



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Implementación de ATAK/ITAK (ANDROID/IOS
Team Awareness Kit) con sistema de cifrado para el
mando y control de Pequeñas Unidades

Angel Marín Risquez

Directora académica: Dra. María Teresa Lamelas Gracia

Director militar: Cap. D. Óscar González Martínez

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar

2023

[PÁGINA INTENCIONADAMENTE EN BLANCO]



Agradecimientos

En primer lugar, mis agradecimientos al Grupo de Caballería “Calatrava” II/16 por haberme acogido como a uno de los suyos desde el primer día. En especial, quiero agradecer al Segundo Escuadrón Ligero Acorazado el haberme permitido desarrollar mis prácticas como oficial y permitirme ampliar mi formación en un campo de vital importancia, la experiencia. El Escuadrón me ha abierto las puertas como a un oficial más y me ha permitido desempeñar las funciones de jefe de sección, por lo que ha formado parte indispensable en mi formación que me acompañará el resto de mi carrera profesional.

En segundo lugar, debo particularizar mis agradecimientos de la unidad en el Capitán Don Óscar González Martínez por abrirme las puertas de su unidad y hacerme sentir como un jinete más desde el primer día. También en los tenientes Dña. Carlota Castaño Martín y D. José Antonio Barragán Torres que me han apoyado desde el primer día y me han servido de ejemplo en la unidad.

Por último, quiero dar mis agradecimientos a mi familia que me ha apoyado desde el año 2015 que ingresé en las Fuerzas Armadas y a ingresar en la Academia General Militar. En especial, agradezco a mi padre, mi madre, mi hermano y mi pareja, quienes con su apoyo, consejos y fortaleza me han impulsado en todo momento para poder finalizar este camino con éxito. A ti, Germán, que ya no estás y en los momentos difíciles tu amor por el Ejército y la Caballería, me han hecho sentirme orgulloso de lo conseguido.



RESUMEN

El mando y control de una unidad supone el momento decisivo en una batalla, además la función táctica del mando debe ser elemento de unión de inteligencia, maniobra, fuegos, información, protección y apoyo logístico. El empleo correcto de esta función táctica ha supuesto diferencias en combates con fuerzas muy desiguales como es el caso del enfrentamiento entre Ucrania y Rusia. Ucrania ha obtenido ventajas operativas con un uso más eficiente de las unidades y adaptando a las fuerzas con flexibilidad para obtener superioridad local en los momentos decisivos del combate. Estas ventajas se obtienen por la adopción de las decisiones correctas en el momento preciso, decisiones que deben ser tomadas por personas en momentos de estrés y como elemento de unión para controlar a las unidades y emitir las órdenes están los Sistemas de Mando y Control.

Las Pequeñas Unidades, en concreto el Grupo de Caballería “Calatrava” II/16, han reportado los continuos problemas a los que se enfrentaban con el uso del sistema *Battlefield Management System* para poder llevar a cabo sus misiones. Debido a ello se ha propuesto el uso de la aplicación *Team Awareness Kit* (TAK) como sustituto y algunas unidades han iniciado su propio proceso de adaptación. Los problemas de esta aplicación es que su uso en la actualidad, por la mayoría de las unidades, es mediante redes y dispositivos civiles, con los problemas de seguridad que eso conlleva y el nulo empleo que tienen en combate. Por ello en este trabajo se propone aportar una solución a la implementación de TAK con un sistema de cifrado que suponga su uso con seguridad y suponga un proyecto robusto.

De esta manera, en este trabajo se han desarrollado análisis de las características que son importantes para un Sistema de Mando y Control, se ha analizado TAK como posible sustituto y se han estudiado los medios de enlace adecuados para esta implementación. Para hallar las características, se han revisado las referencias bibliográficas nacionales e internacionales relacionadas y consultado mediante encuestas y entrevistas a los usuarios. El análisis de TAK como sustituto se ha realizado en dos pasos: una prueba de implementación en los dispositivos de dotación y un análisis con el método Analytic Hierachy Process para estudiar qué medio de enlace utilizar y si TAK es más adecuado que mantener el sistema actual.

En conclusión, las características más importantes que debe tener un Sistema de Mando y Control son la seguridad en las comunicaciones, la fluidez y la facilidad de uso. En cuanto al objetivo principal del trabajo, se ha concluido que TAK es adecuado para implementarse junto a la radio MCTR 7200 HH, pero se propone su uso hasta nivel Subgrupo táctico.

Palabras clave

Cifrado, implementación, Mando y Control, TAK.



ABSTRACT

The command and control of a unit represents the decisive moment in a battle. Furthermore, the tactical function of command should serve as the unifying element for intelligence, maneuver, fires, information, protection, and logistical support. The correct utilization of this tactical function has made a difference in combat situations involving vastly unequal forces, such as the confrontation between Ukraine and Russia. Ukraine has gained operational advantages through more efficient unit utilization and adaptability to achieve local superiority in the decisive moments of combat. These advantages result from making the right decisions at the right time, decisions that must be made by individuals under stress, and the Command and Control Systems serve as the central element for controlling units and issuing orders.

Small units, specifically the "Calatrava" Cavalry Group II/16, have reported continuous issues when using the Battlefield Management System to carry out their missions. Hence, the use of the Team Awareness Kit (TAK) application as a replacement has been proposed, and some units have initiated their adaptation process. The problems with this application are that its current use, by the majority of the units, relies on civilian networks and devices, which come with security issues and limited practical use in combat. Therefore, this work aims to provide a solution for implementing TAK with encryption that ensures secure usage and a robust project.

In this way, this work has entailed an analysis of the characteristics that are crucial for a Command and Control System. TAK has been examined as a potential replacement, and suitable means of communication for this implementation have been studied. To identify these characteristics, national and international bibliographic references have been reviewed, and surveys and interviews with users have been conducted. The analysis of TAK as a replacement has been carried out in two stages: an implementation test on the equipment and an analysis using the Analytic Hierarchy Process method to determine which means of communication to use and whether TAK is more suitable than maintaining the current system.

In conclusion, the most important characteristics for a Command and Control System are secure communication, fluidity, and user-friendliness. Regarding the main objective of this work, it has been determined that TAK is suitable for implementation alongside the MCTR 7200 HH radio, but its use is proposed up to the tactical sub-group level.

KEYWORDS

Encrypted, implementation, Command and Control, TAK.



ÍNDICE DE CONTENIDO

Agradecimientos	III
RESUMEN	IV
Palabras clave	IV
ABSTRACT.....	V
KEYWORDS	V
INDICE DE FIGURAS	VIII
INDICE DE TABLAS.....	IX
ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS.....	X
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Motivación	1
1.2 Ámbito de aplicación	2
2. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA	3
2.1 Objetivos y alcance	3
2.2 Metodología	3
3. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO.....	5
3.1 Conceptos Generales	5
3.2 Concepto de mando y control	6
3.3 Medios CIS en el ET	8
3.4 Orgánica y medios del Grupo Acorazado de Caballería “Calatrava” II/16.....	10
3.5 Aplicación TAK.....	12
4. DESARROLLO: ANÁLISIS Y RESULTADOS	13
4.1 Análisis de los requisitos necesarios de un C2S.....	13



4.2	Análisis de las capacidades de TAK dentro de un GCAC II/16	17
4.3	Estudio de los medios CIS para la implementación de TAK	18
4.4	Prueba de implementación de TAK.....	19
4.5	Evaluación de implementación de un C2S.....	21
5.	CONCLUSIONES	28
6.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	30
	Anexo I. Diagrama de Gantt.....	33
	Anexo II. Orgánica por plantilla del GCAC II/16.....	35
	Anexo III. Entrevista al teniente Cañada destinado en el Batallón de Cuartel General de la Brigada XII.	36



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo de inteligencia. Fuente (Chao Urzainqui, 2021).	2
Figura 2. Calendario de tareas del proyecto. Elaboración propia.	5
Figura 3. Red CIS nivel Pequeña Unidad. Fuente (Rubio Rodríguez, 2023).	8
Figura 4. Red CIS modelo FUERZA 35. Fuente (ET, 2019).	9
Figura 5. Orgánica del GCAC II/16 a 30/09/2023 y medios. Elaboración propia.	11
Figura 6. Topología red Mesh. Fuente (Internationalit, 2021).	13
Figura 7. Captura tomada a la encuesta en formato PDF. Elaboración propia.	14
Figura 8. Gráfico circular extraído de los resultados de primera pregunta de la encuesta. Elaboración propia.	15
Figura 9. Gráfico de embudo extraído de segunda pregunta de la encuesta. Elaboración propia.	15
Figura 10. Gráfico extraído de la tercera pregunta de la encuesta. Elaboración propia.	16
Figura 11. Diagrama de Ishikawa. Elaboración propia.	16
Figura 12. Radio MCTR 7200 HH a la izquierda y H 7800M-MP a la derecha. Fuente (ET, 2023).	18
Figura 13. Capturas de las pruebas realizadas en la tablet Getac. Elaboración propia.	20
Figura 14. Capturas de las pruebas realizadas en la tablet Samsung. Elaboración propia.	21
Figura 15. Escala de valoración de Saaty. Fuente (Nantes, 2019).	23
Figura 16. Matriz de comparación de criterios. Elaboración propia partir de la fuente (Goepel, 2013)	23
Figura 17. Matrices de comparación de alternativas. Elaboración propia.	25
Figura 18. Matrices de comparación de alternativas. Elaboración propia.	26
Figura 19. Matriz de comparación final. Elaboración propia.	27



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coste total de implementación de TAK en el GCAC II/16. Elaboración propia.	28
--	----



ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS

AFRL	<i>Air Force Research Laboratory</i>
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
BMS	<i>Battle Management System</i>
BMS-Lince	<i>Battle Management System-Leopard Information and Control Equipment</i>
C2S	<i>Command and Control System</i>
CIS	<i>Communications and Information Systems</i>
CIDI	Centro de inteligencia y de difusión de inteligencia
COMSEC	<i>Communications security</i>
ELAC 2	Segundo Escuadrón Ligero Acorazado
ET	Ejército de Tierra
EPLMS	Escuadrón de Plana Mayor y Servicios
GESCOM	Gestor de comunicaciones
GT	Grupo Táctico
GU	Gran Unidad
LoRa	<i>Long Range</i>
MANET	<i>Mobile ad hoc network</i>
OTAN	Organización del Tratado del Atlántico Norte
PU	Pequeñas Unidades
PC	Puesto de mando
PC-BON	Puesto de mando de Batallón
S/GT	Subgrupo táctico
TAK	<i>Team Awareness Kit</i>
TOA	Transporte Oruga Acorazado
TRANSEC	Transmission Security
VCI	Vehículo de Combate de Infantería
VEC	Vehículo de Exploración de Caballería
VPN	<i>Virtual Private Network</i>



1. INTRODUCCIÓN

1.1 Motivación

Los sistemas de mando y control de una unidad han tenido gran importancia en el ámbito de las Fuerzas Armadas desde que la tecnología permitió el uso de la navegación, envío de medidas de coordinación o alertas de amenazas y visualización del campo de batalla en tiempo real. Sin embargo, como han demostrado conflictos anteriores son estos los que determinan cuál es el camino a seguir y potencian las capacidades necesarias para que un sistema que emplea una unidad en combate sea eficaz y verdaderamente útil. Es el caso del conflicto de Ucrania en que el Sistema de Mando y Control (C2S) Delta empleado por el Ejército Ucraniano ha supuesto y supone un elemento de disrupción, que integra los medios y consigue la superioridad local con un empleo eficaz de un número de medios mucho menor al enemigo (Rosengren, 2023)

Aun así, para los ejércitos occidentales modernos el verdadero poder de estos reside en las personas y en la rapidez en la toma de decisiones mediante el “*Mission Command*” y el camino para llegar a él es el proceso de “*decision advantages*” para alcanzar el dominio de la decisión. El término “Mission Command” ha sido muy empleado a partir de las guerras de Irak y Afganistán, se puede entender como una filosofía que aboga a un liderazgo descentralizado en el que los subordinados obtienen la misión a realizar o el propósito del mando, pero el cómo realizarla deriva en su capacidad de decisión y depende de ellos. Esta forma de trabajar favorece una toma de decisiones más rápida, ya que se evitan las pérdidas de tiempo esperando órdenes para actuar y, por tanto, se obtiene una ventaja operativa al aplicar esta filosofía de mando. El Ejército de los Estados Unidos recoge estos términos como necesarios de afianzar en el futuro y define a la función de combate C2 como el elemento integrador del resto de funciones de combate y lo describe en el documento *Army Futures Command Concept for Command and Control 2028* (U.S. Army, 2021) aprobado por su Ejército de Tierra en julio de 2021. Este documento cita las capacidades que debe tener un C2S para ser eficaz en el futuro, algunas de estas capacidades son:

- Sencillo de operar y estable.
- Intuitivo que permita multiplicar el potencial humano.
- Operable en condiciones degradadas a través de la robustez. Lo que implica que el sistema debe ser capaz de operar con las infraestructuras, redes civiles de transmisiones y el espectro electromagnético afectados. Por lo tanto, debe reforzarse las formas de conexión, su capacidad de adaptación y robustez frente a ataques.
- Medio de convergencia de imágenes, video, voz y datos.
- Interoperable en operaciones conjuntas, combinadas y con la red de emergencias del Gobierno.

Además, en la actualidad existe gran cantidad de información que debe ser procesada y transformada en inteligencia mediante un ciclo que se repite continuamente (ver Figura 1); esta información recogida por los órganos de obtención (como lo es Caballería en el reconocimiento) es procesada por los órganos de elaboración (unidades Centro de inteligencia y de difusión de la inteligencia, CIDI, de Brigada) y debe volver procesada en forma de inteligencia a las unidades de combate rápidamente para su máximo aprovechamiento (Chao Urzainqui, 2021). La celeridad de los acontecimientos en el combate actual, con un ritmo y letalidad sin precedentes, debe ir acompañada de la rápida toma de decisiones (“Mission Command”) y los C2S deben garantizar un ciclo de inteligencia eficaz y veloz para poder mantener la iniciativa.

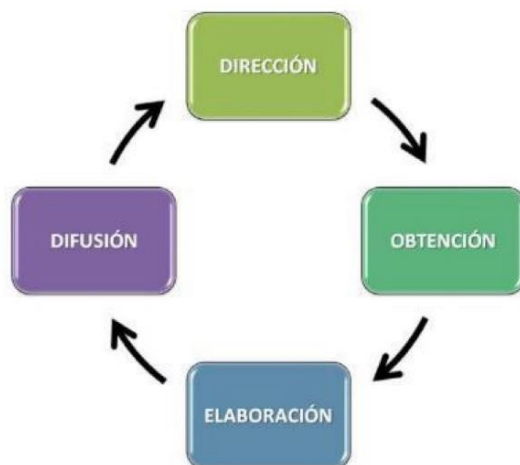


Figura 1. Ciclo de inteligencia. Fuente (Chao Urzainqui, 2021).

Es evidente la necesidad de un sistema que aúne todas las características para que el Ejército desarrolle de forma eficaz las próximas misiones y con este objetivo el sistema *Battle Management Systems* (BMS), utilizado actualmente en el Ejército de Tierra Español (ET), ha entrado en una fase 2, que pretende dar mayor fluidez e integración de medios a los vehículos. Sin embargo, la plataforma se encuentra con muchos problemas desde su inicio y quedan reflejados en el trabajo del teniente García Sobrido (García Sobrido, 2017) sobre las limitaciones del sistema que refleja los problemas de arquitectura de BMS, obsolescencia, integración de medios propios y en la Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN) y los graves problemas del bajo ancho de banda de la red que ralentizan la plataforma.

Por tanto, es esencial examinar estas características con el fin de identificar la opción más eficaz, al comparar los recursos vigentes, determinar qué C2S utilizar y seleccionar la radio apropiada, a fin de garantizar su correcta utilización. Este proyecto se origina a partir de los problemas previamente informados, los análisis llevados a cabo por usuarios, y las demandas futuras. Su objetivo fundamental radica en desarrollar una solución que permita la implantación del *Team Awareness Kit* (TAK) en unidades con un sistema de cifrado, facilitando así el empleo del C2S en un entorno de combate afectado por interferencias o la degradación de las señales radio.

1.2 Ámbito de aplicación

En proyecto, impulsado por el Grupo de Caballería Acorazado “Calatrava” II/16 (GCAC II/16), utiliza los medios ya disponibles en la unidad como el BMS o la radio PR4G, además del personal especializado y experimentado dentro de la Unidad y en el ET que está inmerso en el objetivo de la “FUERZA-35”. Este proceso implica una serie de transformaciones a nivel tecnológico y en los procedimientos para adaptarse a un campo de batalla repleto de medios con capacidad *Intelligence, Surveillance and Reconnaissance* (ISR), en especial en el caso de la Especialidad Fundamental de Caballería. Por lo que las soluciones extraídas del trabajo serán extrapolables al ET y a combatientes a pie y en vehículo.

Se hace visible la necesidad de un C2S capaz de integrar los medios y procesar la información, de manera que los jefes de vehículo puedan adoptar la decisión más correcta al disponer de la información necesaria y de una manera intuitiva. Con este fin, se ha visto impulsado en los usuarios el empleo de la aplicación TAK que fue desarrollada por *Air Force Research Laboratory* (AFRL) de Estados Unidos como una tecnología capaz de transmitir información táctica, navegación, mensajería, integrar medios remotos, etc. que, además de servir a todo tipo de usuario militar o civil, estas capacidades son ampliables mediante complementos (AFRL, 2023). Actualmente, el ET tiene el sistema BMS instalado en la mayoría de los vehículos



de combate, en el caso de Caballería de manera integral en el Leopardo 2e y con una tablet en el Vehículo de Exploración de Caballería (VEC) y en los Vehículo de Alta Movilidad Táctica (VAMTAC) que es donde TAK puede posicionarse como su sustituto.

2. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

2.1 Objetivos y alcance

El objetivo general y principal de este trabajo es alcanzar una solución viable a la implementación de la aplicación TAK en un Grupo de Caballería para el Mando y Control de las Unidades, además debe obtenerse con un nivel de cifrado óptimo para su empleo en combate. En concreto, el Grupo Acorazado de Caballería “Calatrava” II/16 comparte una orgánica equivalente a los otros tres Grupos Acorazados y, por tanto, la solución seleccionada sería extrapolable directamente a estos tres (GAC “Húsares de la Princesa” II/4, GAC “Almansa” II/10 y el GAC “Villaviciosa” II/61). Para alcanzar este objetivo se deberán lograr los siguientes objetivos intermedios:

- Conocer y analizar el criterio de los usuarios respecto a las características que deben tener un C2S para ser eficaz y suponer una ventaja frente al adversario. También se ha realizado un análisis de los conceptos de C2 para tener una visión de conjunto sobre las características que deben tener los sistemas.
- Analizar las capacidades de TAK como sistema fiable y capaz para su empleo en combate por un Grupo de Caballería.
- Conocer las características y capacidades de los medios de red disponibles actualmente y en un futuro próximo que permitan una mejora en los C2S de los vehículos del Grupo.
- Hallar la solución a la implementación al comparar TAK y BMS como C2S con las diferentes formas de conexión, para tener una visión objetiva del más viable para su empleo, también en cuanto a viabilidad económica y técnica.

El trabajo en cuestión se enfrenta a un problema que es que al tratarse de una aplicación con código libre y ser externa al Ejército (en este caso pertenece a Estados Unidos), el conocimiento en muchas ocasiones es de usuarios que se han dedicado a conseguir información de forma particular y la transmiten a otros. Por ello, las soluciones a la implementación se pueden limitar a la teoría y experiencia de otros usuarios, sin poder llegar a ponerlo en práctica durante las prácticas externas.

Además, se debe añadir el problema de que algunas de las soluciones a la implementación serán con medios que recientemente ha adquirido el Ejército y por tanto todas las Unidades aún no cuentan con ellos, en este caso en particular se realizarán prácticas propias con los medios que tiene el Grupo de Caballería; el resto de información práctica necesaria se extraerá de los usuarios y personal especializado mediante las herramientas de entrevistas o encuestas.

2.2 Metodología

En este apartado se van a exponer las herramientas seleccionadas para alcanzar los objetivos intermedios y el final. Estas están relacionadas con las fases temporales en las que se ha dividido el trabajo y de esta manera se expone cada fase con las herramientas correspondientes:

- **Fase inicial:** ésta corresponde a la recopilación y análisis de la información, que se inicia el



día 5 de septiembre con una duración de cinco días. En el análisis se ha buscado el conocimiento previo necesario sobre el proyecto para realizar una correcta elaboración de las encuestas y entrevistas. El objetivo de esta fase es que con el análisis de la información se obtengan conclusiones con información ya procesada de la bibliografía, de los manuales o lecciones aprendidas relacionados con el proyecto.

- **Fase intermedia:** se ha empleado para la realización de encuestas y entrevistas durante el período del 19 al 25 de septiembre. Las encuestas buscan obtener respuesta a tres cuestiones: las características principales que debe tener un C2S, qué valoración le dan los usuarios a cada una y que C2S utilizarían si tuviesen que elegir entre BMS y ATAK. Estas han sido dirigidas a los jefes de vehículo del GCAC II/16, ya que estos han empleado BMS y, en muchos casos, también ATAK como sustituto o complemento, por lo que han aportado su experiencia y opinión de los C2S. El enfoque de las entrevistas ha sido diferente para cada caso; por un lado, se ha entrevistado de una forma abierta al teniente Ruiz destinado en el GOE IV y, por otro lado, se ha entrevistado al teniente Cañada destinado en el Batallón de Cuartel General de la Brigada XII en un formato más cerrado y técnico. Las entrevistas han aportado las vías de solución al objetivo que se plantea en este trabajo y se han utilizado en gran parte del desarrollo.
- **Fase práctica:** en la que se han realizado ensayos con BMS y TAK en las plataformas vehiculares y dispositivos del Grupo durante la semana del 25 al 29 de septiembre.
- **Fase final:** ha estado dedicada al empleo de las herramientas de análisis para hallar el proyecto más viable económicamente y en cuanto a eficiencia en su empleo. Para esta fase se van a utilizar las siguientes herramientas: de tipo estadísticas para extraer información de la encuesta, económicas para analizar el coste de la implementación, el diagrama de Ishikawa (Romero and Sanabria, 2018) para identificar los problemas a los que se enfrenta la implementación del C2S y el *Analytic Hierachy Process* (AHP) (Nantes, 2019) para comparar las soluciones.

Mediante el uso de herramientas estadísticas buscamos extraer información valiosa y cuantificable de la encuesta, aprovechando el uso de la Hoja de Cálculo de Excel. Por otro lado, el análisis de los costos nos permite evaluar la viabilidad de la implementación propuesta para el Grupo de Caballería.

El diagrama de Ishikawa fue desarrollado en 1943 y perfeccionado por el químico Kaoru Ishikawa (Romero and Sanabria, 2018), además forma parte de una de las siete herramientas básicas del control de calidad. Este diagrama también denominado de causa y efecto o espina de pez (por su forma) sirve de guía para abordar un problema o discusión y, posteriormente hallar las posibles soluciones. En este proyecto se ha dedicado para esquematizar los problemas a los que se ha enfrentado la implementación de un C2S en el ET. En el apartado 0 de este documento se aplica y desarrolla en profundidad.

El método AHP fue propuesto por Thomas Saaty en 1970 (Nantes, 2019) para la toma de decisiones multicriterio y, mediante una escala de preferencia, permite realizar comparaciones entre los diferentes criterios. Se trata de un método cuantitativo dividido en las cuatro fases siguientes: definición del problema, estructuración del problema en criterios, construcción de matrices de comparación y síntesis de las matrices para hallar el modelo completo donde cada alternativa o solución obtiene un valor final. Este método se ha desarrollado en profundidad en el apartado 4.5 de este documento y ha servido para hallar la opción de implementación más viable.

Además, con el fin de extraer conclusiones efectivas se visualizará en el proyecto el empleo de las herramientas y los gráficos que se consideren oportunos en pro del objetivo final de este, hallar un camino para la implementación. Igualmente, la memoria queda dividida en función de las fases por lo que se observará una relación de cada fase con los apartados de ésta:



- Antecedentes y marco teórico: que se relaciona con la fase inicial y se centra en el estudio del arte en que se encuentra la tecnología.
- Desarrollo: este apartado relacionado principalmente con las otras tres fases supone el cuerpo del trabajo y recoge las actividades realizadas, el desarrollo de las herramientas empleadas y la solución que se ha alcanzado.
- Conclusiones: en él se analizan los resultados alcanzados durante el proyecto y a las limitaciones o problemáticas que se han enfrentado, además de las posibles vías de solución a estos problemas.

En relación con este apartado, se ha desarrollado un calendario de tareas Figura 2 mediante el uso del Project Excel y un Diagrama de Gantt representado en el [Anexo I](#). El diagrama de Gantt es una herramienta de gestión de proyectos que se utiliza para planificar o visualizar el progreso de un proyecto, en este sentido aporta al proyecto facilidades para observar cuanto debe durar una tarea y en qué momento hacerla (Sancho Val, 2022). En el calendario y el diagrama, se representan las tareas y los hitos del proyecto. En las tareas se refleja el tiempo de duración y en los hitos la fecha en la que deben cumplirse. En este caso se han marcado como hitos la entrega de la propuesta de este trabajo y el depósito de la memoria.

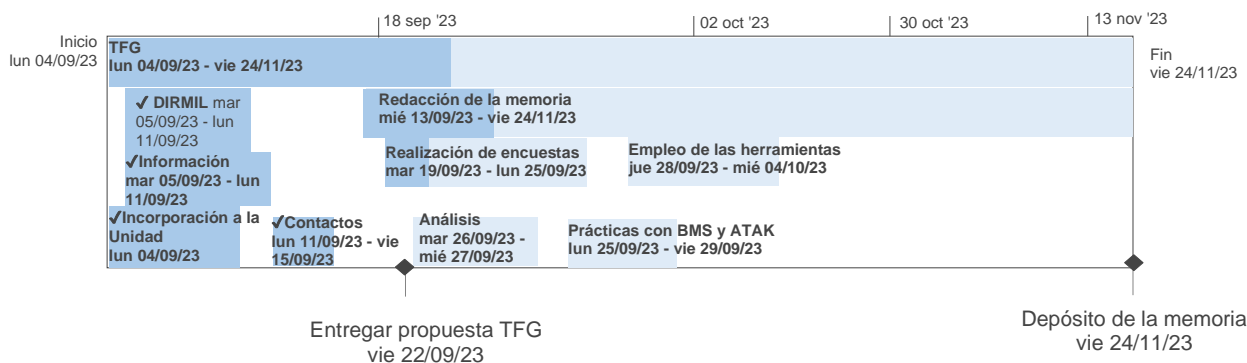


Figura 2. Calendario de tareas del proyecto. Elaboración propia.

3. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

Este apartado se dedica a aportar el conocimiento previo al lector para comprender el trabajo que se ha desarrollado. Con este fin, se exponen el marco teórico, los antecedentes y la situación actual de los conceptos que intervienen en el ámbito de los C2S y de su implementación. Los conceptos que intervienen son: unos conceptos generales que aportan conceptos previos necesarios para la comprensión del documento y se centra en cuestiones teóricas; los C2S en el que se explica la evolución del concepto, de la tecnología en el ET y en el punto que se encuentra; los Communications and Information Systems (CIS) donde se exponen los conceptos teóricos necesarios, la evolución en el ET y el plan de modernización actual; la situación del GCAC II/16 en cuanto a la orgánica y los medios con los que cuenta actualmente; y TAK donde se explican los conceptos teóricos.

3.1 Conceptos Generales

En primer lugar, se debe diferenciar entre la organización orgánica y operativa de una unidad, para comprender mejor la necesidad de integrar todos los medios con los que cuenta una Brigada. La primera corresponde a la organización en territorio nacional y es en la que las unidades desarrollan el día a día y se preparan, desarrollando cada especialidad fundamental



sus tareas de forma homogénea. La operativa surge de una necesidad y se conforman las unidades “*ad hoc*” (varían según la misión a desarrollar) con elementos de toda la Brigada. Según su tamaño se diferencia entre:

- **Grupo táctico (GT):** que engloba una entidad tipo Gran Unidad (GU), que corresponde a una entidad tipo Brigada, y a una entidad tipo Pequeña Unidad (PU) (Batallón/Grupo).
- **Subgrupo táctico (S/GT):** desde una unidad tipo Batallón hasta una Patrulla entidad sección, solo en el caso de Caballería, o nivel Compañía/Escuadrón en el caso del resto de armas.

Esta organización operativa está hecha a medida para cada situación, incluso en territorio nacional para realizar los diferentes ejercicios, y esto obliga a los C2S a ser muy flexibles para permitir la adaptación a cambios según el curso de la batalla o de los ejercicios que se realizan en territorio nacional.

En este trabajo se va a analizar la implementación de TAK en diferentes niveles operacionales buscando la opción más eficaz y, por lo tanto, se deben conocer los tres niveles en que se dividen el planeamiento y la ejecución (Ejército de Tierra Español, 2021):

- **Nivel estratégico militar:** es el nivel más alto de planeamiento y también se denomina nivel político, en él se establecen los objetivos estratégicos militares y las líneas de orientación a seguir.
- **Nivel operacional:** se basa en las líneas marcadas en el nivel anterior y aquí se definen los objetivos militares para sincronizar las funciones de combate conjuntas de los tres Ejércitos.
- **Nivel táctico:** es el nivel más bajo y el que conduce y ejecuta las acciones militares, ya implican una acción de combate.

También se debe conocer el término “cabo estratégico”, término acuñado a principios de siglo debido a los conflictos asimétricos y a que casi cualquier persona en cualquier punto del mundo dispone de un dispositivo móvil. Este término hace referencia a las repercusiones que conlleva que la actuación de un soldado en un momento puntual pueda afectar al nivel estratégico militar (Calvo, 2023). Por lo que las acciones militares que lleva a cabo un Grupo son a nivel táctico, pero cualquier acción a este nivel ha cobrado una relevancia esencial y afecta al Mando de las operaciones, que debe ser más rápido y eficaz que antes.

3.2 Concepto de mando y control

En segundo lugar, se deben conocer las definiciones que engloban a un C2S y que se espera de un sistema así en combate, qué es, en último término, dónde realmente debe ser eficaz y útil. Desde un prisma militar, el mando de las operaciones alude al planeamiento, conducción y las herramientas que tiene el sistema para transmitir estas órdenes o las medidas de coordinación que apoya la fluidez de la operación y permite adaptarse a los imprevistos (Fernández Castillo, 2022). El control de las operaciones engloba el conjunto de herramientas de obtención y visualización del campo de batalla y de las unidades desplegadas.

Por otra parte, el concepto de mando y control ha sido revisado y el nuevo concepto C2 planteado en la Fuerza-35 apuesta por unos puestos de mando mucho más reducidos, pasando a un despliegue de dos Puestos de Mando Tácticos (PC-TAC) para una GU que conduzcan las operaciones. Mientras el puesto denominado de *reachback*¹ en territorio nacional lleva a cabo actividades logísticas, de inteligencia y de asesoramiento al mando (ET, 2019).

¹ Término que engloba el apoyo a distancia o remoto.



El nuevo concepto planteado a nivel OTAN en 2022 en el *Headquarters NATO Rapid Deployable Corps- España* (HQ NRDC-ESP) denominado C2CP, plantea que debe ser mucho más veloz y dar libertad de acción debido al creciente poder de las armas de largo alcance y a la agudeza de los sensores que derivan en ataques más decisivos. Remarca el término de la sincronización como elemento imprescindible de las operaciones y de los C2S para permitir el flujo de la información entre los usuarios y la elección del momento y del lugar para engranar de forma eficaz las funciones de combate (Revista NRDC, 2022).

La evolución tecnológica del Siglo XXI y, más aún, la incorporación de las Fuerzas Armadas a las misiones internacionales obligó al Ejército a modernizarse en procedimientos y en sistemas para poder adaptarse a la nueva situación. De esta situación nace en 2011 el sistema *Friendly Force Tracking* (FFT) que permitía posicionar en la pantalla física del sistema en la que se observa el campo de batalla tanto a las fuerzas propias como a las enemigas, además de poder enviar mensajes, alarmas, etc. Sin embargo, este sistema carecía de sensores y herramientas para obtener datos sobre el estado del combatiente o de la operatividad de los vehículos, además el tiempo de retardo de la información sería inconcebible para tomar decisiones eficaces debido al aumento del ritmo del combate actual respecto a conflictos previos (Menéndez Rillo, 2016). En 2016 se consolida el *Battlefield Management System-Leopard Information and Control Equipment* (BMS-Lince) desarrollado por Indra y Thales para dar solución a los problemas que presentaba el FFT; y para dotar de la visión del campo de batalla con todos los elementos de la fuerza (amigas, enemigas, y elementos logísticos) en el puesto de mando de Brigada que se integra con el Sistema de Mando y Control del Ejército de Tierra (SIMACET). Inicialmente, BMS-Lince se instaló en los Leopard 2e y, posteriormente, se implementó en los Vehículos de Combate de Infantería Pizarro (VCI Pizarro).

En 2017 nace BMS-ET incorporado a un número mayor de plataformas y que integra el C2S TALOS. La integración de TALOS tiene una alta importancia porque este sistema permite la coordinación, ejecución de fuegos integrados en la maniobra terrestre e integra fuegos de Artillería de Campaña, morteros y aéreos. El nuevo BMS permite adaptarlo a los vehículos más antiguos al añadirle tablet que pueden operar con las radios, son los casos de: los VEC, los Transporte Oruga Acorazado (TOA) y los todoterreno Santana Aníbal.

Actualmente, el Ejército está implementando una nueva versión (Fase 2) que se presenta como un sistema más maduro. Esta versión permite modificar el despliegue inicial y un mejor planeamiento de las operaciones. Sin embargo, las unidades que emplean esta nueva versión reportan errores similares a los de la versión inicial. Algunos de estos problemas son: el pequeño ancho de banda y la gran latencia del sistema, que ralentiza el envío de datos y aumenta la pérdida de estos, principalmente debidos al medio radio empleado (el radioteléfono PR-4G); que BMS fue diseñado para un sistema operativo anticuado como es Windows XP y la dificultad para levantar medios, que conlleva horas de preparación y pruebas antes de un despliegue en un medio no degradado (García Sobrido, 2017). Para determinar que se han levantado los medios, todos los vehículos deben ser visibles en el sistema y el problema radica en la complejidad del sistema que lleva a los administradores a realizar documentos con los pasos a seguir para conseguir que todos los usuarios lo realicen de forma correcta.

En este sentido, se debe destacar que los problemas con el sistema operativo Windows XP persisten debido a que el carro de combate Leopard 2e no ha podido ser actualizado a BMS Fase 2 debido a que el *hardware* no lo soporta y mantiene BMS-Lince en un sistema operativo muy antiguo. A esta complejidad hay que sumarle que, en algunas versiones de la radio PR4G, si un vehículo sale del sistema (ya sea por alcance o por algún otro factor) todos los usuarios tengan que iniciar el proceso denominado como levantar medios.



Los sistemas de mando y control a alto nivel siempre integran multitud de medios para coordinar las acciones conjuntas², lo que ha cambiado en el conflicto moderno es que a nivel táctico ya se dispone de todo un ecosistema de sensores que recopilan información (*Unmanned Aerial Vehicles* -UAVS-, cámaras, sensores de movimiento, cantidad de munición de un carro de combate, temperatura, etc.). El ejemplo práctico se tiene en el conflicto de Ucrania, donde el mantenimiento de los C2S fue decisivo para obtener superioridad local con una fuerza mucho menor y donde el software Delta ha sido un elemento disruptivo. Además, las capacidades de vigilancia en tiempo real han aumentado y, por lo tanto, el ritmo de las operaciones también; se debe mover y coordinar una fuerza a una velocidad mayor y con una cantidad de medios mucho mayor que hace diez años.

3.3 Medios CIS en el ET

La actual disposición es una malla Red Radio de Combate (RRC) hasta nivel Grupo Táctico se refleja en la Figura 3, donde los vehículos cuentan con la PR4G como medio CIS y cada Grupo Táctico se integra con la Brigada mediante dos Puestos de Mando de Batallón (PC-BON) y el apoyo de una estación Mercurio IP. El medio empleado es la radio PR-4G desde PC-BON hacia abajo; desde ahí se emplean diferentes radios según el tipo de información a transmitir: Harris H-5800 para cubrir grandes distancias, PR-4G y la radio SPEARNET que permite utilizar la conexión vía satélite. También tiene integrado un gestor de comunicaciones (GESCOM) que integra el tráfico de voz, datos e imágenes y selecciona de manera automática a través de que medio o medios se debe enviar la información. El puesto también cuenta con terminales con BMS y tres tablet para ejercer el C2 a través de ellas e integrarse en la maniobra (Rubio Rodríguez, 2023).

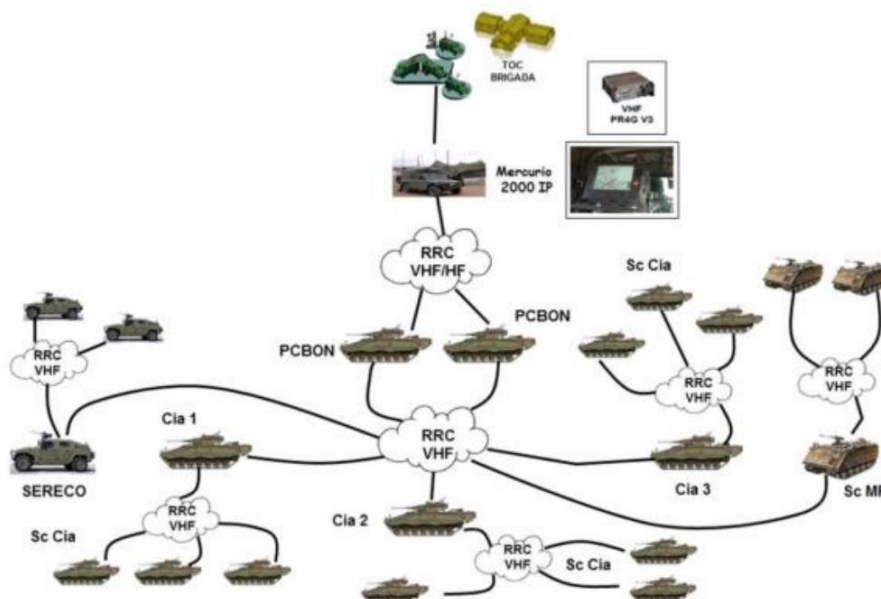


Figura 3. Red CIS nivel Pequeña Unidad. Fuente (Rubio Rodríguez, 2023).

En la actualidad se ha iniciado una transformación denominada plan de Modernización de los Sistemas de Mando, Control y Comunicaciones del ET (MC3). Se pretende aumentar las capacidades operativas con una red táctica basada en tecnología *Internet Protocol* (IP) que daría mayor ancho de banda y permitiría integrar los Puestos de Mando (PC), los sistemas de Armas y los sensores del campo de batalla. De esta manera, construir una red C2 segura para

² Acción en que interfiere más de un Ejército bajo mando único, pero del mismo país.



operar en entornos poco propicios como los urbanos. Esta red debe ser autónoma y localizarse fuera de la red de Internet.

En la práctica este plan llega a las unidades en forma de modernización de medios y queda representado en la Figura 4. En la figura se puede ver como las PU emplearán medios radio definidos por software (SDR³) y, a partir de GU se empleará la conexión vía satélite para las estaciones más lejanas, wifi para controlar los UAV y radio enlace para el apoyo logístico cercano. Además, refleja la tendencia a situar los puestos de mando alejados de la zona de conflicto y situar cercanos al combate solo puestos de mando tácticos, esta cuestión se ha desarrollado en profundidad en el apartado 3.2.

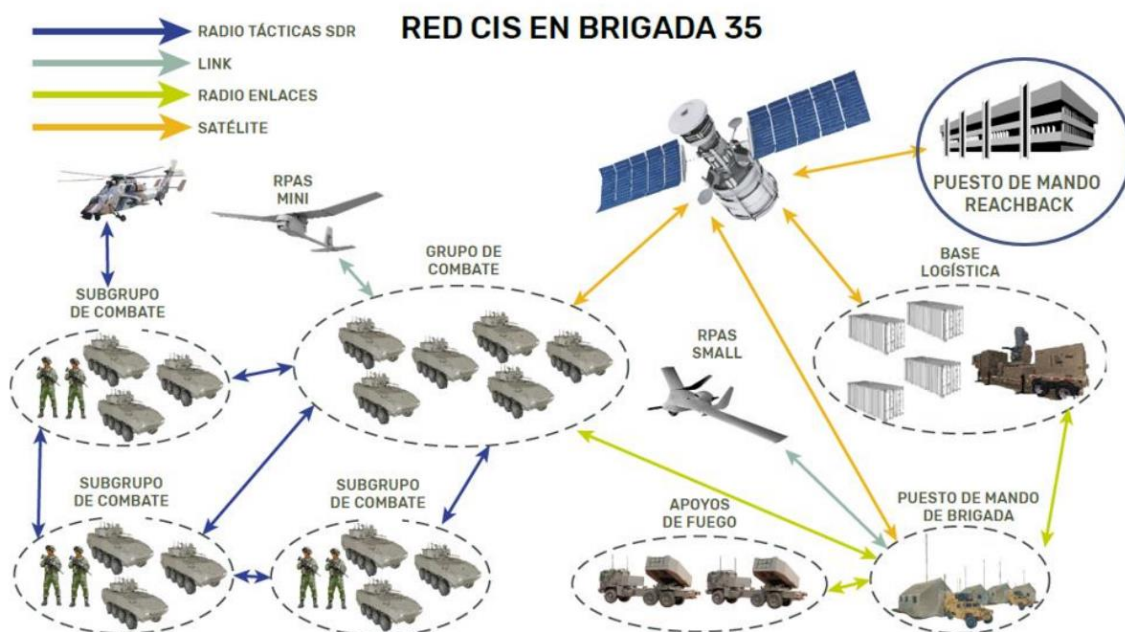


Figura 4. Red CIS modelo FUERZA 35. Fuente (ET, 2019).

En definitiva, el plan MC3 se traduce en la llegada de medios radio definidos por software (SDR) y la dotación a las unidades de medios con un mayor ancho de banda que permita crear una red con una mayor capacidad para el envío de datos y más flexible. Es el caso de la reciente llegada de la radio MCTR-7200 HH a la Brigada Guadarrama, con sede en Madrid, que puede trabajar tanto en bandas *Very High Frequency* (VHF) como en las *Ultra High Frequency* (UHF) (ET, 2023) y tiene un ancho de banda de hasta 500 kps. Está radio trabaja mediante un centro de configuraciones que funciona como gestor entre ambas gamas de frecuencia y permite aprovechar las ventajas de cada zona; el ancho de banda de la VHF y el alcance de la UHF. También se pretende mejorar la estación Soria que es la encargada de dar enlace satelital y mediante las redes VHF/HF militares, además de aportar enlace con redes civiles de tipo 4G/5G, al PC-BON.

De la misma manera, el tipo de redes a emplear se ha visto modificado por la aplicación de la red *Mobile Ad hoc Network* (MANET) que ofrece ventajas de instalación, soluciones a errores, conectividad y movilidad. Aunque no evita los problemas más comunes en otro tipo de redes

³ SDR: Software Defined Radio, término utilizado para definir radios que pueden modificar la forma de trabajo mediante el uso de diferentes programas.



como son la posible localización de dispositivos; sí que tiene un coste de implementación de red más bajo y, junto a las otras ventajas es un factor muy relevante para tener en cuenta. Este tipo de redes se forman con un conjunto de dispositivos conectados por radio y que se comunican entre ellos cuando están dentro del alcance. Mediante dispositivos intermedios el mensaje puede llegar al destino final si este no está dentro del alcance (Chan May, Peña Koo and Ceh Varela, 2016).

Por otro lado, ya se ha estudiado el empleo de dispositivos *Long Rate* (LoRa) cuyo término se refiere al tipo de modulación inalámbrica que se emplea para crear enlaces de gran alcance. Los dispositivos que emplean este tipo de enlaces están encriptados de punto a punto y no necesitan conectarse a una red externa para crear una malla. Este estudio realizado en el trabajo del teniente Castillo (Fernández Castillo, 2022) demuestra el gran alcance (hasta 20 km) que se obtiene al emplear esta tecnología, pero también los problemas que tiene entre los que encontramos: una gran complejidad en la configuración de la malla y la fragilidad del dispositivo o su posible pérdida que carece de estándares de calidad militares.

Otro parte importante de los medios CIS es como se pueden proteger las comunicaciones, para ello se deben conocer los tipos de cifrado que se emplean en el ET y que interfieren directamente con la parte de cifrado en la implementación de este proyecto. Las medidas de protección electromagnética (EPM) propias implementan en los equipos radio módulos de seguridad en las comunicaciones (*Communications security* -COMSEC-) y de seguridad en las transmisiones (*Transmission Security* -TRANSEC-). Otra parte de la seguridad son los procedimientos de empleo radio o de señales para intentar reducir al máximo la emisión electromagnética de los medios y, por lo tanto, las medidas de guerra electrónica enemigas (Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2019).

3.4 Orgánica y medios del Grupo Acorazado de Caballería “Calatrava” II/16

La situación actual del Grupo de Caballería Calatrava (la descrita en la Figura 5) se encuentra dentro de una inmersión en la adaptación orgánica que le hará pasar de dos Escuadrones operativos actuales (denominados Escuadrones Ligero Acorazados-ELAC-) a tres. Este cambio también conlleva que los ELAC pasen de tres secciones heterogéneas (dos VEC y dos Leopard 2e) a tres secciones homogéneas (dos secciones de cuatro VEC y una de cuatro Leopard 2e); en ambos casos se cuenta con un Pelotón de Morteros Pesados (sobre TOA).

En el Escuadrón de Plana Mayor y Servicios (EPLMS) se integran diferentes secciones de apoyo, la que más afecta a este trabajo es la Sección de Transmisiones; esta sección está encargada de proporcionar al Grupo el enlace en los ejercicios y distribuye los medios de transmisiones disponibles. Las condiciones descritas de la orgánica del Grupo provocan que la integración de los medios sea compleja, dada la variedad y las diferencias entre cada uno de los medios que suponen dificultades para enlazar BMS entre los diferentes vehículos.

Se debe añadir que la orgánica descrita en este apartado es la actual y real, la teórica queda reflejada y con más detalle en el [Anexo II](#) en el que se observa la distribución de los medios. La orgánica real impuesta por la situación de la plantilla en las unidades supone que los medios a integrar en una situación ideal con todos los medios disponibles serían aún mayores en número y en variedad de vehículos ya que se integraría también el Vehículo de exploración y reconocimiento terrestre (VERT) de las Secciones de Vigilancia. También cabe esperar que en un futuro próximo el Vehículo 8x8 “Dragón” sustituya al VEC y esto sume más complejidad al enlace de BMS al mezclar vehículos modernos con dispositivos antiguos y desfasados tecnológicamente.

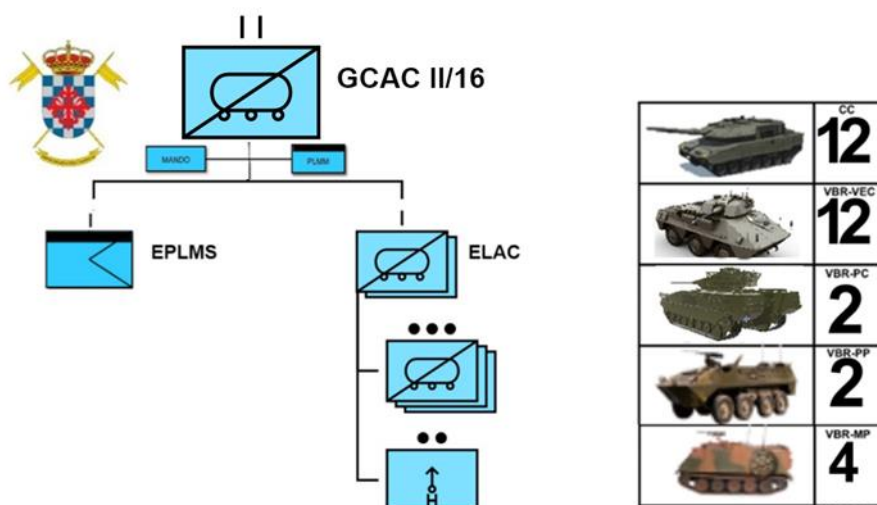


Figura 5. Orgánica del GCAC II/16 a 30/09/2023 y medios. Elaboración propia.

En cuanto a los medios de transmisiones, el Grupo cuenta con: dos PC-BON con los medios radio descritos al principio del apartado anterior; treinta y cuatro radios PR4G v2, que admiten un ancho de banda más bajo; 17 radios PR4G v3; además de disponer de doce tablet modelo Getac F110 ruggedizada con Windows 11 como sistema operativo (Getac, 2023). Esto supone que el Grupo dispone de medios suficientes en cantidad, al cubrirse la totalidad de los vehículos de la plantilla, pero la calidad de estos hace que sea insuficiente el uso de todas las funcionalidades de un C2S. La razón de esta carencia es la falta de la versión 3 de las PR4G y, aunque según el plan MC3 la versión que debería estar llegando a las unidades es la 4, la realidad es que la versión 2 es la mayoritaria en los dispositivos radio.

Actualmente, de manera oficial el Grupo al completo está empleando BMS y en concreto la mayor parte de los vehículos tienen implementado la Fase 1, a la espera de la actualización al BMS Fase 2. Además, es de destacar que aún se están utilizando las radios PR4G V2 en gran parte de la unidad cuando el objetivo final es V4 y esto implica una muy limitada capacidad de transmisión de datos en la ya limitada PR4G. En concreto, el Segundo Escuadrón Ligero Acorazado (ELAC 2) ha estado utilizando ATAK en tablet de adquisición propia o comprada por el Ejército para complementar las capacidades de BMS. La tablet suministrada por cadena orgánica es el modelo Tab A 8.0" ⁴ de Samsung que no destaca por tener una memoria RAM muy amplia (2GB) ni una alta velocidad de la CPU (2GHz); sin embargo, permite el uso de ATAK sin ningún problema (Samsung, 2023). Esto demuestra que los requisitos operativos de ATAK para los dispositivos no son muy restrictivos y facilita su implantación.

Asimismo, es importante remarcar el empleo y las misiones que lleva a cabo Caballería, ya que estas dan un enfoque más decisivo a la importancia de conseguir un C2S muy eficaz en el campo de batalla. Sus principales misiones son de reconocimiento, seguridad, combate y explotación del éxito o protección de una retirada. Además, la Caballería debe ser apta para desempeñar misiones de forma independiente a gran distancia del grueso de las fuerzas propias (Ejército de Tierra Español, 2021). Estas razones son las que han llevado al ELAC 2 del GCAC II/16 a implementar TAK mediante una red tipo *Virtual Private Network* (VPN) para ampliar la eficacia en el desarrollo de las misiones. Sin embargo, surge el problema de la conexión empleada, ya que el Escuadrón ha estado utilizando el modelo de tablet con capacidad de

⁴ " o pulgada: unidad métrica utilizada en algunos países como Estados Unidos o Reino Unido.



insertar tarjeta SIM para proporcionar datos y poder crear una malla con los dispositivos. Para ello se ha creado una red VPN mediante la aplicación gratuita ZEROTIER, que permite implantar una contraseña para admitir nuevos usuarios y crear una malla entre estos. El problema aparece con la cantidad de usuarios que pueden utilizar esta red, ya que la aplicación está limitada a 25, teniendo que suscribirse a la versión de pago para ampliar este número con un precio de 5€ por cada 25 usuarios. Se debe añadir que este método es recurrente en otras unidades del ET, ya que es simple y permite el empleo de todas las funciones de ATAK, que refleja el trabajo del teniente Castillo (Fernández Castillo, 2022), e incluso se emplea en despliegues de misiones internacionales como Irak o Mali como también indica el trabajo de investigación que se ha llevado a cabo.

No obstante, hay que analizar los inconvenientes que presenta el empleo de los datos móviles y de una red VPN. En conflictos denominados asimétricos el rival no dispone de medios que perturben gravemente la red pública de telefonía; sin embargo, en conflictos como el de Ucrania el empleo de los medios de Guerra Electrónica o ataques directos contra infraestructura afecta continuamente a la red civil. En cuanto al uso de una VPN, el peligro reside en la vulnerabilidad de la malla que puede ser atacada con *malware* destinados a recabar información incluso de nuestro C2S (Seldin, 2023). Por estas razones se debe implementar un sistema con un cifrado militar que, aun siendo un posible objetivo, dificulte las medidas de ataque del enemigo y asegure el empleo del C2S en condiciones de combate degradadas.

3.5 Aplicación TAK

Por último, se debe comprender que TAK es una aplicación con diferentes licencias y que su interfaz y funciones son muy diferentes dependiendo del sistema operativo para el que se descargue. En cuanto a las licencias ofrece: TAK-GOV, TAK-CIV, TAK-MIL para el sistema operativo ANDROID (ATAK), para Windows (WinTAK); y para el sistema IOS (ITAK). Además, existen *plugins* (solo para ATAK y WinTAK) que aumentan las funciones de la aplicación, como puede ser *UAS Tool* o *TAK Chat*. En el caso de *UAS Tool* permite integrar gran cantidad de modelos de drones con la aplicación para ver, controlar y enviar los datos que recaba el aparato; el complemento *TAK Chat* es uno de los más utilizados porque permite el envío de mensajería a través de la aplicación y se puede configurar para limitar la cantidad de palabras para agilizar su empleo, este nivel de personalización de la aplicación se da en muchos ámbitos y facilita su adaptación.

En cuanto a las licencias de Android, TAK-GOV pertenece al gobierno de Estados Unidos y en ella intervienen desarrolladores de aplicaciones determinados por el gobierno para implementar mejoras. La licencia TAK-CIV oficial pertenece al mismo gobierno, por lo que se reserva el derecho de retirarla; es la que emplean la mayoría de los usuarios debido a que es gratuita y su uso es tanto civil como militar para los usuarios que no han adquirido la licencia de pago (TAK-MIL)

La licencia más relevante para este proyecto es la militar (TAK-MIL) ya que proporciona la capacidad de ser usuario desarrollador para personalizar la aplicación y, por lo tanto, ofrece mayores oportunidades de adaptación que las versiones civiles. Otro apartado importante de esta licencia es la oportunidad de enlazar servidores TAK con otros medios como la radio. La problemática de esta licencia es que se adquiere solicitándola al Gobierno de Estados Unidos a través de la Oficina de Programas, previa autorización y pago de unos 200.000\$.

Se debe subrayar que TAK no necesita acceder a un servidor o red externa, como pueden ser la red actual de telefonía 4G/5G o una red externa que proporcione servicio; su conexión se realiza de punto a punto, de servidor a servidor y solo necesita enlazar entre servidores para poder funcionar como un ecosistema con todas sus funcionalidades. En este sentido se debe destacar la posibilidad del empleo de redes *Wireless Mesh Network WMN* (Mesh), que son un tipo de red MANET que están conformadas por una serie de nodos inalámbricos y se caracteriza



por la forma de gestión de esta, ya que cada nodo no se conecta al más cercano, sino al más eficiente pudiendo utilizar otro como relé, y aumentando así la eficiencia de la malla (ver Figura 6). Es este tipo de red y topología la que se pretende utilizar con la entrada de los nuevos dispositivos radio en el ET y el plan MC3 (Internationalit, 2021).

Para finalizar este apartado se extraen las siguientes ideas principales: los nuevos conceptos C2 marcan el camino flexible que deben seguir los C2S y la importancia en el combate de su empleo eficaz; el nuevo modo de combatir y la cantidad de elementos que intervienen afectan al empleo de los C2S; y los medios que se emplean actualmente en el Grupo deben ser sustituidos por unos mucho más capaces que permitan el uso pleno de ATAK.

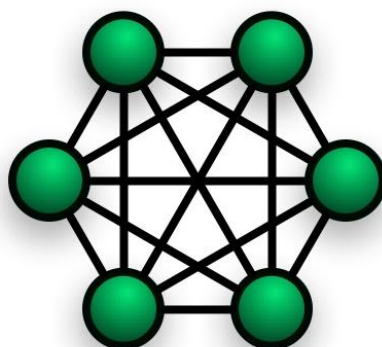


Figura 6. Topología red Mesh. Fuente (Internationalit, 2021).

4. DESARROLLO: ANÁLISIS Y RESULTADOS

En el apartado de desarrollo se van a llevar a cabo la explicación de los resultados de las herramientas empleadas, con ello se busca encontrar la mejor solución dentro de las que se expondrán para conseguir el objetivo del proyecto. En él, se pretende observar si el cambio implica una mejora con su implementación o se debe optar por el camino que se ha seguido hasta ahora por el ET. Se debe señalar que algunas de estas herramientas extraen conclusiones de trabajos previos que tuvieron la oportunidad de emplear TAK en algún ejercicio práctico y obtener resultados.

4.1 Análisis de los requisitos necesarios de un C2S

Las herramientas utilizadas para extraer los requerimientos son el análisis previo de la bibliografía para darle un enfoque a las encuestas, una parte de la entrevista realizada al teniente Cañada [Anexo III](#) y la encuesta desarrollada por personal del GCAC II/16. También se ha llevado a cabo un diagrama de Ishikawa que se refleja en este apartado para esquematizar los requisitos a los que se enfrenta la implementación de un C2S.

En primer lugar, se han recopilado los requisitos actuales de un C2S de los conceptos presentados en los documentos *Army Futures Command Concept for Command and Control 2028* (U.S. Army, 2021), del documento de la Revista NRDC (Revista NRDC, 2022) y del concepto C2 proyectado para la Fuerza-35 (Ministerio de Defensa, 2018). Con esta información se ha elaborado una encuesta en formato PDF con el programa Adobe Acrobat Pro debido al requerimiento de que esta encuesta fuese distribuida usuario por usuario y remitida al encuestador de forma privada.

Posteriormente, en este proyecto se ha trabajado en la búsqueda de la implementación de



un C2S con los requisitos extraídos siguiendo estos pasos: el análisis de TAK como C2S, la elección de un dispositivo CIS adecuado para el trabajo del sistema y se pretende dar solución a las causas del sistema operativo y usuario aunándolas en una, buscando que el sistema operativo sea intuitivo y que el usuario ya lo conozca, además de un C2S simple.

En segundo lugar, se han tenido en cuenta los requisitos que debe tener un C2S extraídos de la entrevista al teniente Cañada. Esta entrevista se ha realizado en un formato más cerrado debido al carácter técnico que podía tener por su especialidad fundamental, transmisiones. En la parte dedicada a los C2S refleja las cuatro características más importantes: debe ser intuitivo, la flexibilidad, la sencillez y la interoperabilidad. Durante la entrevista, ha hecho hincapié en la necesidad de la sencillez para que primero funcione lo más básico y que el usuario común solo pueda acceder a algunas funcionalidades para propiciar el manejo, de tal manera que se simplifique su uso.

El teniente también ha señalado los problemas a los que se enfrenta BMS por la complejidad tanto para administradores como para usuarios, por lo que el camino debe ser hacia una interfaz más intuitiva como las que aportan los sistemas operativos Android o Windows. Por último, se extrae la necesidad de que ATAK supere unas certificaciones para suponer una opción segura y no algo extraoficial con lo que sustituir deficiencias.

La breve encuesta pretende una respuesta rápida a las tres cuestiones siguientes: qué tres características son más importantes para un jefe de vehículo en un C2S, qué valoración le daría el usuario a cada una de las características con valores numéricos del 1 al 5 y qué C2S emplearía si tuviese que elegir entre ATAK y BMS (ver Figura 7). Como se ha comentado con anterioridad, la encuesta se ha formulado mediante la aplicación de escritorio Adobe Acrobat Pro en formato PDF y se han añadido respuestas cerradas múltiples a cada una de las tres preguntas citadas. Se ha remitido a través de la cadena orgánica de la unidad para hacerla llegar a los jefes de vehículo del GCAC II/16 y se han obtenido un total de cuarenta respuestas con los resultados que se expondrán a continuación.

Questionario sobre la implementación de un sistema C2

• Marque tres características que considere imprescindibles:

Todas

• Valore del 1 al 5 la importancia que le da a las características que

Todas	1	1
Estabilidad	2	2
Fluidez	3	3
Visualización de	4	4
Integración de	5	5
Seguridad en la		
Facilidad de us		
Transmisión de		

• Si ha utilizado BMS o ATAK, ¿cuál de los dos sistemas utilizaría en el futuro? Valore el sistema en cuestión, suponga que ambos son seguros y eficaces:

Ninguno

Figura 7. Captura tomada a la encuesta en formato PDF. Elaboración propia.

Los resultados de la encuesta han sido exportados y tratados con la aplicación Hoja de Cálculo de Excel para poder extraer datos cuantitativos acerca de la selección de los encuestados. Para la primera pregunta, se ha realizado una lluvia de ideas en el ELAC 2 con el fin de extraer una cantidad grande de características y, más tarde, proceder a una selección menor de características analizando la bibliografía relacionada. De esta primera pregunta, se ha



extraído un gráfico circular con los porcentajes de selección de las características que han marcado los encuestados. Los encuestados consideran que la característica más importante es la fluidez del C2S con un 25% de las respuestas y en segundo lugar consideran que la seguridad en las comunicaciones es importante en el 21% de los casos (ver Figura 8).

El análisis de la primera pregunta confirma la necesidad de la implementación de TAK con un sistema de cifrado seguro, como busca este proyecto, pero destaca también la necesidad de un sistema fluido que permita el correcto funcionamiento y desarrollo de las acciones C2. Sin embargo, se debe analizar la segunda pregunta para extraer la importancia que se le da a cada cualidad, ya que en este apartado se ha valorado numéricamente y, aunque los usuarios hayan reflejado las características que consideran importantes, la valoración de estas es independiente.

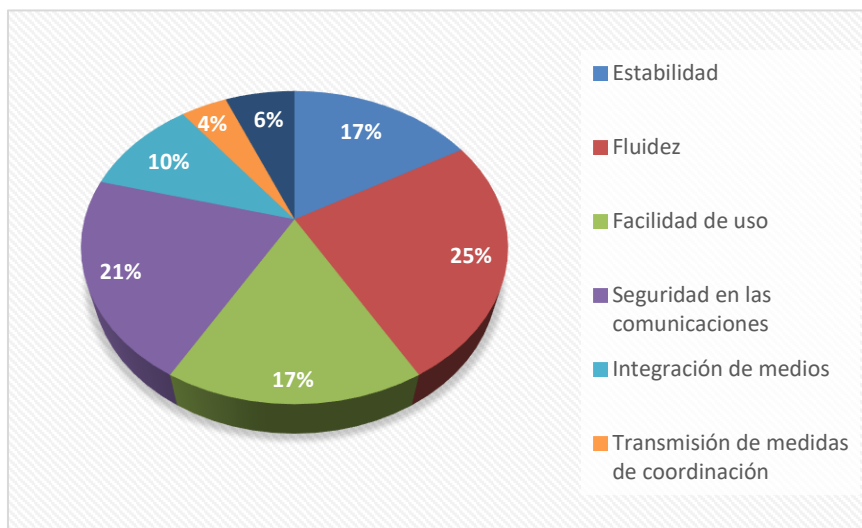


Figura 8. Gráfico circular extraído de los resultados de primera pregunta de la encuesta. Elaboración propia.

Los datos extraídos de la segunda pregunta reflejan la gran importancia que se le da a la seguridad en las comunicaciones con un valor de 5 sobre 5. Se debe remarcar la diferencia con el gráfico anterior debido a que los usuarios seleccionaron fluidez por encima de seguridad, sin embargo, todos los que seleccionaron la seguridad en la primera pregunta dieron la máxima importancia a ésta y no ocurre así con el caso de la fluidez. Esta característica fue valorada con un 4.61 y una de las razones puede ser los problemas de este tipo en BMS reportados en estudios previos y los propios usuarios (ver Figura 9).

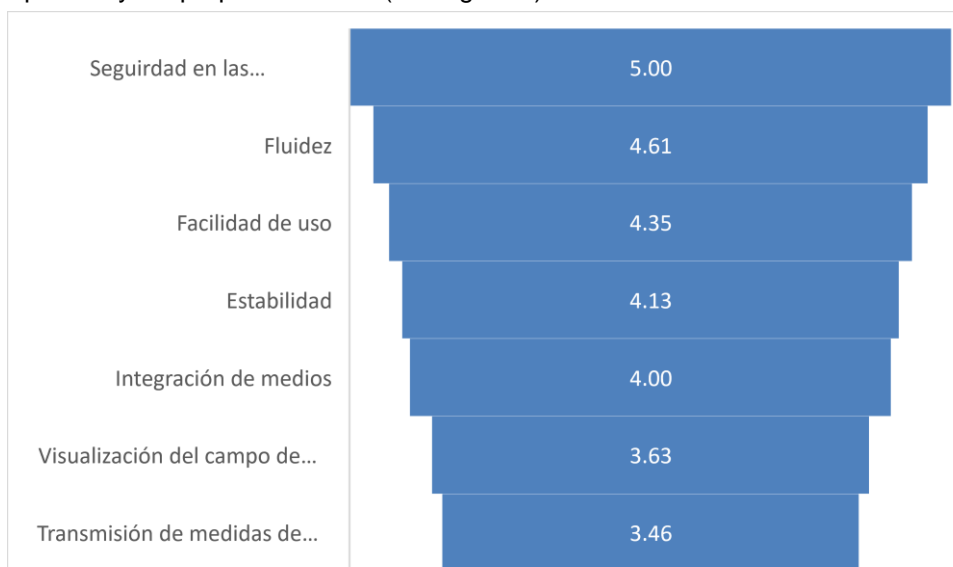


Figura 9. Gráfico de embudo extraído de segunda pregunta de la encuesta. Elaboración propia



Por último, se ha consultado la preferencia entre BMS y ATAK, excluyendo los problemas a los que se enfrenta a razón de los medios CIS, para intentar valorar cómo se comporta el sistema en cuestión. En este caso la encuesta refleja que el 62% de los encuestados preferiría emplear ATAK en lugar de BMS (ver Figura 10).

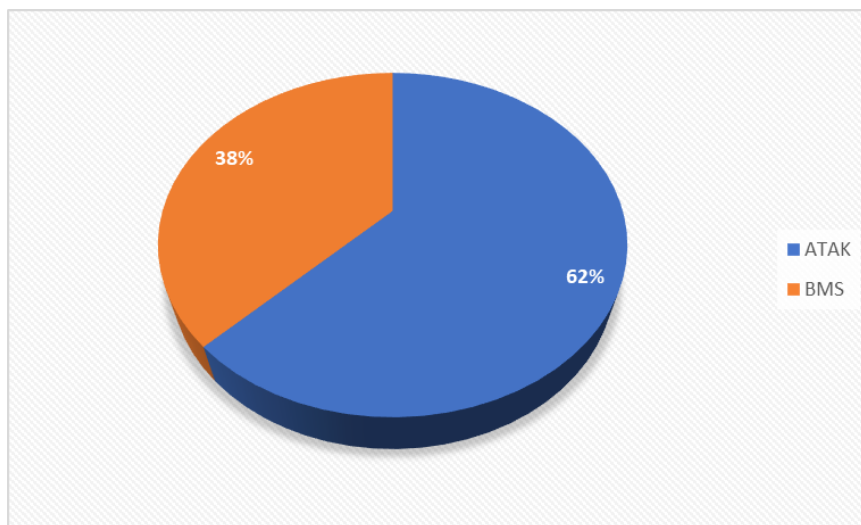


Figura 10. Gráfico extraído de la tercera pregunta de la encuesta. Elaboración propia.

Con los datos recopilados en la revisión de bibliografía y la encuesta, se ha desarrollado un diagrama de Ishikawa descrito en el apartado 2.2 de este documento. Se pretende esquematizar gráficamente los factores o condiciones que han llevado al bajo rendimiento de los C2S empleados y utilizar estos factores para la solución a la implementación que se busca en este trabajo. Al observar el esquema de la Figura 11 se ve una forma de espina de pez que se divide en cabeza, columna y espinas. En la cabeza se observa el problema al que queremos dar solución y en las espinas los factores que influyen directamente en él. Además, en los rectángulos con fondo a color se encuentran los factores principales y en los de fondo blanco los factores con menos importancia, pero que están relacionados con el principal del que se descuelgan.

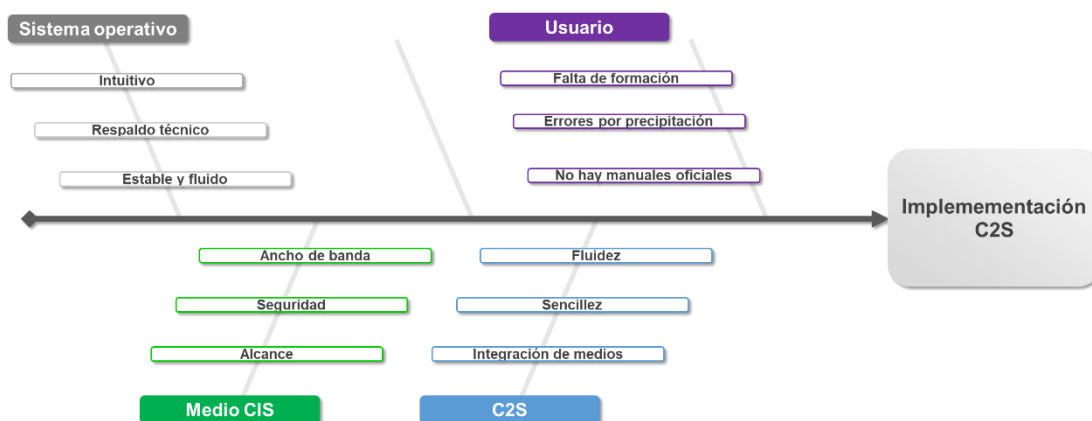


Figura 11. Diagrama de Ishikawa. Elaboración propia.

Los factores principales se escogen por ser las cuatro condiciones que más pueden influir en la correcta implementación de un C2S y en su empleo posterior. Los factores son los siguientes: el sistema operativo engloba los factores relacionados con la sencillez de uso y la estabilidad; el usuario que se selecciona por el papel fundamental que juega su capacidad de emplear el C2S; el medio CIS que influye directamente en poder usar todas las funciones del



C2S; y el C2S con sus propias características que deben cumplirse para su correcta implementación.

Este apartado y, en particular, el diagrama de Ishikawa influyen directamente en el desarrollo de la evaluación del C2S más adecuado para implementar. Además, se ha utilizado para integrarlo con el método AHP con los precedentes que se marcan en el trabajo de Sergio Bernal Romero y Daniel Felipe Niño Sanabria (Romero and Sanabria, 2018).

4.2 Análisis de las capacidades de TAK dentro de un GCAC II/16

En el análisis de las capacidades dentro del Grupo se ha analizado el trabajo realizado por el teniente Fernández Castillo de Infantería (Fernández Castillo, 2022) y del cual se han extraído las capacidades de TAK como C2S aplicables al empleo en Caballería, que son similares al de una unidad mecanizada. Además, se ha utilizado la entrevista abierta realizada al teniente Ruiz con destino en el GOE IV debido al gran uso que le están dando a la aplicación en su equipo operativo.

Para un mejor análisis se deben diferenciar tres fases en una acción militar: planeamiento, ejecución y conducción. En la primera fase TAK se emplea para la elaboración de *waypoints*, rutas o figuras de elaboración libre para transmitir las medidas de coordinación. También se distribuye la cartografía a emplear durante la maniobra y TAK es flexible en cuanto a formatos, admitiendo ortofotos y planos militares que facilitan la primera fase. En cuanto a la ejecución, la aplicación permite la visualización de los usuarios asignando diferentes mallas para jerarquizar y evitar la saturación de medios en pantalla, además de utilizar la asignación de diferentes colores para poder diferenciar unidades. Para la conducción son esenciales las herramientas de mando que se vuelven plenas con el uso de *plugins*, como es el caso del chat o el empleo de la *UAS Tool* para el reconocimiento o la corrección de fuegos de mortero, directamente aplicable al empleo en unidades de Caballería.

Por otra parte, la entrevista realizada al teniente Ruiz ha marcado la posibilidad del uso de la licencia civil de TAK al mostrar en su uso que se desempeña sin problemas y permite la conexión con medios radio de nuestro Ejército. De ella se extrae también el gran uso que una unidad de Caballería podría darle en el ámbito del reconocimiento, con el uso de imágenes o vídeos georreferenciados tomadas en el momento y disponibles para la unidad al completo. En este ámbito, sería de gran utilidad para las Secciones de Vigilancia, ya que emplearán el VERT como medio y deben ofrecer una visual del campo de batalla al GT al completo.

El concepto más importante de la entrevista se extrae de la posibilidad de emplear TAK con una conexión radio que ofrezca una malla interna a nivel táctico y, a través de un usuario que pudiese estar duplicado para posibles contingencias, extraer esos datos de la unidad al escalón superior con otro medio u otra aplicación. Por lo que se propone implementar TAK hasta nivel S/GT, siguiendo el formato del plan MC3 y con lo explicado en el punto 3.3 de este trabajo. El GT replicaría los datos con BMS mediante SIMACET, que ya está integrado a nivel OTAN, y necesitaría de la incorporación de TAK para ejercer la función C2 con las unidades subordinadas.

Para concluir, se debe remarcar la posibilidad de implementación al aplicar algunas adaptaciones y la total capacidad que tiene TAK para suplir y superar a BMS como C2S para el GCAC II/16. Además, se debe añadir las capacidades que tiene TAK para que se desarrollen las tres fases de planeamiento de una acción.



4.3 Estudio de los medios CIS para la implementación de TAK

Este apartado está dedicado al análisis del medio CIS o modo a emplear para realizar la conexión de TAK con los distintos dispositivos radio de los que actualmente dispone el ET, aunque algunos de ellos han sido adquiridos recientemente y no se encuentran en todas las unidades. Para ello se han realizado contactos con personal de la Compañía de Transmisiones de la Brigada XI, que han aportado algunas vías de solución y el contacto para la entrevista con el teniente Cañada destinado en la Brigada XII.

En primera estancia, se van a analizar la entrevista que, debido a la especialidad fundamental del teniente, estuvo centrada en los medios que se podrían emplear para lograr la implementación. De esta se extrae la necesidad de sustituir la PR4G, que está limitada al ancho de banda que imposibilita el empleo total de las funcionalidades de cualquier C2S actual (envío de vídeos, imágenes o paquetes de datos). El teniente propone la MCTR 7200 HH, desarrollada por la empresa israelí Elbit System, como posible solución a este problema. Esta radio pertenece a la nueva tecnología de radios definidas por software y permite el empleo de redes ad-hoc como las MANET. La propone por las características que se describen a continuación y por la experiencia de trabajar con ella, debido a que las unidades de su Brigada de destino la han recibido recientemente. En la entrevista (ver [Anexo III](#)) se ha comentado que esta radio trabaja con tres modos diferentes (Elbit System, 2017):

- El WMA y el *Wideband*: estos modos permiten una velocidad de datos muy alta al trabajar en UHF como la radio Spearnet, pero su alcance queda muy limitado (1-2km). En estos modos de trabajo destaca por su gran ancho de banda de hasta 1.5 Mbps.
- El *Narrowband*: donde trabaja del mismo modo que la PR4G que ya portan los vehículos, pero reduce la pérdida de paquetes de datos respecto a ésta. Es este modo de trabajo el que se utiliza para enlazar a grandes distancias.

La primera hipótesis extraída es que la elección sería proponer el modelo MCTR como sustituto de la actual PR4G, ya que ésta mejorarlas capacidades de la PR-4G en cuanto a estabilidad y ancho de banda; para solucionar los problemas de alcance de los modos WMA y Wideband se dispone de un GESCOM (mencionado en el apartado 3.3), que es el encargado de administrar estos modos de trabajo para transmitir con eficacia voz y datos. No obstante, se deben de analizar otros medios para tener una visión completa de las opciones y valorar en base a comparaciones.

Por ello, seguidamente se va a introducir otro medio como posible sustituto del actual; de la otra entrevista realizada (la del teniente Ruiz) surge el empleo de la radio Harris H-7850, que actualmente están utilizando en los equipos operativos para crear una malla wifi entre usuarios de ATAK. Sin embargo, en este trabajo se descarta este modelo en concreto por ser una radio para personal a pie y se escoge su versión vehicular, la Falcon III H-7800M-MP (ver Figura 12).



Figura 12. Radio MCTR 7200 HH a la izquierda y H 7800M-MP a la derecha. Fuente (ET, 2023).



El modelo Harris aportaría capacidades parecidas al de Elbit System, sin embargo, presenta un mejor ancho de banda en el modo Wideband y aporta las siguientes novedades (Technologies, 2019):

- En el modo Wideband aumenta la capacidad de envío de datos hasta los 5Mbps.
- Puede enlazar mediante satélite.
- Soporta la carga de múltiples ficheros de misión, lo que facilita su flexibilidad para adaptarse a cambios o solución de errores.

Otra opción para solucionar los problemas de conexión podría ser los dispositivos LoRa mencionados en el apartado 3.3. Con la configuración de estos dispositivos se puede crear una red tipo MANET, en este caso se ha implementado ATAK mediante un router modificable mediante IP (Amazon, 2023a) y con el que se puede crear una red wifi. A continuación, se describen sus características:

- Dispone de un tamaño contenido para el gran alcance que se obtiene.
- Representa una red segura debido al encriptado de punto a punto, con ello se puede crear una única malla interna que limitaría las capacidades de detección y luego tener un medio CIS como los descritos anteriormente para enlazar con el escalón superior.
- Supone un coste relativo muy bajo, si se compara con los anteriores medios.
- No dispone de estándares militares de calidad, sin embargo, supone una tecnología muy asumible para el ET y por lo tanto se podría sustituir los medios defectuosos o averiados.
- A nivel administrador supone el empleo de conocimientos profundos de informática para poder conformar la red.

Debido a las nulas características militares comentadas y a la difícil configuración que tiene este tipo de dispositivos, no se han tenido en cuenta para el estudio de implementación. Sin embargo, sí que supone un proyecto asumible para una unidad pequeña a un costo controlado (ATAKBLOG, 2022).

Por último, se ha valorado la opción de crear una red VPN mediante el uso de datos tipo 4G/5G. Esta opción tiene ventajas similares a los dispositivos LoRa como son: el bajo costo de implementación y el alcance, que en este caso sería ilimitado. Además, supone un medio muy fácil de implementar y supondría una opción válida para el inicio del uso de TAK en una unidad. Sin embargo, la red VPN presenta los problemas citados en el apartado 3.4 de vulnerabilidad frente ataques de guerra electrónica, de fallo en la red de datos o de cobertura.

4.4 Prueba de implementación de TAK

En relación con la implementación en los medios actuales del GCAC II/16, la prueba se ha centrado en el uso de los dispositivos ya adquiridos por la unidad y el ET para facilitar su inserción. En este caso se ha realizado una práctica de instalación y empleo de la aplicación en dos dispositivos, la tablet GETAC F110 y la tablet Samsung TAB A 8”.

En primer lugar, la tablet GETAC F110 es un dispositivo con el sistema operativo Windows 11 instalado y la práctica estaba enfocada a la instalación de la versión Windows de TAK (WinTAK); esta tablet fue adquirida por el ET para emplear BMS en los vehículos que originalmente no disponían de dispositivos capaces (VEC y TOA). Las ventajas que ofrece son:

- Es un dispositivo ruggedizado ante las caídas, el polvo y el agua. Cumple la norma MIL-STD-810H que le permite trabajar en una gran gama de temperaturas y la IP66 que asegura protección total ante polvo y poder soportar chorros de agua como una tormenta (Auer



signal, 2023) (GETAC, 2023).

- Tiene un precio de mercado de unos 2400€ (Logiscenter, 2023).
- Dispone de un sistema operativo moderno, como es Windows 11, y una CPU potente con un procesador Intel Core i7.
- Lo más destacable son sus posibilidades en cuanto a conectividad que permiten el uso de wifi, redes 4G/5G y tiene GPS/GLONASS⁵ integrado. La empresa también ofrece la posibilidad de adaptaciones vehiculares y, en el caso del ET, se integra con la radio PR4G para poder enlazar entre usuarios.
- Posibilidad de usos: fijo mediante un adaptador o portátil ya que dispone de dos baterías independientes de hasta 4200mAh cada una.

En la instalación del programa WinTAK en el dispositivo se han encontrado problemas debido a las limitaciones impuestas por medidas de seguridad para conectar a una red wifi y frente a la instalación de programas externos, sin embargo, una vez solucionado se ha probado el inicio del programa y su empleo sin presentar ningún tipo de problema en cuanto a velocidad o desempeño del sistema operativo o del hardware (ver Figura 13).

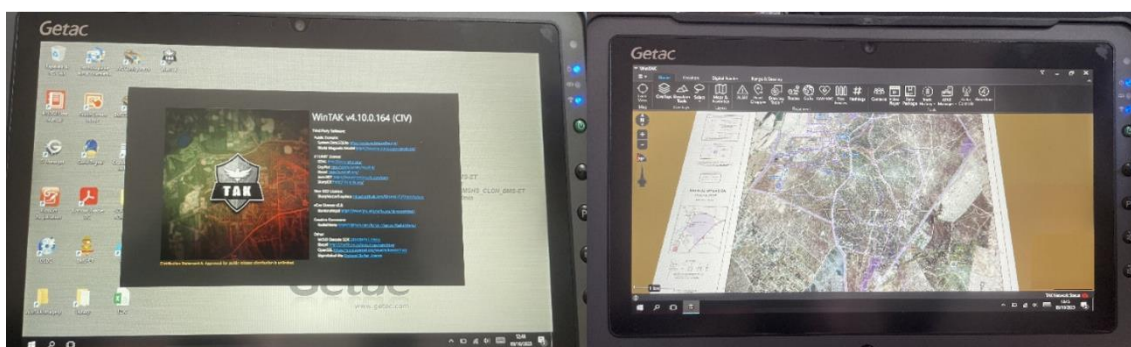


Figura 13. Capturas de las pruebas realizadas en la tablet Getac. Elaboración propia.

Tampoco presenta problemas al iniciar mapas como se demuestra en este caso el mapa del campo de maniobras de la base en formato TIFF (Figura 13), por lo que sería un dispositivo más que capaz y actualmente en dotación, lo que a su vez ayuda a que los usuarios ya estén familiarizados.

En segundo lugar, se ha empleado para la práctica las tablet Samsung obtenidas a través del Grupo. Éstas carecen de una configuración o modelo preparado para su empleo en trabajos con agentes externos como el polvo o las caídas, pero su bajo valor de mercado comparado con las Getac, y sus capacidades hacen que sean aptas para su empleo. Sus puntos a favor observados en las prácticas son:

- Su menor tamaño le permite una alta manejabilidad y es totalmente portátil, lo que hace que su empleo en el vehículo mientras se está circulando con él sea sencillo y permite emplearlo como medio de navegación.
- Tiene GPS integrado (también GLONASS, Galileo y Beidou⁶) y hay versiones que permiten la conexión 4G. También dispone de wifi lo que permite integrarla en una malla wifi creada con los medios radio y ser empleada con mayor seguridad.

⁵ GPS: Global Position System; GLONASS: Sistema Global de Navegación por Satélite de Rusia.

⁶ Galileo: Sistema Global de Navegación por Satélite Europeo. Beidou: Sistema Global de Navegación por Satélite Chino.



- Su precio de mercado es en torno a los 150€(Amazon, 2023b) por lo que la convierte en una opción fácil de implementación. Se puede aumentar su durabilidad con una funda rugerizada que aumenta el precio en 20€ (Amazon, 2023c), que es el procedimiento usado en el Grupo.

ATAK es la licencia o versión más utilizada y desarrollada de TAK, por lo que un dispositivo con este precio y la sencillez de uso es idóneo para comenzar en su manejo y expandir su implementación. La instalación y su uso no presentan ningún problema y el personal del ELAC 2 ha utilizado esta combinación con una red VPN creada en ZeroTier One (ver Figura 14). En contraposición, el empleo de una red VPN presentaría problemas de seguridad y de estabilidad de red en un ambiente degradado o contra un enemigo convencional.

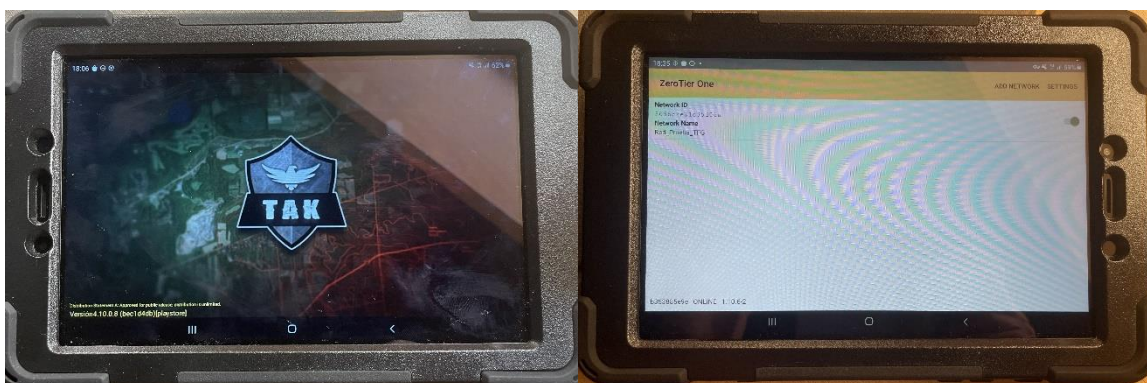


Figura 14. Capturas de las pruebas realizadas en la tablet Samsung. Elaboración propia.

Las conclusiones extraídas de este apartado sugieren la posibilidad de una rápida incorporación de TAK mediante el uso de dispositivos baratos y simples, pero que no aportarían un valor real al futuro por no tener los requisitos obligatorios en cuanto a la seguridad o la calidad. Sin embargo, el ET ya dispone de medios capaces de funcionar con TAK y que sí cumplen estos requisitos por lo que la implementación debería de seguir ese camino y utilizar medios ya disponibles como es el caso de la tablet Getac F110.

4.5 Evaluación de implementación de un C2S

En la evaluación de la implementación de un C2S se pretende evaluar el proyecto en conjunto que supone la consecución del objetivo, que incluye la implementación de TAK con el sistema de cifrado. Por lo tanto, se ha empleado el método AHP para comparar el conjunto al completo (medio CIS combinado con C2S) y el coste del proyecto para valorar el más viable económicamente al implementarlo en el GCAC II/16.

La primera herramienta aplicada ha sido el método AHP (Nantes, 2019). Este método pretende escoger la combinación (medio CIS junto a un C2S) más capaz en función de los criterios asignados, que a su vez tienen un peso específico que se ha calculado. El método se divide en las cuatro fases siguientes: definición del problema, estructura del problema en criterios, construcción de matrices, síntesis de matrices y solución.

4.5.1 Definición del problema

El problema por resolver es la implementación de un C2S en un Grupo de Caballería con un sistema de cifrado, por lo tanto, con un medio CIS.



4.5.2 Estructuración del problema en criterios

Esta fase se utiliza para seleccionar los factores que son importantes para tomar la decisión y, en este caso, han sido extraídos de la bibliografía relacionada con el tema, de la encuesta y de las entrevistas. Se da gran importancia en este trabajo a estas opiniones, ya que son los usuarios los que tienen la percepción del conjunto y la experiencia para aportar información de valor en esta fase. Los criterios escogidos son los siguientes:

- Seguridad: entendiendo esta como el nivel de protección que tiene tanto la malla de transmisiones como el sistema. Se tienen en cuenta debido a los resultados extraídos en la encuesta, donde los encuestados le asignaron la valoración más alta de importancia.
- Fluidez: este criterio está enfocado a cómo se comporta el sistema y si funciona sin interrupciones. Se extrae su importancia de la encuesta, ya que representa la característica más seleccionada y la segunda mejor valorada según la importancia.
- Sencillez: esta cualidad se considera necesaria al extraerla de las entrevistas y analizarla, debido a que el combate o el cansancio pueden conllevar situaciones de estrés. Por lo que la sencillez aporta la capacidad de ser operado en todo momento y tiene una importancia media.
- Integración de medios: referida a la capacidad de integración de los medios de combate y apoyo al combate (otras unidades, medios logísticos, drones o medios aéreos tripulados). Se extrae de la revisión bibliográfica de los conceptos de C2 y de la encuesta.
- Ancho de banda: se analiza valorando los datos teóricos que emite el fabricante o el ET y en valores absolutos sin diferenciar el modo de trabajo en que lo hace. Está relacionado con la fluidez, pero en este caso depende directamente del medio CIS empleado.
- Alcance: esta característica se ha valorado en función de las gamas de frecuencia de trabajo, otorgando mayor puntuación a las que trabajan en UHF y en concreto, también se valora la capacidad de enlazar vía satélite del modelo Harris que le otorga más alcance. La gama de frecuencias que utiliza la radio está directamente relacionada con el alcance y esta característica es importante para las unidades de Caballería debido a los despliegues tan amplios que adoptan.
- Transmisión de medidas de coordinación: depende directamente del C2S y engloba las capacidades que tiene el sistema para dibujar líneas de coordinación, enviar informes o solicitar apoyo logístico. Es importante ya que afecta directamente a las funciones de mando que se ejercen con el sistema y por ello se añade como criterio.
- Visualización del campo de batalla: se entiende como la capacidad que tiene el C2S de mostrar el campo de batalla, la posibilidad de añadir diferentes mapas o capas de cartografía y las facilidades que ofrece en ese ámbito. Se extrae esta necesidad de la encuesta realizada y tiene una importancia media.
- Implementación: esta característica se ha relacionado con las probabilidades que tendría de poder ser implementado cada alternativa, se ha valorado en función de si el ET ya disponía de alguna parte el conjunto (BMS o el medio CIS).

4.5.3 Construcción de matrices de comparación

En esta fase se van a realizar las comparaciones entre los criterios evaluándolos par a par y se van a ponderar por el nivel de importancia. Se utiliza para eliminar complejidad a la cuestión de que solución es la preferible y, para facilitar esta cuestión, se analiza cada propiedad o criterio por separado. Además, esta fase se divide en dos pasos que son: hallar el peso específico de cada criterio y calcular el peso que tiene cada solución propuesta al evaluar los criterios en ellas. Se debe añadir que en esta fase se ha empleado la herramienta de Klaus D. Goepel (Goepel,



2013) para la confección de las matrices.

En primer lugar, se ha calculado el peso específico que tiene cada criterio respecto al otro por lo que se definen, en la Figura 15, los valores de intensidad que se van a emplear y a la explicación de la propuesta de Thomas Saaty acerca de que significa cada valor.

Intensidad	Definición	Explicación
1	De igual importancia	Las actividades contribuyen de igual forma al objetivo.
3	Moderada importancia	La experiencia y el juicio favorecen levemente a una actividad sobre la otra.
5	Importancia fuerte	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente a una actividad sobre la otra.
7	Importancia muy fuerte o demostrada	Una actividad es mucho más favorecida que la otra; su predominancia se demostró en la práctica.
9	Importancia extrema	La evidencia que favorece una actividad sobre la otra es absoluta e incuestionable.
2,4,6,8	Valores intermedios	Cuando se necesita un compromiso de las partes entre valores adyacentes.
Recíprocos	$a(ij)=1/a(ji)$	Cuando i tiene un valor respecto a j igual a un entero de los indicados arriba, entonces el valor de j respecto a i es igual a 1/a.

Figura 15. Escala de valoración de Saaty. Fuente (Nantes, 2019).

Posteriormente, se han normalizado con Excel los resultados extraídos de la encuesta reflejados en la Figura 9. El resto de las características se han normalizado de los datos teóricos extraídos de los manuales como es el caso del alcance o la estabilidad. Con estos datos normalizados se procede a realizar una matriz (ver Figura 16) para hallar el peso específico de cada criterio y se representa de manera que el factor del eje de las abscisas es x^7 veces más importante que el de las ordenadas y a la derecha el peso específico que obtiene cada criterio.

Matrix	Seguridad	Fluidez	Sencillez	Integración de medios	Ancho de banda	Alcance	Transmisión de medidas de coordinación	Visualización del campo de batalla	Implementación	normalized principal Eigenvector
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Seguridad	1	2	3	5	2	3	9	9	3	28.35%
Fluidez	2	1	2	3	1	2	9	7	2	18.42%
Sencillez	3	1/2	1	2	1	2	8	5	1	12.79%
Integración de medios	4	1/3	1/2	1	2	2	6	2	1	9.67%
Ancho de banda	5	1/2	1	1/2	1	3	3	2	1	10.56%
Alcance	6	1/3	1/2	1/2	1/3	1	2	1	1	5.83%
Transmisión de medidas de	7	1/9	1/9	1/8	1/6	1/2	1	1	1	3.01%
Visualización del campo de	8	1/9	1/7	1/5	1/2	1	1	1	1	3.98%
Implementación	9	1/3	1/2	1	1	1	1	1	1	7.40%

Figura 16. Matriz de comparación de criterios. Elaboración propia partir de la fuente (Goepel, 2013)

⁷ X es el valor de las casillas con fondo blanco.



La Figura 16 muestra, de nuevo, la importancia que tiene la seguridad para un C2S al obtener un 28.35% de peso específico y la siguiente característica más importante es la fluidez, ambas han sido claves para valorar las alternativas a solución que se proponen. Adicionalmente, para comprobar la validez de esta matriz, extraída del trabajo de Klaus D. Goepel, la propia plantilla calcula el ratio de consistencia (CR) para comprobar si se mantienen propiedades razonables y se basa en dos aspectos:

- Transitividad: que debe respetar el orden de comparación de dos elementos de manera que, si seguridad es más influyente que fluidez y fluidez más que sencillez, sencillez no puede ser más importante que seguridad.
- Proporcionalidad: también se deben conservar el nivel de influencia de los factores, por lo que poniendo el ejemplo anterior no puede existir discrepancias entre los valores asignados.

En su trabajo, Klaus D. Goepel marca como límite superior un 10% de CR y en este caso se mantiene en un 6.2%, por lo que se cumple esta condición y los pesos calculados se pueden emplear en los siguientes cálculos.

En segundo lugar, se han evaluado los criterios dentro de cada solución propuesta. Para ello se ha hecho una comparación par a par similar al paso anterior, pero en los ejes se comparan las alternativas respecto a cada criterio por separado. Las alternativas propuestas son las siguientes:

- A. BMS con PR4G v3 y tablet Getac: se escoge esta configuración para tener en cuenta la que actualmente tienen las unidades y en particular la combinación con la versión 3 de la PR4G por disponer de un ancho de banda superior. Aunque no sea la versión mayoritaria en las unidades, se descartan versiones anteriores por su pobre rendimiento.
- B. WinTAK con H-7800M-MP y tablet Getac: se propone en este caso esa licencia de TAK por ser la apropiada para el sistema operativo del dispositivo Getac y la radio modelo Harris por las conclusiones del apartado [4.3](#) de este documento.
- C. ATAK con VPN y tablet Samsung: se tiene en cuenta esta combinación por la inversión tan pequeña que representa para iniciarse con TAK, aunque no represente un modelo de futuro.
- D. BMS con H-7800M-MP y tablet Getac: esta elección se realiza por la inversión que ha hecho el ET en este C2S, además BMS sigue siendo el medio oficial y ya está implementado. Esta supondría la inversión del medio CIS y la mejora de BMS en los apartados comentados.
- E. WinTAK con MCTR 7200 HH y tablet Getac: esta configuración se ha elegido para valorar también la radio de la fábrica Elbit System debido a que, aunque la Harris ofrece algunas ventajas cualitativas, puede suponer una mejor opción por el coste o porque ya se ha realizado una inversión previa en este modelo.

Una vez descritas las alternativas que se proponen, se exponen las matrices que evalúan cada criterio en la Figura 17 y la Figura 18. Para el cálculo del peso se han normalizado los valores de la matriz que, junto al calculado en el primer paso de esta fase, se ha empleado en la fase final para hallar el resultado. La elección de los valores de la escala de importancia se realiza apoyada en valores teóricos, que son totalmente objetivos, y en la opinión de usuarios para los valores subjetivos. Con estas matrices se obtienen las ponderaciones que tienen cada solución, respecto a las otras, en cada criterio seleccionado; de esta manera se obtienen resultados que reflejan qué conjunto de medio CIS y C2S tiene mayor seguridad o aporta mejor integración de medios y en definitiva es mejor solución. Además, se analizan los valores de los pesos para que sean razonables dado que dos combinaciones que, a priori, tienen el mismo tipo de cifrado deben obtener el mismo peso en esta característica.



Angel Marín Risquez

Seguridad	BMS+PR4G	WinTAK+H- 7800M- MP	ATAK+VPN	BMS+H- 7800M- MP	WinTAK+MCTR7200HH	Peso
BMS+PR4G	1	1/3	7	1/3	1/3	12.30%
WinTAK+H- 7800M- MP	3	1	9	1	1	28.34%
ATAK+VPN	1/7	1/9	1	1/9	1/9	2.68%
BMS+H- 7800M- MP	3	1	9	1	1	28.34%
WinTAK+MCTR7200HH	3	1	9	1	1	28.34%
Total	10.14285714	3.444444444	35	3.444444444	3.444444444	
Fluidez	BMS+PR4G	WinTAK+H- 7800M- MP	ATAK+VPN	BMS+H- 7800M- MP	WinTAK+MCTR 7200 HH	Peso
BMS+PR4G	1	1/7	1/5	1/2	1/7	4.20%
WinTAK+H- 7800M- MP	7	1	2	5	1	34.78%
ATAK+VPN	5	1/2	1	2	1/2	18.17%
BMS+H- 7800M- MP	2	1/5	1/2	1	1/5	8.08%
WinTAK+MCTR 7200 HH	7	1	2	5	1	34.78%
Total	22	2.842857143	5.7	13.5	2.842857143	
Sencillez	BMS+PR4G	WinTAK+H- 7800M- MP	ATAK+VPN	BMS+H- 7800M- MP	WinTAK+MCTR 7200 HH	Peso
BMS+PR4G	1	1/5	1/7	2	1/5	7.27%
WinTAK+H- 7800M- MP	5	1	1/2	2	1	20.74%
ATAK+VPN	7	2	1	5	2	39.10%
BMS+H- 7800M- MP	1/2	1/2	1/5	1	1/5	7.14%
WinTAK+MCTR 7200 HH	5	1	1/2	5	1	25.74%
Total	18.5	4.7	2.342857143	15	4.4	
Integración de medios	BMS+PR4G	WinTAK+H- 7800M- MP	ATAK+VPN	BMS+H- 7800M- MP	WinTAK+MCTR 7200 HH	Peso
BMS+PR4G	1	1/2	1/2	1	1/2	12.50%
WinTAK+H- 7800M- MP	2	1	1	2	1	25.00%
ATAK+VPN	2	1	1	2	1	25.00%
BMS+H- 7800M- MP	1	1/2	1/2	1	1/2	12.50%
WinTAK+MCTR 7200 HH	2	1	1	2	1	25.00%
Total	8	4	4	8	4	

Figura 17. Matrices de comparación de alternativas. Elaboración propia.

Algunos de los valores a destacar son las bajas ponderaciones que obtienen las combinaciones BMS en los criterios evaluados en esta figura, sin embargo, en la Figura 18 obtiene valores más altos en la evaluación de la implementación y la transmisión de medidas de coordinación; ambos valores son razonables debido a que la implementación es mucho más viable en este caso porque ya se cuenta con este sistema en las unidades y a que BMS tiene integrada la simbología aprobada a nivel OTAN (STANAG APP-6(C)⁸). En relación la seguridad, las radios de Harris y Elbit System obtienen mayor valoración debido a las nuevas tecnologías implementadas, sin embargo, la PR-4G y la red VPN son medios menos seguros. En el caso de la red VPN el valor está justificado en la facilidad que tendría el enemigo en interferir o cortar las comunicaciones y en el caso de la radio, tiene un sistema de cifrado COMSEC y TRANSEC obsoleto. En cuanto a la fluidez, se justifica el peso tan bajo de las combinaciones con BMS debido a los problemas reportados en el trabajo del teniente García (García Sobrido, 2017), de la encuesta y de las entrevistas realizadas en este trabajo. En lo que concierne a la sencillez, se ha valorado la facilidad de manejo tanto del C2S como del medio CIS; con ello la combinación ATAK con la red VPN obtiene el peso más alto y está justificado debido a la fácil instalación de la red VPN.

⁸ STANAG APP-6(C): NATO JOINT MILITARY SYMBOL-Simbología Militar Conjunta de la OTAN.



Angel Marín Risquez

Ancho de banda	BMS+PR4G	WinTAK++ 7800M- MP	ATAK+VPN	BMS++ 7800M- MP	WinTAK+MCTR7200 HH	Peso
BMS+PR4G	1	17	13	17	17	4.44%
WinTAK++ 7800M- MP	7	1	3	1	3	32.83%
ATAK+VPN	3	13	1	13	12	116.1%
BMS++ 7800M- MP	7	1	3	1	3	32.83%
WinTAK+MCTR7200 HH	7	13	2	13	1	18.29%
Total	25	2.80952381	9.333333333	2.80952381	7.642857143	
Alcance	BMS+PR4G	WinTAK++ 7800M- MP	ATAK+VPN	BMS++ 7800M- MP	WinTAK+MCTR7200 HH	Peso
BMS+PR4G	1	17	17	17	15	3.78%
WinTAK++ 7800M- MP	7	1	2	1	2	30.53%
ATAK+VPN	7	12	1	12	1	18.51%
BMS++ 7800M- MP	7	1	2	1	2	30.53%
WinTAK+MCTR7200 HH	5	12	1	12	1	16.65%
Total	27	3.142857143	6.142857143	3.142857143	6.2	
Transmisión medidas	BMS+PR4G	WinTAK++ 7800M- MP	ATAK+VPN	BMS++ 7800M- MP	WinTAK+MCTR7200 HH	Peso
BMS+PR4G	1	5	5	1	5	38.58%
WinTAK++ 7800M- MP	15	1	12	15	1	6.67%
ATAK+VPN	15	2	1	15	2	9.50%
BMS++ 7800M- MP	1	5	5	1	5	38.58%
WinTAK+MCTR7200 HH	15	1	12	15	1	6.67%
Total	2.6	14	12	2.6	14	
Visual campo de batalla	BMS+PR4G	WinTAK++ 7800M- MP	ATAK+VPN	BMS++ 7800M- MP	WinTAK+MCTR7200 HH	Peso
BMS+PR4G	1	15	13	1	15	6.37%
WinTAK++ 7800M- MP	5	1	2	5	1	33.34%
ATAK+VPN	3	12	1	5	12	21.18%
BMS++ 7800M- MP	1	15	15	1	15	5.77%
WinTAK+MCTR7200 HH	5	1	2	5	1	33.34%
Total	15	2.9	5.533333333	17	2.9	
Implementación	BMS+PR4G	WinTAK++ 7800M- MP	ATAK+VPN	BMS++ 7800M- MP	WinTAK+MCTR7200 HH	Peso
BMS+PR4G	1	9	5	5	9	55.91%
WinTAK++ 7800M- MP	19	1	15	13	17	4.32%
ATAK+VPN	15	5	1	3	5	19.55%
BMS++ 7800M- MP	15	3	13	1	3	9.91%
WinTAK+MCTR7200 HH	19	7	15	13	1	10.32%
Total	1.622222222	25	6.733333333	9.666666667	18.14285714	

Figura 18. Matrices de comparación de alternativas. Elaboración propia.

En esta figura cabe destacar la diferencia de los pesos de las alternativas en cuanto al ancho de banda, la visual del campo de batalla y el alcance; dónde las combinaciones con TAK y un medio CIS moderno obtienen un peso muy alto debido a las características citadas en los apartados 4.3 y 4.4 de este trabajo, en relación con las capacidades que aporta la el C2S y las radios propuestas para cambiar la PR-4G. En relación con el alcance, la radio Harris obtiene una valoración alta debido a la posibilidad de enlazar vía satélite.

4.5.4 Síntesis de las matrices y solución

Una vez calculados los pesos específicos de cada criterio y evaluadas las alternativas respecto a estos, se realiza la síntesis de matrices para calcular el modelo al completo. En la Figura 19 se presenta este modelo con la alternativa que ha obtenido mejor valoración. Para el



cálculo de esta matriz se sitúan las alternativas en el eje de abscisas y los criterios en el eje de ordenadas; debajo de los criterios están los pesos calculados en la Figura 16 y la tabla se completa situando la ponderación calculada para cada alternativa en las matrices de la Figura 17.

	Seguridad	Fluidez	Sencillez	Integración de medios	Ancho de banda	Alcance	Transmisión de medidas de	Visualización del campo de batalla	Implementación	Puntuación
Peso	28.58%	18.36%	12.74%	9.64%	10.54%	5.81%	2.97%	3.97%	7.38%	100.00%
BMS+PR4G	12.30%	4.20%	7.27%	12.50%	4.44%	3.78%	38.58%	6.37%	55.91%	12.63%
WinTAK+H-7800M-MP	28.34%	34.78%	20.74%	25.00%	32.83%	30.53%	6.67%	33.34%	4.32%	20.77%
ATAK+VPN	2.68%	18.17%	39.10%	25.00%	11.61%	18.51%	9.50%	21.18%	19.55%	20.62%
BMS+H-7800M-MP	28.34%	8.08%	7.14%	12.50%	32.83%	30.53%	38.58%	5.77%	9.91%	20.14%
WinTAK+MCTR7200HH	28.34%	34.78%	25.74%	25.00%	18.29%	16.66%	6.67%	33.34%	10.32%	20.82%

Figura 19. Matriz de comparación final. Elaboración propia.

En función del resultado de la matriz, el proyecto más viable sería la combinación WinTAK con la radio de Elbit System, la MCTR 7200 HH en su versión vehicular; además, habría que instalar la aplicación libre de WinTAK en la tablet Getac F110. La siguiente alternativa mejor valorada es la de WinTAK con el modelo Harris, se observa valores similares en la mayoría de los criterios, pero el mayor peso que obtiene la implementación para el modelo de Elbit System hace que la opción mejor valorada sea ésta. La valoración en este apartado comparado con la radio MCTR 7200 HH con la Harris se debe a que la primera ya se ha adquirido anteriormente por el ET y, por lo tanto, facilita su rápida implementación (ET, 2023). También se espera que los Vehículos "Dragón" 8x8 monten esta radio y sería un buen punto de partida para el proyecto (infodefensa.com, 2021).

La tercera opción mejor valorada es la de ATAK con la red VPN y el uso de la tablet de Samsung. Esta opción obtiene esta puntuación debido a la gran facilidad de implementación y sencillez de uso, además de que en muchos apartados obtiene puntuaciones similares al resto. Debido a estas razones será valorada junto a la combinación WinTAK y MCTR 7200 HH, evaluando el impacto económico que tendría implementarla en el grupo.

Finalmente, se ha realizado un estudio de costes de implementación reflejados en la Tabla 1 y se va a valorar el coste de hacerlo en el GCAC II/16 con la orgánica actual reflejada en la Figura 5. Se debe tener en cuenta que en el caso de la VPN se debe contratar una red 4G por vehículo y el precio se ha extraído del trabajo del teniente Castillo (Fernández Castillo, 2022); además de tener que pagar la suscripción en ZeroTier One para obtener enlace a dos VPN. El precio de la radio se extrae de las licitaciones y de consultas externas realizadas en el Grupo, y el coste total se calcula para la cantidad de vehículos que actualmente tiene el Grupo.

El cálculo de la tabla tiene un marco temporal de un año y en el caso de la licitación de la radio viene incluido el coste de la instalación en los vehículos y el mantenimiento previo, ya que ambos servicios se incluyen en este tipo de licitaciones. Adicionalmente, con el paso de los años pueden aparecer gastos para instalar actualizaciones de software o modificaciones físicas que no están incluidas en el coste. Por otro lado, para mantener la red con la VPN habría que cumplir con el pago de la anualidad; sin embargo, sí que representa un coste asumible para empezar a trabajar con la aplicación. Se debe señalar que la mayoría de los vehículos ya cuentan con una tablet modelo Getac, sin embargo, en este trabajo se ha tenido en cuenta el coste de toda la instalación.



Tabla 1. Coste total de implementación de TAK en el GCAC II/16. Elaboración propia.

	WinTAK + MCTR 7200 HH	ATAK + VPN
Radio	83.000€	0€
Anualidad	0€	96€ (red 4G) + 5€ (malla VPN)
Tablet	2.400€	170€
Coste total por vehículo	85400€	271€
Coste total del Grupo (32 vehículos)	2.732.800€	8672€

Finalmente, de la recopilación de los resultados de este apartado se puede extraer que ha existen dos posibles soluciones: WinTAK con la radio MCTR 7200 HH como proyecto viable y totalmente capaz de desempeñarse en combate; y ATAK con una VPN como proyecto de iniciación o el empleo de medios para el entrenamiento o formación del uso de este C2S. Este resultado está apoyado en el desarrollo del apartado al completo, al haber analizado y validado TAK como posible sustituto de BMS, haber evaluado los medios CIS, extrayendo el modelo de Harris o el de Elbit System como posible combinación y haber confirmado en la práctica que es posible implementar TAK en las tablet con las que cuentan las unidades actualmente.

5. CONCLUSIONES

El objetivo final de este trabajo es la implementación de TAK con un sistema de cifrado en Pequeñas Unidades, para ello se ha comprobado que TAK cumple las características necesarias para posicionarse como un C2S y suponer una ventaja operativa. Al evaluar los medios con los que cuenta el Grupo se propone el uso de la tablet Getac F110 para la instalación de WinTAK y la radio Elbit System como medio de enlace cifrado. Se debe señalar que, de las entrevistas y de la revisión de bibliografía, se propone el empleo de TAK hasta nivel S/GT; donde el PC-BON debe emplear BMS con el escalón superior y TAK con sus unidades subordinadas. Se propone este procedimiento debido a que en el desarrollo de este trabajo se han encontrado problemas para integrar TAK como C2S en las unidades superiores y a nivel OTAN.

En cuanto a los criterios que debe tener un C2S, éste debe mantener la seguridad en las comunicaciones, la fluidez del sistema, ser intuitivo y flexible para poder integrar la gran cantidad de medios que están proliferando en el campo de batalla. Además, el conjunto medio CIS y C2S debe permitir el envío y tratamiento de la información debido a la gran cantidad de elementos ISR que se emplean.

En el análisis de las capacidades de TAK como posible sistema a emplear se extrae su gran facilidad de uso como factor diferenciador a su favor, además el uso de *plugins* que aumenten las funciones de la aplicación y la personalicen supone una gran ventaja. En concreto para la Caballería, se posiciona como una gran herramienta para llevar a cabo una de sus misiones principales, el reconocimiento. También se posiciona como un gran elemento de mando para el fin que debe tener cualquier unidad de maniobra, el combate.



En relación con los medios CIS, se extrae la posibilidad de emplear una red VPN como paso de iniciación a la espera de la total implementación. Sin embargo, como proyecto estable y capaz de emplearse en combate la conexión se debe realizar con un medio militar y en este caso el modelo MCTR 7200 HH de la fábrica de Elbit System debe ser el que se implemente.

Por último, se han planteado las siguientes líneas futuras de trabajo:

- Realizar pruebas de implementación a nivel S/GT utilizando medios CIS de dotación y TAK.
- Adquirir TAK-MIL para modificar la aplicación a medida del ET. Además, se debe de adaptar la terminología OTAN y realizar las personalizaciones adecuadas a cada tipo de unidad que permitan el desarrollo de sus misiones.
- Realizar análisis internos para la solución de posibles errores y externos para adaptarse a los cambios de concepto de C2 que surjan en el ámbito internacional.



6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFRL (2023) *Tactical Assault Kit (TAK) – Air Force Research Laboratory U.S.* Disponible en: <https://afresearchlab.com/technology/information-technology/tactical-assault-kit-tak/> (Consultado: 13 de septiembre de 2023).

Amazon (2023) *Router Rocket M2*. Disponible en: <https://www.amazon.es/Ubiquiti-Networks-150Mbit-Energ%C3%ADa-Ethernet/dp/B00XTB9Q7U> (Consultado: 19 de octubre de 2023).

Amazon (2023) *SAMSUNG Galaxy Tab A 8p Android 4G*. Disponible en: https://www.amazon.es/dp/B07WXMW543/?smid=A1JQXZ2XLH0MPP&tag=idealoes-mp-21&linkCode=asn&creative=24634&creativeASIN=B07WXMW543&ascsubtag=2023-10-18_c75d8d1b325cf831e929b0b02077347e685075ad6f4351b94f5adc60e9bab717&th=1&psc=1 (Acceso: 18 de octubre de 2023).

Amazon (2023) *Gerutek Funda Anticaída para Samsung Galaxy Tab A 2019*. Disponible en: https://www.amazon.es/Gerutek-Samsung-Galaxy-Tab-2019/dp/B07Y36MZ1C?pd_rd_w=9gzc9&content-id=amzn1.sym.8ec07107-3a81-4e81-aede-83a5df9948a7&pf_rd_p=8ec07107-3a81-4e81-aede-83a5df9948a7&pf_rd_r=KR64MDS4QR71FBK014DF&pd_rd_wg=Dauze&pd_rd_r=066d31aaff9-4370-bd23-1766cd0767f6&pd_rd_i=B07Y36MZ1C&psc=1&ref_=pd_bap_d_grid_rp_0_9_t (Consultado: 18 de octubre de 2023).

ATAKBLOG (2022) *MANET*. Disponible en: <https://atakblogares.blogspot.com/2023/02/manet.html> (Consultado: 19 de octubre de 2023).

Auer signal (2023) *Grados de protección*. Disponible en: <https://www.auersignal.com/es/datos-tecnicos/normas/grados-de-proteccion-ip/> (Consultado: 18 de octubre de 2023).

Calvo, C. (2023) 'El cabo estratégico', *infodefensa*. Disponible en: <https://www.infodefensa.com/texto-diario/mostrar/4334210/cabo-estrategico> (Consultado: 17 de octubre de 2023).

Chan May, O.A., Peña Koo, J.J. and Ceh Varela, E.E. (2016) *Avances y perspectivas de la innovación, investigación y vinculación*. Universidad Tecnológica Metropolitana. Disponible en: <https://www.utmetropolitana.edu.mx/Publicaciones/recursos/may.112016123644Libro%20avances%20y%20perspectivas%20de%20la%20innovacion.pdf#page=76> (Consultado: 7 de octubre de 2023).

Chao Urzainqui, Cte.D.L. (2021) 'Función de combate Inteligencia', en Materiales de la asignatura Táctica y Logística II del Grado de Ingeniería de Organización Industrial. (ed.) *Función de combate inteligencia*. Universidad de Zaragoza.

Ejército de Tierra Español (2021) *Empleo de las Fuerzas Terrestres PD1-001*. Editado por ET. Madrid.

Elbit System (2017) 'MCTR-7200 Family of Software-Defined Radios Multi-waveform tactical IP radio'. Disponible en: https://elbitsystems.com/media/MCTR_7200_Family.pdf (Consultado: 19 de septiembre de 2023).

ET (2019) *FUERZA 35*. Editado por Ejército de Tierra Español. Disponible en: https://ejercito.defensa.gob.es/de/Galerias/Descarga_pdf/EjercitoTierra/Publicaciones/fuerza_35.pdf (Consultado: 10 de octubre de 2023).

ET (2023) *La Brigada 'Guadarrama' designada como la primera unidad para la entrada en servicio de las nuevas radios definidas por software*, Ejército de Tierra Español. Disponible en:



https://ejercito.defensa.gob.es/unidades/Madrid/briacxii/Noticias/2023/14_Radio_Software.html (Consultado: 2 de octubre de 2023).

Fernández Castillo, A. (2022) *Estudio de implementación de la aplicación ATAK como herramienta de apoyo al mando y control en unidades de infantería motorizada para el combate convencional*. Trabajo Fin de Grado. Universidad de Zaragoza. Disponible en: <https://zaguan.unizar.es/?In=es> (Consultado: 3 de octubre de 2023).

García Sobrido, J.M. (2017) *Capacidades y Limitaciones del Sistema BMS*. Trabajo Fin de Grado. Universidad de Zaragoza. Disponible en: <http://zaguan.unizar.es> (Consultado: 18 de septiembre de 2023).

GETAC (2023) *Military Standard (MIL-STD) Certified Solutions*. Disponible en: <https://www.getac.com/es/certifications/military-standard-mil-std-certified-solutions/> (Consultado: 18 de octubre de 2023).

Getac (2023) *Tablet ruggedizada windows F110 | Getac*. Disponible en: <https://www.getac.com/es/products/tablets/f110/> (Consultado: 13 de septiembre de 2023).

Goepel, K.D. (2013) 'Implementing the Analytic Hierarchy Process as a Standard Method for MultiCriteria Decision Making In Corporate Enterprises- A New AHP Excel Template with Multiple Inputs, Proceedings of the International Symposium on the Analytic Hierarchy Process'.

infodefensa.com (2021) 'Telefónica, Aicox y Elbit suministrarán la radio del VCR 8x8 Dragón del Ejército'. Disponible en: <https://www.infodefensa.com/texto-diario/mostrar/3110943/telefonica-aicox-elbit-suministraran-radio-vcr-8x8-dragon-ejercito> (Consultado: 27 de octubre de 2023).

Internationalit (2021) *Topología red Mesh*. Disponible en: <https://www.internationalit.com/post/topologia-de-rede-conhe%C3%A7a-os-principais-tipos> (Consultado: 1 de octubre de 2023).

Logiscenter (2023) *Comprar Getac MOD-F110*. Disponible en: <https://www.logiscenter.com/tablet-getac-f110> (Consultado: 27 de octubre de 2023).

Mando de Adiestramiento y Doctrina (2019) *AGM-TM-402. Sistemas de Mando y Control de Caballería*. Editado por MADOC. Granada.

Menéndez Rillo, A. (2016) *Estudio de la integración de un sistema de seguimiento de tropas en el FFT (friendly force tracking)*. Trabajo Fin de Grado. Universidad de Zaragoza. Disponible en: <https://zaguan.unizar.es/record/99017?In=es> (Consultado: 26 de septiembre de 2023).

Ministerio de Defensa (2018) *Un nuevo concepto de mando y control - Ejército de tierra, MINISDEF*. Disponible en: https://ejercito.defensa.gob.es/reportajes/2018/70_briex2035.html (Accessed: 28 de septiembre de 2023).

Nantes, E.A. (2019) *El método analytic hierarchy process para la toma de decisiones: repaso de la metodología y aplicaciones. Investigación operativa*. RIDCA. Disponible en: <https://repositoriodigital.uns.edu.ar/bitstream/handle/123456789/6060/EI%20m%c3%a9todo%20analytic.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (Consultado: 25 de octubre de 2023).

Revista NRDC (2022) 'The challenge of effective C2 in high intensity operations.', Valencia [Preprint]. Disponible en: https://ejercito.defensa.gob.es/gl/Galerias/Descarga_pdf/Unidades/Valencia/cgtad/Revista_NRDC/HQ_NRDC_n1_2022.pdf (Consultado: 5 de octubre de 2023).

Romero, S.B. and Sanabria, D.F.N. (2018) *Modelo multicriterio aplicado a la toma de decisiones representables en diagramas de Ishikawa*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá. Disponible en: <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/13894/BernalRomeroSergio2018.pdf>



?sequence=1&isAllowed=y (Consultado: 25 de octubre de 2023).

Rosengren, O. (2023) 'Network-centric Warfare in Ukraine: The Delta System'. Disponible en: <https://greydynamics.com/network-centric-warfare-in-ukraine-the-delta-system/> (Consultado: 13 de septiembre de 2023).

Rubio Rodríguez, Cap.D.F. (2023) 'Mando y Control de las PU,s de Caballería. Generalidades.', en Materiales de la asignatura Sistemas de Mando y Control de Caballería del Grado Ingeniería de Organización Industrial (ed.). Universidad de Zaragoza.

Samsung (2023) *Galaxy Tab A 8.0" Wi-Fi 2019: Características*. Disponible en: <https://www.samsung.com/es/tablets/galaxy-tab-a/galaxy-tab-a-8-inch-black-32gb-wi-fi-sm-t290nzkaphe/> (Consultado: 17 de octubre de 2023).

Sancho Val, Dr.J.J. (2022) 'Gestión del tiempo y planificación', en Materiales de la asignatura Oficina de Proyectos del Grado en Ingeniería de Organización Industrial. (ed.). Universidad de Zaragoza.

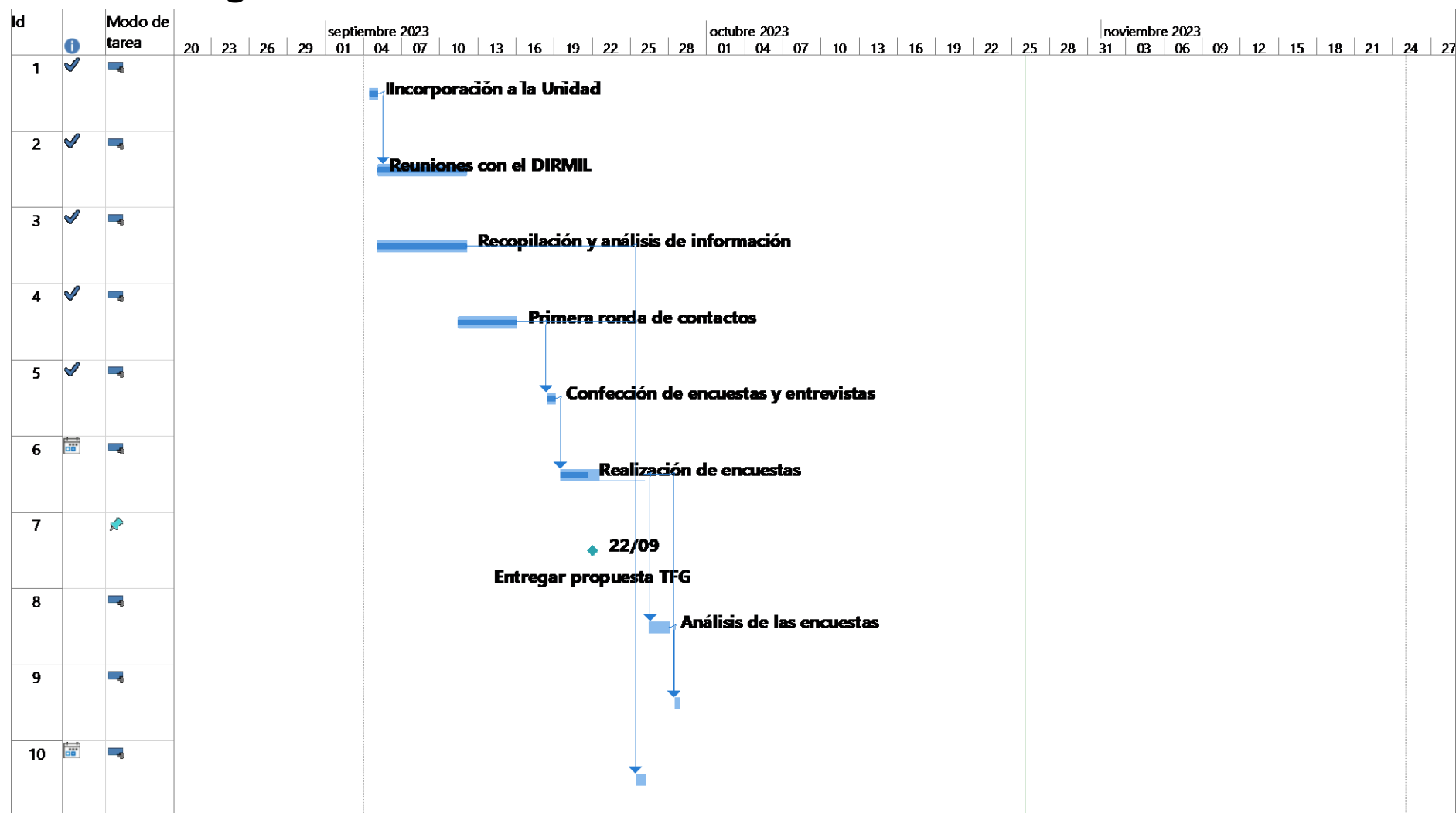
Seldin, J. (2023) 'Russian Malware Targeting Ukrainian Mobile Devices'. Disponible en: <https://www.voanews.com/a/russian-malware-targeting-ukrainian-mobile-devices/7249228.html> (Consultado: 17 de octubre de 2023).

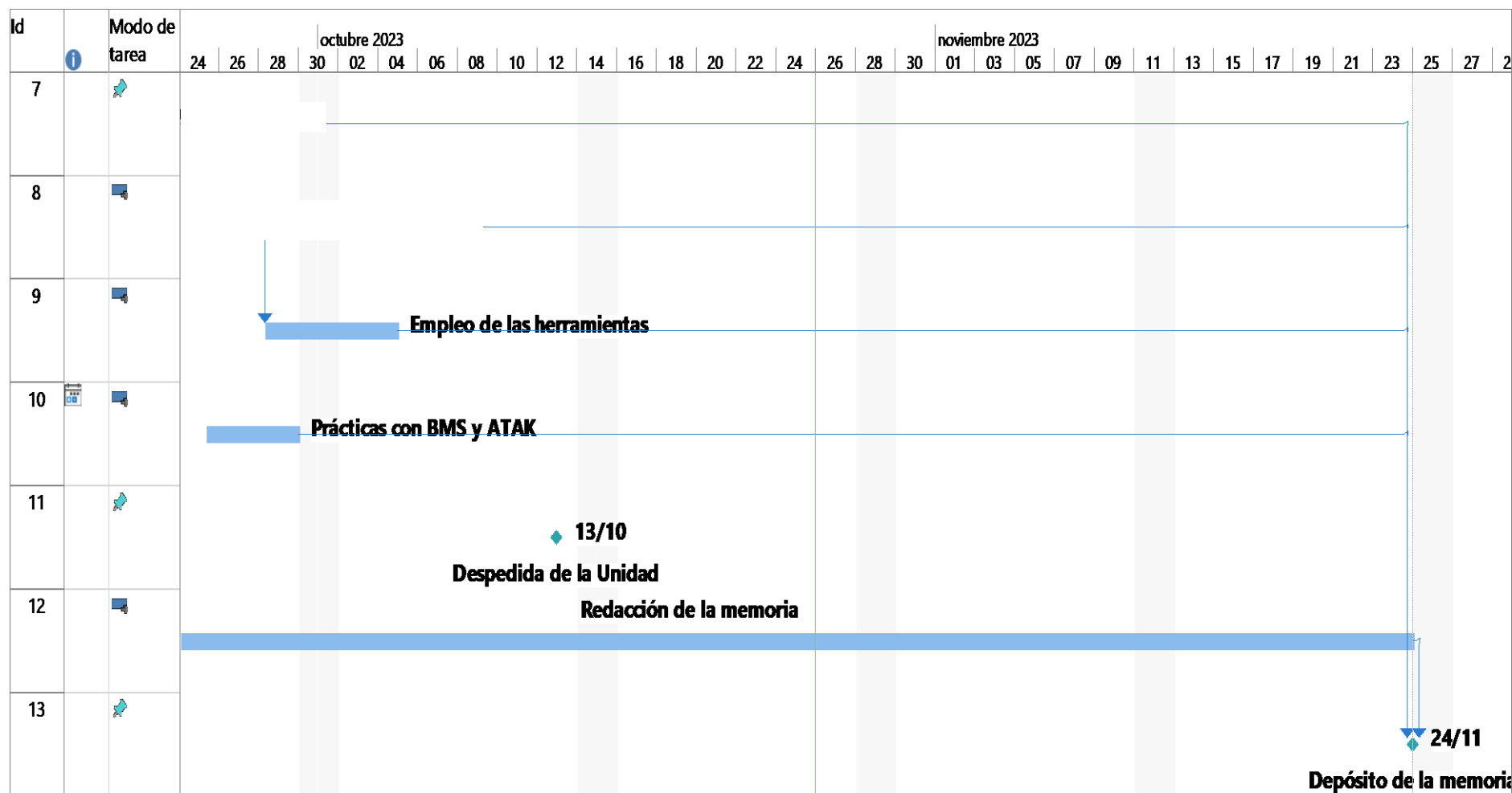
Technologies, H. (2019) 'Harris Falcon III RF-7800M-MP'. Disponible en: <https://www.l3harris.com/sites/default/files/2021-01/cs-tcom-falcon-iii-rf-7800m-mp-multiband-networking-manpack-radio-datasheet.pdf> (Consultado: 19 de octubre de 2023).

U.S. Army (2021) *TRA 2115 A CONCEPT FOR COMMAND AND CONTROL 2028*. United States Army. Austin. Disponible en: <https://api.army.mil/e2/c/downloads/2021/10/06/ffd892d0/afc-concept-for-command-and-control-2028-pursuing-decision-dominance-oct21.pdf> (Consultado: 10 de septiembre de 2023).



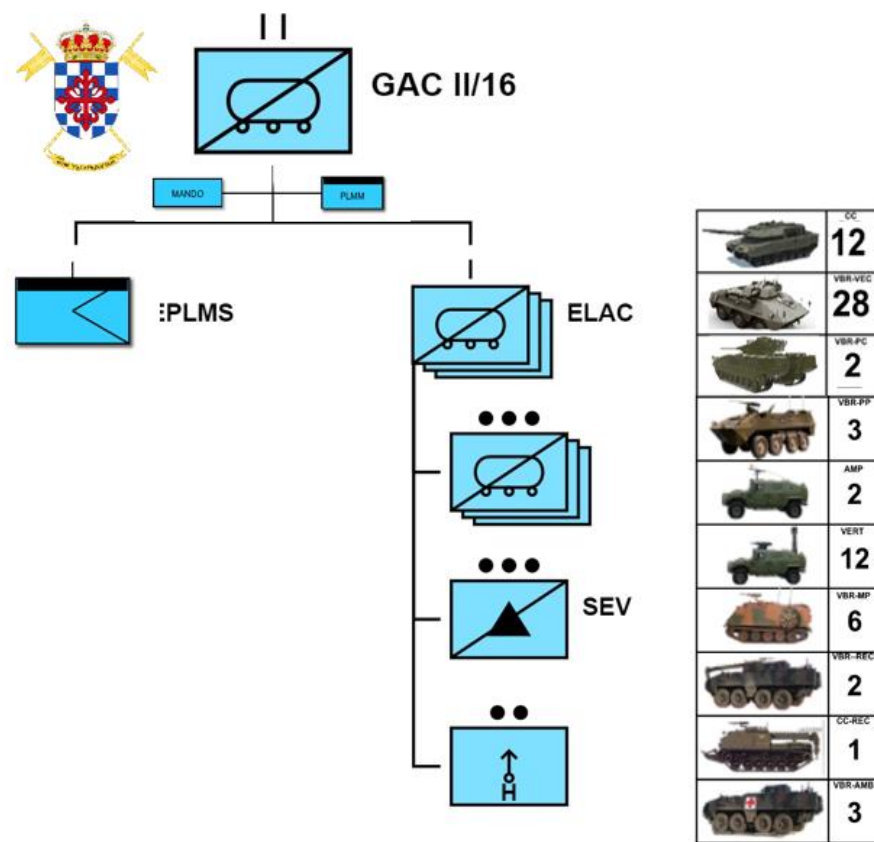
Anexo I. Diagrama de Gantt.







Anexo II. Orgánica por plantilla del GCAC II/16





Anexo III. Entrevista al teniente Cañada destinado en el Batallón de Cuartel General de la Brigada XII.

1. ¿Cuál es su destino actual y que funciones desempeña?

Soy el teniente Sergio Cañada Fernández del CGET, especialidad fundamental transmisiones, actualmente destinado en el Batallón de Cuartel General de la Brigada "Guadarrama" XII, Compañía de Transmisiones, sección de Radio.

2. Cite las principales características que para usted debería tener un sistema de mando y control (tipo BMS) para la toma de decisiones en el campo de batalla.

La principal característica que debería tener un C2S es que sea sencillo para el usuario y fácil de configurar para los administradores. La esencia de un C2S es que tiene que ayudar o auxiliar en la toma de decisiones. Si se convierte en un problema por numerosos fallos, dificultad en el manejo, configuraciones muy laboriosas...) como es el caso del actual BMS, es de escasa utilidad para la ayuda a la toma de decisiones.

Además, en base a mi experiencia y a los problemas que trasladan los usuarios del puesto de mando de Brigada, caben destacar las siguientes características deseadas:

- **Intuitivo:** es necesario que la IHM sea lo más parecida posible a sistemas que se utilizan en el día a día (Android, Windows...). Como norma general, estos usuarios carecen de formación específica para la utilización de estos sistemas, por tanto, si el sistema no es intuitivo no pueden hacer una explotación eficiente del C2S.
- **Flexible:** el C2S debe presentar una cierta variabilidad en la fase de conducción de cualquier operación o maniobra. Con la predominancia de enfrentamientos asimétricos, es necesario que el sistema se adapte de manera sencilla a posibles cambios. Sin ir más lejos, por la inclusión de una nueva unidad en una maniobra, que se introdujo *Ad-Hoc* en un apoyo a la Brigada, se ha tenido que modificar todo el fichero de misión de BMS y repartir a todas las unidades de la maniobra, borrar la base de datos que se estaba utilizando y cargar todo de nuevo. Permitir la entrada dinámica, sin modificaciones en el fichero, es necesario.
- **Interoperable:** las configuraciones entre los actuales C2S, ya sea Talos Táctico, BMS o SC2NET se basan en pasarelas, lo cual puede suponer muchos problemas a la hora de configurar e incluso pueden generar numerosos fallos debido a que no tienen un diseño correcto (como la pasarela COE). Bajo mi punto de vista, sería más correcto utilizar un solo sistema que mediante un rol de privilegios a los usuarios filtre las funcionalidades del sistema que se requieran en cada escalón de mando (sección, compañía, batallón y brigada).
- **Sencillo:** hago hincapié en este aspecto porque en una situación complicada lo sencillo es lo que recuerdo y utilizo. De nada me sirve un sistema con muchas funcionalidades si falla lo más básico (como puede ser que no refresque la posición en BMS o no llegue la mensajería). La tendencia en los puestos de mando de Brigada y en la BRIEX 2035 es al minimalismo, debido a que se está viendo que el sistema va a tener que desarrollarse en un ambiente degradado (debido a la guerra electrónica enemiga).

Al comprar el software, por parte del ET, es necesario adquirir soporte técnico por parte de la empresa desarrolladora e implicación de los ingenieros de esta. Además, de contratar formaciones de calidad con los miembros de la empresa.



3. ¿Qué radio de combate (de dotación o próximo a ello) cree que es la más adecuada para el correcto funcionamiento del sistema? MTCR 7200 HH, PR4G, HARRIS 5800...

La Harris 5800 solo la utilizaría en el caso de tener que transmitir datos a mucha distancia a un puesto de mando en concreto, ya que implica tener que establecer una conferencia punto a punto, es decir, unicast. Por tanto, no es interesante para obtener un ambiente colaborativo y que las unidades tengan una información común. Para usos puntuales, sí.

La PR4G v3s permite una transmisión de la información basada en VHF, lo que permite unos enlaces de unos 10-15 km con garantías (además de la posibilidad de introducir relés para aumentar la distancia y la calidad del enlace). El problema de esto es la velocidad, se está trabajando con una velocidad de transmisiones de datos de hasta 21 kbps aproximadamente, lo cual para ciertas funcionalidades se queda escasa (como el envío de video).

La MTCR 7200 HH posee 3 modos de trabajo principales:

- El WMA y Wideband permiten una transmisión de datos de bastante velocidad, similar a la Spearnet, lo cual no limita las funcionalidades de ningún C2S en cuanto a velocidad de transmisión. El problema viene dado por el alcance en estos modos, que es aproximadamente de 1-2 km (con saltos).
- El NarrowBand (NB) tiene características similares a la PR4G en cuanto a velocidad de transmisión y mejora el alcance. Además, posee menos pérdidas de paquetes en la transmisión a larga distancia. Permite la parametrización mucho más en detalle que la configuración que se puede realizar actualmente en Constellation para PR4G, por tanto, es mejor al sistema actual.

Por lo anterior, me quedaría con el sistema MTCR ya que permite unos enlaces propios de Spearnet y pr4g dentro de un mismo sistema radio.

4. ¿Qué C2S utilizaría y que le lleva a esta decisión? ATAK, BMS, etc.

Actualmente, ATAK es un C2S que se utiliza de manera extraoficial en el ET, debido a los continuos fallos en BMS. No puede centrarse en él, todo el peso de un C2S hasta que no tenga las certificaciones adecuadas y tenga el apoyo de los diferentes organismos CIS del ET, aunque funcione muy bien.

BMS fase II es una actualización que se ha terminado de implementar en las unidades del ET desde febrero de 2023. La actualización incluye nuevas funcionalidades y solventar problemas del pasado, ha mejorado, pero sigue siendo "difícil" para un usuario poco instruido en él.

Talos táctico es una herramienta muy poco utilizada en el ET ya que se piensa que pertenece a Artillería en exclusiva, algo muy lejos de la realidad. Posee funcionalidades similares a BMS y puede ser perfectamente sustituible.

Por tanto, yo utilizaría BMS fase II debido a la gran inversión por parte del ET en él, además de contar con vetronica para los carros de combate; pero contrataría más formación y actualizaciones con la empresa desarrolladora.