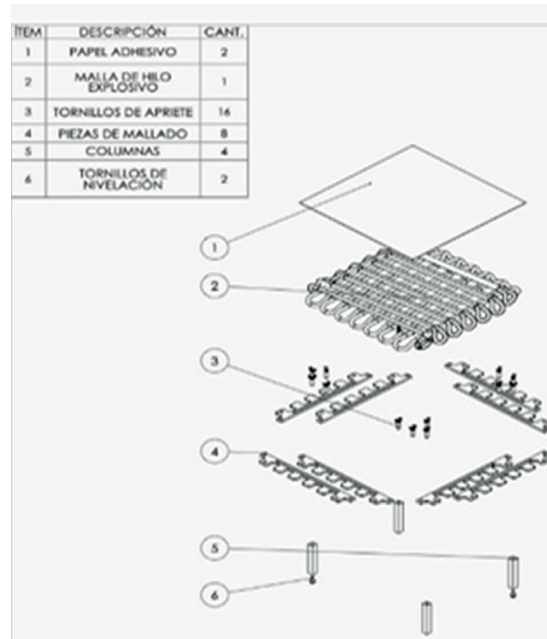


Figura 2. Plano y lista de materiales para la modificación y construcción de prototipo.

Fuente: elaboración propia.

La modificación al cuadrante Mitchell de las cuatro columnas hace que el prototipo final sea más funcional con las MCD, facilitando la comodidad y construcción de la MCD en el momento de entrelazar las vueltas sin necesidad de levantar todo el elemento. Los materiales empleados para el prototipo final son a) piezas de mallado, b) columnas, c) tornillos de apriete y nivelación y d) papel adhesivo. El papel adhesivo es para adherir y mantener la malla hecha mediante uso del prototipo final con cordón detonante y permitir la manipulación fácil de la malla en la destrucción de AE y AV en campo.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación, se presenta como resultados la elaboración del prototipo final para la elaboración de las MCD en la destrucción de AE y AV. Inicialmente, se parte de la elaboración del cuadrante de Mitchell [11], para la elaboración del prototipo final, mediante cuatro piezas de mallado, de duraluminio con pintura electrostática para mayor durabilidad (ver Figura 3).



Figura 3. Piezas de mallado.
Fuente: elaboración propia.

A continuación, el ajuste de las piezas de mallado con los cuatro tornillos de apriete y otros de nivelación para la conformación del cuadrante de Mitchell (ver Figura 4).



Figura 4. Cuadrante Mitchell.
Fuente: elaboración propia.

La unión de dos piezas de mallado permite la obtención de mallas de longitudes entre 14 y 24 pulgadas. El ensamble del prototipo final con la modificación del prototipo se presenta en la Figura 5, mediante la inclusión de las cuatro columnas.

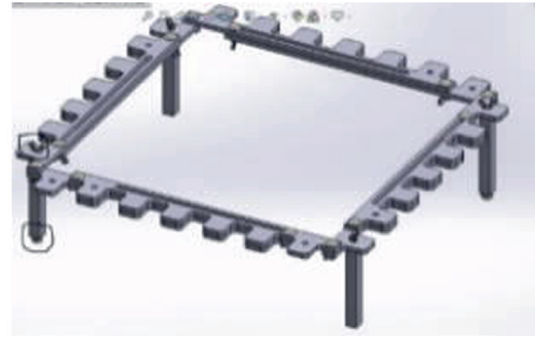


Figura 5. Prototipo final.
Fuente: elaboración propia.

A continuación, en la Figura 6 se presenta el proceso de construcción de la MCD en el prototipo final, de área de 24×24 pulgadas cuadradas con cuerda similar al producto de cordón detonante, para validar la funcionalidad del prototipo final.



Figura 6. Proceso de construcción de la MCD 24×24 pulgadas cuadradas.
Fuente: elaboración propia.

Una vez validado el prototipo final se procede a obtener la malla finalmente con cordón detonante para la destrucción de artefacto explosivo o accesorio de voladura. La malla es adherida y/o cubierta con papel adhesivo (ver Figura 7), dependiendo de la clase de AE o tipo de AV a eliminar.

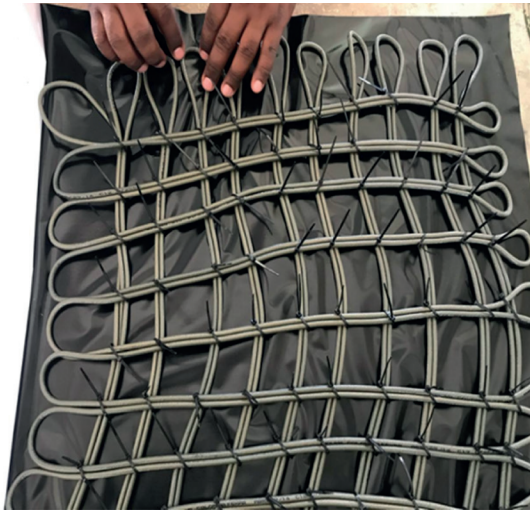


Figura 7. Construcción de la MCD y adherencia a papel adhesivo.

Fuente: elaboración propia.

Los AE y AV [1, 9] son destruidos por la colocación y detonación de la malla en dichos elementos sobre la superficie del suelo (ver Figura 8).



Figura 8. Postura de la MCD en AE y AV.

Fuente: elaboración propia.

La Tabla 12 presenta la clasificación del elemento a destruir y el tamaño [18] de la malla a emplear, dependiendo de la malla que se vaya a elaborar de las cantidades y tipo de AE y AV a destruir.

Tabla 12. Elementos a destruir mediante el uso de MCD

Elemento	Clasificación	Tamaño MCD
Municiones de bajo calibre	AE	14 × 14 pulgadas cuadradas
Granadas de bajo calibre	AE	14 × 14 pulgadas cuadradas
Detonador n.º 8 (no eléctrico y eléctrico)	AV	14 × 14 pulgadas cuadradas
Detonador Exel, LP, MS	AV	24 × 24 pulgadas cuadradas
Detonador Handidet	AV	
Conector de fondo y superficie	AV	
Tramos de mecha de seguridad	AV	24 × 24 pulgadas cuadradas

Fuente: elaboración propia.

Los resultados obtenidos en la destrucción de los AE (granadas de bajo calibre) con la detonación de la MCD fueron satisfactorios, permitiendo la destrucción o neutralización de los AE, mediante la generación de calor para producir incineración o detonaciones de manera controlada.

De otro lado, en los AV (detonador 8, detonadores exel y detonadores handidet) fue posible observar la producción de calor por la MCD, permitiendo aumentar la capacidad de destrucción de los contenedores plásticos en los que se encuentran dichos conectores. Los mismos resultados fueron obtenidos con tramos de la mecha de seguridad.

Por último, la destrucción de AV y AE con la MCD, en comparación con la manera de destrucción tradicional, mostró grandes ventajas y mejoras en su utilización. La disposición final de estos elementos mitigó los riesgos de manipulación al tratar de desactivarlos, al igual la generación de proyecciones al utilizar explosivos de alto poder, como las cargas

huecas dirigidas y las cargas de demolición a base de pentolita.

CONCLUSIONES

El prototipo para ensamble MCD de área de 24 pulgadas cuadradas es versátil por su fabricación manual y presentación de múltiples tamaños, lo que propicia un uso más amplio a la hora de la disposición final de AV y AE de bajo calibre. Además, el uso de la MCD puede abarcar grandes dimensiones de artefactos a destruir, ya que sus hendiduras laterales permiten ensamblar más mallas y cubrir rangos de extensión territorial mayores, beneficiando al operador a la hora de realizar la disposición final de AE.

La utilización de la MCD reduce la cantidad de detonaciones. Es decir, con una sola detonación se destruyen varios elementos de manera simultánea. Asimismo, el bajo uso de explosivos contribuye a una reducción de costos y una menor peligrosidad a la hora del uso, ya que el cordón detonante brinda más seguridad que un explosivo común y de mayor velocidad de detonación. De modo que la MCD brinda mayor seguridad en su aplicación, debido a que su ensamblaje se realiza en una zona segura y no en lugares que puedan ocasionar incidentes.

Por otra parte, se mejoró el prototipo incluyendo el diseño de cuatro pilares que hacen que el operador genere más comodidad y maniobrabilidad al entrelazar las vueltas del cordón detonante. La aplicabilidad del nuevo diseño de la MCD resulta de gran utilidad para los miembros de la institución, ya que, en el área de operaciones, y en general en la realización de trabajos con explosivos, el tiempo es un limitante y la comodidad de la fabricación de estos elementos debe ser prioritario.

De igual modo, el uso de la MCD permite la destrucción del explosivo y una neutralización del contenedor del AE, lo que genera una disminución de los efectos no controlados de la explosión, además de esto, la MCD genera un impacto en el contenedor, lo que evita la producción de elementos proyectados que puedan generar afectaciones en el personal aledaño o daños a la infraestructura cercana o a otros elementos contiguos.

Finalmente, gracias a su bajo peso, la MCD es fácil de transportar en el área de operaciones, donde las unidades militares requieren elementos que se puedan mover cómodamente, debido a las grandes extensiones territoriales que deben recorrer, aspectos que con el uso de la MCD se solucionan.

REFERENCIAS

- [1] E. Bejarano Hernández, “Minas antipersona, su relación con el conflicto armado y la producción de narcóticos en Colombia,” Conferencia Subregional de Defensa y Seguridad, pp. 263-279, 2010.
- [2] DCRI, Artefactos explosivos improvisados, 2016. [En línea]. Disponible: https://www.dcri.gov.co/servicio_ciudadano/atencion_ciudadano/glosario/artefactos_explosivos_improvisados_473. Consultado: agosto 11, 2021.
- [3] L. M. Blandón Loaiza, P. Echávez Rodríguez y A. M. Valdés Peluffo, “Discursos y percepciones: experiencia vivencial de las víctimas civiles de MAP, AEI, REG e instituciones de la zona caribe,” Universidad de San Buenaventura, Cartagena, 2010.
- [4] Acción Contra Minas. “Tipos de minas,” 2016. [En línea]. Disponible: <http://www.accioncontraminas.gov.co/accion/desminado/Paginas/Tipos-de-minas.aspx>. Consultado: agosto 11, 2021.
- [5] L. A. Atuncar Sánchez, “Evaluación del impacto ambiental de los métodos de destrucción de municiones y explosivos del Ejército del Perú, Lima, 2018-2019,” 2021.
- [6] CENAM, “Problemática de los artefactos explosivos,” 2016. [En línea]. Disponible: http://extension.bogota.unal.edu.co/fileadmin/recursos/direcciones/extension_bogota/docs/eventos/desminado_humanitario/memorias_ii_encuentro_dia1/j_hernan_villalba_problemativa_

- artefactos_explosivos_p4d1.pdf. Consultado: agosto 11, 2021.
- [7] Industria Militar Colombiana. Catálogo general productos Indumil, s. f. [En línea]. Disponible: https://www.indumil.gov.co/wp-content/uploads/2016/03/Catalogo_general.pdf. Consultado: agosto 11, 2021.
- [8] Naciones Unidas, “Manual de seguridad sobre minas terrestres, restos de explosivos de guerra y artefactos explosivos improvisados,” 2015. [En línea]. Disponible: https://www.unmas.org/sites/default/files/handbook_spanish_0.pdf. Consultado: agosto 11, 2021.
- [9] Ejército Nacional de Colombia, “Manual de conocimiento y empleo de explosivos,” Imprenta Ejército, Bogotá, 2007.
- [10] Industria Militar Colombiana, “Manual para explosivos industriales,” s. f. [En línea]. Disponible: <https://www.indumil.gov.co/wp-content/uploads/2019/04/INDUMIL-MANUAL-PARA-EXPLOSIVOS-INDUSTRIALES.pdf>. Consultado: agosto 11, 2021.
- [11] J. K. Mitchell, “Explosive matrix assembly, Patent U. S. 7.913624B2,” Patent Application Publication, Bradenton, 2011.
- [12] Ejército Nacional. “Manual de conocimiento y empleo de explosivos,” Imprenta Ejército, Bogotá, 2007.
- [13] R. Meyer, J. Kohler, A. Homburg, Explosivos, 6.ª edición, 2007.
- [14] Gobierno de los Países Bajos, “Guía de mejores prácticas en materia de destrucción de munición convencional,” 2008. [En línea]. Disponible: <https://www.osce.org/files/f/documents/7/d/33412.pdf>. Consultado: agosto 11, 2021.
- [15] S. Teir, Modern boiler types and applications, Helsinki University of Technology Department of Mechanical Engineering, Energy Engineering and Environmental Protection, Publications Steam Boiler Technology eBook Espoo.
- [16] United Nations, A destruction handbook. Departamento de Asuntos de Desarme de las Naciones Unidas (Subdivisión de Armas Convencionales), S-3170 United Nations, Nueva York, EE. UU.
- [17] Naciones Unidas, “Informe del secretario general, Métodos de destrucción de armas pequeñas, armas ligeras, municiones y explosivos,” 2000. [En línea]. Disponible: <https://undocs.org/pdf?symbol=es/S/2000/1092>. Consultado: agosto 11, 2021.
- [18] U. Peláez, “Configuración de materiales para la disipación de ondas explosivas,” Universidad EAFIT, Medellín, 2013.