

Trabajo Fin de Grado

Análisis de los materiales empleados en Unidades de Artillería paracaidista en el entorno OTAN y comparación. Estudio de la viabilidad del empleo de morteros en este tipo de Unidades como alternativa a los obuses.

Autor

Pablo González de la Fuente

Director/es

Director Académico: Ángel Gracia Ramos
Director Militar: Darío San Millán Pérez

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar
Año 2020

Resumen

El presente trabajo pretende analizar los medios de los que disponen las unidades de artillería paracaidista a nivel OTAN, con el fin de conocer el estado del arte y las tendencias actuales. A raíz de este análisis, se quiere evaluar la viabilidad de la implantación de morteros, más concretamente, los dos tipos más afines a las características requeridas por el GACAPAC VI, para garantizar una mejora en cuanto a las capacidades tácticas del Grupo. Esta evaluación se realiza mediante una comparativa con las piezas que están actualmente en dotación en la unidad.

Se ha empleado la metodología '*Analytic Hierarchy Process*' (AHP) para alcanzar la mayor precisión posible al comparar criterios de carácter cualitativo y poder llegar a una conclusión válida.

Para lograr llegar al objetivo final de búsqueda del obús/mortero más idóneo para el Grupo se han empleado también diversos métodos de carácter científico, tales como el análisis DAFO o la realización de encuestas y entrevistas. Todo ello con la intención de mejorar el procedimiento de toma de decisiones de la problemática del trabajo. Esta problemática se sitúa en unas circunstancias cambiantes y complejas, por ello, hay que apoyarse en estos métodos para asegurarse la realización de un análisis óptimo.

Finalmente, se ha llegado a la conclusión de que el mantenimiento del actual Light Gun L118 y la adquisición del MO-120-RT sería la opción idónea para el Grupo, aunque el actual mortero de 120 mm de infantería de la brigada sería también una buena alternativa, pese a no ser la primera, para el correcto cumplimiento de los cometidos asignados.

Palabras clave: Artillería paracaidista, OTAN, Proceso Analítico Jerárquico (AHP), toma de decisiones, Light Gun, MO-120-RT

Abstract

Presently work tries to analyze the parachuting artillery unit material means in the NATO with a view to know the state of the art and the current trends. Through this analysis, the feasibility of the mortar implementation is evaluated, more precisely, the two most similar types to features required by GACAPAC VI for guaranteeing an improvement in the Group's tactical capabilities. That evaluation is made through a comparative with the actual howitzers in the unit.

The AHP method has been used for reaching the best accuracy in the comparison between qualitative criteria and for reaching a valid conclusion.

In order to achieve the final aim of looking for the best howitzer for the GACAPAC VI, different scientific methods such as interviews, surveys or SWOT analysis have been employed. Everything has been done with the purpose of improving the procedure of taking decisions in the work dilemma. That issue is situated in a complex and changing circumstances, for this reason, that methods have to be used for making sure we get the optimum analysis.

The last conclusion is that the actual Light Gun L118 and the MO-120-RT would be the best choice. Although the actual Brigade mortar could be a good option too, it is not the first one.

Keywords: Parachuting artillery, NATO, AHP, taking decisions, Light Gun, MO-120-RT

Índice

Índice de tablas y figuras.....	xi
Lista de Acrónimos.....	xiv
Capítulo 1. Introducción.....	1
1.1. Antecedentes sobre ACA y ACA paracaidista.	1
1.2. Justificación.	2
1.3. Objetivos.....	2
1.4. Metodología.....	3
1.5. Planificación	4
Capítulo 2. Estado del arte en la OTAN	6
Capítulo 3. Presentación de alternativas.....	16
3.1. Light Gun L118.....	16
3.2. Mortero 120 mm de ánima lisa Soltam	17
3.3. Mortero de 120 mm de ánima rayada.....	18
Capítulo 4. Encuestas y entrevistas	20
4.1. Entrevistas.....	20
4.2. Encuestas	21
Capítulo 5. Análisis DAFO	22
Capítulo 6. Análisis multicriterio AHP	24
6.1. Representación jerarquizada	24
6.2. Análisis y síntesis de los resultados	25
6.3. Importancia de la logística	24
Capítulo 7. Conclusiones.....	28
Capítulo 8. Líneas futuras	29
Referencias.....	30
Apéndices.....	33

Índice de figuras y tablas

Figura 1.- Diagrama de Gantt del presente trabajo. Fuente: elaboración propia

Tabla 2.- Tabla comparativa de materiales de unidades de artillería paracaidista a nivel OTAN. Fuente: elaboración propia.

Figura 3. Lanzamiento paracaidista del M777 estadounidense. Fuente: <https://www.dvidshub.net/image/2123411/m777-howitzer-heavy-drop> - Último acceso el 27/10/2020

Tabla 4.- Características Light Gun L118. Fuente: Ministerio de Defensa

Figura 5.- Obús Light Gun L118 expuesto en la BRIPAC. Fuente: Defensa.com

Tabla 6.- Características del mortero M120. Fuente: Ministerio de Defensa

Figura 7.- Disparo realizado con el mortero M120. Fuente: Defensa.com

Tabla 8.- Características del mortero MO-120-RT. Fuente: elaboración propia

Figura 9.- Preparación para hacer fuego con el MO-120-RT. Fuente: [11]

Tabla 10.- Matriz DAFO. Fuente: elaboración propia

Figura 11.- Representación jerarquizada del caso estudiado. Fuente: elaboración propia

Figura 12.- Pesos finales de criterios y subcriterios. Fuente: elaboración propia

Tabla 13.- Características de la alternativa A. Fuente: elaboración propia

Tabla 14.- Características de la alternativa C. Fuente: elaboración propia

Tabla 15.- Características de la alternativa D. Fuente: elaboración propia

Tabla 16.- Escala Saaty. Fuente: [26]

Tabla 17.- Resultado de las encuestas sobre criterios y subcriterios. Fuente: elaboración propia

Tabla 18.- Resultado de las encuestas sobre alternativas. Fuente: elaboración propia

Tabla 19.- Escala Saaty. Fuente: [26]

Tabla 20.- Escala empleada por Saaty. Fuente: [27]

Tabla 21.- Tabla de matriz G. Fuente: elaboración propia.

Tabla 22.- Valor del índice aleatorio en función del orden de la matriz. Fuente: [22]

Tabla 23.- Tabla de criterio Rapidez I. Fuente: elaboración propia

Tabla 24.- Tabla de criterio Potencia de fuego I. Fuente: elaboración propia

Tabla 25.- Tabla de criterio Reducir huella logística I. Fuente: elaboración propia

Tabla 26.- Tabla de criterio Rapidez II. Fuente: elaboración propia

Tabla 27.- Tabla de subcriterio Entrada en posición. Fuente: elaboración propia

Tabla 28.- Tabla de subcriterio Desplazamiento. Fuente: elaboración propia

Tabla 29.- Tabla de subcriterio Peso. Fuente: elaboración propia

Tabla 30.- Tabla de criterio Potencia de fuego II. Fuente: elaboración propia

Tabla 31.- Tabla de subcriterio Cadencia de fuego máxima. Fuente: elaboración propia

Tabla 32.- Tabla de subcriterio Precisión. Fuente: elaboración propia

Tabla 33.- Tabla de subcriterio Alcance. Fuente: elaboración propia

Tabla 34.- Tabla de criterio Reducir la huella logística II. Fuente: elaboración propia

Tabla 35.- Tabla de subcriterio Baja probabilidad de fallo en pieza. Fuente: elaboración propia

Tabla 36.- Tabla de subcriterio Tripulación reducida. Fuente: elaboración propia

Figura 37.- Peso de criterios y resultado numérico AHP de las alternativas. Fuente: elaboración propia.

Figura 38.- Variación de los pesos de los criterios y resultado numérico AHP de las alternativas. Fuente: elaboración propia.

Figura 39.- Variación de los pesos de los criterios y resultado numérico AHP de las alternativas II. Fuente: elaboración propia.

Figura 40.- Peso de subcriterios de Rapidez y resultado AHP de las alternativas. Fuente: elaboración propia.

Figura 41.- Variación de los pesos de los subcriterios del criterio Rapidez y resultado AHP de las alternativas I. Fuente: elaboración propia.

Figura 42.- Variación de los pesos de los subcriterios del criterio Rapidez y resultado AHP de las alternativas II. Fuente: elaboración propia.

Figura 43.- Peso de subcriterios de Potencia de fuego y resultado AHP de las alternativas. Fuente: elaboración propia.

Figura 44.- Variación de los pesos de los subcriterios del criterio Potencia de fuego y resultado AHP de las alternativas. Fuente: elaboración propia.

Figura 45.- Peso de subcriterios de Reducir huella logística y resultado AHP de las alternativas. Fuente: elaboración propia.

Figura 46.- Variación de los pesos de los subcriterios del criterio Reducir huella logística y resultado AHP de las alternativas. Fuente: elaboración propia.

Lista de Acrónimos

ACA	Artillería de Campaña
AGM	Academia General Militar
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
APOFU	Apoyo de Fuegos
BOP	Brigada Operativa Polivalente
BRIPAC	Brigada Paracaidista
CLP	Caballero Legionario Paracaidista
CUD	Centro Universitario de la Defensa
DAFO	Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades
DLP	Dama Legionaria Paracaidista
DPM	Disparos Por Minuto
EAG	Grupo Aéreo Europeo
ET	Ejército de Tierra
FAS	Fuerzas Armadas de España
GACALEG	Grupo de Artillería de Campaña de La Legión
GACAPAC VI	Grupo de Artillería de Campaña Paracaidista VI
ONU	Organización de las Naciones Unidas
OOII	Organizaciones Internacionales
OTAN	Organización del Tratado del Atlántico Norte
TFG	Trabajo Fin de Grado
UE	Unión Europea
VAB	<i>Véhicule de l'Avant Blindé</i>
VAMTAC	Vehículo de Alta Movilidad Táctico

Capítulo 1. Introducción

El Grupo de Artillería de Campaña Paracaidista VI (GACAPAC VI) se encuentra encuadrado dentro de la Brigada Paracaidista (BRIPAC) del Ejército de Tierra (ET). Es una unidad que se singulariza por la capacidad para un despliegue rápido y por su carácter expedicionario.

La Artillería de Campaña (ACA) paracaidista debe reunir ciertas características propias que no comparte con otras unidades de ACA del ET. Los materiales que posee actualmente en dotación el Grupo no terminan de cumplir sus necesidades, por ello, en este trabajo se detectarán y concretarán mediante consultas a expertos y se buscarán soluciones, bien cambiando los medios ACA, o bien complementándolos con morteros. Para conocer las posibilidades se estudiarán los materiales de otros ejércitos a nivel OTAN, seguido a ese estudio se podrá analizar más concretamente el caso español.

Esta memoria presenta los resultados y las conclusiones relacionados con las dos preguntas expuestas en el título, relacionadas entre sí: La comparativa de los materiales empleados por unidades de artillería paracaidista a nivel Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN) y, dada la problemática particular y el previo estudio de materiales de otros países, la posibilidad de emplear morteros en este tipo de unidades en el caso español.

El trabajo está enmarcado dentro del Trabajo de Fin de Grado (TFG) de Ingeniería en Organización Industrial, cursada en el Centro Universitario de la Defensa (CUD) situado en la Academia General Militar (AGM) de Zaragoza.

1.1. Antecedentes sobre ACA y ACA paracaidista.

La ACA se define como “el arma del fuego por excelencia. Su característica principal es la aplicación de fuegos de forma potente, precisa, profunda y oportuna sobre objetivos terrestres, navales y aéreos” [1]

La evolución de la ACA ha llevado a la misma al paso por diferentes formas de uso, diferentes capacidades y una táctica acorde a lo anterior, que ha variado a lo largo de su historia. Hasta la Primera Gran Guerra se empleaba, en su mayoría, para realizar tiro directo¹. Con la modernización de los fusiles de infantería se apreciaron las carencias del empleo de la artillería para realizar únicamente puntería directa y se comenzó a

¹ Se considera tiro directo cuando se ha apuntado al objetivo a través de los medios de puntería, e indirecta cuando no se han empleado [1]

emplear para batir blancos de manera indirecta, continuando así su evolución hasta la artillería contemporánea. [2]

Más concretamente, las operaciones paracaidistas actuales revisten una gran complejidad debido a la esperada oposición del enemigo y la dificultad en la coordinación de la operación. Otro de los grandes inconvenientes es la necesidad de una gran superioridad, que se suele tratar de cubrir a través del apoyo de fuegos, entre los que se encuentra la artillería. [3]

La doctrina terrestre establece que la artillería en este tipo de operaciones actúa con un grado elevado de descentralización. Por ello, se presupone una gran flexibilidad por parte de los apoyos de fuego, lo cual incluye una necesaria rapidez, y de esta manera se llega a la problemática expuesta en el trabajo. [4]

1.2. Justificación.

Actualmente, el GACAPAC VI está dotado de dos tipos de obuses de campaña de unos 1800 kg y 13000 kg respectivamente, a raíz de la implantación de las Brigadas Operativas Polivalentes (BOP) en el ET. Con ellas se pretendía “crear unas unidades más polivalentes, que tuvieran múltiples capacidades estándar” [5] aunque con esta nueva orgánica, se ha perdido la rapidez y la capacidad lanzable del GACAPAC VI, como se verá a lo largo del trabajo. En cambio, el empleo de morteros podría hacer viable el disponer de esa capacidad de rapidez y flexibilidad.

Por ello, es necesario un análisis de la situación de los demás países del entorno OTAN con una comparativa y el estudio de viabilidad de empleo de morteros de 120mm en este tipo de unidades.

La comparativa será útil para poder tener una visión generalizada y con perspectiva de las tendencias actuales de la artillería paracaidista a nivel OTAN y servirse de ésta como guía de actuación para la posible adquisición de nuevos materiales por parte del ET.

La hipotética viabilidad de los morteros facilitaría la mejora en cuanto a ligereza y rapidez del Grupo, siendo realista gracias a la disponibilidad de morteros de 120mm en la Brigada que podrían ponerse a disposición del GACAPAC VI, aunque como se desarrollará a lo largo del trabajo, se dispone de alternativas más interesantes.

1.3. Objetivos

El objetivo del trabajo es doble: el primero de ellos es realizar un análisis que refleje el estado del arte de materiales de artillería paracaidista a nivel OTAN para poder conocer las tendencias actuales en esta materia.

El segundo será determinar la viabilidad del empleo de morteros en este tipo de unidades para tratar de mejorar la movilidad y la capacidad del Grupo de ser lanzable en una situación real, ya que actualmente es muy baja.

Para llegar al primer objetivo se realizará un estudio exhaustivo de todos los materiales en dotación de los diferentes países de la OTAN y tratará de sintetizarse los datos más relevantes en un cuadro resumen acompañado de sus respectivas conclusiones.

Para tratar de alcanzar el segundo objetivo con la mayor precisión posible se realizarán encuestas a sirvientes y jefes de las piezas², y entrevistas a personal experto en dicha materia perteneciente al GACAPAC VI. A partir de sendas entrevistas y encuestas, de un análisis de Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades (DAFO) y de toda la información recabada se empleará la metodología '*Analytic Hierarchy Process*' (AHP) para poder hallar la solución idónea para el problema planteado.

1.4. Metodología

El desarrollo de este trabajo se ha llevado a cabo con el apoyo de numerosos métodos científicos, tanto cualitativos como cuantitativos. Se considera el análisis de costes como una parte innecesaria ya que no se puede comparar el coste cero que implica el empleo de los morteros de 120 mm de ánima lisa, que ya tiene la BRIPAC en dotación, con el coste que supondría la adquisición de un nuevo mortero/obús.

Por ello se ha decidido omitir este estudio y realizar únicamente una comparativa táctica y técnica de los morteros y obuses.

1.4.1. Métodos cualitativos

- Estudio del estado del arte:

Para realizar este estudio se han empleado fuentes de información como documentos de doctrina propios, documentos de doctrina de otros países e incluso páginas web oficiales de otros ejércitos, todo ello unido a la experiencia de oficiales del GACAPAC VI (obtenida en el gran número de colaboraciones realizadas con otros ejércitos OTAN). En este estudio se ha tratado de sintetizar al máximo posible una gran cantidad de información con el fin de establecer una visión a nivel OTAN lo suficientemente clara.

- Análisis de Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades (DAFO):

Esta metodología ha servido para realizar una síntesis de las ventajas y desventajas de la implementación del mortero en el GACAPAC VI a partir de la información obtenida en

² En jerga artillera, la pieza se refiere a un obús/mortero, aunque también tiene como acepción el referirse al obús/mortero más su dotación de sirvientes de pieza (operadores).

las entrevistas y en las fichas técnicas de las piezas y obuses, además del empleo de ciertos documentos de doctrina.

- Entrevistas:

Estas entrevistas se han realizado para conocer cuál es la visión general sobre la problemática abordada en el trabajo por parte de los mandos del Grupo, que son los que realmente conocen dicha problemática en su día a día. También se preguntó sobre los criterios y subcriterios más adecuados para la elección de una pieza ideal para el GACAPAC VI.

1.4.2. Métodos cuantitativos

- Encuestas:

Realizada con participación de las escalas de tropa y suboficiales del grupo, se pretende evaluar cuantitativamente la preferencia de unos criterios y subcriterios (obtenidos anteriormente con las entrevistas a oficiales y suboficiales) empleando la escala '*Saaty*'. También se quiere evaluar las alternativas presentadas, para emplear sus resultados posteriormente en el método AHP.

- Metodología AHP:

Dada la dificultad de analizar unos criterios en su mayor parte cualitativos, se debe emplear este método para llegar a una solución cuantitativa de una manera rigurosa.

1.5. Planificación

La realización del trabajo se ha dividido en las siguientes fases:

- Fase I
 - Recopilación de información y datos a partir de la bibliografía mencionada
 - Estudio de las metodologías empleadas, más concretamente, la metodología AHP.
 - Informarse sobre tendencias tácticas de artillería actuales en el GACAPAC VI
- Fase II
 - Realización de entrevistas
 - Obtención de criterios y subcriterios para la metodología AHP

- Fase III
 - Realización de las encuestas al personal del GACAPAC VI y su posterior análisis estadístico.
- Fase IV
 - Empleo de la metodología AHP
- Fase V
 - Redacción de la memoria

A continuación, se expone el diagrama de Gantt realizado para la planificación del trabajo (siendo el periodo 1 el 31 de agosto, y así sucesivamente):

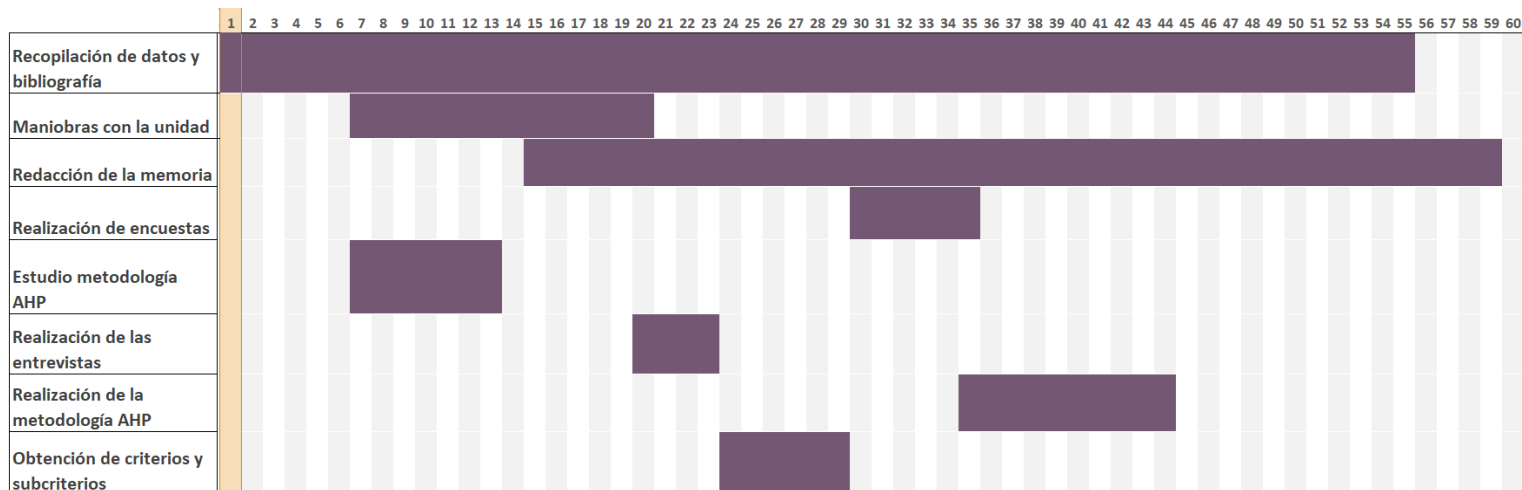


Figura 1. Diagrama de Gantt del presente trabajo

Capítulo 2. Estado del arte en la OTAN

Actualmente, y en un futuro a corto y medio plazo, las Fuerzas Armadas de España (FAS) se enfrentan a un escenario de alta complejidad en el que predominan los conflictos asimétricos e híbridos, la intervención en estados fallidos y las misiones de ayuda humanitaria. [6]

Los países no actúan de manera independiente en estas intervenciones, sino que lo hacen bajo el paraguas de diferentes Organizaciones Internacionales (OOII) como por ejemplo de la OTAN, de la Organización de Naciones Unidas (ONU) o de la Unión Europea (UE), o incluso a través de cooperaciones como el Grupo Aéreo Europeo (EAG) o el Eurocuerpo. [7]

Para este tipo de operaciones conjuntas es necesario alcanzar cierto grado de coordinación entre los diferentes ejércitos, y para ello deben poderse integrar todas sus partes.

Integrar los medios propios con los medios de otros ejércitos con los que se colabora es un requisito fundamental para las intervenciones en estos escenarios, es por esto que, se requiere de una actualización prácticamente constante de nuestras adquisiciones siguiendo la guía de actuación de otros países OTAN.

A continuación, se presenta un cuadro que sintetiza la información más relevante sobre los diferentes materiales de los que disponen las unidades de artillería paracaidista en el entorno OTAN. En él, se reflejan tanto los dos obuses que tiene el Grupo de dotación, como otros obuses/morteros más recurrentes en otros ejércitos de la OTAN como puede ser el mortero rayado de 120 mm francés. Con todo ello se consigue tener una visión global sobre cuál podría ser la guía de actuación para la adquisición de material de artillería paracaidista de España en los próximos años.

Sistema de armas	País OTAN que lo posee en dotación	Calibre	Peso	Alcance	Número de sirvientes	Tiempo de entrada en posición ³	Cadencia máxima	Vehículo tractor y velocidad máxima	Observaciones
Light Gun L118	España, UK, Portugal, Estados Unidos y Países Bajos	105 mm	En torno a 1860 kg	21 km con munición 'base bleed' ⁴ , 17 km con munición normal	5	3 minutos	15 dpm ⁵	Remolcado por camión pudiendo alcanzar los 65 km/h por camino	<ul style="list-style-type: none"> - Puede ser transportado plegado o desplegado (para desplazamientos cortos) - Funcionamiento totalmente mecánico, sin componentes electrónicos - Lanzable

³ Es el tiempo que tarda un obús/mortero en establecerse en un asentamiento y estar apuntado con una orientación determinada.

⁴ "Motor cohete alojado en el culote del proyectil, que sin proporcionarle empuje adicional, llena con gases el vacío existente tras de sí durante su avance, reduciendo la fuerza de arrastre por succión, lo que permite un significativo aumento de alcance (hasta un 30% más)." [8]

⁵ El tubo posee esa capacidad, pero realmente nunca se podría alcanzar esa cadencia en fuego de artillería

Sistema de armas	País OTAN que lo posee en dotación	Calibre	Peso	Alcance	Número de sirvientes	Tiempo de entrada en posición	Cadencia máxima	Vehículo tractor y velocidad máxima	Observaciones
Obús APU-SIAC	España	155 mm	13 t (el conjunto camión - obús pesa 28 t)	Hasta 40 km con munición especial	Normalmente 7, pero ese número puede verse reducido	5 minutos	8 dpm	Remolcado por VETT pudiendo llegar a 60 km/h y velocidad autónoma de 18 km/h	<ul style="list-style-type: none"> - Velocidad autónoma de 18 km/h - Sistema de navegación inercial y computador balístico integrado - Cierre automático
Caesar [9]	Francia y Dinamarca	155 mm	17,2 t si se monta en 6x6, 30,2 t si se monta en 8x8	Más de 50 km con proyectiles asistidos con cohete	5 pero pueden emplearse incluso 3	Menos de un minuto	6 dpm	Pueden montarse en 8x8 o 6x6 alcanzando los 75 km/h	<ul style="list-style-type: none"> - Posible empleo de blindaje adicional que aumenta su peso en 400 kg - Posee un sistema de puntería automático - Capacidad aerotransportable en A400M - Mucha movilidad

Sistema de armas	País OTAN que lo posee en dotación	Calibre	Peso	Alcance	Número de sirvientes	Tiempo de entrada en posición	Cadencia máxima	Vehículo tractor y velocidad máxima	Observaciones
MO-120-RT [10] [11]	Francia, Anteriormente empleado por los marines de EEUU, Países Bajos	120 mm	En torno a 1500 kg el sistema embarcado	13 km asistido con munición cohete	4	En torno a los 30 s	18 dpm ⁶	Embarcado en VAB o remolcado alcanzando los 85 km/h	<ul style="list-style-type: none"> - Puede disparar cualquier munición de 120mm - En orden de marcha⁷ es indistinguible de un blindado corriente por guardar el tubo del mortero. - Mayor precisión por su ánima rayada - Lanzable
Dragon Fire II [12]	US Marine Corps, Francia e Italia	120 mm	1565 kg	17 km con munición guiada	4	En menos de 15 s	10 dpm	Embarcado en blindado de entre 10 y 15 t llega a los 85 km/h	<ul style="list-style-type: none"> - Aerotransportable - Posee un sistema de posicionamiento y de puntería automática - Posee ordenador balístico integrado

⁶ El tubo posee esa capacidad, pero realmente nunca se podría alcanzar esa cadencia en fuego de artillería

⁷ El orden de marcha es la posición en la que se mueve el obús/mortero, por ejemplo, para cambiar entre asentamientos se colocan las piezas en orden de marcha.

Sistema de armas	País OTAN que lo posee en dotación	Calibre	Peso	Alcance	Número de sirvientes	Tiempo de entrada en posición	Cadencia máxima	Vehículo tractor y velocidad máxima	Observaciones
Oto Melara [13]	Grecia, España.	105 mm	1290 kg	En torno a 10 km	7	Unos dos minutos	8 dpm	Remolcado por camión o vehículo más ligero y alcanza los 70 km/h.	<ul style="list-style-type: none"> - Se puede descomponer para ser transportada a lomo para uso en montaña - Helitransportable - Falta de robustez durante el fuego sostenido
M777 [14]	Estados Unidos, Canada, Australia	155 mm	3.175 kg	40 km con munición Excalibur	5	Unos 3 minutos	5 dpm	Obús remolcado por camión capaz de alcanzar 65 km/h	<ul style="list-style-type: none"> - Lanzable - Ligereza gracias al titanio - Sistema de control de tiro digital - Error de 5 metros con Excalibur

Sistema de armas	País OTAN que lo posee en dotación	Calibre	Peso	Alcance	Número de sirvientes	Tiempo de entrada en posición	Cadencia máxima	Vehículo tractor y velocidad máxima	Observaciones
Mortero 120 mm de ánima lisa [15]	España, Portugal y Estados Unidos	120 mm	Unos 600 kg el sistema completo embarcado	Unos 8 km	4	En torno a 35 s	16 dpm	Embarcado en Vamtac alcanza los 90 km/h, aunque también se puede desembarcar	<ul style="list-style-type: none"> - Dispone de navegador y GPS para facilitar su propia localización y entrada en posición - Es autónomo
Hawkeye [16]	Estados Unidos	105 mm	En torno a 4400 kg embarcado (incluyendo el vehículo tractor)	15 km	3, incluso pudiéndose hacer con 2 sirvientes	Unos 3 minutos	8 dpm	Alcanza los 100 km/h embarcado en Hummer	<ul style="list-style-type: none"> - Lanzable - Sistema de control de tiro digital y automático

Sistema de armas	País OTAN que lo posee en dotación	Calibre	Peso	Alcance	Número de sirvientes	Tiempo de entrada en posición	Cadencia máxima	Vehículo tractor y velocidad máxima	Observaciones
Mortero Cobra 120 mm [17]	Suiza	120 mm	Unos 1350 kg	9 km	3	Menos de 1 minuto	8 dpm	Montado sobre 8x8 o 6x6 puede alcanzar una velocidad de hasta 90 km/h	<ul style="list-style-type: none"> - Sistema de control de tiro digital y automático - Sistema de carga automática

Tabla 2. Tabla comparativa de materiales de unidades de artillería paracaidista a nivel OTAN.

El examen de la anterior tabla pone de relieve un claro desfase de capacidades entre el GACAPAC VI y otras unidades de artillería paracaidista como la de los estadounidenses o el *7º Parachute Regiment Royal Horse Artillery*, debido a la diferencia en sus materiales de dotación.

Una de las diferencias clave en artillería es si el obús/mortero va remolcado o embarcado. En la década de 1990 se consideraban superiores los obuses remolcados, mientras que las tendencias de los últimos años han dejado patente la superioridad de que vayan embarcados. En contraposición a esto, a la hora de ser lanzable, actualmente, es necesario que los obuses/morteros sean remolcados por la violencia del impacto contra el suelo. Por ello, se puede apreciar la ventaja que poseen en una unidad paracaidista morteros como el MO-120-RT o el mortero de ánima lisa sobre el Dragon Fire II o el Cobra suizo.

Otra de las principales diferencias reside en la velocidad de entrada en posición, ya que las piezas españolas tardan varios minutos en hacerlo (3 y 5 respectivamente) mientras que los estadounidenses o incluso el Caesar francés (mucho más grande y voluminoso que un mortero) tardan 14 y 33 segundos respectivamente. Es una diferencia insalvable tácticamente hablando ya que la artillería, y más en el entorno paracaidista, busca una entrada en posición lo más rápido posible para poder estar en disposición de hacer fuego y cumplir cuanto antes las peticiones de Apoyo de Fuegos (APOFU) que realice la unidad de maniobra. En este aspecto se podría también destacar la rápida entrada en posición de los morteros tanto de ánima lisa como rayada.

Cumplir el modelo de acción⁸ es una de las necesidades principales y está relacionado también con este último dato (Tardan mucho más en colocarse en posición de transporte para iniciar la marcha de nuevo las piezas españolas que las estadounidenses o francesas), por lo que supone otra gran ventaja táctica de las piezas más móviles.

Si nos referimos a la potencia de fuego que posee el GACAPAC VI en comparación a otras unidades OTAN con una artillería ‘más ligera’, el Grupo no posee una ventaja clara. El Caesar francés tiene un calibre de 155 al igual que el SIAC del ET y un alcance similar, de hecho, el Caesar francés tiene un alcance superior en 10 km si emplea munición asistida por cohete, y su movilidad sigue siendo muy superior a la del SIAC español. Este último posee una limitada movilidad táctica a la hora de desplazarse (necesita un jalonamiento especial que no incluya giros muy cerrados en su ruta de cambios o entradas a los asentamientos), mientras que el Caesar tiene una movilidad similar a un camión militar medio sin tener que sufrir esas limitaciones. El M777 estadounidense es otro claro ejemplo de que calibre y potencia de fuego no tiene por qué ir ligado a dificultades en el movimiento, siendo éste incluso lanzable.

Una de las grandes ventajas del Light Gun (que emplea el ET) sobre el resto de obuses/morteros es su falta de electrónica. Esto es una ventaja porque un alto porcentaje

⁸ Es el intervalo de tiempo desde que se realiza fuego por primera vez en un asentamiento de artillería, hasta que es detectada la posición y es respondido por fuego de contrabatería enemigo. [13]

de fallos y averías en obuses de artillería se producen en sus componentes electrónicos, por tanto, el Light Gun tiene menos posibilidades de fallar que un obús/mortero que funcione en base a tecnología electrónica como el Dragon Fire II o el Cobra.

Al hablar desde una perspectiva paracaidista, hay que valorar la posibilidad que poseen los morteros de ser aerotransportables e incluso lanzables, capacidad de la que carece el SIAC español. Aunque el Light Gun sí que posee esa capacidad, presenta una mayor complejidad logística a la hora de ser lanzado ya que requiere de un Hércules entero para él y sus sirvientes, sin contar con su vehículo tractor. Para ser lanzables, otra de las características importantes es que empleen poca tecnología electrónica, que sea parecido al funcionamiento mecánico del Light Gun, por lo que los morteros u obuses con sistemas electrónicos complejos tendrían que ser adaptados para poder ser lanzables.



Figura 3. Lanzamiento paracaidista del M777 estadounidense

En la actualidad, y más enfocado hacia un futuro cercano, el empleo de personal en los conflictos tiende a ir reduciéndose como ha ido ocurriendo a lo largo de la historia. Es por esto que, las nuevas tecnologías que se emplean en la artillería deben ir enfocadas a la reducción del personal para operar con una pieza. En este sentido, el obús SIAC se ha quedado obsoleto a lo largo de las últimas décadas siendo mucho más puntera la tecnología que emplean otros morteros como el Dragon Fire II de los estadounidenses o el Cobra suizo, quedándose también muy atrás en este ámbito el Light Gun por su falta de electrónica. Esta tendencia de reducción de personal tiene tanto ventajas, como inconvenientes. Una reducción de personal implica tener menos capacidad de respuesta en forma de una defensa inmediata, no poder dar protección a la línea de piezas con un despliegue eficiente, etc. Por tanto, como se puede apreciar, no todas las líneas de futuro implican una mejora sin inconvenientes.

En cuanto a la logística del municionamiento de cada obús/mortero, no se ha especificado en cada caso ya que, al no tratarse de obuses autopropulsados que posean una extensa Santa Bárbara donde guardar la munición, su municionamiento depende de otros vehículos ajenos al obús/mortero. Por ejemplo, dependiendo del tipo de vehículo tractor que se emplee o vehículo en el que vaya embarcado podrá llevar más o menos munición. Asimismo, en ambos casos se necesitaría otro vehículo que se encargara de transportar la munición y su análisis queda fuera del alcance de este trabajo.

Finalmente, hay que entrar a valorar la capacidad que tiene cada pieza para hacer fuego. Esto puede ser medido de diversas formas, pero en cuanto a la cadencia máxima de disparos por minuto (no confundir con la cadencia máxima de disparos para realizar fuego sostenido) cabe resaltar la gran capacidad por parte del Light Gun para ello, muy cerca del mortero francés y muy por encima del Dragon Fire II.

Capítulo 3. Presentación de alternativas

En la siguiente parte del trabajo se procederá a realizar una comparativa entre los medios que posee actualmente en dotación el GACAPAC VI y dos tipos de morteros que, por sus características, son los candidatos idóneos para ser empleados por el Grupo. Para seleccionar a los candidatos se han tenido en cuenta las características necesarias de un obús/mortero en un Grupo de Artillería Paracaidista tal que: su falta de tecnología electrónica, su capacidad de ser lanzable, o ser un obús/mortero que sea o pueda ser remolcado.

Es por ello que, morteros como el Dragon Fire II u obuses como el Caesar, que a priori podrían parecer muy interesantes por sus características, se han quedado fuera de la comparativa. El SIAC, actualmente en dotación del grupo, también ha sido excluido de la comparativa por no ser afín a las características de la comparación y porque le queda una corta vida útil en el Grupo.

3.1. Light Gun L118

El obús L118 Light Gun es un obús de artillería remolcado empleado por el ejército español desde la década de 1990 en sustitución del OTO Melara M-56. Su origen se remonta a Reino Unido y ha sido empleado en conflictos armados como las Malvinas.

El obús de 105 mm de calibre tiene un alcance máximo de unos 21 km con '*base bleed*' y un peso de unos 1800 kg. Actualmente en el ejército español se emplea en unidades de artillería de campaña como el GACAPAC VI o el Grupo de Artillería de Campaña de la Legión (GACALEG). [18]

El siguiente cuadro resumen especifica las características técnicas de este obús:

FABRICADO	BAE Systems
ARMAMENTO	Obús
CALIBRE	105 mm
ALCANCE MAXIMO	Unos 21 km empleando base bleed
PESO	En torno a 1860 kg
DOTACIÓN	5
CADENCIA MÁXIMA	15 disparos por minuto
OBSERVACIONES	Funcionamiento totalmente mecánico. Es lanzable

Tabla 4. Características Light Gun L118.



Figura 5. Obús Light Gun L118 expuesto en la BRIPAC

3.2. Mortero 120 mm de ánima lisa Soltam M120

El M120 es un mortero de origen israelí capaz de lanzar proyectiles hasta una distancia máxima de 8 km. Este mortero está en la dotación en las unidades de infantería del ET. El ánima del mortero es lisa y permite el disparo de granadas con aletas estabilizadoras. [15]

Sus características técnicas más destacables son:

FABRICADO	Elbit-Soltam (Israel), UROVESA y GMV
ARMAMENTO	Mortero autónomo
CALIBRE	120 mm
ALCANCE MAXIMO	Unos 8 km
PESO	En torno a 600 kg el sistema completo embarcado
DOTACIÓN	4
CADENCIA MÁXIMA	16 disparos por minuto
OBSERVACIONES	Dispone de navegador y GPS para facilitar su propia localización y entrada en posición, que se realiza en menos de un minuto

Tabla 6. Características del mortero M120.



Figura 7. Disparo realizado con el mortero M120

Una de sus grandes ventajas es su peso que solo llega a los 600 kg y por ello destaca en comparación a los obuses de los que dispone actualmente el GACAPAC VI.

3.3. Mortero de 120 mm de ánima rayada MO-120-RT

El MO-120-RT es un mortero pesado de origen francés que se remonta a la década de los 60. Su alcance es significativamente superior al mortero de ánima lisa que emplea el ET, llegando a casi los 17 km con proyectiles asistidos por cohete. Es empleado actualmente por alrededor de 25 países.

Su peso es de casi unos 1500 kg embarcado y posee una cadencia máxima de fuego de 18 disparos por minuto. [11]

FABRICADO	Brandt/TDA Francia
ARMAMENTO	Mortero
CALIBRE	120 mm
ALCANCE MAXIMO	Unos 8 km con munición convencional
PESO	En torno a 1500 kg el sistema completo embarcado
DOTACIÓN	4
CADENCIA MÁXIMA	18 dpm
OBSERVACIONES	Tiene una mayor precisión que el M120 por su ánima rayada y es lanzable

Tabla 8. Características del mortero MO-120-RT.

Una de sus grandes ventajas es la mayor precisión en comparación al mortero de 120 mm empleado por la infantería, anteriormente mencionado, debido al rayado del ánima de su tubo. Además, se destaca su diseño especial integrando el eje de ruedas a modo de cureña, de manera que la entrada y salida de posición es mucho más rápida que un mortero al que hay que colocarle el bípode



Figura 9. Preparación para hacer fuego con el MO-120-RT

Capítulo 4. Encuestas y entrevistas

4.1. Entrevistas

Las entrevistas realizadas a los diferentes mandos del GACAPAC VI (Apéndice D), con el objetivo de esclarecer la problemática real de las piezas del grupo y de una posible integración de morteros en el mismo, han servido para obtener varias conclusiones claras que a continuación se exponen:

A partir de la primera entrevista realizada al actual jefe de la sección de Operaciones en la Batería de Plana Mayor, el cual ha ejercido el mando de una batería de armas anteriormente en el GACAPAC VI, se han comenzado a vislumbrar los problemas reales de las piezas actuales del Grupo. El Teniente ha destacado la dificultad que entraña a la hora de planear cualquier desplazamiento, ya sea táctico o logístico, el empleo del SIAC por sus grandes dimensiones, peso, y falta de movilidad. Ha destacado, en su opinión, la necesidad de que las piezas del Grupo posean una gran potencia de fuego (como requisito principal que deben cumplir todas las piezas de artillería), pero que sean rápidas y móviles en sus desplazamientos y además se simplifique su logística, como requisitos necesarios para unidad como esta.

A su vez, la respuesta que dio a la pregunta sobre la integración de los morteros en el Grupo fue positiva y, pese a que la opción más realista sea el empleo de los morteros de 120 mm de ánima lisa que poseen las Banderas de infantería de la Brigada, se debería contemplar la adquisición del MO-120-RT por ser más preciso y tener más alcance que el actual mortero, por tanto, ser más valioso para el Grupo.

La segunda entrevista se realizó al actual jefe de la Segunda Batería del GACAPAC VI (batería que emplea el SIAC), el cual hizo hincapié en los mismos aspectos que el jefe de la sección de Operaciones, y recalcó la importancia de implementar al menos una batería de morteros en el Grupo para poder tener una fuerza realmente lanzable en el Grupo, ya que la logística que requiere el Light Gun para su lanzamiento es excesiva (Además de que su vehículo tractor no se puede lanzar). Empleando morteros de 120 mm podría ser viable realizar una operación paracaidista como APOFU de artillería, capacidad de la que actualmente carece el ET.

El jefe de la segunda batería coincidió también con lo mismo que refleja el cuadro comparativo de materiales de los distintos países OTAN en cuanto a artillería paracaidista: la necesidad del ejército español de seguir más de cerca las líneas marcadas por los países punteros OTAN en cuanto a la adquisición de material de artillería paracaidista (Estudiar la viabilidad de adquirir el Caesar, el MO-120-RT, etc)

A su vez se realizó también el mismo modelo de entrevista a algunos de los suboficiales más antiguos al mando de piezas o de secciones del Grupo. Entre ella destacaron las conclusiones obtenidas del Sargento Primero jefe de calculadores del Grupo, que ha sido también jefe de pieza tanto en el Grupo de Artillería de Campaña de la Legión (GACALEG) como en este Grupo. Éste último destacó que el carácter del GACAPAC

VI no es el mismo que el del resto de unidades de artillería del ET, sino que, en el Grupo, los criterios a escoger para una elección óptima de piezas, cambia. De esta manera se alineó con la opinión del resto de oficiales en la necesidad existente de realizar cambios, destacó entre muchas otras necesidades, una rápida entrada en posición, poder cumplir modelos de acción, etc. Esta última opinión tiene además el valor añadido por su experiencia pasada como tropa y suboficial en otras unidades de artillería.

4.2. Encuestas

La encuesta (Apéndice A) ha sido repartida entre Caballeros Legionarios Paracaidistas (CLP), Damas Legionarias Paracaidistas (DLP) y suboficiales de la Batería de Plana Mayor con varios años de servicio. Todos ellos han sido sirvientes o jefes de pieza varios años, acumulando así una dilatada experiencia con la problemática específica de este trabajo. Los resultados de la misma serán empleados en la metodología AHP y están reflejados en el Apéndice B.

Capítulo 5. Análisis DAFO

El método de análisis de Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades DAFO (o SWOT que son sus siglas en inglés), es un “Método empleado para determinar las fortalezas y debilidades internas y las oportunidades y amenazas externas.” [19]. Normalmente se exponen en una tabla sintetizada y en el caso concerniente a este trabajo está relacionado con la problemática del mismo, la implantación de morteros en el GACAPAC VI.

DEBILIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> - Menor alcance y menores efectos que las piezas actuales. - Necesidad de instrucción de estos morteros para mandos y tropa. - Falta de doctrina en la integración de morteros en unidades de artillería españolas 	<ul style="list-style-type: none"> - Tal vez requiera realizar un proceso de adquisición. - No poder cumplir con las peticiones de la unidad de maniobra
FORTALEZAS	OPORTUNIDADES
<ul style="list-style-type: none"> - Permite disminuir la logística en comparación a las piezas actuales. - Permite una mayor movilidad táctica - Permite una mayor cadencia de fuego 	<ul style="list-style-type: none"> - Tener una orgánica similar (emplear morteros) a países OTAN punteros en artillería paracaidista. - Poder ofrecer un mejor apoyo a la unidad de maniobra

Tabla 10. Matriz DAFO.

En cuanto a las debilidades, se puede observar que la importancia de perder alcance y efectos por el empleo de morteros es un grave problema para una unidad de artillería, sin embargo, esta debilidad se ve amortiguada porque no se realizaría una sustitución total de las piezas por morteros, sino más bien una integración. Por tanto, una parte de la unidad seguiría teniendo ese alcance y efectos sobre el enemigo y a su vez, la otra, tendría la ventaja de una mayor movilidad. La mencionada necesidad de instrucción no es algo muy relevante ya que cualquier unidad de artillería posee ya la mayor parte de esa formación, incluso bastante más de la que se necesita con los morteros. Sería simplemente una transición hacia el uso del mortero por parte de los artilleros y de los mandos.

La amenaza externa de una posible necesidad de iniciar un proceso de adquisición se puede ver solventada por el empleo del mortero de 120 mm y ánima lisa que ya posee la BRIPAC. En tal caso, con una serie de gestiones básicas e internas de la Brigada, se podrían comenzar a emplear los morteros en el GACAPAC VI. Al hablar de un posible incumplimiento de la misión (no poder realizar todas las acciones de fuego que requiere

la unidad de maniobra), se relaciona con la debilidad de tener menos alcance y menos efectos, por tanto, como ya se ha explicado, es fácil de amortiguar.

Las fortalezas internas de implantar morteros son, tal vez, las que mayor peso en importancia poseen. La logística que implica una de las piezas actuales, como por ejemplo el SIAC, es exponencialmente mayor en comparación a la requerida por los morteros, a su vez, el mantenimiento es mayor y más complejo, los repuestos y reparaciones más complicadas, etc. La movilidad que posee un mortero que pueda ir montado sobre un '*Véhicule de l'Avant Blindé*' (VAB) 6x6 u 8x8, sobre Vehículo de Alta Movilidad Táctico (VAMTAC) o remolcado, será siempre mucho más ágil que una pieza remolcada por un VETT, tanto en desplazamientos entre asentamientos, como en entradas en posición (referido a datos técnicos expuestos en el apéndice A). La última fortaleza es una simple comparación de especificaciones técnicas entre las piezas y los morteros en cuanto a su capacidad para realizar fuego en un momento dado.

Finalmente, las oportunidades tienen una gran importancia porque implican el poseer una mayor integración, tanto a nivel OTAN como nacional. Como se ha descrito en una parte anterior del trabajo, todas las operaciones en el exterior requieren de un alto grado de coordinación y de integración, y no solo operaciones en el exterior, sino también ejercicios tácticos con otros países (En el caso del GACAPAC VI es muy importante, ya que realiza ejercicios de este tipo frecuentemente). Por todo ello, el mejorar la capacidad de integrarse a nivel OTAN y poder cumplir con la misión de realizar APOFU de una manera más eficiente a las unidades de maniobra tiene una gran relevancia en este análisis.

Capítulo 6. Análisis multicriterio AHP

La metodología AHP se remonta a finales de la década de los años 60 y fue desarrollada por el profesor Thomas L. Saaty. Fue empleada en su origen por el departamento de defensa de Estados Unidos para la resolución de problemas en la toma de decisiones. Actualmente, se emplea para la resolución de problemas más o menos complejos relacionados con la toma de decisiones, en los que se tiene que decidir entre unas alternativas y en los que intervienen una serie de criterios y subcriterios, normalmente en conflicto.

La subjetividad juega un papel fundamental, al igual que la información empleada. Por esta razón, es importante el empleo de este método para poder alcanzar un resultado óptimo. [20]

En general, podría establecerse como pasos principales para esta metodología:

- Definir el problema planteado a través de una representación jerarquizada
- Evaluar los criterios y subcriterios
- Evaluar alternativas
- Analizar y sintetizar los resultados para llegar a las conclusiones.

6.1. Representación jerarquizada

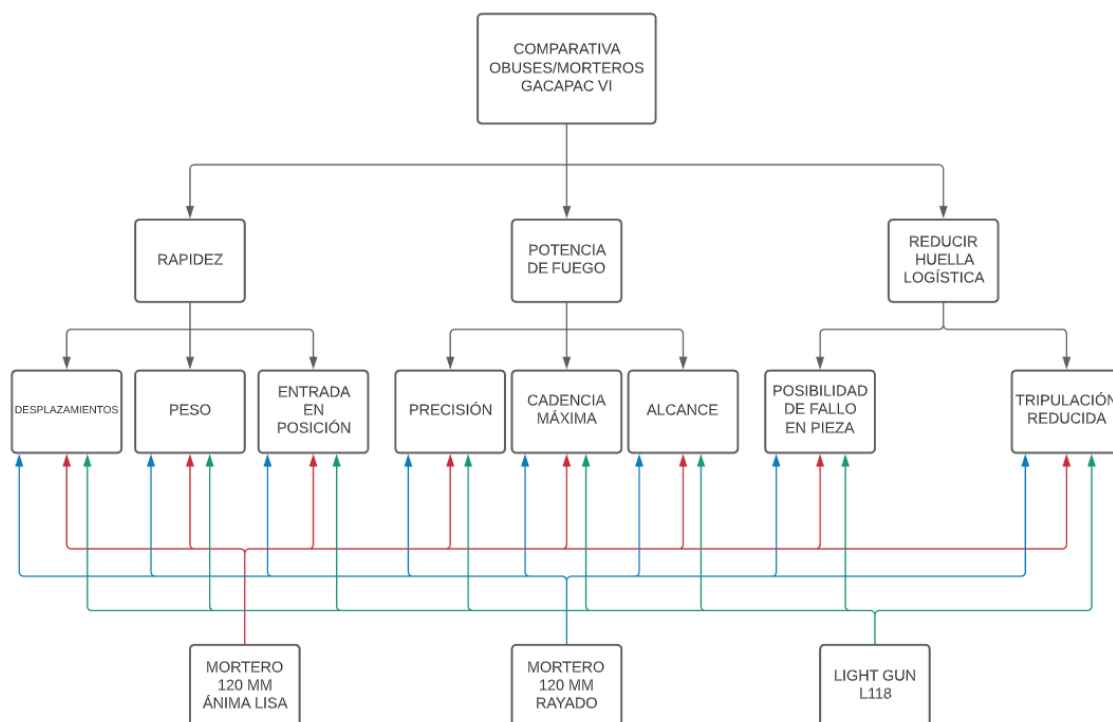


Figura 11. Representación jerarquizada del caso estudiado

La representación gráfica del árbol jerarquizado (figura 11) consta de cuatro niveles: el primer nivel es la comparativa del caso estudiado, después se encuentran los 3 criterios: rapidez, potencia de fuego y reducir la huella logística. En el tercer nivel se encuentran todos los subcriterios y finalmente se sitúan las alternativas. [21]

Se recuerda que finalmente se decidió no reflejar el SIAC 155/52 en la evaluación metodológica ya que, pese a estar en la dotación actual del GACAPAC VI, no seguirá en ella en el futuro por su falta de capacidad de integración en una unidad como la mencionada y no se encuentra en el posible rango de análisis por sus grandes diferencias con respecto a las otras 3 alternativas: El Light Gun L118 y los dos morteros.

El desarrollo de toda la metodología hasta llegar a los pesos buscados para los criterios, subcriterios y alternativas han sido adjuntados en el apéndice C. [22] [23]

6.2. Análisis y síntesis de los resultados

A continuación, se presenta una tabla final con los resultados obtenidos a partir de la aplicación de la metodología AHP:

CRITERIOS/SUBCRITERIOS	PESOS	LIGHT GUN	M. LISO	M.RAYADO
Rapidez	0,43	0,1	0,5	0,4
- Entrada en posición	0,38	0,1	0,45	0,45
-Desplazamientos	0,33	0,14	0,43	0,43
-Peso	0,29	0,05	0,64	0,31
Potencia de fuego	0,43	0,55	0,15	0,3
-Cadencia máxima	0,22	0,14	0,43	0,43
-Precisión	0,45	0,7	0,07	0,23
-Alcance	0,33	0,63	0,06	0,31
Reducir huella logística	0,14	0,53	0,22	0,25
-Probabilidad fallo	0,5	0,6	0,2	0,2
-Tripulación reducida	0,5	0,45	0,23	0,32
		0,35	0,31	0,34

Figura 12. Pesos finales de criterios y subcriterios.

En las celdas inferiores de color verde se destacan los pesos relativos totales de cada obús/mortero pudiendo, a través de estos, jerarquizar las alternativas basándose en el resultado cuantitativo del método.

La primera opción para la problemática global propuesta ha sido el Light Gun L118 con un 35% y muy poca diferencia respecto las dos alternativas: el mortero MO-120-RT y el mortero de 120 mm con ánima lisa. Teniendo cada una de ellas un 34% y un 31% respectivamente. Como puede verse a través de estos resultados, no se refleja una clara preferencia por una de las opciones, pero si se puede vislumbrar que según la metodología AHP, la mejor configuración de obuses/morteros para el GACAPAC VI sería con el Light Gun y el MO-120-RT.

Analizando más en profundidad dentro de cada uno de los criterios, en el caso de rapidez el Light Gun es el más desfavorecido, también dentro de cada uno de sus subcriterios. Entre el mortero de ánima lisa y rayada parte con ventaja en cuanto a rapidez y peso, estando igualados en entrada en posición y desplazamientos.

En cuanto a la potencia de fuego, el Light Gun es el favorito con un 50% de ponderación, dejando atrás al mortero rayado con un 30% y al liso con un 15%. Dentro de sus subcriterios, el Light Gun tiene una clara desventaja en cuanto a su cadencia máxima de fuego, pero aventaja a los morteros en cuanto a alcance y precisión. Siendo el MO-120-RT el mejor entre ambos morteros en estos criterios y subcriterios (exceptuando la igualdad en cadencia máxima de fuego).

Finalmente, en cuanto a reducir la huella logística, sigue teniendo una gran ventaja el Light Gun respecto a los morteros, también dentro de los propios subcriterios. Los dos morteros presentan resultados parecidos en este criterio y sus subcriterios con una pequeña ventaja en favor del MO-120-RT.

Asimismo, para finalizar la metodología AHP se pretende mostrar a través de un análisis de sensibilidad (Anexo D), las diferentes posibilidades que podrían ocurrir en caso de la variación en los pesos de criterios y subcriterios. Es una manera útil de visualizar las variaciones en situaciones cambiantes y dinámicas.

La conclusión más importante extraída del análisis de sensibilidad es la poca consistencia de los resultados, es decir, con una variación en los pesos de los criterios, el resultado final variará. En cambio, si variasen los pesos de los subcriterios sería más difícil alterar el resultado final.

6.3. Importancia de la logística

Si se busca el correcto análisis de esta problemática no se puede pasar por alto la huella logística necesaria para proyectar al Grupo, ya sea en un salto paracaidista o una operación aerotransportada.

Actualmente y hablando del avión A400M, con un solo avión se puede aerotransportar dos Light Gun L118 con sus respectivos vehículos tractores y dotación de personal. Se sitúan con una pequeña ventaja los dos tipos de morteros, pudiendo ser aerotransportados tres de ellos a la vez con sus respectivos vehículos y dotación de personal. [24]

En cuanto al lanzamiento paracaidista, el principal problema que presenta el Light Gun es que su vehículo tractor no es lanzable, mientras que en el caso de los morteros puede realizarse el lanzamiento de dos de ellos con sus vehículos y su dotación de personal desde un solo avión (En el caso del Light Gun, también pueden proyectarse dos de ellos con su dotación de personal, pero sin sus vehículos tractores). [25]

Como conclusión de este apartado, se puede apreciar la ventaja de los morteros sobre el Light Gun en ambas situaciones desde un punto de vista logístico.

Capítulo 7. Conclusiones

A lo largo del trabajo se han atravesado varias fases; desde el estudio del estado del arte a nivel OTAN y de la dotación española de artillería paracaidista, hasta el análisis en profundidad a través de la metodología AHP de dos tipos de morteros y del Light Gun L118, para poder concluir con su posible implantación en el Grupo (o en el caso del Light Gun, su mantenimiento en la dotación del GACAPAC VI).

En cuanto al análisis de materiales de artillería paracaidista se puede concluir que, pese a que las tendencias actuales y futuras en la OTAN indiquen una preferencia por los morteros embarcados y que éstos posean unos sistemas electrónicos modernos de los que se puede beneficiar la artillería, no se puede perder de vista lo que exige la artillería paracaidista actualmente, que son piezas remolcadas y con poca tecnología para poder ser lanzables.

Relacionado con lo anterior, tampoco se deben olvidar las características fundamentales de la artillería: potencia de fuego y precisión, además de que la reducción de tripulación en el ambiente en el que se emplea la artillería paracaidista podría ser más una servidumbre y una desventaja (por la falta de personal para dar una seguridad inmediata a la línea de piezas en territorio enemigo)

Tras lo extraído anteriormente, las opciones más razonables que coinciden en lo exigido por la condición de unidad de artillería paracaidista son: el Light Gun L118, el MO-120-RT y el mortero de 120 mm propio de las Banderas de infantería de la Brigada.

Una vez presentadas las alternativas y realizado su análisis se ha llegado a unos resultados cuantitativos muy parecidos a lo esperado con el análisis cualitativo: una pequeña predominancia del Light Gun sobre los morteros, y del mortero rayado sobre el liso.

En cuanto al análisis de sensibilidad presentado en el apéndice D y relacionado a lo expuesto en el anterior párrafo, se puede ver una pequeña falta de consistencia en los resultados del método AHP. Esto quiere decir que, ante un cambio no muy grande en el peso de los criterios, es posible que el resultado final de este estudio varíe.

Por todo lo anterior, el trabajo concluye finalmente con la viabilidad de la integración de morteros en este tipo de unidades, sin restar éstos importancia al Light Gun L118, que sigue siendo la mejor opción para el Grupo.

Capítulo 8. Líneas futuras

A pesar de los resultados y conclusiones obtenidas en el trabajo siempre se debe mirar más allá, pensar en posibles nuevas mejoras a raíz de tiempos y situaciones cambiantes, o simplemente posibles mejoras actuales que no se hayan reflejado en el trabajo.

Una de las posibles líneas de estudio para actualizaciones futuras del GACAPAC VI sería la de adaptar la orgánica del Grupo al modelo de Francia. La unidad de artillería paracaidista francesa tiene en dotación actualmente el mortero rayado de 120 mm y el Caesar. A priori, puede parecer una organización similar a la del ET por tener un mortero/obús más móvil y con capacidad lanzable, pero su funcionamiento táctico es diferente. La capacidad de la unidad francesa es tal que, dependiendo del tipo de misión exigida, pueden emplear únicamente o morteros o Caesars, en cambio, el GACAPAC VI debe emplear siempre tanto Light Gun como SIAC por tener únicamente una y dos baterías respectivamente. Sería interesante que, además de la adquisición de un nuevo mortero para el GACAPAC VI, se plantease una distribución orgánica como la de Francia para una mayor eficacia en el desempeño de los cometidos.

Otro de los posibles planteamientos de mejoras futuras sería contemplar el empleo de morteros completamente embarcados con capacidad lanzable (este último requisito es la parte más difícil de resolver de la ecuación). Esta línea parece que es la seguida por varios países punteros de la OTAN como por ejemplo Estados Unidos, aunque sin tener por el momento esa capacidad lanzable.

Finalmente, desviándose de lo expuesto en el párrafo anterior, otra de las líneas futuras podría ser la mejora o la creación de un nuevo vehículo tractor para los obuses/morteros. Es una de las partes más importantes y que puede marcar la diferencia en cuanto a conseguir una mayor ventaja táctica respecto a las capacidades actuales. El empleo de un vehículo tractor con una gran movilidad, capacidad lanzable y la potencia suficiente para remolcar un obús sería el objetivo óptimo que buscar, al menos hasta que se consiguiese llegar al mortero embarcado y lanzable.

Referencias

- [1] Mando de Adiestramiento y Doctrina (2014) Glosario de términos militares. PD0-000. Ministerio de Defensa. Ejército de Tierra.
- [2] Sánchez, C. J. F. (2019, 8 diciembre). Evolución de la doctrina militar: La doctrina de Artillería antes de la Primera Guerra Mundial. Global Strategy - Universidad de Granada. <https://global-strategy.org/evolucion-de-la-doctrina-militar-la-doctrina-de-artilleria-antes-de-la-primera-guerra-mundial/> - Último acceso el 25/10/2020
- [3] Mando de adiestramiento y doctrina Sc. De asuntos internacionales OFEN TRADOC (2019, junio). Informe respuesta del OFEN en el TRADOC (US Army) sobre apoyos de fuegos en operaciones paracaidistas (TRA 1975 R). Ministerio de Defensa / Ejército de Tierra.
- [4] Headquarters. (2016, marzo). FIRE SUPPORT FOR THE BRIGADE COMBAT TEAM (ATP 3-09.42). Department of the Army. https://armypubs.army.mil/ProductMaps/PubForm/Details.aspx?PUB_ID=106013 - Último acceso el 05/10/2020
- [5] Sanz, D. A. M. D. J. (2016, 7 abril). La adaptación a las BOP, prioridad para la BRIPAC. Defensa.com. <https://www.defensa.com/espana/adaptacion-bop-prioridad-para-bripac> - Último acceso el 25/09/2020
- [6] Departamento de Seguridad Nacional (2017) ‘Amenazas y desafíos para la seguridad nacional’, Estrategia de Seguridad Nacional 2017. Presidencia del Gobierno. http://www.dsn.gob.es/sites/dsn/files/ESN2017_capitulo_4.pdf - Último acceso el 10/09/2020
- [7] Del Valle, J. (2020, febrero–junio). Teoría general de las OO.II. [Presentación de clase]. CUD, Zaragoza, España.
- [8] GACA V. (2009, julio). Modelización de proyectiles de base burn. Memorial de artillería, 165. https://publicaciones.defensa.gob.es/media/downloadable/files/links/R/E/REVISTAS_PDF1149.pdf - Último acceso el 22/10/2020
- [9] CAESAR 155mm 6x6 wheeled self propelled howitzer Nexter Systems France French defense industry. (2016, 15 agosto). [Video]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=2TQ6QRAMJww&ab_channel=DefenseWebTV
- [10] Weapon systems & munitions | Thales Group. (2018). Thalesgroup.com. <https://www.thalesgroup.com/en/global/activities/defence/air-forces/weapon-systems-munitions> - Último acceso el 15/10/2020

- [11] 120 mm MO-120-RT. (s. f.). Thalesgroup.com. <https://weaponsystems.net/system/342-120mm+MO-120-RT> – Último acceso el 27/10/2020
- [12] Trohanowsky, J. (2005, 17 mayo). 120mm Mortar System Accuracy Analysis [Conferencia]. International Infantry & Joint Services Small Arms Systems Annual Symposium, Exhibition & Firing Demonstration, Washington, USA. <https://ndiastorage.blob.core.usgovcloudapi.net/ndia/2005/smallarms/tuesday/trohanowsky.pdf> - Último acceso el 28/09/2020
- [13] Mando de adiestramiento y doctrina (2017). Bocas de fuego. ACART-FM-002. Ministerio de Defensa.
- [14] Pike, J. (s. f.). M777 Lightweight 155mm howitzer (LW155). Globalsecurity.org. <https://www.globalsecurity.org/military/systems/ground/lw155.htm> - Último acceso el 10/09/2020
- [15] Elbit systems. (2012). 120 mm mortars system [Conjunto de datos]. Elbit systems. <https://elbitsystems.com/media/120mm-Mortars.pdf> - Último acceso el 19/10/2020
- [16] AM General. (2018). Hawkeye 105 mm mobile weapon system brochure [Conjunto de datos]. AM General. http://www.mandusgroup.com/wp-content/uploads/2016/12/Mandus_Hawkeye-HMMWV-Brochure.pdf - Último acceso el 19/10/2020
- [17] RUAG AG. (2019). Brochure Cobra Mortar System [Conjunto de datos]. RUAG AG. https://www.ruag.ch/sites/default/files/2020-07/Brochure_Cobra%20Mortar%20System_en.pdf – Último acceso el 19/10/2020
- [18] BAE Systems. (2018). 105 mm Light Gun Brochure [Conjunto de datos]. BAE Systems. <https://www.baesystems.com/en/download-en/20180307125153/1434610546921.pdf> - Último acceso el 26/10/2020
- [19] Heizer, J., & Render, B. (2009). Principios de Administración de Operaciones (7ª ed.). Pearson Prentice Hall.
- [20] Nieto, M. Á. (2020, 12 octubre). Aplicación del modelo AHP como apoyo para la toma de decisiones en proyectos de grandes infraestructuras con impacto social. Dialnet. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4005082> – Último acceso el 10/10/2020
- [21] Harbour, M. G. H. (2009, 28 octubre). Estructuras de datos y algoritmos [Diapositivas]. ctr.unican.es. <https://www.ctr.unican.es/asignaturas/eda/cap3-jerarquicos-2en1.pdf> - Último acceso el 05/09/2020
- [22] Heliodoro Márquez Rosales. (1999). Métodos matemáticos de evaluación de factores de riesgo para el patrimonio arqueológico: una aplicación GIS del método de jerarquías analíticas de T.L. Saaty. https://institucional.us.es/revistas/spal/8/art_2.pdf
- [23] Saaty Thomas L. (1997). Toma de Decisiones Para Líderes. El proceso jerárquico analítico. La toma de decisiones en un mundo complejo. RWS Publications, USA.

- [24] Papachristofilou, I. (2019, noviembre). Transport and mission aircraft. Airbus. <https://www.airbus.com/content/dam/events/conference/tmb2019/TMB-2019-A400M.pdf>
- [25] Airbus military. (2008, marzo). A400M the versatile airlifter. Airbus. https://exoaviation.webs.com/pdf_files/A400M_Pocket_Guide.pdf
- [26] Saaty, T. L. (1980) The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation. McGraw-Hill.
- [27] Academia de Logística (2013) ‘Metodología AHP Explicación y Caso práctico’. Academia de Logística.
- Garabato Hernando, A. (2018). Vehículos de cadenas en las unidades de ACA ATP: Análisis de alternativas y selección. Trabajo de fin de grado, Centro Universitario de la Defensa, Zaragoza.

Apéndice A: Encuesta realizada

CUESTIONARIO RELACIONADO CON EL CASO ESTUDIADO – Fuente: elaboración propia.

CUESTIONARIO DE EVALUACIÓN DE CRITERIOS, SUBCRITERIOS Y ALTERNATIVAS PARA SU ANÁLISIS MEDIANTE EL PROCESO AHP (ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS)

La realización de este cuestionario es totalmente voluntaria. Si tiene dudas durante la confección del presente cuestionario, pregunte al responsable.

Empleo: _____

Nombre y apellidos: _____

MUCHAS GRACIAS POR SU COLABORACIÓN.

El objeto de este cuestionario es la recopilación de las opiniones de una serie de personal experto en la utilización de sistemas de armas de apoyo de fuegos en el entorno de la artillería paracaidista.

En él, se quiere medir la importancia de una serie de criterios a tener en cuenta para la adquisición de una nueva pieza para el GACAPAC VI.

EVALUACIÓN DE CRITERIOS

A continuación, se definirán los 3 criterios para evaluar posteriormente:

- **RAPIDEZ**

Es la necesidad principal que presenta el material del que debe disponer el GACAPAC VI en dotación para ser eficaces en el cumplimiento de la misión que se le encomiende, entendiéndose como un grupo de artillería caracterizado por su gran flexibilidad y con capacidad para una rápida intervención. Los subcriterios dentro de la rapidez son:

- Rapidez en la entrada en posición:
Es un indicador aproximado ya que depende del grado de instrucción que posea la unidad, pero de gran utilidad para comparar el rendimiento táctico que puede ofrecer cada alternativa. (Explicar brevemente el modelo de acción)
- Rapidez en los desplazamientos:
Depende más bien del vehículo tractor que remolque la pieza, aunque obuses como el SIAC tengan la capacidad de realizar pequeños desplazamientos de manera autónoma.
- Peso:
Es una característica fundamental de las piezas ya que el peso limita en gran parte su capacidad de movimiento y su capacidad de ser aerotransportable, o incluso lanzable.

- **POTENCIA DE FUEGO**

La potencia de fuego es un requisito fundamental en la elección de un arma de apoyo de artillería ya que es su fin último, el fuego de apoyos.

- Cadencia máxima de fuego:
Es un medidor que refleja la capacidad máxima de la pieza para hacer fuego sostenido durante un minuto. Con esto se puede vislumbrar la eficacia de una pieza para realizar fuego de manera continua en una situación de necesidad de APOFU puntual

- Precisión
Como bien se expresa en la definición de artillería dada en la introducción; la precisión es una parte fundamental de la misma ya que influye en el daño causado y el ahorro de munición respectivamente.
- Alcance:
El alcance de una pieza de artillería es uno de los datos más importantes a nivel táctico para planear una operación por la limitación que ello supone, es decir, tener suficiente alcance como para poder realizar los APOFU exigidos por la unidad de maniobra.

- **HUELLA LOGÍSTICA REDUCIDA**

La logística ha sido durante toda la historia, y sigue siendo actualmente, la parte más importante del planeamiento en un conflicto armado. No solo es importante la capacidad de proyección de una fuerza en un territorio, sino que la parte más complicada era mantener el apoyo logístico necesario una vez allí.

- Probabilidad de fallo en una pieza:
Una de las servidumbres más importantes que presentan las piezas de artillería es la alta probabilidad de sufrir un fallo que deje no-operativa a la misma. Por ello se puede considerar que una pieza como el Light gun es menos proclive a sufrir fallos que el SIAC debido a que presenta menos elementos electrónicos.
- Tripulación reducida:
La tecnología que desarrollan algunas piezas de artillería actualmente consigue que el número de tripulación/operadores de la pieza se pueda ver disminuido y por tanto es una ventaja en cuanto a la logística. Por ejemplo, el SIAC puede trabajar en modo manual o automático, reduciendo en este último la necesidad de personal.

CARACTERÍSTICAS DE LAS ALTERNATIVAS A, C y D

	A
Peso	1.860 kg
Alcance	21 km
Lanzable (A400M)	SI
Número de sirvientes	5
Cadencia máxima	15 dpm
Tiempo de entrada en posición	Aprox. 3 min
Velocidad máxima	65 km/h en camino

Tabla 13. Características de la alternativa A.

- Puede ser transportado plegado o desplegado (para desplazamientos cortos)
- Funcionamiento totalmente mecánico, sin componentes electrónicos

	C
Peso	Unos 300 kg
Alcance	8,3 km
Lanzable (A400M)	SI
Número de sirvientes	4
Cadencia máxima	16 dpm
Tiempo de entrada en posición	Aprox. 35 s
Velocidad máxima	90 km/h en camino

Tabla 14. Características de la alternativa C.

- Dispara montado desde VAMTAC o BMR
- La placa se apoya en el suelo para hacer fuego, no desde el propio vehículo
- No se levanta topográficamente con la misma precisión que las alternativas ‘A’ y ‘B’
- La dirección de tiro posibilita integrar un sistema con diversos sensores y sistemas automáticos, la pieza se apunta automáticamente con motores de elevación y dirección

	D
Peso	582 kg
Alcance	Casi 17 km
Lanzable (A400M)	SI
Número de sirvientes	4
Cadencia máxima	18 dpm
Tiempo de entrada en posición	Aprox. 35 s
Velocidad máxima	70 km/h en camino

Tabla 15. Características de la alternativa D.

- Dispara montado en un VAB 6x6 francés
- Dirección de tiro automática e integrada con sistema de navegación y de posicionamiento de la pieza
- Navegación inercial, freno y recuperación, mecanismo de carga semi-automático.

INSTRUCCIONES

Seleccionará marcando con una equis (X) el criterio que considere más importante de las opciones disponibles en cada pregunta, y a continuación lo cuantificará introduciendo un valor numérico en el campo “VALOR”, de acuerdo con la escala mostrada.

IMPORTANTE: Las respuestas deben ser proporcionales y seguir una coherencia entre ellas. Por ejemplo, si existen tres criterios y se evalúa en el enfrentamiento entre el 1 y el 2, con un 7 de importancia a favor del 1, en el enfrentamiento del 1 con el 3, con un 4 a favor del 1, no podría poner en el enfrentamiento del 2 y el 3 que es más importante el criterio 2 que el criterio 3. Deben ser respuestas coherentes en su conjunto.

EJEMPLO:

RAPIDEZ _X_ POTENCIA DE FUEGO ____ - VALOR: _3_

En caso de que los considere igual de importantes, marque cualquiera de ellos y valórelo con 1.

Escala numérica	Escala verbal	Explicación
1	Igualmente preferida.	Dos elementos contribuyen en igual medida al objetivo.
3	Moderadamente preferida.	La experiencia y el juicio favorecen levemente a un elemento sobre el otro.
5	Fuertemente preferida.	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente a un elemento sobre el otro.
7	Preferencia muy fuerte o demostrada.	Un elemento es mucho más favorecido que el otro; su predominancia se demostró en la práctica.
9	Extremadamente preferida.	Preferencia clara y absoluta de un criterio sobre otro.
2, 4, 6, 8		Intermedia entre valores anteriores.

Tabla 16. Escala Saaty.

EVALUACIÓN DE LOS CRITERIOS

RAPIDEZ ____ POTENCIA DE FUEGO ____ - VALOR: ____

RAPIDEZ ____ REDUCIR HUELLA LOGÍSTICA ____ - VALOR: ____

POTENCIA DE FUEGO ____ REDUCIR HUELLA LOGÍSTICA ____ - VALOR: ____

EVALUACIÓN DE LOS SUBCRITERIOS

- Rapidez:

Entrada en posición ____ Desplazamiento ____ - VALOR: ____

Entrada en posición ____ Peso ____ - VALOR: ____

Peso ____ Desplazamiento ____ - VALOR: ____

- Potencia de fuego:

Cadencia de fuego máxima ____ Precisión ____ - VALOR: ____

Cadencia de fuego máxima ____ Alcance ____ - VALOR: ____

Alcance ____ Precisión ____ - VALOR: ____

- Reducir huella logística:

Probabilidad de fallo en una pieza ____ Tripulación reducida ____ - VALOR: ____

EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

En función de la información que posee de las diferentes alternativas y de los criterios y subcriterios anteriormente explicados, indique para cada criterio y subcriterio qué alternativa lo cumple de mejor forma, indicando A, B, C o D. También escriba la valoración que da al nivel de cumplimiento comparado con las otras alternativas, según la escala expuesta anteriormente.

- RAPIDEZ – ALTERNATIVA → ____ VALOR: ____

- Rapidez en la entrada en posición: Alternativa → ____ VALOR: ____
- Rapidez en los desplazamientos: Alternativa → ____ VALOR: ____
- Peso: Alternativa → ____ VALOR: ____

- POTENCIA DE FUEGO - ALTERNATIVA → ____ VALOR: ____

- Cadencia máxima de fuego: Alternativa → ____ VALOR: ____
- Precisión: Alternativa → ____ VALOR: ____
- Alcance: Alternativa → ____ VALOR: ____

- REDUCIDA HUELLA LOGÍSTICA - ALTERNATIVA → ____ VALOR: ____

- Probabilidad de fallo en una pieza: Alternativa → ____ VALOR: ____
- Tripulación reducida: Alternativa → ____ VALOR: ____

Apéndice B: Resultado de las encuestas

	PREGUNTA	OPCIÓN A		OPCIÓN B		MEDIA A	MEDIA B	Media mayor/Media menor	Valor Saaty
		Sumatorio	Pax.	Sumatorio	Pax.				
PREGUNTAS CRITERIOS	1	40	11	36	9	3,64	4,00	1,09	1
	2	51	14	18	6	3,64	3	1,21	3
	3	52	11	36	9	4,73	4	1,18	3
PREGUNTAS RAPIDEZ	1	45	13	30	7	3,46	4,28	1,31	1/3
	2	76	15	17	5	5,07	3,4	1,50	6
	3	24	9	26	11	2,67	2,36	1,13	3
PREGUNTAS POTENCIA DE COMBATE	1	11	3	89	17	3,66	5,24	1,43	1/3
	2	36	8	54	12	4,5	4,5	1	1
	3	29	7	53	13	4,14	4,08	1,01	1

PREGUNTA LOGÍSTICA	HUELLA	1	68	17	12	3	4	4	1	1
--------------------	--------	---	----	----	----	---	---	---	---	---

Tabla 17. Resultado de las encuestas sobre criterios y subcriterios

	A			D			C			Media mayor/Media menor			Valores escala Saaty		
Criterio/Subcriterio	Suman	Pax.	Media	Suman	Pax.	Media	Suman	Pax.	Media	A - D	A - C	C - D	A - D	A - C	C - D
RAPIDEZ	13	3	4,3	33	5	6,6	81	12	6,75	1,53	1,57	1,02	1/5	1/5	1
Rapidez en entrada en posición	12	3	4	27	4	6,75	85	13	6,54	2,25	1,64	1,03	1/5	1/5	1
Rapidez en desplazamientos	10	2	5	28	4	7	90	14	6,42	1,4	1,28	1,09	1/3	1/3	1
Peso	0	0	0	5	1	5	110	19	5,79	∞	∞	1,16	1/9	1/9	3

POTENCIA DE FUEGO	101	18	5,61	3	1	3	4	1	4	1,87	1,4	1,3	5	3	3
Cadencia máxima de fuego	20	4	5	48	8	6	50	8	6,25	1,2	1,25	1,04	1/3	1/3	1
Precisión	110	15	7,3	30	5	6,6	0	0	0	1,1	∞	∞	3	9	1/9
Alcance	114	19	6	5	1	5	0	0	0	1,2	∞	∞	3	9	1/9
HUELLA LOGÍSTICA REDUCIDA	70	11	6,36	12	3	4	35	6	5,83	1,59	1,09	1,46	5	1	3
Bajo probabilidad de fallo en pieza	93	15	6,2	20	4	5	5	1	5	1,24	1,24	1	3	3	1
Tripulación reducida	14	2	7	57	9	6,3	56	9	6,2	1,09	1,13	1,01	1	3	1

Tabla 18. Resultado de las encuestas sobre alternativas

Apéndice C: Metodología AHP

Para evaluar la importancia que tienen los criterios y subcriterios de este proyecto se deben calcular sus pesos relativos primero para poder llegar al peso final de cada uno.

VALOR	DEFINICIÓN	COMENTARIOS
1	Igual importancia	El criterio A es igual de importante que el criterio B
3	Importancia moderada	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente al criterio A sobre el B
5	Importancia grande	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente el criterio A sobre el B
7	Importancia muy grande	El criterio A es mucho más importante que el B
9	Importancia extrema	La mayor importancia del criterio A sobre el B está fuera de toda duda
2,4,6 y 8	Valores intermedios entre los anteriores, cuando es necesario matizar	

Tabla 19. Escala Saaty

La tabla anterior refleja el método de valoración que han empleado los expertos para realizar la encuesta comparativa a pares entre los distintos criterios y subcriterios.

En la encuesta se ha mostrado la inclinación de los encuestados hacia un lado u otro (Opción A u opción B), y a su vez, han valorado esa inclinación del 1 al 9 con la escala Saaty. A continuación, Se ha realizado la división de las medias obtenidas en dichas valoraciones, para acabar asignándole un valor a cada comparación de criterios o subcriterios con la siguiente tabla de equivalencias:

Resultado de media mayor/media menor	Valor en escala Saaty
[1;1,1)	1
[1,1;1,5)	3
[1,5;3)	5
[3;4)	7
[4; ∞)	9

Tabla 20.- Escala empleada por Saaty

A partir de los valores obtenidos en esta tabla se rellenan las celdas de la matriz comparación.

A continuación, se ejemplifica el procedimiento matemático explicado anteriormente:

Las medias resultantes de la comparativa de los criterios de rapidez y potencia de fuego son 3,07 y 4,14 respectivamente. El resultado de su división es $4,14/3,07 = 1,35$; por tanto, el valor obtenido a partir de ello es $1/3$ por estar comprendido entre 1,1 y 1,5 y ser mayor la segunda media.

A continuación, se debe introducir cada uno de los valores anteriores en la tabla de la matriz comparativa que se denominará matriz ‘‘G’’. El resultado es el siguiente:

CRITERIOS	Rapidez	Potencia de fuego	Reducir huella logística
Rapidez	1	1	3
Potencia de fuego	1	1	3
Reducir huella logística	1/3	1/3	1

Tabla 21. Tabla de matriz G

Los números que se encuentran en las celdas de la diagonal siempre serán 1 ya que es la comparación de cada criterio con uno mismo.

A partir de la matriz ‘‘G’’ se procederá a la normalización de la misma. Este procedimiento consiste en la división de cada celda entre el sumatorio de la columna a la que corresponde de la matriz ‘‘G’’, tal que su resultado será:

$$G' = \begin{pmatrix} \frac{g_{11}}{\sum g_{i1}} & \dots & \frac{g_{1m}}{\sum g_{im}} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{g_{n1}}{\sum g_{i1}} & \dots & \frac{g_{nm}}{\sum g_{im}} \end{pmatrix}$$

Finalmente, para calcular los pesos relativos (W_i) de cada criterio se debe calcular la media aritmética de cada fila de la matriz G' para obtener el vector resultado final. En este caso se haría:

$$W = \begin{pmatrix} g'_{11} + \dots + g'_{1m} \\ \vdots \\ g'_{n1} + \dots + g'_{nm} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix};$$

$$W = \begin{pmatrix} \frac{X_1}{m} \\ \vdots \\ \frac{X_n}{m} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} W_1 \\ \vdots \\ W_n \end{pmatrix}$$

Como resultado de esto último, el vector resultado del peso (W) de los criterios queda tal que:

$$W = \begin{pmatrix} 0,43 \\ 0,43 \\ 0,14 \end{pmatrix}$$

A raíz de estos resultados, se puede comprobar en ellos que la potencia de fuego y la rapidez son los criterios más valorados y, por tanto, más importante para la elección de una pieza/mortero para el grupo.

Siguiendo la metodología, se debe comprobar la consistencia de los pesos anteriormente calculados. Para la metodología AHP se puede asumir un nivel de inconsistencia de hasta 0,1 ya que no se puede conseguir que sea una consistencia perfecta. Para ello empleamos la Razón de Consistencia (RC) de cada matriz:

$$RC = \frac{CI}{RI}$$

CI: Índice de consistencia

RI: Índice aleatorio tabulado

Para hallar el valor de CA simplemente debemos emplear la tabla propuesta por el método para ello, que se expone a continuación:

Valor del índice aleatorio en función del orden de la matriz

N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

Tabla 22. Valor del índice aleatorio en función del orden de la matriz.

Para poder realizar esta ecuación y obtener RC se debe “calcular el eigenvalor principal de dicha matriz el cual nos va a proporcionar una medida cuantitativa de los juicios de valor asignados a los elementos de la matriz de comparación por pares” [22]. Para su obtención aplicamos la expresión donde la N es el tamaño de la matriz de la cual se quiere conocer su RC:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - N}{N - 1}$$

Y donde λ_{max} se halla con la multiplicación de $G \cdot W$.

$$\begin{pmatrix} g_{11} + & \cdots & +g_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ g_{n1} + & \cdots & +g_{nm} \end{pmatrix} X \begin{pmatrix} W_1 \\ \vdots \\ W_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} g_{11} * W_1 + & \cdots & +g_{1m} * W_n \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ g_{n1} * W_1 + & \cdots & +g_{nm} * W_n \end{pmatrix}$$

A continuación, se dividirá cada celda resultante entre su “W” correspondiente.

$$\begin{pmatrix} \frac{g_{11} * W_1 + \cdots + g_{1m} * W_n}{W_1} \\ \vdots \\ \frac{g_{n1} * W_1 + \cdots + g_{nm} * W_n}{W_n} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \lambda_{max_1} \\ \vdots \\ \lambda_{max_n} \end{pmatrix}$$

Para hallar el eigenvalor λ_{max} se debe calcular la media aritmética del vector anteriormente hallado de la siguiente forma:

$$\lambda_{max} = \frac{\lambda_{max_1} + \cdots + \lambda_{max_n}}{n}$$

Conocidos ya todos los datos y resultados de las ecuaciones solo se necesita comprobar que la RC no sea superior a 0,10 para considerar que se han empleado unos juicios realmente consistentes para las evaluaciones.

En este caso el RC obtenido no es superior al 0,1; por tanto, se pueden considerar aceptables como conclusión los resultados de la evaluación. [22]

SUBCRITERIOS

De esta manera, se calculará con el procedimiento anterior todos los pesos y consistencias de los subcriterios, los cuales se muestran en la siguiente tabla:

RAPIDEZ	Entrada en posición	Desplazamiento	Peso	Peso (W)
Entrada en posición	1	1/3	6	0,38
Desplazamiento	3	1	1/3	0,33
Peso	1/6	3	1	0,29

Tabla 23. Tabla de criterio Rapidez I

RC<0,1

POTENCIA DE FUEGO	Cadencia máxima de fuego	Precisión	Alcance	Peso (W)
Cadencia máxima de fuego	1	1/3	1	0,22
Precisión	3	1	1	0,45
Alcance	1	1	1	0,33

Tabla 24. Tabla de criterio Potencia de fuego I

RC<0,1

REDUCIR HUELLA LOGÍSTICA	Probabilidad de fallo	Tripulación reducida	Peso (W)
Probabilidad de fallo	1	1	0,5
Tripulación reducida	1	1	0,5

Tabla 25. Tabla de criterio Reducir huella logística I

RC<0,1

EVALUAR ALTERNATIVAS

Para la evaluación de las alternativas presentadas anteriormente se ha realizado el mismo procedimiento matemático-estadístico que para la evaluación de criterios y subcriterios con la correspondiente generación de matrices que reflejen los resultados tal que:

RAPIDEZ	Light Gun	Mortero rayado	Mortero liso	Peso (W)
Light Gun	1	1/5	1/5	0,1
Mortero rayado	5	1	1	0,45
Mortero liso	5	1	1	0,45

Tabla 26. Tabla de criterio Rapidez II

RC<0,1

Entrada en posición	Light Gun	Mortero rayado	Mortero liso	Peso (W)
Light Gun	1	1/5	1/5	0,1
Mortero rayado	5	1	1	0,45
Mortero liso	5	1	1	0,45

Tabla 27. Tabla de subcriterio Entrada en posición

RC<0,1

Desplazamiento	Light Gun	Mortero rayado	Mortero liso	Peso (W)
Light Gun	1	1/3	1/3	0,14
Mortero rayado	3	1	1	0,43
Mortero liso	3	1	1	0,43

Tabla 28. Tabla de subcriterio Desplazamiento

RC<0,1

Peso	Light Gun	Mortero rayado	Mortero liso	Peso (W)
Light Gun	1	1/9	1/9	0,05
Mortero rayado	9	1	1/3	0,31
Mortero liso	9	3	1	0,64

Tabla 29. Tabla de subcriterio Peso

RC<0,1

POTENCIA DE FUEGO	Light Gun	Mortero rayado	Mortero liso	Peso (W)
Light Gun	1	5	3	0,64
Mortero rayado	1/5	1	1/3	0,11
Mortero liso	1/3	3	1	0,25

Tabla 30. Tabla de criterio Potencia de fuego II

RC<0,1

Cadencia máxima de fuego	Light Gun	Mortero rayado	Mortero liso	Peso (W)
Light Gun	1	1/3	1/3	0,14
Mortero rayado	3	1	1	0,43
Mortero liso	3	1	1	0,43

Tabla 31. Tabla de subcriterio Cadencia máxima de fuego

RC<0,1

Precisión	Light Gun	Mortero rayado	Mortero liso	Peso (W)
Light Gun	1	3	9	0,7
Mortero rayado	1/3	1	3	0,23
Mortero liso	1/9	1/3	1	0,07

Tabla 32. Tabla de subcriterio Precisión

RC<0,1

Alcance	Light Gun	Mortero rayado	Mortero liso	Peso (W)
Light Gun	1	3	9	0,63
Mortero rayado	1/3	1	9	0,31
Mortero liso	1/9	1/9	1	0,06

Tabla 33. Tabla de subcriterio Alcance

RC<0,1

REDUCIR HUELLA LOGÍSTICA	Light Gun	Mortero rayado	Mortero liso	Peso (W)
Light Gun	1	5	1	0,48
Mortero rayado	1/5	1	1/3	0,12
Mortero liso	1	3	1	0,4

Tabla 34. Tabla de criterio Reducir huella logística II

RC<0,1

Baja probabilidad fallo en pieza	Light Gun	Mortero rayado	Mortero liso	Peso (W)
Light Gun	1	3	3	0,6
Mortero rayado	1/3	1	1	0,2
Mortero liso	1/3	1	1	0,2

Tabla 35. Tabla de subcriterio Baja probabilidad de fallo en pieza

RC<0,1

Tripulación reducida	Light Gun	Mortero rayado	Mortero liso	Peso (W)
Light Gun	1	1	3	0,45
Mortero rayado	1	1	1	0,32
Mortero liso	1/3	1	1	0,23

Tabla 36. Tabla de subcriterio Tripulación reducida

RC<0,1

Las tablas anteriores reflejan los resultados buscados cumpliendo la metodología y manteniéndose los valores de RC permanentemente por debajo de 0,1 por lo que son resultados consistentes.

Apéndice D: Análisis de sensibilidad

A continuación, se presentan los resultados más importantes dentro del análisis de sensibilidad. En ellos se pretende mostrar cuánto es necesario que cambien los pesos de los criterios o subcriterios para que varíe al resultado final.

En este primer caso, se muestra primero los valores originales de los pesos de los criterios, seguido de dos casos que provocarían variaciones a la hora de la elección de alternativa:

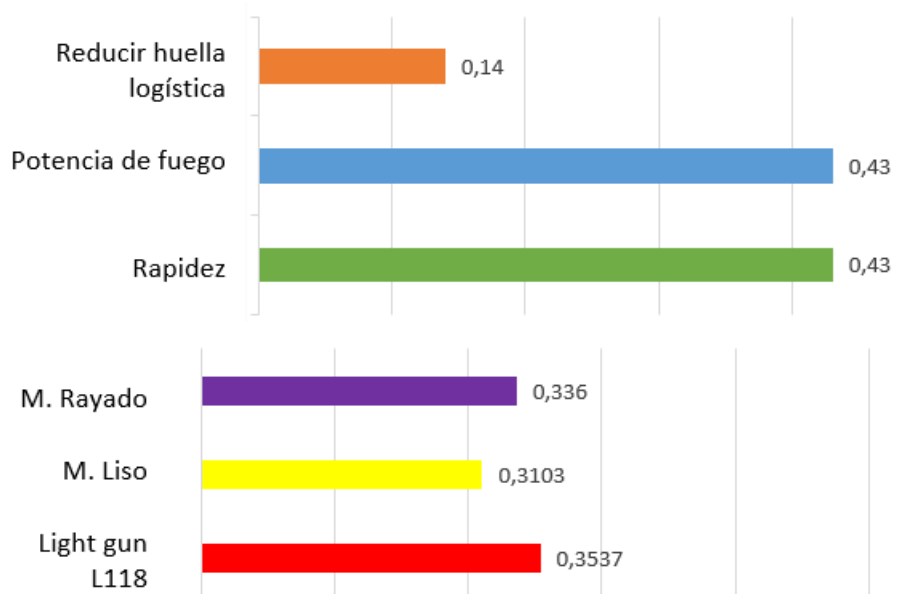


Figura 37. Peso de criterios y resultado numérico AHP de las alternativas

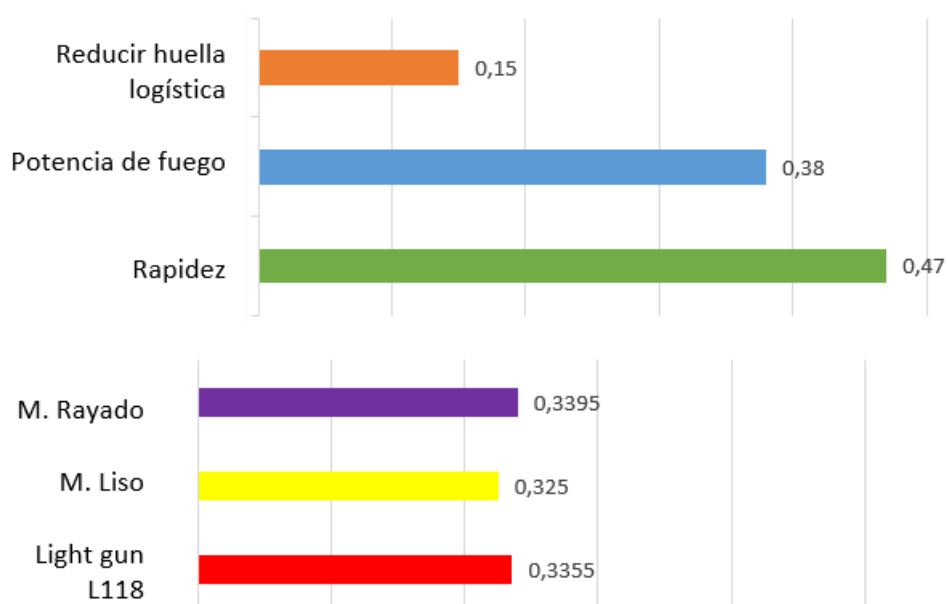


Figura 38. Variación de los pesos de los criterios y resultado numérico AHP de las alternativas

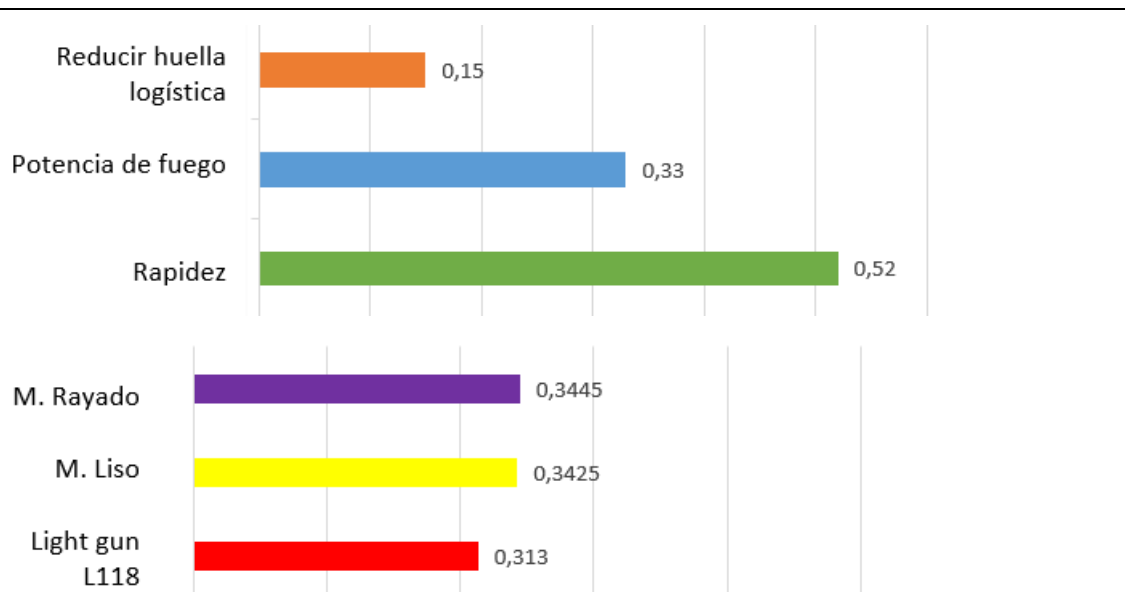


Figura 39. Variación de los pesos de los criterios y resultado numérico AHP de las alternativas II

Como se puede ver, el peso de los criterios no debe variar mucho para que se produzca un cambio en la elección idónea. Por esta razón, no es un resultado muy sólido y no está exento de cambios en caso de pequeñas variaciones dentro de los criterios. A medida que aumentamos el peso de rapidez y disminuimos el de potencia de fuego, primero el MO-120-RT sería la elección preferida y después el mortero liso.

A continuación, se exponen los resultados de cada uno de los diferentes subcriterios. Primeramente, se encuentran los valores originales en cada caso, seguidos de las posibles variaciones.

Como se podrá ver en las gráficas, estos resultados son más sólidos que los de los criterios porque necesita producirse un cambio mucho más brusco en los pesos de los subcriterios para generar un cambio en la elección final:

RAPIDEZ

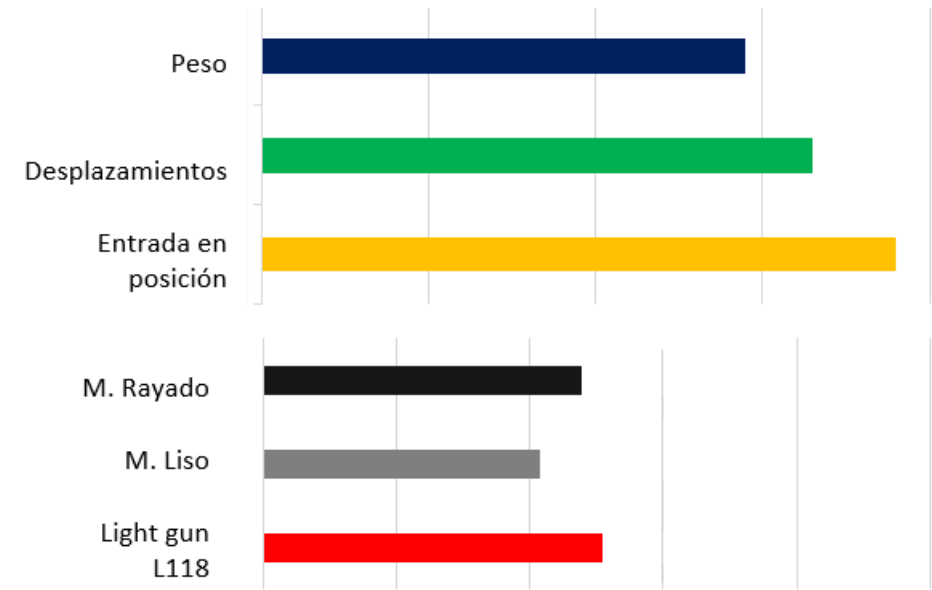


Figura 40. Peso de subcriterios de Rapidez y resultado AHP de las alternativas

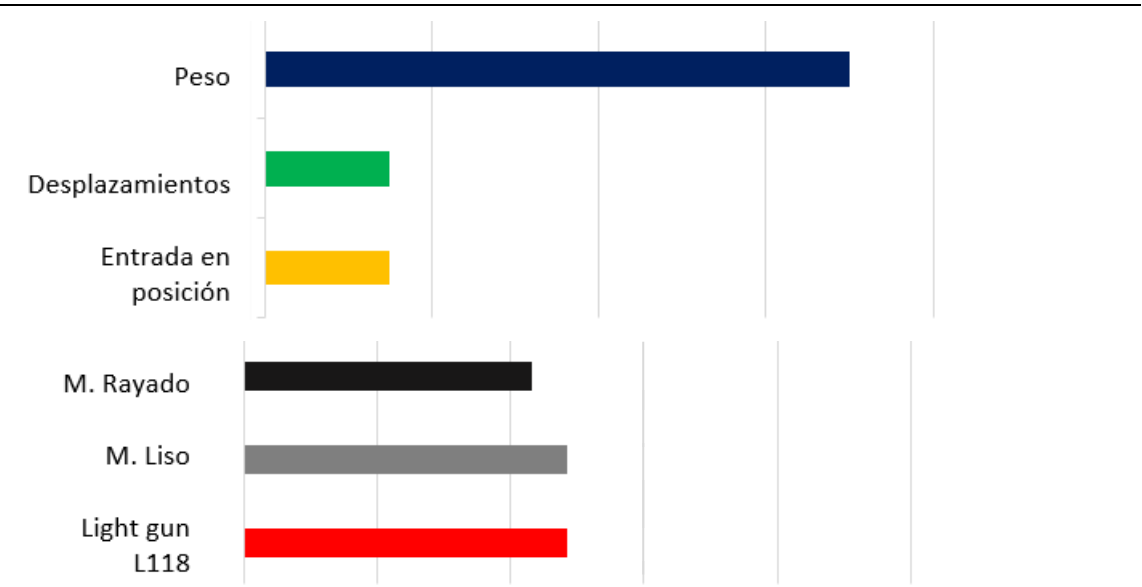


Figura 41. Variación de los pesos de los subcriterios del criterio Rapidez y resultado AHP de las alternativas I

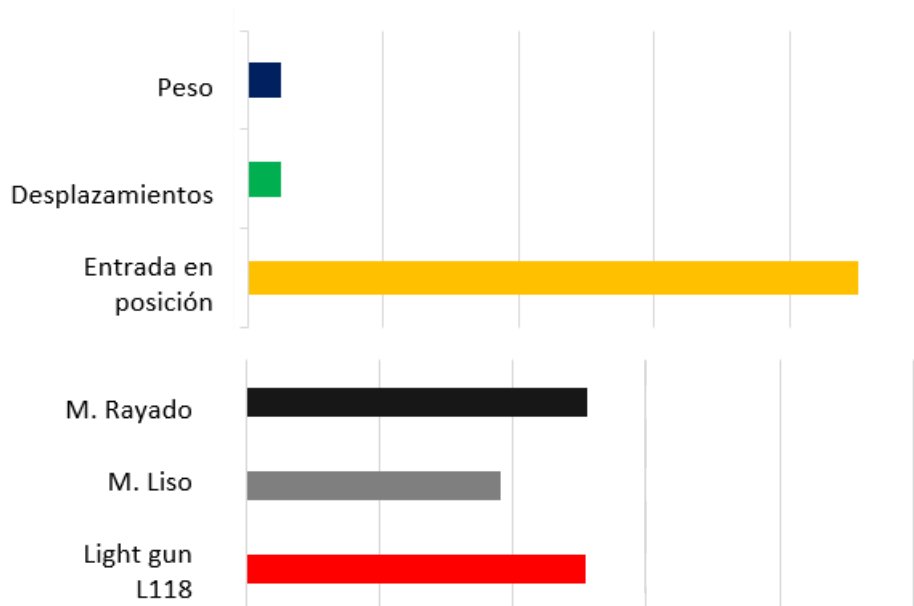


Figura 42. Variación de los pesos de los subcriterios del criterio Rapidez y resultado AHP de las alternativas II

POTENCIA DE FUEGO

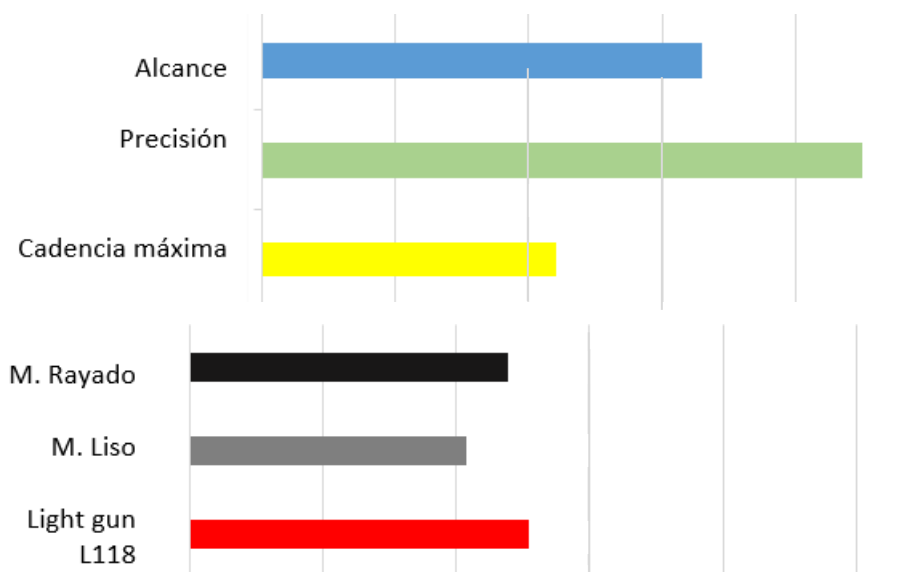


Figura 43. Peso de subcriterios de Potencia de fuego y resultado AHP de las alternativas

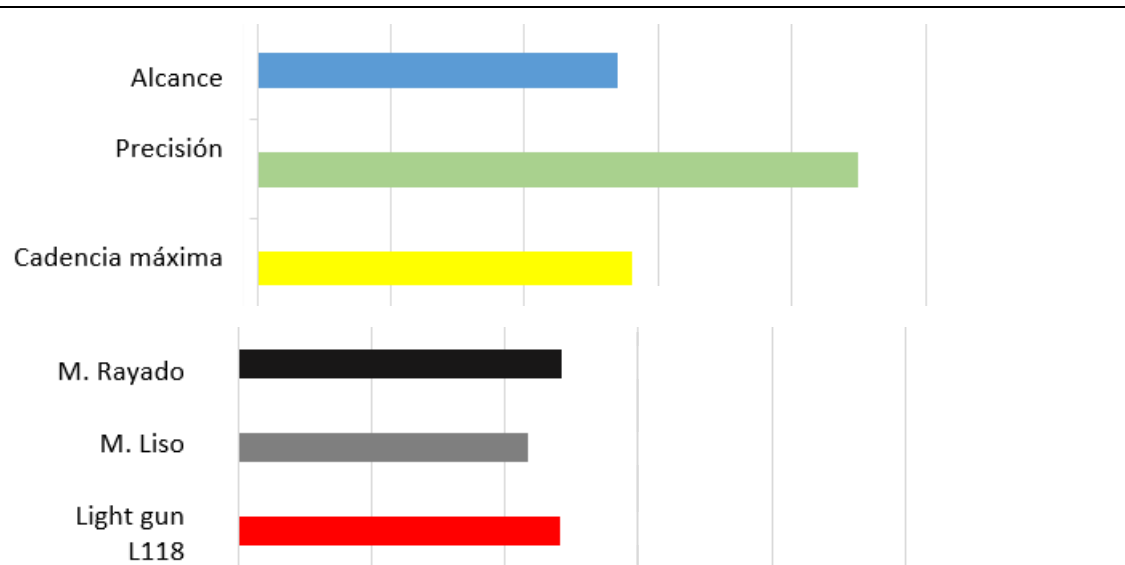


Figura 44. Variación de los pesos de los subcriterios del criterio Potencia de fuego y resultado AHP de las alternativas

REDUCIR LA HUELLA LOGÍSTICA

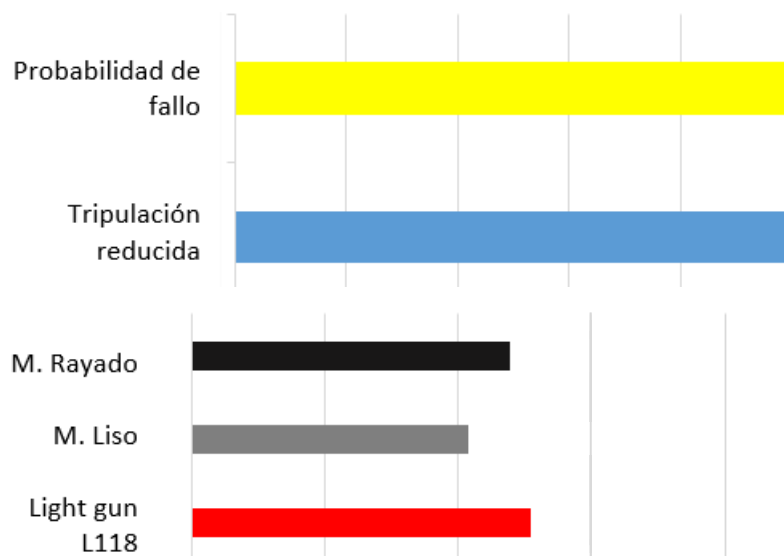


Figura 45. Peso de subcriterios de Reducir huella logística y resultado AHP de las alternativas

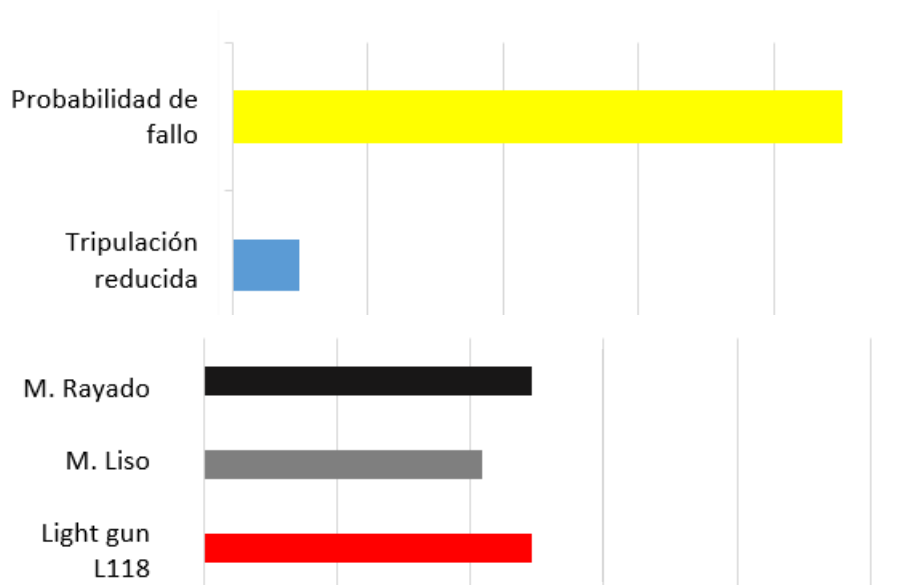


Figura 46. Variación de los pesos de los subcriterios del criterio Reducir huella logística y resultado AHP de las alternativas

Apéndice E: Entrevistas realizadas

En este apéndice se adjuntan las preguntas realizadas a dos tenientes y un sargento primero del GACAPAC VI para la obtención de los criterios y subcriterios empleados en la metodología AHP:

1.- ¿Qué tres cualidades básicas (criterios) cree usted que podrían definir correctamente lo que se necesita de una pieza de artillería en el GACAPAC VI?

En esta cuestión los tres entrevistados se refirieron a la rapidez o emplearon términos más amplios que la abarcaban, como por ejemplo flexibilidad. Todos ellos hicieron referencia a la importancia de una pequeña huella logística de la que deriva el criterio de ‘Reducir huella logística’ y los tres coincidieron en la necesidad de que el nuevo obús/mortero debía tener una gran potencia de fuego y capacidad para ello como requiere la artillería por definición.

2.- Respecto a las cualidades básicas requeridas, según la respuesta anterior, ¿en qué dos o tres subcriterios cree usted que podría expresarse dicha cualidad (criterio)?

Referido al criterio establecido como ‘Rapidez’, hubo variedad de respuestas entre las que se dio algún subcriterio que luego no se vería reflejado en el trabajo por su similitud a otros subcriterios, como la capacidad para cumplir el modelo de acción. Finalmente, se acabó concluyendo que las respuestas dadas por los entrevistados: ‘Entrada en posición’, ‘Desplazamiento’ y ‘peso’, serían los subcriterios a establecer.

En cuanto a la ‘Potencia de fuego’, también hubo respuestas como el calibre o el radio de muerte que finalmente no fueron aceptados como subcriterios, siendo los elegidos: ‘Cadencia de fuego máxima’, ‘Precisión’ y ‘Alcance’.

Finalmente, en cuanto al criterio ‘Reducir huella logística’, se decidió no incluir el apartado de capacidad lanzable o aerotransportable aportados por los entrevistados, por ir expresado implícitamente en el propio criterio, y solo se asignaron los subcriterios de ‘Probabilidad de fallo’ y ‘Tripulación reducida’

