



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Estudio e implantación del vehículo PCBON MC-3
como PC UAF/FSE de Grupo de Combate en la
Brigada Experimental 2035

Autor

CAC Abraham González Casado

Director/es

Director académico: Dra. Dña. María Victoria Sebastián Guerrero

Director militar: Cap. D. Gonzalo De la Plaza Hervias

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar

Año 2019

Resumen

Partiendo de la definición doctrinal de Mando y Control en el Ejército de Tierra, cuyo principal objetivo es dirigir, coordinar e informar a las unidades, y con el desarrollo de la Brigada Experimental 2035, surgen una serie de necesidades. Estas engloban principalmente la disposición de un sistema de enlace voz y datos más eficaz y fiable cuyas distancias de trabajo sean mayores, así como su capacidad de transmisión de datos para poder remitir órdenes de fuego, listas de objetivos o informes vía fonía, ya sea al escalón superior o inferior, todo ello con el vehículo de Puesto de Mando MC-3.

Este trabajo surge ante las vicisitudes que presenta la implantación del vehículo PCBON MC-3 en una nueva organización operativa, la Brigada Experimental 2035. En esta se suprime el vehículo de Destacamento de Enlace así como el personal que lo opera, por lo que sus funciones y las del elemento de apoyo de fuegos de un Grupo de Combate se fusionan. Por tanto, el número de mallas de radio que deben integrarse en dicho puesto táctico aumentan considerablemente.

En primer lugar, se han introducido al lector los principales cambios que se están produciendo en la actualidad en el mundo y las consecuencias que ellos conlleva. Además se presentan una serie de factores que justifican la implantación de la nueva Brigada Experimental en el Ejército de Tierra.

Seguidamente, se presenta el estado del arte de los Puestos de Mando con una breve explicación del funcionamiento en la futura Brigada Experimental 2035. En el trabajo se han determinado además las capacidades y limitaciones de los medios de enlace utilizados actualmente para realizar la función Mando a través del vehículo PCBON y se ha llevado a cabo la búsqueda de una mejora o alternativa que potencie dichas capacidades.

Durante las maniobras realizadas durante el periodo de prácticas se pudo comprobar físicamente la integración del vehículo PCBON MC-3 como Puesto de Mando de una unidad de apoyo de fuegos de un Grupo de Combate de la Brigada Experimental 2035 tras unas pruebas y experimentos realizados en el campo de maniobras Álvarez de Sotomayor. Con este ejercicio se concluyó que existe un gran volumen de mallas que atender, así como un problema de alcances y ancho de banda de los sistemas de transmisión que posee el vehículo PCBON.

Tras la observación de los problemas anteriormente citados, se realizó un estudio de la opción más viable a utilizar para establecer enlace con los diferentes puestos tácticos a enlazar, que permitiera tanto mensajes tipo fonía, como datos, procedentes del sistema TALOS. Las alternativas propuestas fueron un Satélite, la radio PR4G, la radio HARRIS (todas ellas en dotación en el Ejército de Tierra) y por último, una antena Ubiquiti AirFiber 5. Para realizar el estudio de las opciones se utilizó un análisis de decisión multicriterio denominado Proceso Analítico Jerárquico. Con él se determinaron qué medios eran los óptimos para enlazar con los puestos tácticos necesarios (Escalón superior, Escalón inferior y Observadores Avanzados), dependiendo de las características que poseían. Finalmente se descartó el satélite.

Continuando con el estudio de las tres alternativas restantes, se realizó un análisis de debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades de cada una de ellas, para obtener un estudio cualitativo de las opciones posibles. Se concluyó lo siguiente: para establecer enlace con el

Puesto de Mando del Escalón Superior y con el Escalón Inferior, se debe seguir manteniendo la radio PR4G V3 para asegurar el enlace en movimiento y a su vez introducir en el vehículo PCBON la antena Ubiquiti AirFiber 5 para garantizar la transmisión de datos del terminal TALOS con rapidez. Por otro lado, para el enlace con los Observadores Avanzados se decidió el uso de la banda HF y, por tanto, de la radio HARRIS debido a su gran movilidad y alcance.

Finalmente, con este estudio, la integración del vehículo PCBON (Puesto de Mando) MC-3 como Puesto de Mando UAF/FSE (Unidad de Apoyo de Fuegos/ *Fire Support Element*) en un Grupo de Combate puede ser materializada, contribuyendo así al aumento de los despliegues de Artillería y al incremento de las zonas de acción de los apoyos de fuego.

Abstract

Starting from the doctrinal definition of Command and Control in the Army, whose main objective is to direct, coordinate and inform the units, and with the development of the Experimental Brigade 2035, a series of needs arise. These mainly include the provision of a more efficient and reliable voice and data link system whose working distances are greater, as well as its ability to transmit data to be able to send fire orders, target lists or reports via radio, either to the upper or lower step, all with the MC-3 Command Post vehicle.

This work arises from the vicissitudes presented by the implementation of the PCBON MC-3 vehicle in a new operating organization, the Experimental Brigade 2035. In this, the Liaison Detachment vehicle is suppressed as well as the personnel that operates it, so its functions and those of the fire support element of a Combat Group merge. Therefore, the number of radio nets that must be integrated in said tactical position increases considerably.

In the first place, the main changes that are currently taking place in the world and the consequences that they entail have been introduced to the reader. There are also a series of factors that justify the implementation of the new Experimental Brigade in the Army.

Next, the state of the art of the Command Posts is presented with a brief explanation of the operation in the future Experimental Brigade 2035. In the work, the capacities and limitations of the means liaison currently used to perform the Command function through the PCBON vehicle and the search for an improvement or alternative that enhances these capabilities has been carried out.

During the the maneuvers carried out during the internship period, the integration of the PCBON MC-3 vehicle as a Command Post of a fire support unit of an Experimental Brigade Combat Group 2035 could be physically verified following tests and experiments carried out in the maneuvering field Álvarez de Sotomayor. With this exercise it was concluded that there is a large volume of radio nets to attend, as well as a problem of scopes and bandwidth of the transmission systems that the PCBON vehicle possesses.

After analyzing the previous cited problems, a study was carried out of the most viable option to use to establish a link with the different tactical posts to be linked, which would allow both phone-type messages and data from the TALOS system. The alternatives proposed were a Satellite, the PR4G radio, the HARRIS radio (all of them provided in the Army) and finally, an Ubiquiti AirFiber 5 antenna. To analyze the options, a multicriteria decision study called Analytic Hierarchy Process was used, it was determined which means to use to connect with the necessary tactical positions (Upper Step, Lower Step and Advanced Observers), depending on the characteristics they possessed. Finally, the satellite was discarded.

Continuing with the study of the three remaining alternatives, an analysis of weaknesses, threats, strengths and opportunities of each of them was carried out, to obtain a qualitative study of the possible options. The following was concluded: to establish a link with the Command Post of the Upper Step and with the Lower Step, the PR4G V3 radio must continue to be maintained to keep the link moving and in turn introduce the Ubiquiti AirFiber 5 antenna into

the PCBON vehicle for guarantee the transmission of data from the TALOS terminal quickly. On the other hand, for the link with the Advanced Observers, the use of the HF band was decided and therefore, of the HARRIS radio due to its great mobility and range.

Finally, with this study, the integration of the MC-3 PCBON (Command Post) vehicle as UAF / FSE Command Unit (Fire Support Element) in a Combat Group can be materialized, contributing to the increase of the deployments of Artillery, and to the increase of the zones of action of the supports of fire.

Agradecimientos

Mis más sincero agradecimiento a todas las personas que han hecho posible la elaboración de esta memoria con su apoyo y dedicación.

Inicialmente, destacar la enorme colaboración y dedicación de mis tutores, la Doctora Dña. María Victoria Sebastián Guerrero y el Capitán D. Gonzalo De la Plaza Hervias.

En segundo lugar, quería agradecer la formación recibida por parte de todos los profesores de los que he sido alumno, al I.E.S Virgen de Consolación de Utrera, al Centro Universitario de la Defensa y a la Academia General Militar.

Además, agradecer a todos los integrantes del Grupo de Artillería de Campaña II de la Legión por su constante dedicación y en especial al personal de la Primera Batería. Sin ellos la realización de esta memoria no habría sido posible.

Por último, destacar el apoyo incondicional de mi familia, en especial mi padre Luis, mi madre M^a del Rosario y mi hermano Luis, así como mi pareja Sara, por acompañarme todos estos años con su paciencia en los momentos más difíciles.

Muchas gracias a todos.



CAC Abraham González Casado

Índice

Índice de figuras	X
Índice de ilustraciones	XI
Índice de tablas	XI
Glosario de términos	XII
1. Introducción	1
1.1 Objetivos y alcance	3
1.2 Ámbito de aplicación.....	3
1.3 Metodología.....	3
1.4 Estructura de la memoria	4
2. Conceptos previos: Funcionamiento actual de un Puesto de Mando GACA en las unidades de Artillería y como UAF/FSE en la BRIEX 35	5
2.1 Puesto de Mando de Grupo de Artillería (PC GACA).....	5
2.2 Funcionamiento del Puesto de Mando en BRIEX 35	8
3. Análisis de las capacidades del vehículo PCBON MC-3	11
3.1 Red radio en VHF.....	11
3.2 Red radio en HF.....	12
3.3 Terminal TALOS.....	12
3.4 Experimento de Mando y Control de una UAF con el PCBON MC-3	13
4. Propuesta de medios de transmisiones	17
4.1 Metodología multicriterio AHP	17
4.2 Aplicación del método AHP al estudio.....	17
4.2.1 Enlace con el Escalón Superior	20
4.2.2 Enlace con el FDC de sección	21
4.2.3 Enlace con los Observadores Avanzados	22
5. Análisis DAFO de las alternativas propuestas	24
5.1 DAFO VHF.....	24
5.2 DAFO UBIQUITI AIRFIBER 5	25
5.3 DAFO HF.....	27
6. Conclusiones	29
6.1 Líneas futuras del trabajo.....	30
Bibliografía	31

Anexo A. Arquitectura CIS de una UAF GCEXP	33
Anexo B. Diseño de plantilla GCEXP UAF.....	34
Anexo C. Cuestionario AHP	35
Anexo D. Entrevista a expertos	40
Anexo E. Metodología AHP	45
Anexo F. Capturas de pantalla del software Herramienta de Ayuda a la Decisión	49

Índice de figuras

Figura 1. Entorno Operativo	2
Figura 2. Esquema de enlaces GACA.....	7
Figura 3. Esquema de distribución de los elementos de un PC.....	8
Figura 4. Burbujas de actuación por los fuegos en los Grupos de Combate	9
Figura 5. Croquis de un Grupo de Combate	10
Figura 6. Arquitectura de fuegos de una UAF de un GCBT.....	10
Figura 7. Propagación de la señal HF mediante reflexión ionosférica	12
Figura 8. Jerarquización de criterios, subcriterios y alternativas	18
Figura 9. Comparación de alternativas del enlace con el Escalón Superior	20
Figura 10. Comparación de alternativas del enlace con el FDC de sección.....	21
Figura 11. Comparación de alternativas del enlace con los Observadores Avanzados	22
Figura 12. DAFO VHF	24
Figura 13. DAFO UBIQUITI AIRFIBER 5	26
Figura 14. DAFO HF	27
Figura 15. Método de jerarquización analítica	45

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Distribución de terminales de la operación en el CIAFLEG	14
Ilustración 2. Vehículo PCBON-MC3 durante el ejercicio	15
Ilustración 3. Interior del PCBON MC-3 al inicio del ejercicio	15
Ilustración 4. Ejemplo de la matriz de evaluación de los criterios y sus pesos	18
Ilustración 5. Arquitectura CIS de una UAF GCEXP	33
Ilustración 6. Diseño de plantilla GCEXP UAF	34
Ilustración 7. Inicio software Herramienta de Ayuda a la Decisión.....	49
Ilustración 8. Introducción de los criterios, subcriterios y alternativas.....	50
Ilustración 9. Matriz de evaluación de los criterios y sus pesos.....	50
Ilustración 10. Matriz de evaluación de los subcriterios y sus pesos	51
Ilustración 11. Evaluación de las alternativas (1)	51
Ilustración 12. Evaluación de las alternativas (2)	52
Ilustración 13. Evaluación de las alternativas (3)	52
Ilustración 14. Resultado del método AHP	53

Índice de tablas

Tabla 1. Jerarquización de alternativas.....	20
Tabla 2. Escala de comparación de Saaty.....	46
Tabla 3. Tabla de cálculo de consistencia aleatoria	47
Tabla 4. Matriz de decisión.....	48

Glosario de términos

	SIGNIFICADO INGLÉS	SIGNIFICADO EN ESPAÑOL
ADCOORD	<i>Air Defense Coordinator</i>	Coordinador de defensa antiaérea
AFSO	<i>Auxiliar Fire Support Oficcer</i>	Auxiliar oficial de apoyo de fuegos
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>	Proceso analítico jerárquico
ALI	<i>Air Land Integration</i>	Integración tierra-aire
Bía		Batería
BRIEX		Brigada Experimental
CIAFLEG		Centro de Instrucción y Adiestramiento de Fuegos de La Legión
CIS	<i>Comunication Information Systems</i>	Sistemas de información y comunicación
CPX	<i>Comand Post Exercise</i>	Ejercicio de puesto de mando
DEN		Destacamento de Enlace
DIREX	<i>Direction Exercise</i>	Dirección de ejercicio
ET		Ejército de Tierra
FDC	<i>Fire Director Centre</i>	Centro director de fuegos
FDO	<i>Fire Director Oficcer</i>	Oficial director de fuegos
FPC	<i>Final Planning Conference</i>	Conferencia final de la planificación
FPGA	<i>Field Programmable Gate Array</i>	Matriz de puertas lógicas programables
FSE	<i>Fire Support Element</i>	Elemento de apoyo de fuegos
FSO	<i>Fire Support Oficcer</i>	Oficial de apoyo de fuegos
GACA		Grupo de Artillería de Campaña
GACALEG		Grupo de Artillería de Campaña de la Legión
GCBT		Grupo de Combate

GCEX		Grupo de Combate Experimental
GT		Grupo Táctico
HF	<i>High Frequency</i>	Alta frecuencia
IR	<i>Inconsistency Reason</i>	Razón de inconsistencia
JEME		Jefe del Estado Mayor del Ejército
JFSE	<i>Joint Fire Support Element</i>	Célula de apoyo de fuego
JTAC	<i>Joint Terminal Attack Controller</i>	Controlador de ataque terminal conjunto
NVIS	<i>Near Vertical Incidence Skywave</i>	Onda celeste de incidencia casi vertical
PC	<i>Post Comander</i>	Puesto de Mando
PCAV		Puesto de Mando Avanzado
PCBON	<i>Post Comander Battalion</i>	Puesto de Mando de Batallón
PCMOV		Puesto de Mando Móvil
PCPRAL		Puesto de Mando Principal
PCR		Puesto de Mando Retrasado
PLM		Plana Mayor
PLMM		Plana Mayor de Mando
POC	<i>Point Of Contact</i>	Punto de contacto
PtP	<i>Point to Point</i>	Punto a punto
OAV		Observador Avanzado
OTAN		Organización del Tratado Atlántico Norte
S/GT		Subgrupo Táctico
TFG		Trabajo de Fin de Grado
UAF		Unidad de Apoyos de Fuego
VHF	<i>Very High Frequency</i>	Muy alta frecuencia

1. Introducción

Este Trabajo de Fin de Grado (TFG) realizado en la Primera Batería del Grupo de Artillería de Campaña II de la Legión (GACALEG), perteneciente a la Brigada “Rey Alfonso XIII” II de La Legión, Almería, presenta un estudio de la implantación del vehículo Puesto de Mando de Batallón MC-3 (PCBON MC-3) como Puesto de Mando (PC) UAF/FSE (Unidad Apoyo de Fuegos/*Fire Support Element*) de un Grupo de Combate en la Brigada Experimental 2035.

Este vehículo se monta sobre la plataforma de un vehículo VAMTAC ST5, a la cual se le ha realizado una serie de modificaciones para su acondicionamiento y uso de telecomunicaciones. Los principales cambios introducidos en dicha plataforma han consistido en la instalación de cuadros eléctricos, equipos informáticos, baterías y desconectores en el interior. En el exterior del mismo, también se le han efectuado una serie de mejoras para convertirlo en Puesto de Mando, como el montaje de varios mástiles, antenas, así como un grupo electrógeno que proporciona energía eléctrica a los sistemas (radios, luces, elementos informáticos, etc.) [1].

Con el propósito de mantener las unidades preparadas y eficaces para el combate del presente, y también del futuro, el Ejército de Tierra (ET) ha iniciado un proceso de cambio llamado <<Fuerza 35>>. Para orientar el planeamiento, el General de Ejército Jefe de Estado Mayor del Ejército (JEME), lo definió de la siguiente forma [2]:

<<El Ejército de 2035, componente esencial de la Fuerza Conjunta, estará capacitado para constituir organizaciones operativas flexibles y cohesionadas, dotadas de medios tecnológicamente avanzados y formadas por el personal altamente motivado y preparado. Será capaz de operar en todo tipo de entornos y de integrarse en estructuras multinacionales para asegurar la protección de la población y el control del territorio y los recursos. Será una herramienta resolutiva para la consecución de espacios de libertad y seguridad en defensa de los intereses de España donde y cuando se precise >>.

La implantación de esta <<Fuerza 35>> se debe a 5 factores fundamentales:

- *Cambios sustanciales en el entorno de Seguridad y Defensa:* El desarrollo constante de tecnología por parte del entorno geopolítico provoca que el Ejército Español necesite fortalecer sus capacidades para garantizar la eficacia en operaciones. Existe una competición por el monopolio de las nuevas tecnologías para obtener una ventaja decisiva en el campo de batalla.
- *Necesaria coherencia con los objetivos de la Defensa:* Las fuerzas conjuntas de la <<Fuerza 35>> contarán con unas capacidades militares únicas, y han de estar diseñadas con alta precisión, coherencia y eficacia.
- *Interoperabilidad con los países de las Alianzas:* Dado que actualmente ningún país puede preservar su seguridad por sí mismo, la interdependencia entre países aliados aumentará considerablemente. La innovación promoverá el apoyo de nuestro Ejército a las potencias aliadas. Debido a las significativas transformaciones en los Ejércitos de Tierra que están llevando a cabo los países mas importantes de la OTAN y de la Unión Europea, para operar en igualdad de condiciones y en los cortos plazos exigidos a nivel político, es necesario

que la <<Fuerza 35>> sea interoperable en paquetes de capacidades tipo <<Plug and Play>> (conectar y operar en castellano).

- *Aparición de nuevas tecnologías disruptivas:* El desarrollo tecnológico se produce a un ritmo cada vez mayor, con lo que pone en peligro la interoperabilidad. Por ello es necesario progresar con una cadencia similar al de las principales naciones aliadas para no quedar retrasados. Las nuevas capacidades más destacables que han de integrarse son alta conectividad, robótica inteligente, tecnologías cuánticas, inteligencia artificial, nanotecnología, sistema de armas con extrema precisión y biotecnologías.
- *Adaptación al ritmo rápido de innovación:* Para disponer de una fuerza totalmente operativa se necesita una mejora del proceso actual de adquisiciones [2].

Además de los factores anteriormente mencionados, también es importante destacar el cambio significativo del entorno operativo en el futuro próximo, cuyas características se recogen en la siguiente figura:



Figura 1. Entorno Operativo

Fuente: [3]

El nuevo vehículo PCBON MC-3 opera en nuevas circunstancias que hasta el momento no se habían producido. Una de las principales que surgió en la última década ha sido el campo del Ciberespacio, por lo que este vehículo se ha tenido que adaptar a los nuevos cambios en las tecnologías. Por otro lado, con respecto a su entorno de actuación futuro es de destacar que el combate que se produce en la actualidad es asimétrico, es decir, los grupos armados enemigos se camuflan entre la sociedad e intentan desestabilizar a las tropas propias mediante ataques subversivos. Por ello, el nuevo vehículo debe contar con mayor protección que los anteriores PCBON que se utilizaban antaño en un vehículo ligero. Sus capacidades, por tanto, han de ser superiores a las que se encontraban en los anteriores modelos.

1.1 Objetivos y alcance

El avance tecnológico cada vez se produce con mayor rapidez, y es por eso que los ejércitos van desarrollando tecnologías para mejorar sus sistemas de armas, así como su forma de operar y organizar sus unidades. Todo ello se realiza para obtener resultados óptimos y eficaces en un menor tiempo y con mayor seguridad, entre muchas otras ventajas.

Debido a esto, y a la fluctuante situación de los escenarios en los que hoy en día opera el Ejército de Tierra, se propuso un cambio en la organización de dicho ejército, para formar la llamada Brigada Experimental 2035. Esta transformación surge para suplir las necesidades del ET con la finalidad de contar con medios similares de los ejércitos de las naciones aliadas que forman parte de la OTAN [3].

El objetivo final del trabajo es recoger una serie de mejoras y propuestas de cambio realistas, factibles y evidenciados del vehículo PCBON MC-3 actuando como PC UAF/FSE de Grupo de Combate en la Brigada Experimental 2035. Realizando el estudio de sus capacidades y sus carencias en el campo de los enlaces, se propone la introducción de un nuevo medio de transmisión y una nueva forma de comunicarse con los escalones superiores e inferiores. Con la nueva forma de actuación de los Puestos de Mando de un Grupo de Combate (GCBT) se pretende sacar mayor provecho a los medios con los que cuenta dicho vehículo.

1.2 Ámbito de aplicación

El resultado de este trabajo está dirigido, como se indica en el título del mismo, a la implantación del vehículo PCBON MC-3 en los Grupos de Combate de la BRIEX 35, y posteriormente a todo el Ejército de Tierra. El PCBON puede estar montado en diferentes plataformas, por lo que los experimentos y estudios que se realicen sobre el vehículo en cuestión, referente a las transmisiones, podrán ser extrapolables a otras unidades de Artillería del ET que tengan un cometido similar. A su vez, se trata la integración del mismo en una Unidad de Apoyo de Fuegos para dirigir y controlar los apoyos de fuegos del escalón superior.

1.3 Metodología

La metodología para llevar a cabo el trabajo está enfocada de la siguiente forma:

- Analizar los requisitos que debe poseer el vehículo PCBON MC-3 en base a sus limitaciones de enlace, tanto con las unidades superiores, subordinadas y colaterales.
- Realizar pruebas con el PCBON como PC UAF físicamente.
- Realización de encuestas y entrevistas a personal experto en la materia para la obtención de índices de ponderación, para ser utilizados posteriormente en la aplicación de un método de decisión multicriterio.
- Aplicación del método multicriterio AHP (*Analytic Hierarchy Process*) para la decisión de la alternativa óptima.
- Estudio DAFO (Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades) de cada alternativa ganadora en el método AHP para cada enlace.

1.4 Estructura de la memoria

La presente memoria se ha dividido en 5 apartados más los anexos incluidos al final y se estructura de la siguiente manera:

En primer lugar, en el capítulo 1 se introduce al lector en el contexto de por qué se necesita un cambio en la estructura del Ejército de Tierra y por qué se quiere llegar a la Brigada Experimental 2035. También explica qué es el vehículo PCBON y las mejoras que incorpora frente a su antecesor. Además, se definen los objetivos, el alcance del trabajo y la metodología empleada en dicha memoria.

Seguidamente, en el capítulo 2, se desarrolla la funcionalidad y composición de un Puesto de Mando tanto en la actualidad como en la futura BRIEX.

En el capítulo 3 se desarrollan las capacidades de transmisión que posee el vehículo PCBON MC-3 y se explican las principales formas de enlace que posee. También se recoge en él una ficha de experimentación realizada durante el periodo de prácticas en la que se prueba la integración de dicho vehículo como Puesto de Mando en una UAF.

A continuación en el capítulo 4 se realiza un desarrollo de los conceptos de la metodología AHP, y a su vez, se exponen los resultados de dicho estudio realizando comparativas entre las alternativas de enlace (banda *Very High Frequency*, *High Frequency*, antena Ubiquiti AirFiber 5 y satélite) en diferentes subcriterios (alcance, capacidad de transmisión y supervivencia).

El capítulo 5 recoge un análisis DAFO de cada alternativa ganadora en el estudio anterior para establecer el enlace con el PCBON, y se desarrolla cada uno de ellos.

En el último capítulo se exponen las conclusiones finales del trabajo, así como las líneas futuras de trabajo que deberían de seguir estudiándose para la implantación del PCBON en la BRIEX 35.

2. Conceptos previos: Funcionamiento actual de un Puesto de Mando GACA en las unidades de Artillería y como UAF/FSE en la BRIEX 35

Antes de comenzar con el proceso de estudio de la implantación del Puesto de Mando en la Brigada Experimental 2035, es necesario aclarar unos conceptos fundamentales para el entendimiento de esta memoria.

La función de combate Mando se define como el conjunto de actividades mediante las cuales se planea, dirige, coordina y controla el empleo de las fuerzas y de los medios en las operaciones [4]. Para llevar a cabo dicha función se necesitan las Planas Mayores de Mando (PLMM), elementos auxiliares de Mando, Puestos de Mando, Sistemas de Telecomunicaciones e Información (medios CIS) y la definición de los procedimientos de empleo. Además de los elementos intrínsecos anteriormente citados, también hay que destacar una serie de factores para la ejecución del Mando. Entre los más importantes destacan la gestión de la información y el entorno operativo¹.

En el ámbito del entorno operativo (combate asimétrico, apoyo a organizaciones civiles, combate urbano y combate tradicional), cada vez existen más situaciones volátiles. En ellas, la influencia en las percepciones de los combatientes y no combatientes afectan en las operaciones y en los espacios de batalla en los que la ciberdefensa está cada vez más presente, con combinaciones de espacios densos y vacíos con presencia de multitud de actores. Todos estos factores han propiciado la modernización de los sistemas de mando y control y comunicaciones (C3)² del Ejército de Tierra, las cuales han permitido mejorar las capacidades operativas mediante la aplicación de nuevas tecnologías y de las telecomunicaciones³.

Para las unidades de entidad batallón o grupo, se dotó de vehículos PCBON (objeto de estudio en este trabajo) y Mercurio 2000 IP⁴, cuyas incorporaciones propiciaron una adecuada gestión de información [5].

A continuación se exponen brevemente los principales Puestos de Mandos que se pueden activar actualmente en un GACA, así como su funcionamiento. En segundo lugar, se desarrolla el planteamiento del nuevo funcionamiento de un Puesto de Mando en la Brigada Experimental 2035.

2.1 Puesto de Mando de Grupo de Artillería (PC GACA)

Existen distintos puestos de mandos, los cuales se detallan a continuación:

- *Puesto de Mando Avanzado (PCAV)*. Se establecen dos núcleos principales:
 - El núcleo de Operaciones-Inteligencia, coordinado por un jefe, normalmente comandante S-2/S-3. Es donde se realiza la dirección táctica de las operaciones y el

¹ Compendio de condiciones que afectan al empleo de la fuerza e influyen en la decisiones del Jefe.

² Comand, Control and Communication.

³ Plan MC-3.

⁴ Ambos son vehículos de Puestos de Mandos.

planeamiento de los fuegos de la Artillería de Campaña (ACA) en coordinación con el JFSE (*Joint Fire Support Element*) de la Brigada.

- El núcleo FDC (*Fire Director Centre*), coordinado por el FDO (*Fire Director Officer*). En él se lleva a cabo la dirección técnica del fuego, realizando la conducción de operaciones en tiempo real. Se coordina además el trabajo de los FDCs de las secciones de las Baterías de Armas y de los Observadores Avanzados (OAVs).
- *Puesto de Mando Móvil (PCMOV)*: Durante el combate, debe encontrarse donde el Jefe mejor pueda ejercer el mando de su Unidad, y por tanto no ha de estar limitado por los despliegues de los PC,s permitiéndole libertad de movimiento, estar informado y dar continuidad a su acción de mando.
- *Puesto de Mando Retrasado (PCR)*: Es donde se lleva a cabo la conducción de las actividades logísticas. Debe estar en condiciones para suplir la ausencia del PCAV si este queda inutilizado/destruido.
- *Puesto de Mando Principal (PCPRAL)*: Unión en un solo Puesto de Mando del PCAV y PCR. Se establece en la fase del planeamiento cuando el enemigo está lejos de la Brigada (BRI) y no se prevea que este pueda actuar sobre él [6, 7].

Para establecer el enlace entre PC's existen una serie de elementos que facilitan dicha comunicación:

- *JFSE de Brigada*: Durante el combate el Jefe de Grupo desempeña las funciones de FSO (*Fire Support Officer*) de la Brigada, incorporándose con su equipo al Puesto de Mando de la misma. Su misión principal es asesorar al Jefe de la Brigada en el empleo de los apoyos de fuego y coordinarlos.
- *JFSE de GT*: Mientras se desarrollan las acciones, se destacan equipos a los Puestos de Mando de los Grupos Tácticos para la coordinación y asesoramiento en materia de Fuegos.
- *JFSE de Subgrupo Táctico (S/GT)*: Paralelamente a las acciones realizadas, se destacan equipos de observadores avanzados a los S/GT para la coordinación y asesoramiento de fuegos.
- *JTAC (Joint Terminal Attack Controller)*: En caso de disponer de ellos y en función de las necesidades, se pueden destacar equipos JTAC, que se integran en los diferentes JFSE. Actualmente existe una carencia de este tipo de puesto táctico debido a las condiciones requeridas [6, 7].

Las necesidades que plantea el sistema de Mando y Control para ACA <<TALOS>>, hacen que la configuración de dicho vehículo PCBON sea diferente a la del resto de PC. El PCGACA cuenta con los siguientes medios orgánicos: un PCBON MC-3, un PCBON MC-3-FDC (los cuales se tratan con más amplitud en el siguiente apartado), dos vehículos ligeros del Jefe S2/S3 y del jefe de la Bía. de Plana Mayor, con una radio *Very High Frequency* (VHF).

En el caso de un Grupo de Artillería de Campaña, se necesita establecer enlaces internos y externos con la Unidad Superior ACA y con la unidad apoyada. Es necesario el empleo de una radio VHF exclusivamente para datos y el correcto funcionamiento del sistema de Mando y Control TALOS, así como el empleo de pasarelas si el número de integrantes de la malla supera

las ocho, todo ello para garantizar la rapidez de refresco de la información transmitida vía datos [8].

En la *Figura 2* se observan las diferentes posibilidades de enlaces que se pueden obtener y las relaciones entre los corresponsales, las mallas tanto internas como externas y los distintos elementos que componen un GACA, diferenciándose a su vez en datos y fonía.

CORRESPONSAL	MALLAS INTERNAS										MALLAS EXTERNAS									
	DATOS TALOS					FONIA					BRIGADA			DIVISION						
	TACTICO		TECNICO																	
	MANDO TAC	BIAS TAC	OBSER TEC	TIRO TEC	TOPOGRAFIA	MANDO GRUPO	OBSER Y TIRO	TIRO FDCs	TOPOGRAFIA	LOGISTICA	MANDO BRI	LOGISTICA BRI	MANDO GT	MANDO S/GT	MANDO AIRE	MANDO ACA DIV	MYT ACA DIV	TOP DIV	DATOS ACA DIV	
JFSE BRI	X					X	X				X					C	C		C	
JFSE BRI ALT	X					X	X				X					C	C		C	
JGACA (PC MOV)						X					X									
JFSE GT	X					X	X					X								
JFSE S/GT			X				X						X							
JTAC/NFO														X*						
CO GACA	X	X				X	X				X					M	M	M	M	
FDC GRUPO			X	X			X	X												
JEFE S2-S3						X														
J PLM (AS2-AS3)						X														
RELE TX			X	X			X													
PCR	X	X				X				X	X	X								
JEFE S1S4						X														
J BIA SV						X				X										
J BIAs						X				S										
FDCs SC		X		X			X	X												
TOP GRUPO				X	X	X			X	S										
TOPs BIA					X				X											
JEFE ABTO										X										
JEFE MANTO										X										
J COL. MUNTO										X										
J PS										X										
	X	Corresponsal																		
	S	En malla secundaria																		
	C	Proporcionada por la Cia de TX de la Brigada																		
	M	Proporcionada por la agregación de un mercurio 2000																		
	*	En caso de disponer de JTAC/NFO																		
X	X	Pasarela datos TALOS																		

Figura 2. Esquema de enlaces GACA

Fuente: [8]

Asimismo, en la *Figura 3* se puede visualizar un croquis gráfico de cómo se sitúan los elementos físicamente en el terreno y su organización:

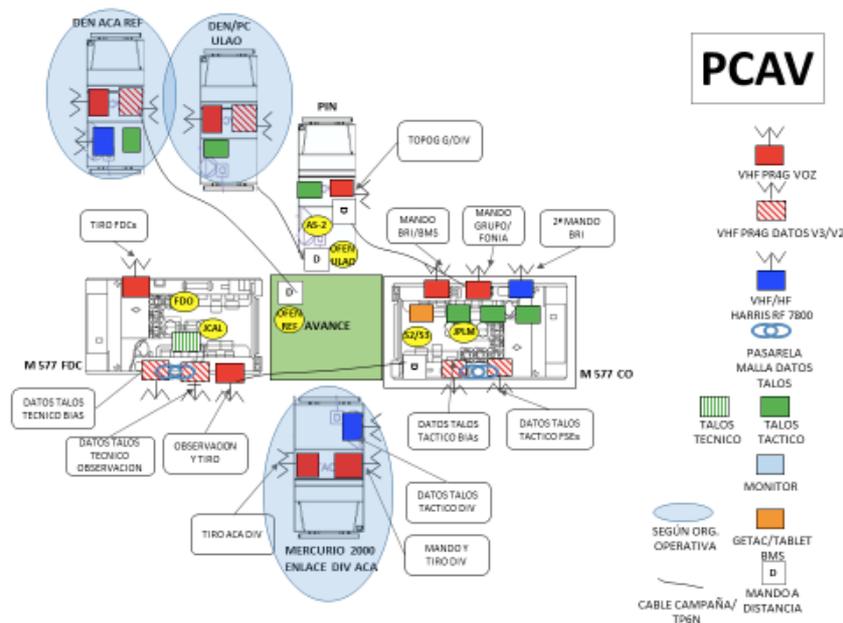


Figura 3. Esquema de distribución de los elementos de un PC

Fuente: [8]

2.2 Funcionamiento del Puesto de Mando en BRIEX 35

En la ya citada BRIEX aparece el término Célula de Fuegos, cuya misión consiste en coordinar, planear, integrar y sincronizar el empleo de todos los fuegos conjuntos disponibles, en apoyo a las operaciones de la Brigada 35.

En lo que al Puesto de Mando se refiere, este se compondrá de dos Puestos de Mando tácticos móviles idénticos, de los cuales uno apoyará desde la retaguardia⁵ con una capacidad de planeamiento de entre 48 y 72 horas. Las células de fuego se desplegarán con cada Puesto de Mando táctico, uno con su correspondiente FSO⁶, por lo tanto, habrá un FSO principal, y un AFSO (*Auxiliar Fire Support Element*), así como un oficial de enlace formando parte del equipo de planes desplegado en el PC de apoyo desde retaguardia.

Para alcanzar la interoperabilidad de procesos con los aliados de la OTAN, se debería integrar y sincronizar los efectos de los fuegos conjuntos disponibles y otros que se determinen⁷. El jefe de la célula contribuirá a la integración tierra-aire⁸, estableciendo contacto con el Elemento de Gestión del Espacio Aéreo y con el Coordinador de Defensa Antiaérea (ADCOORD) [2].

La ampliación de los despliegues, así como la nuevos avances que permitirán mayores alcances (entre 30 y 40km para apoyo de fuego indirecto en base a obús, ya que con cohetes se pueden alcanzar hasta 100km), precisión, movilidad, velocidad, mejores enlaces y mayor

⁵ Concepto *Reach-back*.

⁶ El Teniente Coronel del Grupo de Artillería, que se desplaza con el General de la Brigada.

⁷ AJP-3.2 *Allied Joint Doctrine for Land Operations*. Se realizará una revisión a la PD1-001 que contemplará una nueva función combate fuegos. Es una tendencia que están desarrollando los principales aliados de España.

⁸ ALI (*Air Land Integration*).

supervivencia, harán posible un aumento de las burbujas de actuación de los GCBT. Esto se muestra en la *Figura 4*.

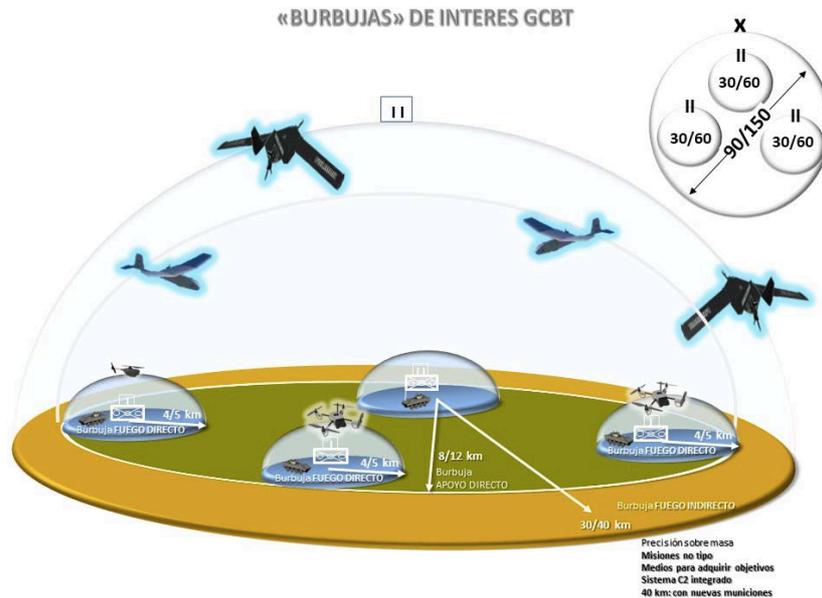


Figura 4. Burbujas de actuación por los fuegos en los Grupos de Combate

Fuente: [2]

La estructura de enlace se compondrá principalmente por el oficial de apoyos de fuego⁹ del Grupo de Combate, auxiliado por su elemento de apoyos de fuego conjunto, que asesorará al jefe del GCBT en todos los asuntos relacionados con los apoyos de fuego conjunto¹⁰.

El JFSE del Grupo Táctico dispondrá de las siguientes capacidades [2]:

- ⇒ Integrar los fuegos proporcionados por los medios aéreos, terrestres y navales.
- ⇒ Solicitar información y coordinar el empleo de los medios de adquisición de objetivos asignados.
- ⇒ Participar en el proceso de planeamiento del grupo de combate.
- ⇒ Elaborar los planes de fuego.
- ⇒ En caso necesario, capacidad de emplear y solicitar medidas de control del espacio aéreo.

En la *Figura 5* se muestra un esquema de la organización operativa y la estructura de enlace táctico y organización operativa de un GCBT, mientras que en la *Figura 6* se observa de forma gráfica lo anteriormente explicado.

⁹ Es en este elemento donde se integra el JTAC, siendo conveniente que el jefe del JFSE sea el JTAC para unir en una misma figura ambas capacidades.

¹⁰ Este apoyo de fuego engloba apoyo aéreo, ya sean helicópteros perteneciente a Unidades del ET, como aviones de combate del Ejército del Aire o la Armada.



Figura 5. Croquis de un Grupo de Combate

Fuente: [2]

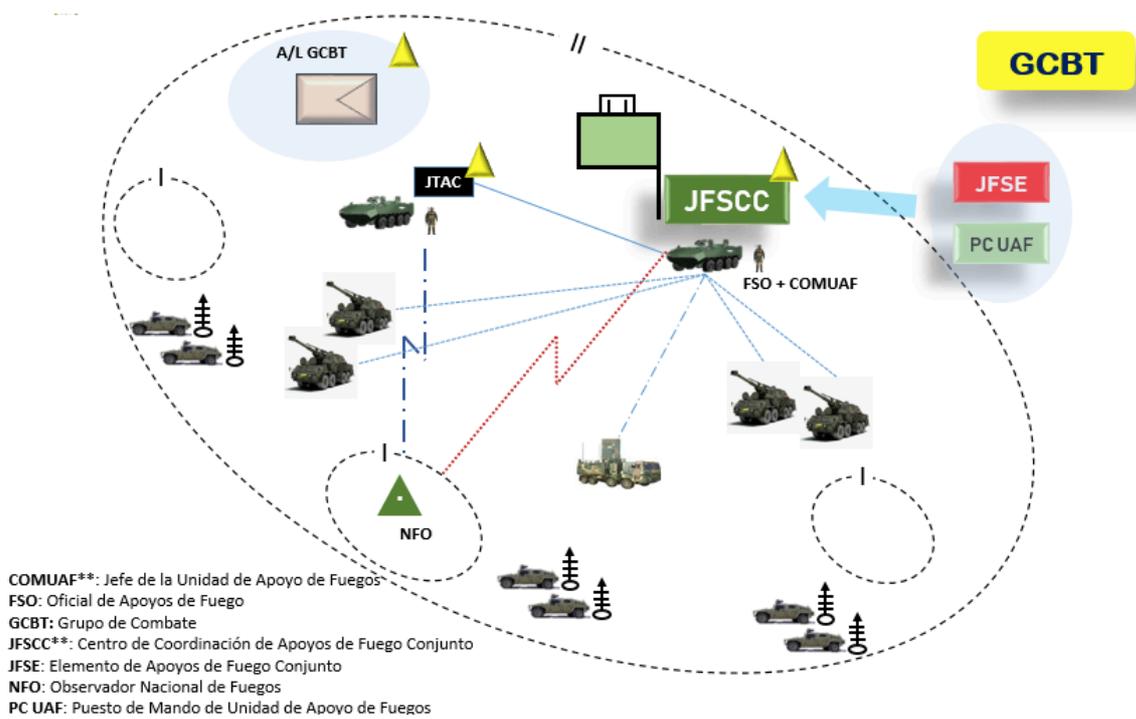


Figura 6. Arquitectura de fuegos de una UAF de un GCBT

Fuente: [2]

3. Análisis de las capacidades del vehículo PCBON MC-3

En este apartado se van a desarrollar los sistemas empleados para la transmisión de datos y fonía por el vehículo objeto de estudio. Las redes militares deben cumplir tres requisitos fundamentales; el primero de ellos es que sean adaptables a escenarios muy diversos, el segundo, que sean fácilmente desplegables y de forma rápida, y por último, que toleren fallos por averías simples o destrucciones parciales [9].

La limitación del ancho de banda es muy restrictiva, pues debido a las perturbaciones que pueda causar el enemigo en el espectro, se deberán aplicar correcciones de errores, que aumentarán las necesidades de dicho ancho de banda [9].

Los medios de los que dispone el PCBON MC-3 son los siguientes [8]:

- 4 radios VHF.
- 1 radio HF.
- 1 Gestor de comunicaciones.
- 3 Puestos de trabajo con Tablet para BMS.
- WIFI seguro.
- Preinstalación de un terminal satélite.
- Posibilidad de establecer una red de telefonía IP en el PC.
- Sistema TALOS.

A continuación se detallan los medios con los que cuenta el vehículo PCBON MC-3 y sus principales características.

3.1 Red radio en VHF

Las señales VHF comprenden un rango de frecuencias de 30 a 300MHz. Estas presentan inconvenientes debido a su pequeño rango de longitud de ondas, las cuales están restringidas por su punto óptico a enlazar. Se propagan por onda de superficie, es decir, que no se reflejan en las capas de la atmósfera como ocurre con las comunicaciones HF. Este tipo de radio tiene una limitación de alcance notorio, pues sobre el terreno no alcanza más de 60km en sus condiciones óptimas, dado que cuando sus ondas atraviesan la atmósfera no se reflejan en las distintas capas, las penetran y se escapan al espacio. Existen principalmente dos tipos de bandas VHF:

- El VHF bajo se considera una transición entre las bandas HF y VHF, y se suele utilizar en ambientes rurales. A esta banda le afectan normalmente interferencias a largo alcance, pero en comparación con VHF alto, presenta una menor atenuación y necesita antenas de mayor tamaño y mayor potencia.
- El VHF alto se utiliza principalmente cuando hay línea de visión directa entre los elementos que transmiten y reciben. Estas ondas se ven afectadas principalmente por la orografía del terreno y la atenuación del espacio libre [10, p. 37].

La banda VHF se utiliza a través de la radio PR4G V3, la cual se integra en el vehículo PCBON y cuyo ancho de banda está limitado a 64Kbps teóricos. Con esta limitación se encuentra ante una

necesidad de incremento de ancho de banda, pues solo se puede enlazar vía fonía o vía datos, pero no ambas simultáneamente [11, 12].

3.2 Red radio en HF

La transmisión de radiofrecuencias HF comprende un rango entre 3MHz y 30MHz. Este tipo de propagación tiene unas características particulares. Con muy poca potencia (1-2W), las señales se refractan en la ionosfera y se alcanzan distancias de enlaces lejanas, pero también se desplaza por onda de tierra. Es de destacar, que este alcance depende en gran medida de las propiedades de la ionosfera. Se pueden conseguir enlaces de miles de kilómetros en función de las condiciones meteorológicas, la potencia radiada, el tipo de antena y el momento de la emisión (hora)¹¹. Este tipo de radiofrecuencia emplea un modo de propagación denominado NVIS (*Near Vertical Incidence Skywave*)¹². Este tipo de frecuencia es usada en el ET por la radio HARRIS RF 5800-H [10, 12].

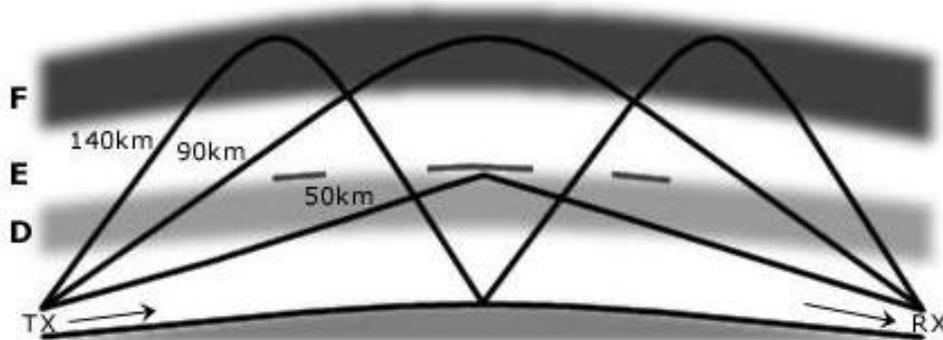


Figura 7. Propagación de la señal HF mediante reflexión ionosférica

Fuente: [10]

3.3 Terminal TALOS

Se define como un sistema de Mando y Control distribuido a dos niveles de mando, cuyo software permite la integración y coordinación de los fuegos en la maniobra de las unidades terrestres (Brigada y Grupo). Las capacidades de TALOS recogen el planeamiento de la maniobra en el apoyo de fuegos integrados, el seguimiento de las fuerzas propias y de las acciones llevadas a cabo por la Unidad, la obtención de objetivos, coordenadas, cálculos balísticos, además de aportar el mapa por donde se está llevando a cabo la maniobra [13].

TALOS se constituye en dos subsistemas:

- TALOS táctico: Planeamiento y conducción de los apoyos de fuego.
- TALOS técnico: Calculador balístico para la obtención de los datos de tiro.

Entre las capacidades que alberga dicho sistema se incluye [13]:

- Posicionamiento automático por GPS.

¹¹ Durante la noche la ionosfera posee características muy favorables.

¹² Propagación por onda ionosférica de incidencia casi vertical.

- Permite visualizar gráficamente a las unidades en el terreno, así como añadir capas superponibles para representar elementos que actuarán en un salto posterior.
- Conversor de coordenadas y sistema geodésico.
- Posibilidad de mensajería en forma de chat, con mensajes tipo o de texto libre.
- Posibilidad de gestionar distintos materiales (es decir, puede integrarse piezas Light Gun 105/30, Light Gun 105/37, ATP 155/39, SIAC 155/52 y Otto Melara 105/14) en una misma operación, es decir, es capaz de combinar acciones de fuego tanto de Artillería como de morteros de Infantería simultáneamente, realizando los cálculos convenientes para el procesamiento de las órdenes de fuego.

3.4 Experimento de Mando y Control de una UAF con el PCBON MC-3

Para la implantación de la futura Brigada Experimental 2035, se están llevando a cabo una serie de experimentos para configurar las futuras plantillas de personal y medios, así como los procedimientos de empleo de los mismos. En el caso que nos ocupa, las funciones de combate Mando y Fuego.

Referente a la integración de un PCBON como PC de una UAF en la BRIEX 35, se ha llevado a cabo una actividad para comprobar su viabilidad práctica sobre el terreno. Este experimento consta de un ejercicio CPX (*Comand Post Exercise*)¹³ con ambientación de Brigada para implementar las medidas de control de los fuegos a nivel GT.

Esta prueba tiene como finalidad realizar una acción simultánea en beneficio de un mayor número de unidades, manteniendo la capacidad de concentrar los efectos. Como objetivo secundario se buscó la implantación de medidas de control de los fuegos, de forma que se sostuviera la continuidad de los apoyos manteniendo la seguridad.

El experimento se llevó a cabo en la Base Álvarez de Sotomayor y en el Campo de Maniobras perteneciente a dicha base, en Viator (Almería), durante la semana del 23 al 27 de septiembre. En cuanto a las Unidades participantes se refiere, se realizó una maniobra conjunta por parte del GACALEG II y una sección de morteros pertenecientes a la VII y la VIII Bandera. El POC (*Point Of Contact*) del ejercicio fue el Capitán D. Iván Lázaro Frías, Jefe de la Primera Batería del GACALEG II.

Objeto del experimento

Como resultado de la gran variedad de escenarios y la amplitud de la zona de acción de los Grupos de Combate, la tendencia en la función de combate Fuegos es crear estructuras modulares adaptadas a la misión que puedan operar con la independencia y medios necesarios para ser consideradas unidades de apoyo de fuegos (UAF). La gran descentralización de las UAF requiere de un planeamiento concurrente y minucioso que permita la correcta ejecución de los fuegos y asegure la coordinación entre unidades.

La ficha de experimento consiste en realizar un ejercicio en formato CPX para, a partir de un planeamiento de nivel Brigada de combate experimental, se realicen dos operaciones subordinadas que correspondan a dos UAF que apoyan a un Grupo de Combate experimental

¹³ Ejercicio de Puesto de Mando

cada una, implementando todas las medidas de control de los fuegos tales que mantengan la seguridad y coordinación requerida entre ambas UAF's.

Actividades preparatorias y necesidades previas

Se ha llevado a cabo un planeamiento de una operación a nivel Brigada, empleando el subsistema TALOS Táctico. La operación se ha expuesto previamente al inicio del ejercicio en la FPC (*Final Planning Conference*) y posteriormente, los dos PC UAF han procedido al planeamiento de las operaciones subordinadas de nivel Grupo de Combate experimental en el sistema Talos.

También se ha realizado la distribución de terminales Talos para todos los puestos implicados en el Centro de Instrucción y Adiestramiento de Fuegos de la Legión (CIAFLEG) y se ha comprobado su correcto enlace y funcionamiento. Dicha estructura contiene una Dirección de Ejercicio (DIREX), un JFSE de Brigada con terminal táctico, dos JFSE de GT/GCEX con terminal táctico (jefes de UAF), un CO (Centro de Operaciones) GACA con terminal táctico, un FDC GACA con terminal técnico, dos FDC UAF con terminal técnico, dos FDC MORTERO con terminal técnico y dos OAV con terminal táctico. En cuanto a las mallas, se ha seguido el esquema propuesto en el Anexo A.

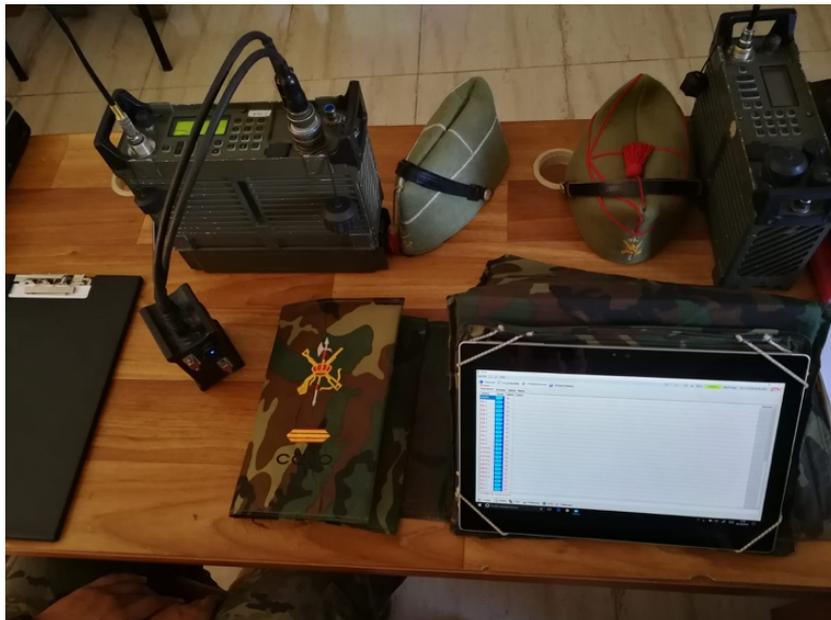


Ilustración 1. Distribución de terminales de la operación en el CIAFLEG

Fuente: Elaboración propia

La operación estaba conectada al software VBS3¹⁴, lo que permitió simular la conducción sobre el terreno y comprobar la correcta aplicación de las medidas de coordinación.

¹⁴ *Virtual BattleSpace*, simulación militar para entrenamiento.

Ejecución detallada del experimento

El experimento se orientó a que el Jefe de la UAF materializara el planeamiento y la conducción de la operación subordinada que realizaba de nivel Grupo de Combate Experimental, teniendo que gestionar las medidas de coordinación de los fuegos que le afectaban en cada momento y realizar a la vez la dirección táctica de la UAF a través del PCBON MC-3, dando lugar a la integración de dicho PCBON como PC UAF/FSE de un Grupo de Combate (ejecución de los cambios de posición, planes de fuegos, gestión de munición...). Anteriormente, y como cambio principal de la estructura antigua y la de la UAF de la BRIEX 35, esa función la realizaba el Destacamento de Enlace. Para ello, tuvo que, por un lado como JFSE GCEX (Grupo de Combate Experimental) ser capaz de gestionar las medidas de coordinación (variable seguimiento medidas de coordinación) con el subsistema Talos Táctico y por otro, como Jefe de UAF ser capaz de realizar la dirección táctica de la UAF (Mando y Control UAF). Estas dos variables se valoraron durante la conducción del tema táctico.



Ilustración 2. Vehículo PCBON-MC3 durante el ejercicio

Fuente: Elaboración propia



Ilustración 3. Interior del PCBON MC-3 al inicio del ejercicio

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

Una vez desarrollado el ejercicio, se ha podido comprobar que el Jefe de la UAF es capaz de asumir las variables de seguimiento de medidas de coordinación con su terminal Talos Táctico y las mallas establecidas, a la vez que realiza la variable Mando y Control, controlando a sus secciones a través de su auxiliar que maneja el subsistema Técnico. Ambas funciones son compatibles siempre y cuando en el mismo terminal Talos Táctico del Puesto de Mando de la UAF se configure con un rol de CO ACA/UAF y rol de JFSE GT lo que permite asumir ambos cometidos.

Se considera necesario un terminal Técnico en este PC UAF para implementar la malla T2T (Talos Táctico - Talos Técnico), que es necesaria para enlazar ambos subsistemas, ya que las operaciones de Talos Técnico son independientes entre las UAF's y el PC GACA. Además, al materializar el enlace mediante LAN en vez de con PR4G, se consigue un enlace más estable y fluido, ahorrando a su vez terminales PR4G (estructura contenida en el Anexo A). Dicha estructura permite a este PC UAF la posibilidad de calcular datos de tiro para ambas Secciones o coordinar el fuego de ambas en caso necesario.

Sin embargo, el principal problema que se encontró fue la gestión de mallas de radio, pues el volumen de mallas a organizar por parte de este vehículo es muy grande, y así lo indicaba el Capitán De La Plaza en su entrevista:

<<El principal problema se encuentra en el números de mallas que hay que organizar, ya que al menos hay que configurar cuatro. Se trata de un número elevado de mallas para que lo gestione un solo vehículo. Cada malla implica un medio de transmisión, por lo que si no se integran más medios, es complicado llevar a cabo el enlace con todos los corresponsales.>>

Por último, estas conclusiones reflejan la necesidad de dotar a la UAF con un vehículo táctico tipo PC UAF, que permita llevar a cabo las dos variables expuestas en este experimento, como se muestra en el Anexo B.

4. Propuesta de medios de transmisiones

A continuación se estudian las diferentes alternativas de transmisión que utiliza el vehículo PCBON MC-3 en la actualidad. Se añade al estudio un satélite y la antena Ubiquiti AirFiber 5. Se expone el método multicriterio AHP utilizado para obtener la decisión óptima y se plasman los resultados del mismo.

4.1 Metodología multicriterio AHP

La metodología AHP es una herramienta utilizada para la resolución de problemas en los cuales se necesitan evaluar aspectos cualitativos y cuantitativos. Este proceso permite simplificar complejas comparaciones y organizar los aspectos críticos de un problema, así como la jerarquización de los diferentes criterios evaluados. Se utiliza principalmente para realizar una comparación entre distintas opciones y decidir cual de ellas es la opción más conveniente. Puede ser utilizado para realizar decisiones tanto simples, como muy complejas. Esta metodología consta de cuatro pasos. En primer lugar, se representa gráficamente el problema a través de un diagrama de árbol donde se relacionan los distintos niveles: se define el objetivo principal de la jerarquización, luego se definen los criterios a evaluar, y por último, las alternativas propuestas [19, 20].

En segundo lugar, con el resultado de las encuestas y la entrevista a expertos realizadas, se obtienen las ponderaciones de los criterios a evaluar, comparando la importancia de una característica con otra, atendiendo a la escala de Saaty. Esta escala es una herramienta usada para establecer la importancia o preferencias de criterios y/o alternativas en una matriz de comparación por pares. De este modo, se consigue alcanzar una homogeneidad y un grado notorio de certeza en las comparaciones realizadas. Solo se utilizan números impares, siendo el 1 la mínima valoración y el 9 la máxima. Ver tabla en el Anexo E.

Relacionado con el paso anterior, se calcula la razón de inconsistencia (IR) cuyo valor ha de ser menor a 0,1 para que tengan un valor riguroso, lo cual permite saber el grado de incoherencia de las valoraciones realizadas por los expertos [16]. A continuación, se vuelve a aplicar el método con las alternativas propuestas. Para concluir el estudio, todos los resultados se trasladan a una matriz de decisión, donde se vuelven a ponderar las evaluaciones de los pesos obtenidos y se ordenan en base a un índice absoluto. Finalmente se pueden observar los resultados de los diferentes criterios y cuál de las alternativas es la más conveniente.

Para mayor información sobre el método AHP consultar el Anexo E.

4.2 Aplicación del método AHP al estudio

A continuación se expone la aplicación del método AHP para la toma de decisión de la alternativa óptima realizada a través del software "Herramienta de Ayuda a la Decisión", perteneciente al ET, obtenido a través de la Academia de Logística de Calatayud. En primer lugar, se realizó una encuesta a la sección de Operaciones, y a los equipos de FDC de cada Batería de armas, así como al personal de Transmisiones para la obtención de las ponderaciones de los criterios de estudio, la cual se adjunta en el Anexo C. En la siguiente figura se muestra el esquema de la jerarquización analítica objeto del estudio:

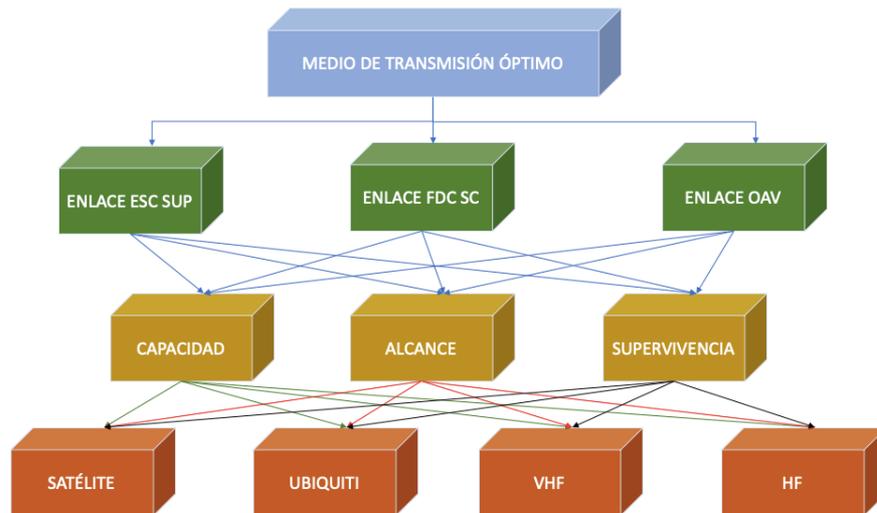


Figura 8. Jerarquización de criterios, subcriterios y alternativas

Fuente: Elaboración propia

El cuestionario recoge en el primer apartado una tabla para realizar comparaciones por pares entre los criterios elegidos para definir la importancia que revela uno frente al otro, dependiendo del puesto táctico con el que se enlace. Tras haber realizado la encuesta recogida en el Anexo C, se obtuvieron los índices de ponderación por pares y se les realizó una media para determinar de forma global la opinión de todos los encuestados. Como no eran números enteros, se tomó como criterio la aproximación al número entero perteneciente a la Escala de Saaty más cercano.

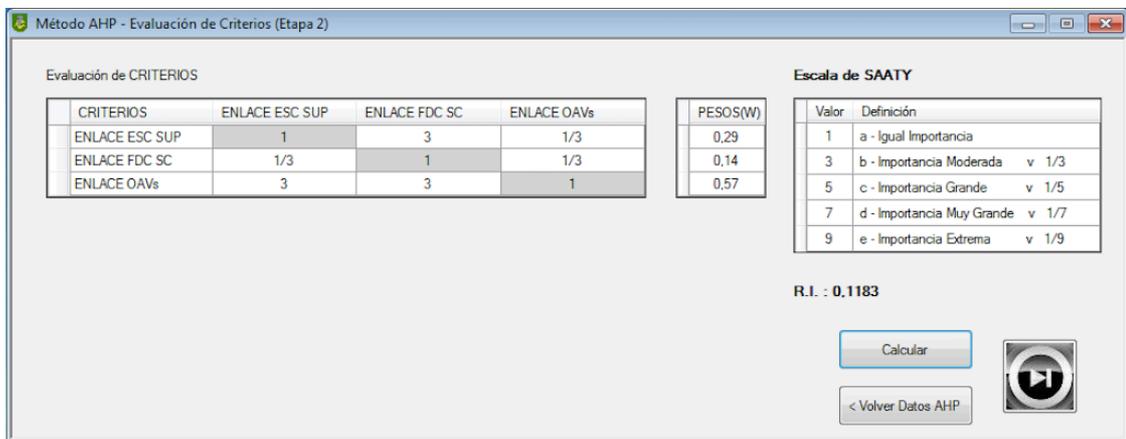


Ilustración 4. Ejemplo de la matriz de evaluación de los criterios y sus pesos

Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior se muestra la comparación por pares entre los criterios. Se procede a explicar un caso: en la fila <<ENLACE ESC SUP>> con la columna <<ENLACE FDC SC>> se pondera con un 3 según la escala de Saaty, lo que indica que el primer criterio tiene importancia moderada frente al segundo. De esta forma se calcularon todos los pesos de los criterios, subcriterios y alternativas. A continuación se muestran los criterios:

- *Enlace con el Escalón Superior:* Este se produce entre el PC de la UAF con el de la Unidad Superior a la que apoya.

- *Enlace con el FDC de sección:* Se lleva a cabo con la unidad directamente inferior a la UAF, con las secciones, que a su vez dirigen las piezas.
- *Enlace con los Observadores Avanzados:* la transmisión de fonía entre el PC UAF y los OAV's es fundamental tanto para la corrección del tiro como para levantar coordenadas de objetivos.

Los subcriterios elegidos para la comparación fueron los siguientes:

- *Capacidad:* Se define como la medida cuantitativa de la aptitud de un sistema para responder a una concreta demanda de tráfico de datos [22]. Esta capacidad ha de ser suficiente para abastecer la transferencia de la información requerida por parte del PCBON, de los OAV's, de las piezas y el PC del escalón superior, dentro de los plazos de tiempo requeridos para la explotación de dicha información. En este caso se eligió este criterio en base al ancho de banda requerido para poder mandar y recibir peticiones de fuego, listas de objetivos, matrices de cambios de asentamientos, matrices de fuego, etc.
- *Alcance:* Es la distancia máxima a la que se produce un enlace de forma óptima, sin interferencias. Este criterio es indispensable tratarlo, dado que en la Brigada Experimental 2035 los despliegues de las UAF serán más amplios.
- *Supervivencia:* Es la capacidad de un sistema para garantizar la continuidad de determinadas funciones esenciales durante un concreto periodo de tiempo en el que se encuentra sometido a situaciones adversas. Se puede dividir en dos, física y electrónica. La física se refiere a la capacidad del sistema para mantenerse operativo cuando las condiciones son adversas. La electrónica es la capacidad que posee el sistema para resistir los ataques electrónicos enemigos [22]. Este criterio se eligió debido a las numerosas climatologías existentes y a la presencia de unidades de guerra electrónica enemigas en las actuales Zonas de Operaciones donde despliega el Ejército de Tierra.

Para entender el análisis realizado, es importante señalar que se ha tratado de forma individual cada enlace con sus alternativas, sin tener en cuenta el resultado global del mismo. Las alternativas para cada tipo enlace se interpretan de forma horizontal, siendo estas las ponderaciones, es decir, se debe analizar por filas y no por columnas. Además, los resultados de la *Tabla 1* se toman en porcentajes en el análisis. En la siguiente ilustración se muestran los resultados del estudio realizado¹⁵, diferenciándose entre los puestos tácticos a enlazar, así como de sus características, para la elección de un medio de transmisión u otro:

¹⁵ El estudio completo se recoge en el Anexo F.

Método AHP - Jerarquización de Alternativas (Etapa 4)

MATRIZ DE DECISIÓN

CRITERIOS / SUBCRITERIOS	PESOS	VHF	HF	SATÉLITE	UBIQUITI
ENLACE ESC SUP	0.29	0.30	0.22	0.18	0.30
+ ALCANCE	0.12	0.06	0.37	0.20	0.37
+ SUPERVIVENCIA	0.55	0.47	0.28	0.12	0.12
+ CAPACIDAD	0.33	0.10	0.06	0.28	0.57
ENLACE FDC SC	0.14	0.20	0.16	0.22	0.41
+ ALCANCE	0.14	0.06	0.37	0.20	0.37
+ SUPERVIVENCIA	0.29	0.47	0.28	0.12	0.12
+ CAPACIDAD	0.57	0.10	0.06	0.28	0.57
ENLACE OAVs	0.57	0.24	0.29	0.18	0.29
+ ALCANCE	0.43	0.06	0.37	0.20	0.37
+ SUPERVIVENCIA	0.43	0.47	0.28	0.12	0.12
+ CAPACIDAD	0.14	0.10	0.06	0.28	0.57
		0.25	0.25	0.19	0.31

Tabla 1. Jerarquización de alternativas

Fuente: Elaboración propia

4.2.1 Enlace con el Escalón Superior

Tras el estudio anterior, se observa que el peso del criterio <<Supervivencia>> es el más importante de los tres comparados, dado que es fundamental que el PCBON de la Unidad de Apoyos de Fuego mantenga el enlace en todo momento con el JFSE de la Brigada.

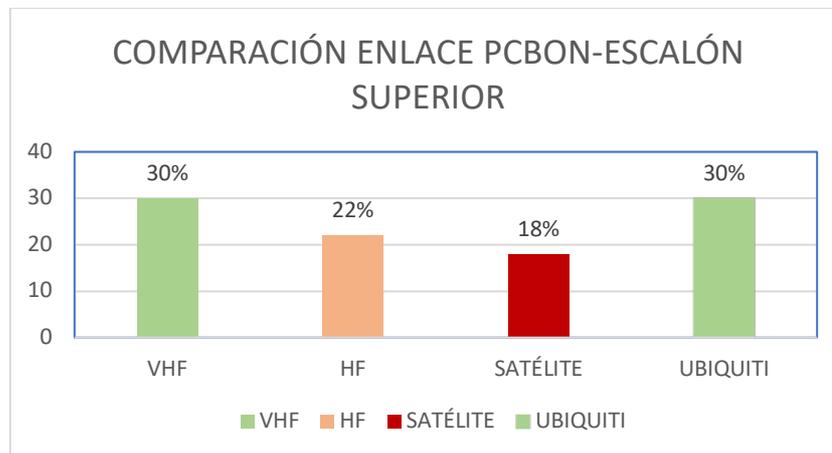


Figura 9. Comparación de alternativas del enlace con el Escalón Superior

Fuente: Elaboración propia

En primer lugar, el satélite es el menor valorado como alternativa y por tanto descartado del estudio, pues a pesar de contar con una buena capacidad de datos, este debe estar estático para transmitir y recibir, dado que se trata de una tecnología de red PtP. Por tanto, la supervivencia del enlace con este medio es crítica, valorado con un 12% (valor obtenido de la Tabla 1).

Además de la alternativa anterior, también se descarta la utilización de HF para el enlace con el Escalón Superior, debido fundamentalmente a su problema de capacidad de transmisión de datos (valorado con un 6%), aunque su supervivencia sea alta y su alcance también.

Las dos alternativas óptimas para el enlace en cuestión son la utilización de la radio PR4G y con ello la banda VHF, y por otro lado con la misma ponderación (30%), la antena Ubiquiti AirFiber 5. Los valores obtenidos en el estudio deben ser interpretados teniendo en cuenta las características de cada alternativa.

Aunque la supervivencia de la Ubiquiti sea valorada con un pequeño porcentaje (12%), y a su vez requiera visión directa con el PC, se adecua a las necesidades de Alcance y Capacidad exigidas por el enlace. Por otro lado, la VHF consigue su elevada ponderación debido a su capacidad de Supervivencia, sin embargo, su Alcance y su Capacidad de transmisión de datos está muy por debajo de las que ofrece la Ubiquiti.

Como conclusión, se establece que es necesario la dotación de una antena Ubiquiti AirFiber 5 tanto en el PCBON MC-3 de la UAF como en el PC de la unidad a la que se apoya. Complementando el enlace VHF con el de la Ubiquiti se conseguirán las capacidades deseadas, se mantendrá el enlace en movimiento gracias a la banda VHF y se podrán transmitir datos rápidamente.

4.2.2 Enlace con el FDC de sección

Para este enlace, la mayor ponderación se le otorga a la <<Capacidad de transmisión>>, debido a la importancia que presenta la transmisión de datos entre el PC UAF y el FDC de sección. El PCBON MC-3 cuenta con un software que posibilita transmitir gran cantidad de información, pero el verdadero problema lo presenta el hardware, este no presenta posibilidad de transmitir todo lo que el software sí.

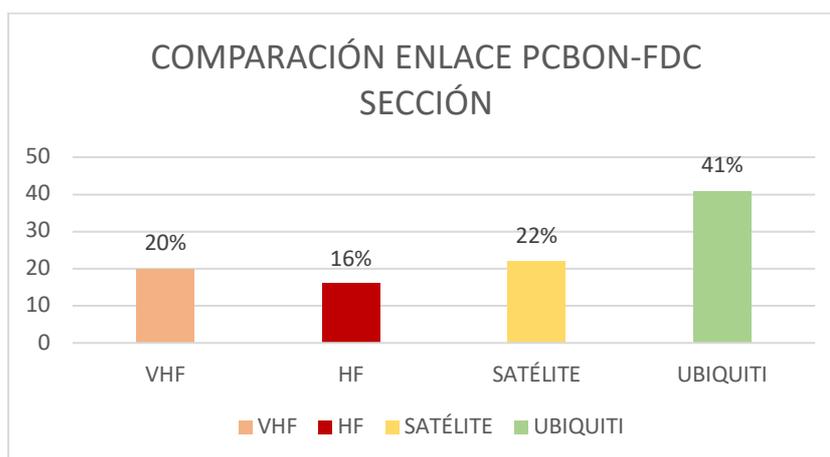


Figura 10. Comparación de alternativas del enlace con el FDC de sección

Fuente: Elaboración propia

En este caso, el enlace HF es el menos valorado como alternativa debido a su ínfima Capacidad de transmisión de datos, y aún aportando una gran distancia de enlace, su ancho de banda es tan limitado que le impide la transmisión de datos por el terminal TALOS a los FDC's correspondientes. Por tanto, esta alternativa se descarta.

En segundo lugar, la valoración más baja es obtenida por la VHF, y muy cercana a ella, el Satélite. La banda VHF presenta una gran Supervivencia, como se ha mencionado en el subapartado anterior, y el Satélite se muestra como la segunda mejor opción por su Capacidad (28%). Sin embargo, teniendo en cuenta tanto los factores económicos¹⁶ como el mantenimiento del enlace constante, la alternativa del uso de Satélite entre PCBON de una UAF y los FDC's se descarta, y con ello la VHF se establece como segunda alternativa.

Para finalizar, es de destacar que la antena Ubiquiti, sin tener en cuenta factores externos como su necesidad de visión directa entre emisor y receptor, es la mejor opción para este tipo de enlace. Sin embargo, no se puede recurrir únicamente a ella, por el principal problema mencionado anteriormente, por lo que, coincidiendo con la conclusión del apartado anterior, esta debe implementarse en el vehículo PCBON MC-3 y en los FDC's, complementando el uso de la actual la banda VHF que proporciona la radio PR4G V3.

4.2.3 Enlace con los Observadores Avanzados

Para el estudio del enlace con los Observadores Avanzados, la mayor ponderación ha sido asignada al Alcance y a la Supervivencia. Los OAV se desplazan con las unidades de maniobra¹⁷ por todo el área de movimiento asignada a esa Unidad, lo que implica que a veces se encuentren en puntos de difícil enlace debido a la orografía del terreno. La Capacidad en este enlace no es prioritaria y se le otorga la menor ponderación.

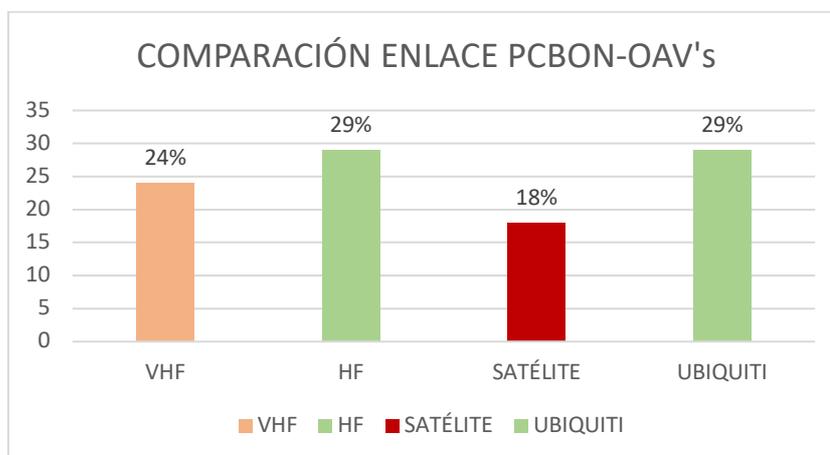


Figura 11. Comparación de alternativas del enlace con los Observadores Avanzados

Fuente: Elaboración propia

La alternativa del uso de Satélite queda descartada en su totalidad. Resulta la opción con menor ponderación de las cuatro alternativas planteadas según los criterios de comparación. Además de los criterios expuestos, existe una inviabilidad física y de medios para ser usado por OAV's en el campo de batalla.

La segunda opción descartada es el uso de la VHF, determinado principalmente por su Alcance (solo un 6% de ponderación) y su incapacidad de enlazar en terrenos con relieves pronunciados.

¹⁶ No es viable económicamente el dotar de satélites a todos los FDC's.

¹⁷ Unidades de Infantería y Caballería.

Atendiendo a los criterios de evaluación de las alternativas, las óptimas para este enlace, son la utilización de la HF y de la antena Ubiquiti. Tanto una como la otra tienen un alto porcentaje asignado en Alcance (37%), pero en el apartado Supervivencia, la HF supera a la Ubiquiti (28% vs 12%). Es importante destacar que la Ubiquiti no tiene capacidad alguna de enlazar con los OAV's, dado que es prácticamente imposible que haya visión directa entre el PCBON MC-3 y estos. El único factor en el que la antena Ubiquiti supera a la HF es en la Capacidad, pero en este caso, este criterio no es fundamental para el desarrollo de la función Mando. Por último, al igual que ocurre con el Satélite, no es viable que un OAV utilice una Ubiquiti.

Finalmente, se obtiene que la banda HF es la alternativa elegida para establecer enlace con el PC de la UAF por las propiedades que dicho modo de transmisión presenta¹⁸, destacando por su Alcance.

¹⁸ Recogidas en el apartado Red radio en HF.

5. Análisis DAFO de las alternativas propuestas

Tras haber descartado el satélite con el anterior método, en este apartado se realiza un estudio de las Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades (DAFO) de las alternativas anteriormente elegidas.

Las alternativas de estudio son la banda VHF, la cual se trabaja con la radio PR4G V3 en dotación en el ET, la banda HF usada por la radio HARRIS, también en dotación en el ET, y la antena Ubiquiti AirFiber 5, que es un medio civil pero que posee buenas capacidades de transmisión de datos.

5.1 DAFO VHF



Figura 12. DAFO VHF

Fuente: Elaboración propia

Debilidades

Las radios que emiten VHF tienen un alcance limitado de pocas decenas de kilómetros, teóricamente y sobre el terreno tras numerosas pruebas de enlace estas frecuencias a lo sumo consiguen enlazar a 10km, si la orografía del terreno no es muy abrupta [11, 14].

Por otro lado, uno de los mayores problemas junto con el alcance, es el ancho de banda que permite esta frecuencia, el cual es escaso para la transmisión de datos vía TALOS. Los operadores se encuentran con un verdadero problema, pues el software tiene capacidad, pero el hardware no.

<<El principal problema que se localiza en el PC es entre el software y el hardware, dado que el TALOS tiene una capacidad de envío de datos muy grande, y sin embargo este no se ve correspondido con el hardware, las radios PR4G están limitadas en ese aspecto. Tenemos

Sistemas de Mando y Control con mucha capacidad de envío de datos pero radios muy por debajo de esas capacidades>> (Tte. San Pedro).

Amenazas

El mundo tecnológico avanza a una velocidad de vértigo, y como comentaba el Tte. San Pedro en la entrevista en el Anexo D, los softwares se actualizan en relativamente poco tiempo, pero sin embargo los medios de transmisión siguen siendo los mismos, por lo que corren el riesgo de quedarse obsoletos a corto plazo.

Fortalezas

La señal VHF se transmite en el ET a través de la radio PR4G V3, la cual proporciona una gran autonomía al enlace, de modo que este está garantizado tanto en estático como en movimiento. Por tanto, dicha señal cuenta con una gran supervivencia.

Una de las principales ventajas de utilizar esta señal, es que la PR4G trabaja en un modo denominado <<Salto de Frecuencia>>, en el cual las frecuencias van cambiando aleatoriamente numerosas veces en un tiempo muy corto, cuando la radio directora de la malla lo haga.

Por último, es importante destacar que la radio con la que opera dicha frecuencia, se lleva utilizando en el ET desde su primera versión, lo que se traduce en un gran conocimiento de su funcionamiento por parte de los operadores. Es un factor a tener en cuenta a la hora de resolver problemas, como establecer una sincronía entre radio directora y subordinadas [11].

Oportunidades

Como bien se ha comentado en el apartado anterior, la radio PR4G lleva siendo usada en el Ejército décadas, por lo que la principal ventaja que se puede obtener de esto es que al tenerla en dotación en el ET, no es necesario desembolsar una suma de dinero para su implantación en las Unidades.

Conclusiones

El uso de esta banda es de gran utilidad, dado que cuenta con una movilidad y una capacidad de supervivencia excelente. También es destacable que se encuentra en dotación en el ET y ello no conlleva un coste añadido a la utilización de la misma.

Por otro lado, la mayor limitación que posee dicha banda es el minúsculo ancho de banda que posee, a la vez que su alcance máximo, dado que en las mejores condiciones apenas se alcanzan 10km de distancia.

5.2 DAFO UBIQUITI AIRFIBER 5

La antena Ubiquiti AirFiber 5 es un dispositivo de la empresa Ubiquiti Networks, cuya red sin cable punto a punto ha revolucionado la forma de comunicarse, por su gran ancho de banda y sobre todo por su fácil instalación en los terminales en los que se integran [15].

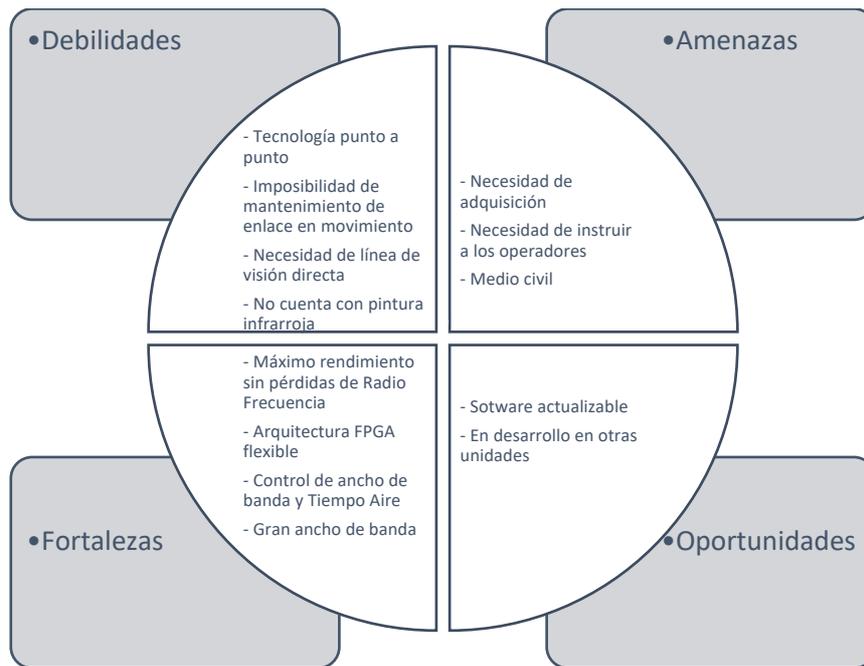


Figura 13. DAFO UBIQUITI AIRFIBER 5

Fuente: Elaboración propia

Debilidades

Esta alternativa presenta varios factores negativos. El primero de ellos es el modo de enlace usado, el PtP¹⁹ (*Point to Point*), dado que dificulta el enlace en gran medida debido a que se necesita visión directa entre una antena y otra para recibir y emitir correctamente. La siguiente debilidad, derivada de la anterior, se trata de la imposibilidad de mantener el enlace con los escalones superiores e inferiores [16].

Otra debilidad importante que es fundamental destacar es la firma infrarroja, ya que no cuenta con ella, lo cual puede poner en peligro el despliegue. Por otro lado, si se intenta enmascarar con una red mimética para evitar lo anterior, podría interferir en las señales dado que utiliza el sistema PtP ya citado.

Amenazas

Existe un riesgo principal en cuanto a la adquisición de este material, pues al no ser cifradas, presenta una amenaza de ser interferida por el enemigo. Otro punto negativo que se encuentra, es la poca instrucción e información con la que cuentan los operadores de radios del ET conforme al uso de esta alternativa. Por último, cabe destacar que esta antena se trata de un medio civil, por lo que podría sufrir cierta reticencia por parte de los usuarios conforme a su empleo. Además debería de ser enmascarada de algún modo para evitar que destaque, dado que su color es blanco y no es táctico.

Fortalezas

En primer lugar, se eliminan las pérdidas sufridas en los conmutadores y filtros, con lo que se consigue una señal más clara y aporta una estabilidad de enlace mayor. Además cuenta con una

¹⁹ Punto a Punto

arquitectura FPGA (*Field Programmable Gate Array*) que puede ser configurada y optimizada mediante actualizaciones y con capacidad de reprogramación.

Por otro lado, este medio ajusta la modulación basándose en la calidad del enlace, configurándose los parámetros del tiempo aire y el ancho de banda para lograr el máximo rendimiento en todos los enlaces, siempre manteniendo una flexibilidad única. Una de las principales ventajas con las que cuenta es el amplio ancho de banda que posee para la transmisión de datos (1,2Gbps) [15].

Oportunidades

La antena Ubiquiti AirFiber5 cuenta con numerosas actualizaciones para evitar la obsolescencia del material. Esto facilita el mantenimiento de esta alternativa de modo sencillo. Por otro lado, ya existen estudios y pruebas realizadas con este tipo de antenas en el ET, por lo que su adquisición está familiarizada con el Ejército.

Conclusiones

Con esta antena se resuelve el problema de ancho de banda, o el efecto embudo que menciona el Teniente San Pedro en su entrevista, debido a la poca capacidad que poseen los medios en dotación en el ET para dicho uso. También destaca su fácil montaje y su fácil utilización a través del software que facilita la empresa.

Sin embargo, el principal inconveniente que presenta dicha antena, es que es un medio civil, y además habría que realizar una adquisición del producto y cifrar la señal de modo que sea un medio seguro. Por tanto, es una buena alternativa a estudiar.

5.3 DAFO HF

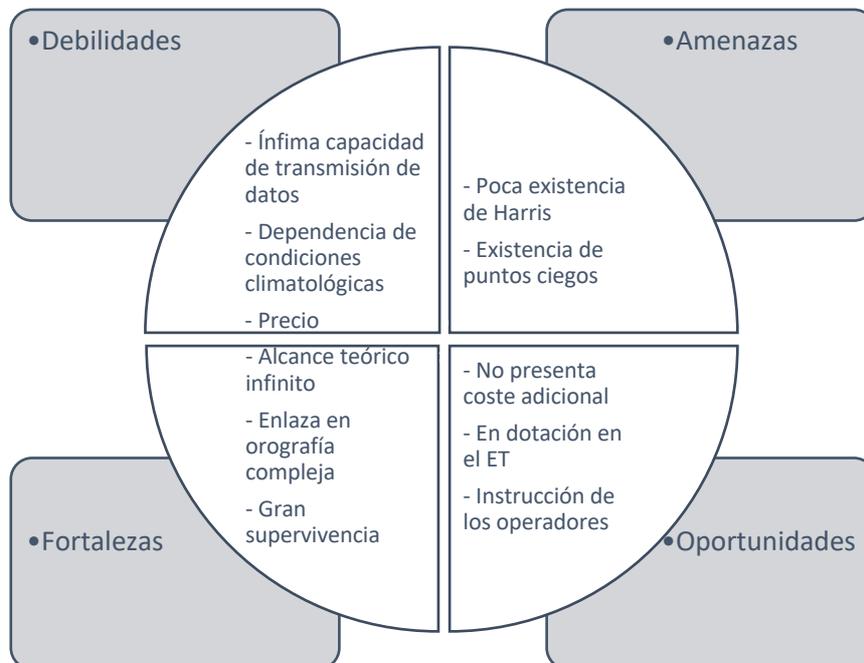


Figura 14. DAFO HF

Fuente: Elaboración propia

Debilidades

Lo más importante a destacar es el pequeño ancho de banda que proporciona esta frecuencia, lo cual es una limitación que ralentiza el proceso de transmisión de datos.

Por otro lado, cabe mencionar que la propagación de las ondas HF dependen en gran medida de las condiciones climatológicas. Por consiguiente, la fiabilidad y alcance del enlace variarán en función de las zonas donde se opere.

Asimismo, otro factor importante es su elevado coste, lo que explica que haya tan pocas unidades de este tipo de radio en el ET.

Amenazas

Como amenaza, se destaca la poca existencia de radios Harris en las unidades, por lo que es difícil que todos los Puestos de Mando cuenten con una radio de este tipo para enlazar.

Por otro lado, y relacionado con lo anteriormente citado de las condiciones climatológicas, además de depender el enlace de estas, también se pueden producir puntos ciegos en los que no se reciba ni fonía ni datos. Por otro lado, depende también de la hora en la que se produzca la señal, por lo tanto no existe una fiabilidad total a la hora de producir el enlace.

Fortalezas

En primer lugar, con este tipo de frecuencia, se puede alcanzar una distancia teóricamente infinita, dado que sus ondas se reflejan en la ionosfera y con ello se produce este fenómeno. Se puede observar un esquema gráfico en la *Figura 7*.

Por otro lado, relativo a la forma de propagación anteriormente mencionada, con esta frecuencia se puede enlazar en terrenos abruptos con mayor facilidad, siendo esta la principalmente usada por los observadores avanzados.

Por último, cabe destacar su gran independencia, dado que esta frecuencia es usada por una radio portátil denominada Harris [17], la cual es fácilmente transportable por una persona y permite mantener el enlace tanto estáticamente como en movimiento [18].

Oportunidades

Uno de los factores a remarcar en la utilización de esta banda de frecuencias y de la radio que la emplea, la Harris, es su conocimiento por parte de los operadores. Además de lo anterior, al tenerlas en dotación en el ET, y específicamente en los GACA's, no supone un coste extra de adquisición del producto, ni de cursos de instrucción para sus manipuladores.

Conclusiones

La principal ventaja que se encuentra en la utilización de esta banda es que la radio HARRIS la usa, y el ET cuenta con unidades de este tipo en dotación, lo que no supone un coste extra. Por otro lado, también es destacable la gran movilidad y alcance con el que cuenta dicha banda.

El principal problema que presenta es la ínfima capacidad de transmisión de datos y las pocas unidades que existen en dotación de dicha radio para las Unidades en el ET.

6. Conclusiones

Tras el estudio y el análisis realizado en esta memoria, se han observado las carencias que predominan en el ámbito de las transmisiones, así como su dificultad para enlazar con los diferentes puestos tácticos necesarios para el desarrollo del despliegue de una UAF correctamente.

El vehículo de Puesto de Mando PCBON MC-3 posee unas características extraordinarias tanto de movilidad como de enlace. Sin embargo, se ha estudiado la posibilidad de la integración de una antena Ubiquiti Airfiber 5 para complementar la transmisión de datos a través del sistema de Mando y Control TALOS. Además de las características desarrolladas y comparadas en el estudio AHP realizado, existen muchos más factores extrínsecos que tienen efecto en esta decisión.

Sin embargo, aunque tras el experimento realizado se comprobó que la integración del vehículo PCBON MC-3 como PC de una UAF/FSE de un Grupo de Combate en la Brigada Experimental 2035 es posible, aún hay que perfeccionar ciertos aspectos del vehículo para que su integración se pueda producir al cien por ciento de sus capacidades. Entre ellas se encuentra la gestión de mallas, dada la dificultad para el personal de este vehículo PCBON de tener que operar gran cantidad de mallas con los medios con los que se dispone. Otro aspecto a solucionar es la dificultad de enlace que posee a largas distancias, y el reducido ancho de banda que poseen las bandas que se utilizan actualmente. Por ello, el estudio se centró en los medios de transmisiones de dicho vehículo PCBON.

Uno de los principales factores no tratados en el método AHP pero que es importante mencionar es el coste de adquisición de los materiales, que sin embargo se ha tratado en el estudio DAFO. En el caso del satélite, se descartó de todos los enlaces, además de ser el menor ponderado en el análisis del AHP, su adquisición es muy costosa y no cuenta con movilidad alguna.

Por este motivo, junto a los resultados obtenidos del método multicriterio AHP, se concluye que, dependiendo del puesto táctico a enlazar con el PCBON de la Unidad de Apoyo de Fuegos, se deben utilizar unos medios u otros. En primer lugar, para enlazar con el Puesto de Mando del JFSE de Brigada, se recomienda el uso de una radio PR4G V3 con señal VHF para mantener el contacto con dicho Puesto de Mando, incluso en movimiento, y complementarlo con el modelo de la antena Ubiquiti estudiado para garantizar el traspaso de datos del terminal TALOS con fluidez y rapidez.

En el enlace con un FDC de sección se llegó a la conclusión de que estos debían dotarse de una antena Ubiquiti, y utilizarla del mismo modo anteriormente planteado, manteniendo la señal VHF en todo momento en el despliegue para asegurar el enlace. Dada la conclusión anterior, se aprovecharía la adquisición de este nuevo tipo de antenas para integrarlas en los Puestos de Mando de sección.

Por último, para el enlace con los Observadores Avanzados, se decidió que la mejor alternativa era el uso de una radio HARRIS, lo que implica el uso de una frecuencia HF, debido a su gran alcance, así como la movilidad que este tipo de radio aporta a los OAV's. Es inviable que

un observador avanzado pueda llevar consigo una antena, además de la inviabilidad de poder enlazar con ella dado que la antena Ubiquiti funciona con tecnología PtP.

Para concluir, es importante destacar, que en el resultado global del estudio AHP, el mejor medio de transmisión según los criterios, subcriterios y ponderaciones basadas en las encuestas realizadas al personal que opera con este tipo de Puesto de Mando, fue la antena Ubiquiti AirFiber 5, lo cual se traduce en que es aconsejable la adquisición y utilización de dicho elemento en los nuevos PCBON.

6.1 Líneas futuras del trabajo

Como consecuencia del estudio realizado para la implantación del vehículo PCBON, surgen dos líneas futuras para su desarrollo y utilización en la BRIEX 35:

- Estudio de sustitución de la barcaza por la del futuro vehículo 8x8, así como posible integración del PCBON sobre la plataforma del vehículo mecanizado Pizarro.
- Programa de adquisición de nuevos materiales informáticos que contengan mayor memoria RAM y por ende, mejor procesador, que permitan aprovechar todas las capacidades que ofrece el programa TALOS.

Bibliografía

- [1] Ejército de Tierra «Ejercito.mde» 27 septiembre 2018. [En línea]. Available: <http://www.ejercito.mde.es/unidades/Coruna/flo/Noticias/2018/182.html>. [Último acceso: 7 Octubre 2019].
- [2] FUTER «Estudios Fuerza 2035 y Brigada Experimental» Ministerio de Defensa, Madrid, 2018.
- [3] MADOC «Entorno operativo terrestre futuro 2035» Granada, 2018.
- [4] MADOC «PD 1-001 EMPLEO DE LAS FUERZAS TERRESTRES» 2011.
- [5] «PLAN DE MODERNIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE MANDO, CONTROL Y COMUNICACIONES DEL EJÉRCITO DE TIERRA» 2015.
- [6] MADOC «PD4-304 EMPLEO DE LA ACA» Granada, 2015.
- [7] MADOC «PD3-315 APOYOS DE FUEGO» Granada, 2015.
- [8] «Norma de la Fuerza Terrestre Nº XXX/19-Empleo Operativo del PCBON» 2019.
- [9] «Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación» [En línea]. Available: <https://www.coit.es/publicac/publbit/bit130/especial4.htm>. [Último acceso: 21 septiembre 2019].
- [10] M. A. Ojeda Haro «Implementación de experiencias para la medición de parámetros de calidad en equipos de radiocomunicaciones en las bandas de HF y VHF» Valdivia, 2003.
- [11] MADOC «RE6-501 REGLAMENTO DE EMPLEO RADIOTELÉFONO PR-4G» Ministerio de Defensa, Granada, 2002.
- [12] R. Gómez Jiménez «Enlace en movimiento entre los equipos de Guerra Electrónica ligera (MEWT/LEWT) con el Centro de Interceptación (CINT)» Zaragoza, 2018.
- [13] «GMV» 2019. [En línea]. Available: <https://www.gmv.com/es/Productos/Talos/>. [Último acceso: 23 septiembre 2019].
- [14] MADOC «AGM-TM-403: Sistemas de transmisión, radiocomunicación» Zaragoza, 2017.

- [15] Ubiquiti «Ubiquiti» [En línea]. Available: https://dl.ubnt.com/datasheets/airfiber/Radios_airFiber_Espanol.pdf. [Último acceso: 2 Octubre 2019].
- [16] Ubiquiti «Ubiquiti» [En línea]. Available: https://dl.ubnt.com/datasheets/airfiber/airFiber_DS.pdf. [Último acceso: 3 octubre 2019].
- [17] THALES «THALES GROUP» [En línea]. Available: <https://www.thalesgroup.com/es/hf-3000>. [Último acceso: 21 septiembre 2019].
- [18] MADOC «Manual de instrucción RADIO HF HARRIS RF-5800-H» Ministerio de Defensa, Granada, 2018.
- [19] El proceso de análisis jerárquico (AHP) y la toma de decisiones multicriterio. Ejemplo de aplicación «Scientia Et Technica» 2008. [En línea]. Available: <https://www.redalyc.org/pdf/849/84920503044.pdf>. [Último acceso: 1 Octubre 2019].
- [20] El método AHP «Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Sevilla» [En línea]. Available: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70496/fichero/Capitulo+4+El+m%C3%A9todo+AHP.pdf>. [Último acceso: 26 septiembre 2019].
- [21] Proceso de análisis jerárquico (AHP) [En línea]. Available: http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/Tesis/Basic/toskano_hg/cap3.PDF. [Último acceso: 26 septiembre 2019].
- [22] MADOC «OR3-501 SISTEMAS DE TELECOMUNICACIONES E INFORMACIÓN (CIS)» Ministerio de Defensa, Granada, 2007.
- [23] Tcol. C. L. Ruíz López «Metodología AHP. Explicación y caso práctico» CUD, Zaragoza.
- [24] [En línea]. Available: <http://evaluador.doe.upv.es/wiki/index.php/Archivo:Ahp1.png>. [Último acceso: 26 septiembre 2019].

Anexo A. Arquitectura CIS de una UAF GCEXP

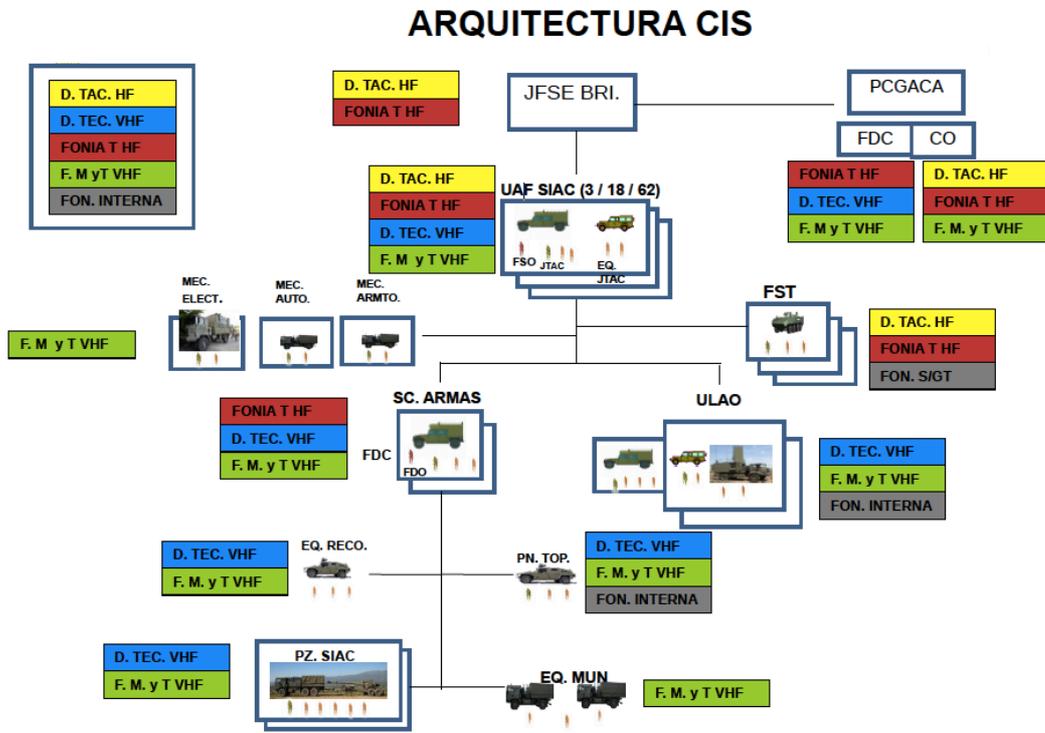


Ilustración 5. Arquitectura CIS de una UAF GCEXP

Fuente: Presentación GACALEG II

Este esquema representa la organización de mallas que son necesarias, así como los medios que se usan en una UAF para mantener el enlace con los distintos puestos.

Anexo B. Diseño de plantilla GCEXP UAF

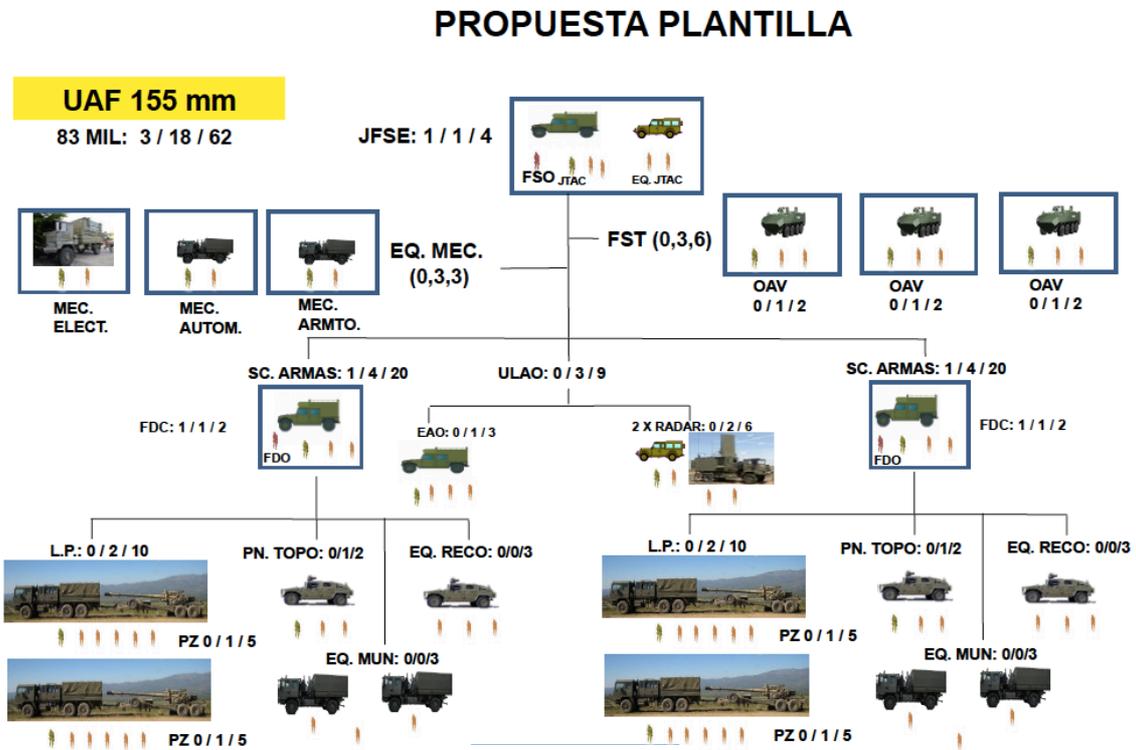


Ilustración 6. Diseño de plantilla GCEXP UAF

Fuente: Presentación GACALEG II

En este esquema se presenta la propuesta de la organización operativa que deberá tener la UAF de obuses SIAC 155/52 en la Brigada Experimental 2035.

Anexo C. Cuestionario AHP



CUESTIONARIO

Este cuestionario forma parte de un Trabajo de Fin de Grado que se está realizando en el GACALEG II, para estudiar la viabilidad de implantación del vehículo PCBON MC-3 como PC UAF/FSE de un Grupo de Combate en la Brigada Experimental 2035. Debido al aumento de autonomía de las UAF, que pasarán a ser semiautónomas, la integración de el vehículo anteriormente nombrado presenta un problema para enlazar a grandes distancias en despliegues amplios.

El cuestionario se divide en 2 partes:

1. Criterios de valoración.
2. Medios de transmisión a utilizar.

Por favor, conteste con la mayor brevedad posible y con objetividad. Las preguntas del cuestionario se deben contestar con respecto a la escala de Saaty:

Escala	Definición	Explicación
1	A y B igualmente preferida	Los dos criterios contribuyen igual al objetivo
3	A es moderadamente preferida a B	La experiencia y el juicio contribuyen un poco a un criterio frente al otro
5	A es fuertemente preferida a B	La experiencia y el juicio contribuyen fuertemente a un criterio frente al otro
7	A es muy fuertemente preferida a B	Un criterio es favorecido muy fuertemente sobre el otro. Se puede visualizar en la práctica
9	A es extremadamente preferida a B	La evidencia favorece en la más alta medida a un factor frente al otro

Debido a su puesto y conocimientos tácticos así como su experiencia usted ha sido seleccionado para realizar este cuestionario.

1) CRITERIOS DE VALORACIÓN

A continuación se desarrolla un cuestionario en los que se compara por pares los criterios derivados de las capacidades de los medios de transmisión propuestos en el siguiente apartado. Utilice la escala anteriormente definida para asignar los valores de las comparaciones. Indique cuál es más importante que el otro y cuánto. Responda sólo con valores impares comprendidos entre el 1 y el 9:

A) PARA ENLACE CON OBSERVADORES AVANZADOS

	Elección	Valor
Capacidad - Seguridad		
Capacidad - Alcance		
Capacidad - Supervivencia		
Seguridad - Alcance		
Seguridad - Supervivencia		
Alcance - Supervivencia		

B) PARA ENLACE CON PUESTO DE MANDO ESCALÓN SUPERIOR

	Elección	Valor
Capacidad - Seguridad		
Capacidad - Alcance		
Capacidad - Supervivencia		
Seguridad - Alcance		
Seguridad - Supervivencia		
Alcance - Supervivencia		

C) PARA ENLACE CON PUESTO DE MANDO DE SECCIÓN

	Elección	Valor
Capacidad - Seguridad		
Capacidad - Alcance		
Capacidad - Supervivencia		
Seguridad - Alcance		
Seguridad - Supervivencia		
Alcance - Supervivencia		

2) CRITERIOS ENTRE MEDIOS DE TRANSMISIONES

A) CAPACIDAD

	Elección	Valor
VHF - HF		
VHF - SATÉLITE		
VHF – UBIQUITI AIRFIBER AF5		
HF - SATÉLITE		
HF – UBIQUITI AIRFIBER AF5		
SATÉLITE - UBIQUITI AIRFIBER AF5		

B) SEGURIDAD

	Elección	Valor
VHF - HF		
VHF - SATÉLITE		
VHF – UBIQUITI AIRFIBER AF5		
HF - SATÉLITE		
HF – UBIQUITI AIRFIBER AF5		
SATÉLITE - UBIQUITI AIRFIBER AF5		

C) ALCANCE

	Elección	Valor
VHF - HF		
VHF - SATÉLITE		
VHF – UBIQUITI AIRFIBER AF5		
HF - SATÉLITE		
HF – UBIQUITI AIRFIBER AF5		
SATÉLITE - UBIQUITI AIRFIBER AF5		

D) SUPERVIVENCIA

	Elección	Valor
VHF - HF		
VHF - SATÉLITE		
VHF – UBIQUITI AIRFIBER AF5		

HF - SATÉLITE		
HF – UBIQUITI AIRFIBER AF5		
SATÉLITE - UBIQUITI AIRFIBER AF5		

GRACIAS POR SU COLABORACIÓN

Anexo D. Entrevista a expertos



ENTREVISTA A EXPERTOS

Entrevista realizada al Capitán Lázaro, Jefe de la Primera Batería.

Pregunta 1. ¿Cuál es el principal problema que usted localiza en el Puesto de Mando actualmente referente a las transmisiones?

El principal problema que se localiza en el PCBON MC-3 es el alcance, pues con los medios de los que se dispone en el GACALEG, la PR4G V3, se adquiere un alcance teórico de entre 9km y 10km , pero físicamente en el terreno, no abarca más de 4km respecto a la fonía. Con lo que a datos se refiere esta no se mantiene. Se tiende a una transmisión de datos muy lenta y un ancho de banda muy pequeña. Reforzando lo anterior, al pasar lista de objetivos y crear operaciones con TALOS los datos son insuficientes.

Pregunta 2. ¿Considera que es suficiente y se utilizan de un modo adecuado los medios de transmisión para enlazar con los diferentes puestos tácticos (piezas, observadores avanzados y PC escalón superior)? Justifique su respuesta.

Muchas PR4G V2 no funcionan vía datos. El problema actual es que se sigue arrastrando muchas radios V2 las cuales están anticuadas y se deben de sustituir. Se traduce en una carencia de radios V3 que es el modelo válido para datos. El número de enlaces si es el adecuado. En resumen, la sustitución de radios V2 a V3 es necesaria y debería de realizarse lo más rápido que se pueda .

Pregunta 3. ¿Se aprovecha correctamente y de forma eficiente el espacio en el interior del vehículo? ¿Qué mejora propondría con respecto a la organización de los elementos de su interior?

En el habitáculo interior, para el jefe se sitúa de modo optimo, pero para el calculador no, ya que este no observa las pantallas correctamente desde su posición asignada en el vehículo. Como mejora, dotaría el vehículo de un espacio mas amplio en la parte trasera, a la vez que se pueda comunicar la parte trasera con la delantera. Además, se podría dotar de un sistema de avance más versátil y rápido con la finalidad de poder montarlo y recogerlo con facilidad en cualquier despliegue.

Pregunta 4. ¿Encuentra algún inconveniente en la nueva forma de operar del PCBON como PC UAF de un Grupo de Combate en la BRIEX 35? ¿Cuáles destacaría?

El actual PCBON no valdría por la barcaza que monta actualmente para apoyar a las unidades de la futura Brigada Experimental. Las Banderas contarán con el vehículo 8x8,

cuya movilidad es mayor a la del VAMTAC ST5, por tanto se deberá de tener la misma barcaza que la unidad a la que se apoye. El actual PCBON no tiene montaje HF ni un receptor satélite, pero se podría implementar.

GRACIAS POR SU COLABORACIÓN



ENTREVISTA A EXPERTOS

Entrevista realizada al Capitán De La Plaza, Jefe del Destacamento de Enlace.

Pregunta 1. ¿Cuál es el principal problema que usted localiza en el Puesto de Mando actualmente referente a las transmisiones?

El principal problema se encuentra en el número de mallas que hay que organizar, ya que al menos hay que configurar 4. Se trata de un número elevado de mallas para que lo gestione un solo vehículo. Otro problema secundario es la capacidad de transmisión de los medios con los que cuenta dicho PCBON

Pregunta 2. ¿Considera que es suficiente y se utilizan de un modo adecuado los medios de transmisión para enlazar con los diferentes puestos tácticos (piezas, observadores avanzados y PC escalón superior)? Justifique su respuesta.

Sí son suficientes, ya que adecuamos los medios para alcanzar los objetivos, pero en modo teórico no alcanzamos con los requerimientos necesarios, pero adaptamos lo que tenemos a lo que tenemos que proporcionar. Sí se utilizan de un modo adecuado, aunque hay algunos medios que habrían que modificar, sustituir o implementar para que fuera adecuado.

Pregunta 3. ¿Se aprovecha correctamente y de forma eficiente el espacio en el interior del vehículo? ¿Qué mejora propondría con respecto a la organización de los elementos de su interior?

El PCBON está muy bien organizado. No ha sido un vehículo adaptado, sino que el propio vehículo desde la base ha sido diseñado para ejercer como Puesto de Mando. Otros Puestos de Mando iban enfocados lateralmente, sin embargo esta la disposición de los operadores se enfoca frontalmente y de esa forma se aprovecha mejor el espacio de los operadores.

Pregunta 4. ¿Encuentra algún inconveniente en la nueva forma de operar del PCBON como PC UAF de un Grupo de Combate en la BRIEX 35? ¿Cuáles destacarías?

Hablando de los medios, el problema es el número de mallas, ya que el PCBON de una UAF ha de mantener enlace con muchos puestos tácticos. Cada malla implica un medio de transmisión, por lo que si no se integran más medios, es complicado llevar a cabo el enlace con todos los puestos.

GRACIAS POR SU COLABORACIÓN



ENTREVISTA A EXPERTOS

Entrevista realizada al Teniente Martín, FDO del Grupo de Artillería de Campaña, encuadrado en la Batería de Plana.

Pregunta 1. ¿Cuál es el principal problema que usted localiza en el Puesto de Mando actualmente referente a las transmisiones?

Las transmisiones funcionan correctamente, además de incluir WIFI, y los últimos modelos han incorporado montajes para la radio Harris. El principal problema de transmisiones no es del PCBON en sí, sino de los medios con los que los queremos conectar, que están desfasados.

Pregunta 2. ¿Considera que es suficiente y se utilizan de un modo adecuado los medios de transmisión para enlazar con los diferentes puestos tácticos (piezas, observadores avanzados y PC escalón superior)? Justifique su respuesta.

Sí. Aunque tengamos medios de transmisiones que no están lo suficientemente al día en cuanto a tecnología. El problema actual se traduce en la poca capacidad de transmisión con la PR4G en lo referente a la utilización del TALOS, lo que provoca que este se cuelgue, que la mensajería tarde en llegar, etc.

Pregunta 3. ¿Se aprovecha correctamente y de forma eficiente el espacio en el interior del vehículo? ¿Qué mejora propondría con respecto a la organización de los elementos de su interior?

Sí, estando en movimiento, a diferencia de otros vehículos utilizados como puestos de Mando, en el PCBON MC-3 se le permite al radio operador estar conectado en todo momento y atender las necesidades de enlace.

Pregunta 4. ¿Encuentra algún inconveniente en la nueva forma de operar del PCBON como PC UAF de un Grupo de Combate en la BRIEX 35? ¿Cuáles destacaría?

Quizás la poca capacidad de transmisión de datos sea un problema en el futuro, pues la tecnología de aquí a 15 años ha de desarrollarse y adaptarse a las necesidades que se tienen, pues hoy en día se está informatizando todos los sistemas, y sin capacidad de ancho de banda y ordenadores con un mínimo de memoria RAM, es imposible llevar a cabo operaciones a tiempo real. Con respecto a la movilidad del vehículo, ha de tener las mismas capacidades a las que tienen los vehículos a los que se van a apoyar, por tanto, deberían de montar la misma barcaza que se utilice en la BRIEX.

GRACIAS POR SU COLABORACIÓN



ENTREVISTA A EXPERTOS

Entrevista realizada al Teniente Díaz de San Pedro, Jefe de la Sección de Enlace.

Pregunta 1. ¿Cuál es el principal problema que usted localiza en el Puesto de Mando actualmente referente a las transmisiones?

El principal problema que se localiza en el Puesto de Mando es entre el software y el hardware, dado que el TALOS tiene una capacidad de envío de datos muy grande, y sin embargo este no se ve correspondido con el hardware, las radios PR4G que están limitadas en ese aspecto. Tenemos sistemas de Mando y Control con mucha capacidad de envío de datos pero radios muy por debajo de esas capacidades.

Pregunta 2. ¿Considera que es suficiente y se utilizan de un modo adecuado los medios de transmisión para enlazar con los diferentes puestos tácticos (piezas, observadores avanzados y PC escalón superior)? Justifique su respuesta.

Depende totalmente de la cantidad de secciones con las que se opere, pues se puede operar con 2 secciones, o 6 secciones si sale todo el Grupo al completo. En el caso más extremo, los medios de transmisión se ven limitados. La mayor limitación se encuentra en el enlace con los Observadores Avanzados. Estos deberían de contar con medios HF dado que los medios VHF no enlazan correctamente en orografías abruptas.

Pregunta 3. ¿Se aprovecha correctamente y de forma eficiente el espacio en el interior del vehículo? ¿Qué mejora propondría con respecto a la organización de los elementos de su interior?

Se podría organizar de forma eficiente si toda la organización clásica que ha habido hasta el momento, de tablas, mapas con chinchetas, se informatizara en una Tablet o pc.

Pregunta 4. ¿Encuentra algún inconveniente en la nueva forma de operar del PCBON como PC UAF de un Grupo de Combate en la BRIEX 35? ¿Cuáles destacaría?

Los medios de transmisiones son escasos para la nueva forma de operar el PCBON, debería de dotarse de más medios HF. Además con respecto a la movilidad, debería de adaptarse su capacidad a la de la unidad de maniobra apoyada, es decir, debería de realizarse un cambio de barcaza a 8X8. De hecho hay varios modelos de 8x8, y uno de ellos incluye un 8x8 de PC que se deberá adaptar a un PC de Artillería.

GRACIAS POR SU COLABORACIÓN

Anexo E. Metodología AHP

En este anexo se desarrolla con detalle el método AHP. Este consta de 4 etapas.

Primera etapa. Representación del problema.

En primer lugar se representa el problema mediante un diagrama de árbol. En este se representa una jerarquía de los componentes, los cuales recoge al menos 3 niveles:

1. Objetivo
2. Criterio – Subcriterio
3. Alternativa

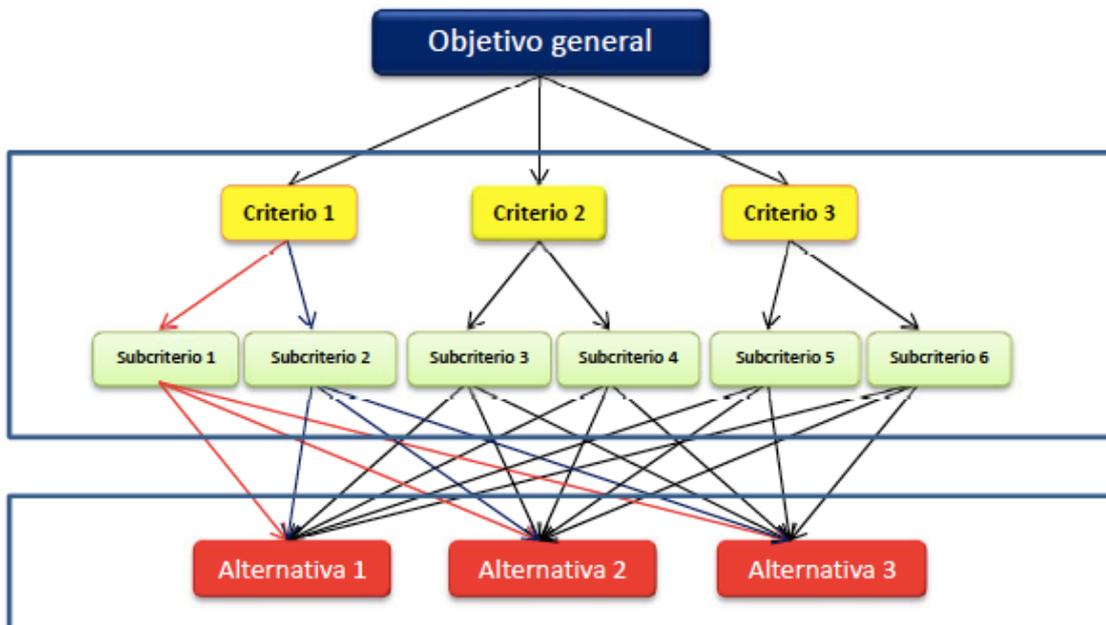


Figura 15. Método de jerarquización analítica

Fuente: [24]

Segunda etapa. Evaluación de los criterios de valoración

Aquí, los encuestados deben realizar una comparación de los diferentes criterios, dos a dos, para estimar la importancia de uno sobre el otro, asignándole una calificación de la siguiente tabla:

Escala	Definición	Explicación
1	A y B igualmente preferida	Los dos criterios contribuyen igual al objetivo
3	A es moderadamente preferida a B	La experiencia y el juicio contribuyen un poco a un criterio frente al otro
5	A es fuertemente preferida a B	La experiencia y el juicio contribuyen fuertemente a un criterio frente al otro
7	A es muy fuertemente preferida a B	Un criterio es favorecido muy fuertemente sobre el otro. Se puede visualizar en la práctica
9	A es extremadamente preferida a B	La evidencia favorece en la más alta medida a un factor frente al otro

Tabla 2. Escala de comparación de Saaty

Fuente: Elaboración propia

A partir de la comparación anterior, se construye la matriz A, para realizar el cálculo de los pesos de ponderación.

Cálculo de los pesos de los criterios de valoración

1. Construcción de la matriz A. El valor a_{ij} corresponde a la comparación del criterio i con el criterio j. Por tanto, a_{ji} tomará un valor de $1/a_{ij}$:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

2. Normalización de la matriz A, dividiendo cada elemento de esta por la suma de su columna:

$$A' = \begin{bmatrix} \frac{a_{11}}{\sum a_{i1}} & \dots & \frac{a_{1n}}{\sum a_{in}} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{a_{n1}}{\sum a_{i1}} & \dots & \frac{a_{nn}}{\sum a_{in}} \end{bmatrix}$$

- Tras normalizar la matriz, se obtiene los correspondientes pesos W , los cuales se obtienen con la media aritmética de las filas de la matriz normalizada A' [23].

Cálculo de la Consistencia de los pesos asignados a los criterios

Este método tiene un indicador con el que se controla el grado de consistencia de los valores asignados para establecer la importancia relativa entre los elementos de cada nivel. Con ello se controla la subjetividad, la coherencia y la consistencia de los expertos. Para ellos se calcula la razón de consistencia para cada matriz, y se expresará mediante la razón de inconsistencia RI . Este indica el grado de incongruencia al calificar los criterios y alternativas propuestos.

- La razón de inconsistencia se calcula de la siguiente forma:

$RI = \frac{IC}{CA}$ siendo IC el índice de consistencia y CA la consistencia aleatoria. Es importante indicar que $RI > 0,1$ indican inconsistencia.

- Para obtener CA , se utiliza la siguiente tabla:

n Tamaño de la matriz	1	2	3	4	5	6	7	8	9
CA Consistencia aleatoria	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45

Tabla 3. Tabla de cálculo de consistencia aleatoria

Fuente: [23]

- Para obtener IC se utiliza la siguiente fórmula:

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

λ_{max} se calcula de la siguiente forma: En primer lugar se multiplica la matriz de criterios A por el vector ponderado W , y posteriormente, se divide por el vector W . El valor final a usar es la media de los valores del vector.

$$A * W = \lambda_{max} * W$$

- Se realiza la misma operación con los subcriterios de valoración [23].

Evaluación de las alternativas

En este paso, se construyen tantas matrices como subcriterios y criterios que no tengan subcriterios haya. En cada matriz se comparan las alternativas con respecto a su criterio y Subcriterio.

Jerarquización de alternativas

Para conocer que alternativa es la adecuada según el estudio previamente realizado con los criterios y subcriterios establecidos, se trasladan los resultados anteriormente calculados en los 3 pasos anteriores a la siguiente matriz de decisión:

		ALTERNATIVAS		
		Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C
CRITERIOS	CRITERIO 1	W1		
	Subcriterio 1	W11		
	Subcriterio 2	W12		
	CRITERIO 2	W2		
	Subcriterio 3	W23		
	Subcriterio 4	W24		
	CRITERIO 3	W3		
	Subcriterio 5	W25		
	Subcriterio 6	W26		

Tabla 4. Matriz de decisión

Fuente: [23]

Anexo F. Capturas de pantalla del software Herramienta de Ayuda a la Decisión

1) Menú principal

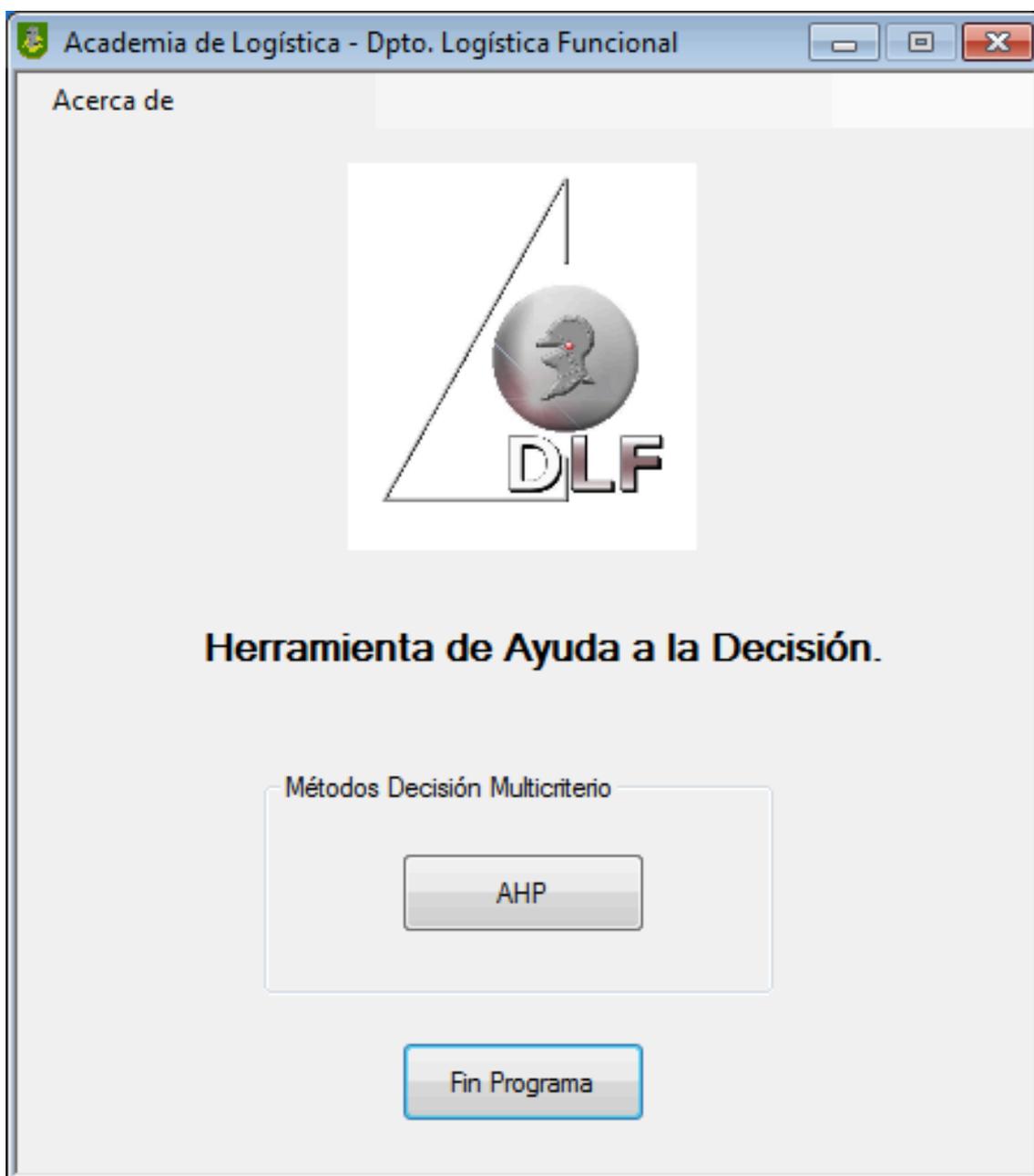


Ilustración 7. Inicio software Herramienta de Ayuda a la Decisión

Fuente: Elaboración propia

2) Introducción de los criterios

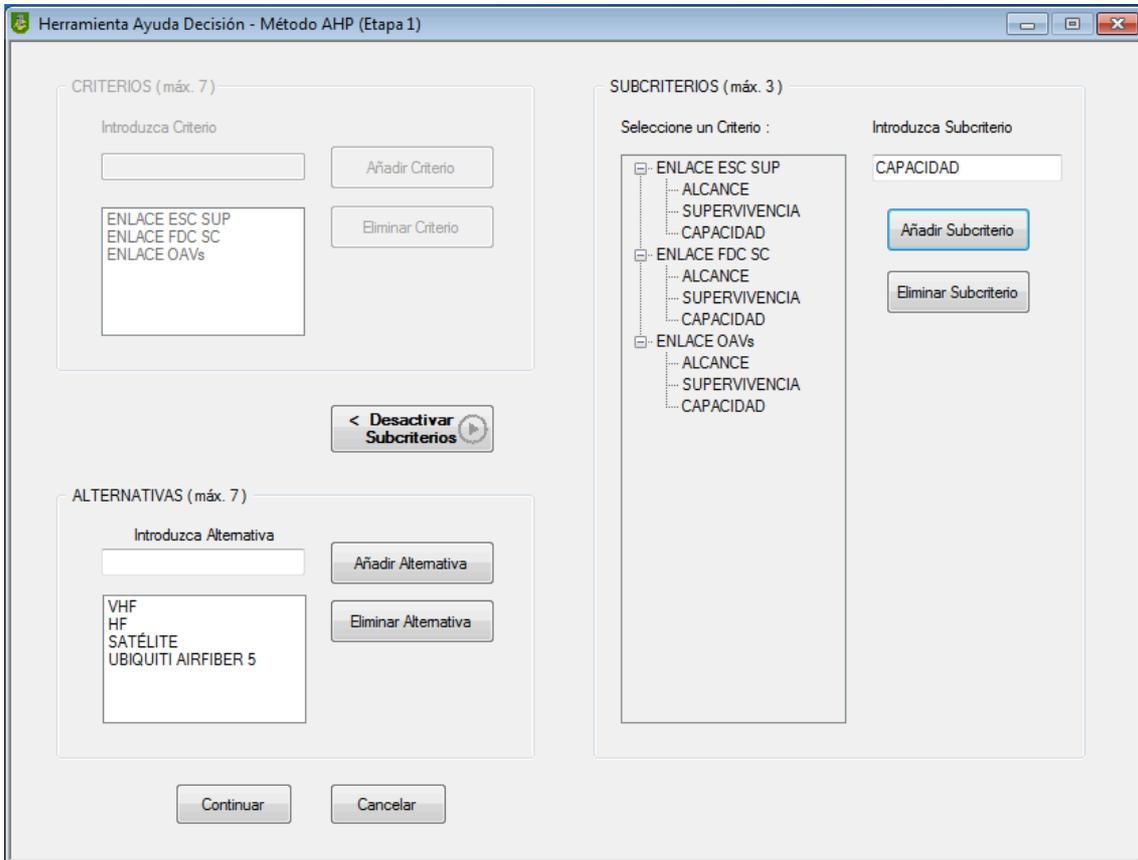


Ilustración 8. Introducción de los criterios, subcriterios y alternativas

Fuente: Elaboración propia

3) Evaluación de los criterios

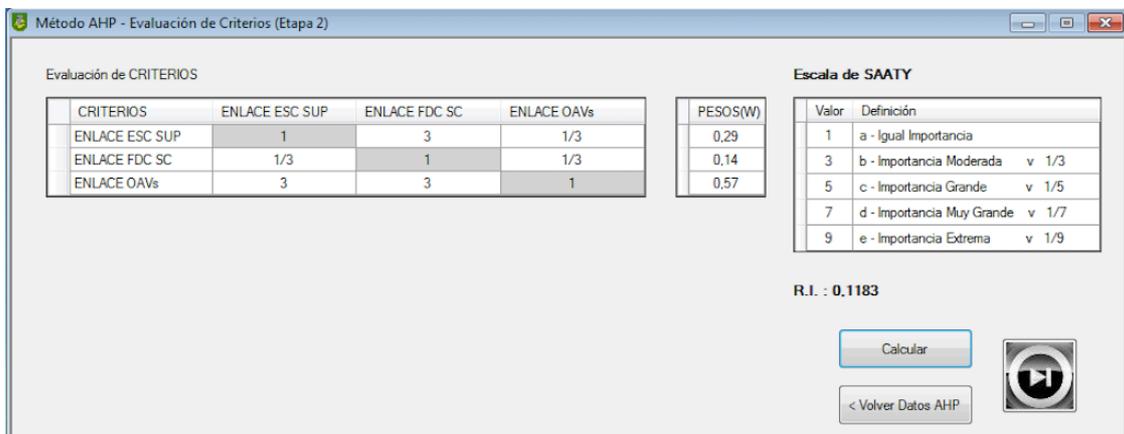


Ilustración 9. Matriz de evaluación de los criterios y sus pesos

Fuente: Elaboración propia

4) Evaluación de los subcriterios

Método AHP - Evaluación de SubCriterios (Etapa 2.bis)

ENLACE ESC SUP	ALCANCE	SUPERVIVENCIA	CAPACIDAD	PESOS(W)
ALCANCE	1	1/3	1/5	0.12
SUPERVIVENCIA	3	1	3	0.55
CAPACIDAD	5	1/3	1	0.33
R.I. : 0.2601				

ENLACE FDC SC	ALCANCE	SUPERVIVENCIA	CAPACIDAD	PESOS(W)
ALCANCE	1	1/3	1/3	0.14
SUPERVIVENCIA	3	1	1/3	0.29
CAPACIDAD	3	3	1	0.57
R.I. : 0.1183				

ENLACE OAVs	ALCANCE	SUPERVIVENCIA	CAPACIDAD	PESOS(W)
ALCANCE	1	1	3	0.43
SUPERVIVENCIA	1	1	3	0.43
CAPACIDAD	1/3	1/3	1	0.14
R.I. : 0.0000				

Calcular 

< Volver

Ilustración 10. Matriz de evaluación de los subcriterios y sus pesos

Fuente: Elaboración propia

5) Evaluación de las alternativas

Método AHP - Evaluación de Alternativas (Etapa 3)

ALCANCE	VHF	HF	SATÉLITE	UBIQUITI AIRFIBER 5	PESOS(W)
VHF	1	1/5	1/7	1/5	0.06
HF	5	1	3	1	0.37
SATÉLITE	7	1/3	1	1/3	0.20
UBIQUITI AI...	5	1	3	1	0.37
R.I. : 0.1031					

SUPERVIVENC	VHF	HF	SATÉLITE	UBIQUITI AIRFIBER 5	PESOS(W)
VHF	1	3	3	3	0.47
HF	1/3	1	3	3	0.28
SATÉLITE	1/3	1/3	1	1	0.12
UBIQUITI AI...	1/3	1/3	1	1	0.12
R.I. : 0.0571					

CAPACIDAD	VHF	HF	SATÉLITE	UBIQUITI AIRFIBER 5	PESOS(W)
VHF	1	3	1/5	1/7	0.10
HF	1/3	1	1/5	1/7	0.06
SATÉLITE	5	5	1	1/3	0.28
UBIQUITI AI...	7	7	3	1	0.57
R.I. : 0.0881					

ALCANCE	VHF	HF	SATÉLITE	UBIQUITI AIRFIBER 5	PESOS(W)
VHF	1	1/5	1/7	1/5	0.06
HF	5	1	3	1	0.37
SATÉLITE	7	1/3	1	1/3	0.20
UBIQUITI AI...	5	1	3	1	0.37
R.I. : 0.1031					

Calcular 

< Volver

Ilustración 11. Evaluación de las alternativas (1)

Fuente: Elaboración propia

CAC Artillería Abraham González Casado

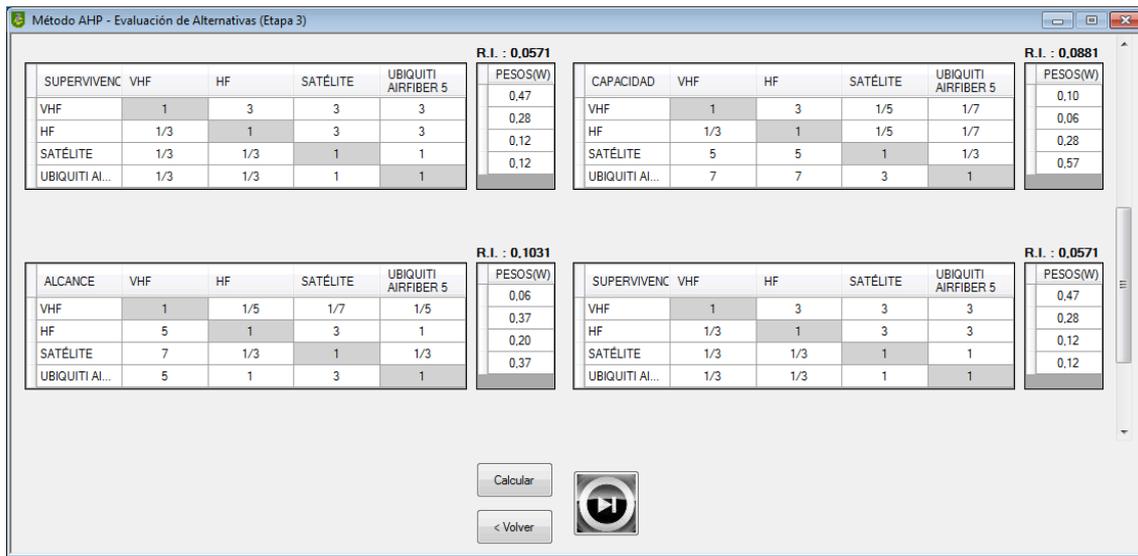


Ilustración 12. Evaluación de las alternativas (2)

Fuente: Elaboración propia

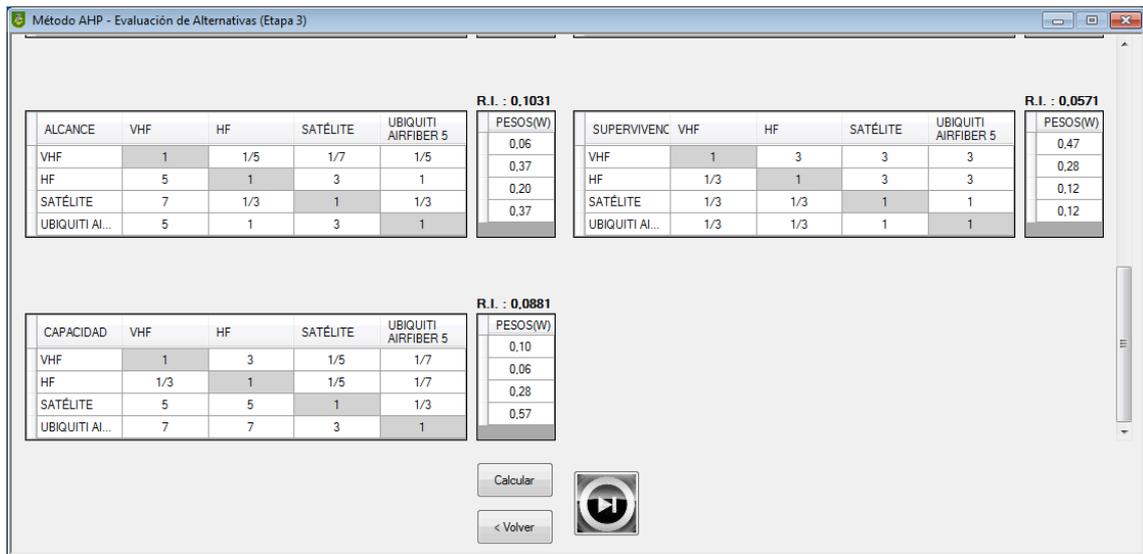


Ilustración 13. Evaluación de las alternativas (3)

Fuente: Elaboración propia

6) Matriz de decisión con jerarquización de las alternativas

Método AHP - Jerarquización de Alternativas (Etapa 4)

MATRIZ DE DECISIÓN

CRITERIOS / SUBCRITERIOS	PESOS	VHF	HF	SATÉLITE	UBIQUITI
ENLACE ESC SUP	0,29	0,30	0,22	0,18	0,30
+ ALCANCE	0,12	0,06	0,37	0,20	0,37
+ SUPERVIVENCIA	0,55	0,47	0,28	0,12	0,12
+ CAPACIDAD	0,33	0,10	0,06	0,28	0,57
ENLACE FDC SC	0,14	0,20	0,16	0,22	0,41
+ ALCANCE	0,14	0,06	0,37	0,20	0,37
+ SUPERVIVENCIA	0,29	0,47	0,28	0,12	0,12
+ CAPACIDAD	0,57	0,10	0,06	0,28	0,57
ENLACE OAVs	0,57	0,24	0,29	0,18	0,29
+ ALCANCE	0,43	0,06	0,37	0,20	0,37
+ SUPERVIVENCIA	0,43	0,47	0,28	0,12	0,12
+ CAPACIDAD	0,14	0,10	0,06	0,28	0,57
		0,25	0,25	0,19	0,31

Ilustración 14. Resultado del método AHP

Fuente: Elaboración propia