



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

IMPLEMENTACIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS E HÍBRIDOS EN UNIDADES DE CABALLERÍA

CAC Aníbal Pascual Manchano

Director académico: Dra. Dña. Sira Hernández Corchete

Director militar: Cap. D. Rubén Melendo Utrilla

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar

2023



Agradecimientos

En primer lugar, me gustaría dar las gracias a mi directora académica y a mi director militar. A la profesora Sira Hernández Corchete por su interés y preocupación por apoyarme en la realización del Trabajo de Fin de Grado y su diligencia a la hora de responder a mis dudas y corregir la memoria. Es un placer trabajar con personas que se implican en su trabajo y, aun teniendo otros quehaceres, consiguen dedicar tiempo para ayudar a los demás a sacar adelante sus proyectos. Y al capitán Rubén Melendo Utrilla, jefe del I escuadrón del GCAC Villaviciosa II/61, y a todo el personal del mencionado escuadrón, por ayudarme durante las prácticas a mejorar mi formación como futuro teniente y a obtener la información necesaria para la elaboración de este trabajo.

De igual manera, me gustaría agradecer al teniente Daniel Garcimartín Sanz y a todo el personal de la primera sección del primer escuadrón su apoyo desde el primer día y la transmisión de sus conocimientos, que me servirán para culminar mi formación de manera exitosa. Todo el tiempo que he pasado con ellos ha sido muy gratificante y he podido trabajar de manera eficaz y constante.

Por último, pero no menos importante, quiero agradecer a mi familia y a mis amigos su apoyo inquebrantable durante todo mi proceso de formación. Sin ellos no sería lo que soy ahora, por lo que me faltan las palabras para reconocerles todo lo que hacen por mí incluso cuando atraviesan circunstancias difíciles. Sin duda, son un pilar fundamental de mi vida.



RESUMEN

Este Trabajo de Fin de Grado pretende analizar la viabilidad de la incorporación de vehículos eléctricos e híbridos a las unidades de Caballería a partir de la consideración de los aspectos técnicos, estratégicos y económicos que pueden condicionar la adquisición por parte del Ejército de Tierra de blindados que vayan equipados con estos motores.

Para cumplir con dicho objetivo, tomando como punto de partida el contexto actual de transición hacia la movilidad ecológica en el que nos encontramos inmersos, en el estado del arte se exponen tanto los principales aspectos que caracterizan a los motores eléctricos como algunas de las experiencias internacionales con vehículos militares que equipan esta tecnología sostenible. Por su parte, en el desarrollo, se despliegan un conjunto de herramientas metodológicas que permiten advertir las ventajas y desventajas de la implementación de los motores eléctricos en vehículos de combate desde tres puntos de vista: técnico, táctico y económico. Entre ellas sobresalen, además de la revisión bibliográfica, la observación directa y la realización de encuestas y entrevistas, los análisis DAFO y FADECO, el análisis de riesgos, el estudio económico y el Despliegue Funcional de la Calidad.

Las conclusiones obtenidas indican que la llegada de motorizaciones eléctricas a los vehículos de combate de Caballería va a tener que esperar a que avance la tecnología y se reduzcan los costes. En el momento actual, su implementación afectaría al cumplimiento de la misión por la duración de los tiempos de carga y las inclemencias meteorológicas. Asimismo, todavía no hay ningún país que tenga en sus unidades de línea vehículos con estas capacidades, por lo que la fase de diseño y adquisición sería larga y costosa en el presente. En consecuencia, la opción más viable en el corto plazo es el motor híbrido alimentado por una unidad de potencia externa, puesto que le da mucha versatilidad táctica, posee los beneficios de un motor de combustión convencional y presenta unas novedosas características como son una baja sonoridad del motor y una buena relación potencia-par.

PALABRAS CLAVE

Motor eléctrico, motor híbrido, motor de combustión, vehículos de combate, Caballería



ABSTRACT

This final degree project aims to analyse the feasibility of integrating electric and hybrid vehicles into Cavalry units, considering the technical, strategic, and economic aspects that could influence the Spanish Army's acquisition of armoured vehicles equipped with these engines.

To achieve this goal and taking the current context of transitioning towards ecological mobility as a starting point, the state-of-the-art section explores both the key features of electric motors and some international experiences with military vehicles equipped with this sustainable technology. In the development phase, a set of methodological tools is employed to assess the advantages and disadvantages of implementing electric motors in combat vehicles from three perspectives: technical, tactical, and economic. These tools include literature review, direct observation, surveys and interviews, SWOT and FADECO analyses, risk analysis, economic study, and Functional Quality Deployment.

The conclusions obtained suggest that the introduction of electric propulsion in Cavalry combat vehicles will have to await technological advancements and cost reductions. Nowadays, its implementation would impact mission fulfilment due to the duration of charging times and adverse weather conditions. Furthermore, no country currently has vehicles with these capabilities in their frontline units, so the design and acquisition phase would be lengthy and costly in the present. Consequently, the most viable option in the short term is a hybrid engine powered by an external power unit, as it offers significant tactical versatility, the advantages of a conventional combustion engine, and innovative features such as low engine noise and a favourable power-to-weight ratio.

KEYWORDS

Electric motor, hybrid motor, combustion engine, combat vehicles, Cavalry.



ÍNDICE DE CONTENIDO

<i>Agradecimientos</i>	I
<i>RESUMEN</i>	II
<i>PALABRAS CLAVE</i>	II
<i>ABSTRACT</i>	III
<i>KEYWORDS</i>	III
<i>ÍNDICE DE FIGURAS</i>	VI
<i>ÍNDICE DE TABLAS</i>	VII
<i>ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS</i>	VIII
1 INTRODUCCIÓN	1
2 OBJETIVOS Y METODOLOGÍA	3
2.1 Objetivos y alcance	3
2.2 Metodología	4
2.1.1 Métodos cualitativos	4
2.1.2 Métodos cuantitativos	5
2.1.3 Métodos mixtos	5
3 ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO	6
3.1 Marco teórico	7
3.1.1 Motores eléctricos y motores híbridos	8
3.1.2 La carga eléctrica	8
3.2 Antecedentes.....	10
3.1.1 Experiencias en vehículos civiles	10
3.1.2 Experiencias en vehículos militares.....	12



4 DESARROLLO: ANÁLISIS Y RESULTADOS	13
4.1 QFD	13
4.2 Análisis de riesgos	16
4.3 DAFO	19
4.4 Observación directa	26
4.5 Estudio de viabilidad económica	30
5 CONCLUSIONES	35
6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38
7 ANEXOS	43
Anexo A: Organización temporal del trabajo	43
Anexo B: Vehículos de combate de Caballería	44
Anexo C: Partes que forman un puesto de carga.....	47
Anexo D: Futuras líneas de investigación	48
Anexo E: Encuesta.....	50
Anexo F: Entrevistas	53
Anexo G: Análisis FADECO	58



ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1. Avería de un VEC que partió la barra de dirección durante un tema táctico.	7
Ilustración 2. A la izquierda, autobús eléctrico de Zaragoza. A la derecha, militar español sosteniendo el dron Raven 100% eléctrico.....	11
Ilustración 3. M2A3 Bradley IFV americano	12
Ilustración 4. Prototipo AbramsX en la feria AUSA.....	12
Ilustración 5. Despliegue de una sección de VEC en el Ejercicio Toro 2023 en San Gregorio .	15
Ilustración 6. Segundo escalón de la base “El Empecinado”.....	19
Ilustración 7. Personal del ELAC 1/II/61 instruyéndose en reconocimiento de itinerarios.	21
Ilustración 8. Motor de un VEC	24
Ilustración 9. Vaciado de los fluidos que quedan en barcaza.....	24
Ilustración 10. Marcha de 140 km por carretera	29
Ilustración 11. Leopard en San Gregorio	29
Ilustración 12. Factura de la luz de 2019.	30
Ilustración 13. Factura de la luz de 2022 con precio punta y valle.	33
Ilustración 14. VEC.....	44
Ilustración 15. Leopard 2E.	45
Ilustración 16. VRCC Centauro.....	45
Ilustración 17. Pizarro.....	46
Ilustración 18. Estación de carga rápida PowerElectronics.	47
Ilustración 19. Reventón de la rueda de un VRCC Centauro en San Gregorio.....	49
Ilustración 20. Resultado de la pregunta 1 de la encuesta.	50
Ilustración 21. Resultado de la pregunta 2 de la encuesta.	50
Ilustración 22. Resultado de la pregunta 3 de la encuesta.	51
Ilustración 23. Resultado de la pregunta 4 de la encuesta.	51
Ilustración 24. Resultado de la pregunta 5 de la encuesta.	52
Ilustración 25. Resultado de la pregunta 7 de la encuesta.	52



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Análisis QFD.	14
Tabla 2. Análisis cualitativo de riesgos.	17
Tabla 3. Análisis cuantitativo de riesgos.	17
Tabla 4. Análisis DAFO, elaboración propia.	20
Tabla 5. Tabla con modelos de vehículos y especificaciones.	26
Tabla 6. Tabla con modelos de vehículos y distintas autonomías.	27
Tabla 7. Kilometraje durante las maniobras del GCAC Villaviciosa II/61	29
Tabla 8. Tabla de consumos del VEC según la gama de marchas.	34
Tabla 9. Diagrama de GANT.	43



ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS

- DIRMIL: director militar del Trabajo de Fin de Grado
- EE.UU.: Estados Unidos de América
- ELAC: escuadrón ligero acorazado
- F: carnet F de un blindado
- FADECO: factor, deducción y conclusión
- GCAC: Grupo de Caballería Acorazado
- GM: General Motors
- H: High
- IFV: Infantry Fighting Vehicle (Vehículo de combate de Infantería)
- KM: kilómetros
- kW: kilovatios
- kWh: kilovatios-hora
- L: Low
- M: Medium
- NEDC: New European Driving Cycle (Nuevo Ciclo Europeo de Conducción)
- OCDE: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
- OTAN: Organización del Tratado del Atlántico Norte
- PPT: pliego de prescripciones técnicas
- QFD: Quality Function Deployment (Despliegue de la Función de Calidad)
- RACE: Real Automóvil Club de España
- SLAC: Sección Ligero Acorazada
- TFG: Trabajo de Fin de Grado
- T: Tonelada
- TTP: Tácticas, Técnicas y Procedimientos
- UAV: Unmanned Aerial Vehicle (Vehículo Aéreo no Tripulado)



- VEC: Vehículo de Exploración de Caballería
- VRCC: Vehículo de Reconocimiento y Combate de Caballería
- WLPT: World Wide Harmonized Light Vehicles Test Procedures (Procedimiento Mundial Armonizado para Ensayos de Vehículos Ligeros)
- ZRN: Zona de Reunión



1 INTRODUCCIÓN

En el marco de la investigación sobre la movilidad sostenible y eficiente, los vehículos eléctricos han emergido como una tecnología de vanguardia que promete revolucionar el transporte terrestre. Estos vehículos, impulsados por motores eléctricos alimentados por baterías recargables, van ganando terreno paulatinamente en el mercado debido a su capacidad para reducir las emisiones hacia la atmósfera de gases contaminantes de efecto invernadero y reducir la dependencia actual hacia los fósiles.

Por otra parte, los motores eléctricos tienen prestaciones que, conforme avanza la tecnología, irán optimizándose y abaratando sus costes. Entre estas características destacan la relación potencia-par, la eficiencia energética, el bajo coste de mantenimiento, las ventajas fiscales implementadas por la Administración y el ahorro energético, entre otros muchos aspectos que se detallarán en esta memoria. No obstante, su potencial va más allá de las carreteras y las ciudades, ya que en un futuro puede haber una interesante posibilidad de adaptación en contextos militares, como es el caso de los vehículos de combate de las unidades de Caballería. La investigación civil y la militar han ido siempre de la mano a lo largo de la historia. Las grandes potencias militares han sabido adoptar una perspectiva tecnológica de futuro. Si se quiere estar a la vanguardia de las potencias militares internacionales hay que saber adaptarse a las actualizaciones tecnológicas antes que el resto de los ejércitos. Todas las líneas de investigación actuales apuntan al desarrollo de motores eléctricos más eficientes y de baterías más seguras y con más capacidad y al abaratamiento de los costes de uso y mantenimiento.

El corazón de un vehículo eléctrico reside en su batería, que almacena la energía necesaria, como si de un depósito de combustible se tratara, para impulsar el vehículo. En la actualidad, los vehículos eléctricos utilizan distintos tipos de baterías, entre las que destacan, por su eficiencia, densidad energética y durabilidad, las de iones de litio. Estas baterías han permitido alcanzar importantes avances en autonomía, que es la distancia que un vehículo eléctrico puede recorrer con una sola carga. Por otra parte, en comparación con un turismo de combustión, el precio que cuesta actualmente recorrer 100km podría estar entre tres y cinco veces más que uno eléctrico, como se detallará en el marco teórico. También hay que tener en cuenta aspectos logísticos como qué tarifas de la luz tienen contratadas los cuarteles y cuántas horas se precisan para cargar las baterías. Además, la potencia de los motores eléctricos ha mejorado significativamente en los últimos años, brindando un rendimiento similar o superior al de los motores de combustión interna. Por lo demás, también es necesario considerar la sencillez de los motores eléctricos, en los que no hay piezas en rozamiento, de manera que prácticamente toda la energía de la batería se transforma en movimiento. Este rendimiento se obtiene en todas las velocidades, a diferencia de un motor de combustión que, para que entregue toda la potencia, requiere que el vehículo esté más revolucionado (Piancastelli *et al.*, 2023).

El mundo se encuentra, por lo tanto, ante un proceso de transición histórico. La tecnología de los vehículos eléctricos no se detiene en su estado actual. La investigación y el desarrollo continúan, y se espera que en los próximos años se produzcan avances sustanciales en baterías de mayor capacidad, menor peso, métodos de recarga más rápidos y eficientes y sistemas de gestión de energía más avanzados. La previsión de la superación tecnológica de las limitaciones actuales en términos de autonomía, potencia y seguridad hace que los vehículos eléctricos sean aún más atractivos para una variedad de aplicaciones, incluidas las



militares. Sin ir más lejos, Europa pretende detener la fabricación de coches de combustión en 2035 (Real Automóvil Club de España, 2023a). Por otra parte, estas mejoras no solo se centrarían en los motores eléctricos, ya que también se está trabajando en la generación de otras fuentes renovables para mejorar la movilidad de una forma sostenible, por ejemplo, el hidrógeno (Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 2023). El petróleo y sus derivados son finitos y los grandes volúmenes de CO₂ que emiten a la atmósfera son nocivos para la salud del planeta y de la humanidad que lo habita.

En este contexto, el presente Trabajo de Fin de Grado se va a centrar en explorar la viabilidad de la implementación de vehículos eléctricos e híbridos de combate en las unidades de Caballería en un momento en el que la innovación y la adaptación tecnológica se han convertido en elementos esenciales para la seguridad y la eficacia en el campo de batalla. En particular, se examinará cómo las características de estos vehículos, es decir, su capacidad de recarga, autonomía y potencia, pueden traducirse en beneficios estratégicos y operativos para el Ejército de Tierra. Además, se analizará la posibilidad de una futura adaptación de las tecnologías emergentes en vehículos eléctricos a aplicaciones militares, considerando las implicaciones en términos de movilidad, eficiencia energética y sostenibilidad. Se estudiarán sus ventajas y desventajas tácticas y cómo estas pueden verse afectadas dependiendo del tipo de motor eléctrico que se emplee.



2 OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

2.1 Objetivos y alcance

El objetivo del trabajo es analizar la posibilidad y conveniencia de la implementación de motores eléctricos en vehículos de combate de Caballería. En concreto, los motores que se van a considerar son los exclusivamente eléctricos, los híbridos enchufables y los híbridos no enchufables con una unidad de potencia externa. Para ayudar a la toma de decisiones, se van a considerar sus ventajas y desventajas tácticas, su viabilidad logística y económica, así como los distintos problemas y riesgos que entrañan. En este sentido, el estudio valorará aspectos como el coste de la energía y del mantenimiento, el gasto económico inicial, la autonomía, el tiempo y las infraestructuras de recarga, las materias primas necesarias, los diferentes elementos de un motor eléctrico, los tipos de cargadores o el futuro de dichos motores. A partir de este análisis se extraerán las conclusiones acerca de la capacidad de desarrollo actual que tienen los motores eléctricos y de la oportunidad de aplicarlos o no a los vehículos de combate de Caballería.

Para alcanzar este objetivo principal, se han establecido otros específicos con el fin de cubrir todos los puntos de interés del trabajo. Son los siguientes:

- Conocer las características de los motores eléctricos y el estado actual de dicha tecnología para orientar adecuadamente la toma de decisiones acerca de la implementación de tales motores en los blindados de Caballería.
- Verificar las especificaciones más importantes de un vehículo de combate de Caballería y los potenciales riesgos que implicaría la introducción en ellos de la motorización eléctrica para proponer las correspondientes medidas correctivas.
- Estudiar la viabilidad económica de la adquisición de vehículos eléctricos de combate para las unidades de Caballería del Ejército de Tierra a partir del estudio de la inversión inicial y del ahorro a largo plazo que esta tecnología supone para los turismos convencionales.

Se parte de la hipótesis de que nos encontramos en un momento en el que el mundo está realizando una transición irreversible hacia una movilidad sostenible. La tendencia del mercado actual y las “políticas verdes” apuntan hacia la electrificación del transporte. No obstante, es difícil realizar una prospectiva exacta de la evolución tecnológica, ya que está sujeta a múltiples condicionantes, entre ellos, la inquietante e incierta situación geopolítica mundial o la evolución de la economía. En este sentido, el alcance del proyecto puede verse limitado por esta circunstancia, al igual que por la falta de experiencia y de conocimiento de la movilidad sostenible del personal que trabaja en el segundo escalón de las dependencias militares y del personal de las unidades de línea consultados. Este hecho se debe a que el Ejército de Tierra no ha impartido aún la necesaria formación sobre la tecnología híbrida y eléctrica a los implicados y existe, por lo tanto, un palpable desconocimiento sobre el objeto de estudio de esta investigación, pese a que sobre la mecánica general de vehículos tienen una amplia experiencia, ya que en el día a día de las unidades el mantenimiento es clave para la conservar la operatividad de los vehículos.



2.2 Metodología

Para alcanzar los objetivos que se acaban de señalar se han empleado metodologías tanto cuantitativas como cualitativas y mixtas. Aunque estas se desarrollan en los apartados 3 y 4, a continuación se explican sus características principales.

2.1.1 Métodos cualitativos

- Revisión bibliográfica, encuestas y entrevistas

Aunque no poseen un apartado específico en la memoria, las primeras metodologías cualitativas empleadas han sido la revisión bibliográfica, las entrevistas semiestructuradas a dos expertos y la encuesta realizada a una muestra de soldados del GCAC Villaviciosa II/61.

- DAFO

El análisis DAFO, también conocido como análisis FODA, es una metodología para evaluar la situación de un proyecto determinado a partir del examen de sus características internas (Fortalezas y Debilidades) y de su entorno (Oportunidades y Amenazas). El acrónimo proviene de las siglas en inglés SWOT (*Strengths, Weaknesses, Opportunities y Threats*). (Velázquez, 2022). En este trabajo, el propósito de este análisis es aportar la información recabada sobre la situación actual de los vehículos eléctricos para que el Ejército de Tierra pueda tomar las oportunas decisiones acerca de su implementación en las unidades de Caballería y realice los ajustes organizativos que mejor se adapten a las demandas del entorno y del mercado. Al tratarse de un organismo público, estos ajustes se tendrán que especificar en un Pliego de Prescripciones Técnicas (PPT) antes de convocar la licitación pública.

- Análisis FADECO

El análisis FADECO consiste en la extracción analítica de conclusiones. Se parte de la presentación de un factor (ya sea positivo o negativo) y, sobre esa base, se obtiene una deducción argumentada de las consecuencias que este tiene en general, para, seguidamente, presentar una conclusión de cómo afecta al proyecto concreto que se está analizando y que, en este caso, es la electrificación de los medios de combate de Caballería. La presentación es muy esquemática, de manera que se van enumerando todos los factores que se puedan extraer: factor, explicación del factor, deducción, conclusión y consecuencias para el proyecto (Véase Anexo G: Análisis FADECO).

Esta herramienta es muy útil para cuestionarse todas las causas que llevan a tomar una decisión y justificar todos los argumentos que se aportan. Su uso es muy común en el ámbito militar, especialmente, en las exposiciones de los mandos en las órdenes de operaciones, ya que de esta manera justifican todas las formas de llevar a cabo las acciones tácticas.



2.1.2 Métodos cuantitativos

- Observación directa

El método de observación directa se ha utilizado en esta investigación para un trabajo de campo en el que se han realizado mediciones de los kilómetros diarios recorridos por un VEC del ELAC 1/II/61 y un Leopard 2E durante una semana de instrucción del GCAC Villaviciosa II/61. El objetivo era calcular la autonomía máxima que ambos precisarían en un día de maniobras en el caso de tener motores eléctricos e incluir este requisito en un posible PPT.

- Viabilidad económica

En la metodología de viabilidad económica se compara el precio por cada 100 km de un turismo de combustión respecto a uno eléctrico para poder extraer el ahorro energético a los vehículos de combate. Se utilizan turismos civiles debido a la disponibilidad de datos empíricos para llevar a cabo la comparativa.

2.1.3 Métodos mixtos

- Análisis de riesgos

El análisis de riesgos que se realiza en este estudio es doble: cualitativo y cuantitativo. El primero trata de evaluar la importancia de los riesgos identificados a través de factores como la probabilidad de ocurrencia o el impacto potencial en los objetivos del proyecto. Para esta evaluación se emplea una matriz de probabilidad e impacto. Esta ayuda a identificar riesgos que no se habían considerado y a tenerlos presentes para poder implantar las medidas oportunas que mitiguen sus causas y efectos. El puntaje asignado a los diferentes riesgos sirve como guía para determinar las respuestas adecuadas a estos y calificarlos para identificar los más peligrosos.

En el proceso de cuantificación, se determina el número de riesgos de cada tipo y se integran en una matriz para abordarlos en función de su prioridad. De este modo se identifica muy gráficamente el número de riesgos que se incluyen en cada categoría. Además, el análisis cuantitativo se centra en los riesgos previamente priorizados durante el análisis cualitativo debido a su potencial impacto significativo en la gestión del proyecto (CUD, 2022).

- Despliegue funcional de la calidad (QFD)

El Despliegue de la Función Calidad (QFD, por sus siglas en inglés) se refiere al *Quality Function Deployment*. Esta metodología es comúnmente denominada como "la voz del cliente", ya que supone la transmisión de requisitos según los intereses del usuario. También se conoce como "la casa de la calidad" por la apariencia de una de sus representaciones gráficas. En esencia, el QFD tiene dos propósitos fundamentales: 1) identificar las necesidades y expectativas de los clientes externos e internos de la organización interesada en realizar el análisis; y 2) evaluar y clasificar la satisfacción de estas expectativas según su relevancia estableciendo unas relaciones numéricas que ayudan a identificar prioridades dentro de los requisitos del usuario. Una vez realizado el análisis, hay que concentrar todos los recursos, tanto humanos como materiales, en el cumplimiento de estas expectativas.



3 ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

La Caballería es una de las Especialidades Fundamentales del Ejército de Tierra. Se caracteriza por ser un arma de maniobra y emplear medios acorazados para el cumplimiento de sus misiones. Para determinar los requisitos respecto a la motorización que deben cumplir sus blindados, es importante conocer primero las características y los cometidos que tienen asignados las unidades de esta especialidad.

La Caballería es el arma del reconocimiento, de la seguridad y del contacto por excelencia. Su finalidad es satisfacer las necesidades de información y su transmisión a los escalones superiores para la toma de decisiones y contribuir a la seguridad. Cuanto más se conoce al enemigo, mejor se puede actuar. Cabe recordar la máxima ya recogida por Sun Tzu en el S. V a.C.: “Conocer al enemigo es vencer”. Para ello, los componentes del arma llevan a cabo reconocimientos de itinerarios, áreas o puntos sensibles montados, a pie o por el fuego.

Por otra parte, la Caballería puede cumplir la misión de otorgar seguridad mediante las acciones tácticas de protección a los flancos, las protecciones a la retirada, retardos, líneas de vigilancia o actividades de estabilización y patrullaje, entre otras. Los objetivos de estas acciones son mantener la libertad de acción en términos de espacio y tiempo frente a los movimientos del enemigo, prevenir la sorpresa, mantener la capacidad de combate para misiones futuras y obstaculizar la obtención de información por parte del enemigo para entorpecer la toma de decisiones de sus cuadros de mando.

Por último, la misión de contacto la realiza mediante ataques premeditados o el combate de encuentro. La finalidad, en este caso, es localizar y mantener el contacto con el enemigo para procurar su destrucción y garantizar la seguridad de la propia fuerza.

Los rasgos principales de la Caballería son, por lo tanto, la velocidad, la movilidad de sus unidades, la flexibilidad y la fluidez, de las que derivan su rapidez de maniobra y su gran radio de acción. La audacia, la acometividad, la iniciativa y el espíritu de sacrificio son otras de sus virtudes sobresalientes, que comprendían y caracterizan el tradicional espíritu jinete de sus soldados. Estas virtudes están presentes en todas las misiones que lleva a cabo un militar que pertenece al arma, bien en el día a día, en períodos de instrucción o desplegado en el teatro de operaciones (Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2011).

Para acometer dichas misiones, los miembros del arma deben saber en todo momento:

- a) Anticiparse a las acciones de las fuerzas enemigas tomando la iniciativa en la maniobra y obstaculizando la del adversario.
- b) Lograr eficiencia al asumir la responsabilidad de áreas de acción que abarcan frentes y profundidades significativamente mayores que las asignadas a otras unidades de maniobra mediante el uso de unos medios que les permiten el enlace a mucha distancia y el movimiento veloz por cualquier tipo de terreno.
- c) Tener la capacidad de concentrar o dispersar sus activos lanzando ataques sorpresivos en los puntos estratégicos más adecuados. La oportunidad de concentrar una elevada cantidad de fuego en un punto concreto permite luego disgregar la unidad y tomar otras posiciones.
- d) Saber cuándo romper el contacto trasladándose a nuevas posiciones o alterando el eje de sus esfuerzos.
- e) Neutralizar la capacidad ofensiva del enemigo mediante contraataques gracias a su velocidad.



f) Minar la disposición de resistencia del enemigo capitalizando los logros obtenidos a través de la explotación y la persecución, que se pueden llevar a cabo tanto de manera independiente como en colaboración con otras fuerzas.

Las principales limitaciones que tiene el arma de Caballería son:

- Necesidad de apoyo logístico para solventar averías y dar continuidad a las operaciones.
- Personal especializado: el personal que compone la tripulación de los vehículos necesita conocer su puesto táctico a la perfección y las peculiaridades de la plataforma en la que realizan sus misiones. En el caso de que una persona cause baja es complicado reponerla, porque necesita una formación considerable¹.
- Vulnerabilidad aérea: las características de los blindados les hacen vulnerables a medios aéreos como aviones, helicópteros y drones, debido a su alta velocidad y maniobrabilidad que hace muy difícil emplear el armamento principal. Habitualmente los medios acorazados equipan ametralladoras antiaéreas para intentar suplir esta deficiencia.

Ilustración 1. Avería de un VEC que partió la barra de dirección durante un tema táctico.



Fuente: elaboración propia.

3.1 Marco teórico

En este epígrafe se presenta el estado del arte respecto a las características principales de los motores eléctricos e híbridos y a las posibilidades de implementarlos en los vehículos de combate de Caballería por las experiencias civiles con vehículos pesados y por la existencia de varios prototipos militares.

¹Durante las prácticas realizadas en el GCAC Villaviciosa II/61 se llevaron a cabo unas maniobras a nivel grupo y en el ELAC 1/II/61 había falta de conductores con el F de VEC para poder pilotar esta plataforma. Hubo que solicitar apoyo de otros escuadrones para suplir esta carencia.



3.1.1 Motores eléctricos y motores híbridos

Un motor eléctrico es un dispositivo electromecánico que convierte la energía eléctrica en movimiento mecánico mediante la interacción de campos magnéticos (Universidad Nacional de la Plata, 2018). Está compuesto por una batería y un conjunto inversor-motor que transforma esa energía que almacena la batería en movimiento. Cuando se aplica una corriente eléctrica al motor, se genera un campo magnético que provoca el accionamiento del rotor y, por lo tanto, el movimiento del eje. Los motores eléctricos son eficientes, silenciosos y pueden variar su velocidad de funcionamiento. Se utilizan en una amplia gama de aplicaciones, entre las que se incluyen los vehículos eléctricos, patinetes o drones.

Un sistema híbrido integra un motor de combustión interna junto con un motor eléctrico. Existen dos tipos: enchufables y no enchufables. Los primeros poseen una batería recargable. La característica distintiva de estos motores es que pueden conectarse a una fuente de carga externa, por ejemplo, una toma de corriente, para recargar la batería. Esta energía eléctrica almacenada se utiliza para complementar o reemplazar la potencia del motor de combustión interna, lo que aumenta la eficiencia y reduce las emisiones de gases contaminantes. Los motores híbridos enchufables son capaces de funcionar en modo completamente eléctrico solo durante un tiempo limitado, debido a sus limitaciones de diseño al integrar dos sistemas de propulsión. Cuando se agota la energía eléctrica, el motor de combustión interna entra en funcionamiento (ZonaEco Hyundai, 2020).

Por su parte, un motor híbrido no enchufable también combina un motor de combustión interna con uno eléctrico, pero, a diferencia de los híbridos enchufables, no se pueden cargar desde una fuente externa. En este caso, la energía eléctrica se genera internamente mediante la regeneración durante la frenada y otros momentos de sobrante de energía. Un generador de potencia externa, como un alternador, convierte la energía mecánica generada por el motor de combustión interna en electricidad para cargar la batería. La electricidad almacenada se utiliza para asistir al motor de combustión interna en momentos de alta demanda de potencia, mejorando la eficiencia del vehículo y reduciendo el consumo de combustible. Estos motores son comunes en vehículos convencionales que no dependen de la carga eléctrica externa, pero pueden ser de interés para el empleo en unidades militares al tener la versatilidad táctica de un motor de combustión y de un eléctrico sin depender de la carga de la red eléctrica (ZonaEco Hyundai, 2022).

3.1.2 La carga eléctrica

De igual modo que los motores de un automóvil convencional almacenan en su depósito gasolina o gasoil, los vehículos eléctricos acumulan kilovatios en sus baterías a través de un cargador conectado a la red eléctrica. Actualmente existen dos tipos de puntos de recarga, a saber, las electrolineras y los puntos de recarga comercial/doméstica. Ambos están orientados básicamente al mercado civil. Por eso, en los acuartelamientos en los que hay algunos vehículos eléctricos que se utilizan para el transporte interno se está procediendo a la instalación de puntos de carga como los que hay en un domicilio particular.

Las electrolineras son la equivalente eléctrica de las estaciones de servicio convencionales. Estas "gasolineras eléctricas" se ubican principalmente a lo largo de las carreteras y ofrecen una velocidad de carga "alta", es decir, poseen cargadores con un elevado número de kilovatios que permiten una carga más rápida. Variarán en tamaño dependiendo del número de postes de carga, de manera similar a la variación en la cantidad de surtidores en las



gasolineras actuales (Tomás Catalá, 2019).

Por otro lado, los puntos de recarga comercial/doméstica engloban en la actualidad cualquier infraestructura que posibilite la recarga, en general, a una velocidad "lenta". Estos puntos se encuentran en diversas ubicaciones, como edificios de viviendas, chalés, centros comerciales, concesionarios o estacionamientos, entre otros. Ofrecen una recarga a baja potencia, es decir, con un cargador que proporciona escasos kilovatios, debido a las propias limitaciones que tiene la tarifa de luz que tienen contratada.

Es fundamental comprender que, por naturaleza, los vehículos eléctricos actualmente están diseñados para cargarse principalmente en el hogar, en el lugar de trabajo o en aquellos espacios donde se pasa la mayor parte del tiempo durante períodos nocturnos en los que no se está haciendo uso del vehículo. Este hecho es, junto con la autonomía que no favorece la transición generalizada al coche eléctrico, uno de sus factores limitantes. La visita a una electrolinera con carga de alta velocidad se reserva para circunstancias ocasionales, como desplazamientos largos, al resultar más cara la recarga. En este sentido, para la adquisición de vehículos de combate eléctricos es imprescindible la instalación de puestos de carga en la línea donde se estacionan los vehículos durante largas horas, para poder llevar a cabo esas cargas lentas que son más económicas mientras no se hacen uso de ellos, que, generalmente, suele ser durante la tarde y la noche. Sería un sistema similar al que se usa al conectar el Leopard 2E a la red para conservar en buen estado sus baterías con el sistema Stecamat.

Los vehículos demandan una carga de naturaleza inteligente debido a la gran capacidad de sus baterías, es decir, se requiere una interacción a través del cable de conexión entre el vehículo, en particular, su batería, y el dispositivo de carga externo para que todo discorra en términos de seguridad (Véase Anexo C: Partes que forman un puesto de carga). Por eso, no es indiferente cargar a velocidades y potencias elevadas en las electrolineras que hacerlo a velocidades más bajas y potencias reducidas en el hogar. Cada entorno demanda un nivel de comunicación y una capacidad de adaptación distintos.

Las altas potencias de carga generan una mayor producción de calor y es relevante recordar que las baterías cuentan con un sistema de gestión (*Battery Management System* o BMS, por sus siglas en inglés) que vela por su seguridad y su vida útil. Las principales funciones del BMS son:

1. Control de temperatura: el BMS supervisa y controla la temperatura de la batería para evitar que alcance valores críticos tanto en el extremo alto como en el bajo. En caso de temperaturas inadecuadas, ajusta la velocidad de carga para mantener la batería dentro de los límites seguros. La seguridad de la batería se prioriza sobre la velocidad de carga para garantizar su longevidad y hacer un mantenimiento preventivo que ahorre dinero y problemas al usuario.

2. Equilibrio de celdas: Para preservar la vida útil de la batería es fundamental que todas las celdas se mantengan equilibradas en términos de carga. El BMS interviene conectando o desconectando celdas cuando alguna supera o cae por debajo de los límites predefinidos para evitar desequilibrios perjudiciales.

3. Carga hasta el 80%: La velocidad de carga de las baterías de iones de litio no es constante del 0% al 100%. Por lo general, se carga rápidamente hasta aproximadamente el 80% y luego la velocidad disminuye. El BMS administra este proceso para proteger la batería y garantizar una carga segura y eficiente (Mareca Miralles, 2018).

Por lo tanto, la velocidad de carga no es algo fijo, como en los motores de combustión, sino que depende de varios factores, como el tipo de cargador utilizado, la infraestructura de



carga y, en los casos de carga rápida, también de la decisión del sistema de gestión de la batería BMS de ralentizar el proceso por razones de seguridad.

Por último, entre los elementos de recarga de la batería también es preciso reseñar la existencia del freno regenerativo, que es una mecánica nueva que incorporan tanto los vehículos híbridos como los puramente eléctricos. Este tipo de freno elimina el freno motor que habitualmente usan los vehículos de combustión para evitar que se acelere en un trayecto descendente con una marcha corta o para frenar más rápido recurriendo a la reducción de marchas. Cuando se presiona el acelerador, se produce el flujo de energía desde la batería hacia el motor que hace que el vehículo se mueva. Si hemos habilitado la función de freno regenerativo, al liberar el acelerador, el vehículo realiza un frenado activo, lo que conlleva que la energía fluya desde el motor hacia la batería en una dirección opuesta a la descrita previamente. Esta energía se almacena, lo que aumenta la autonomía del vehículo, además de contribuir a prolongar la vida útil de las pastillas de freno, ya que se reduce en gran medida su desgaste (Real Automóvil Club de España, 2023b).

3.2 Antecedentes

La experiencia de incorporar vehículos eléctricos e híbridos en vehículos pesados civiles y en vehículos de combate de ejércitos como el estadounidense, el alemán o incluso el español ofrece valiosas lecciones aprendidas acerca de la efectividad que esta tecnología puede llegar a tener en diversos contextos militares. A continuación se exponen algunas de estas experiencias para que sirvan de contexto para el análisis posterior.

3.1.1 Experiencias en vehículos civiles

Dependiendo de la época de la historia de nuestra civilización, la investigación civil ha creado mejoras en el terreno militar y viceversa. En este sentido, en la actualidad hay varias creaciones civiles que invitan a pensar que es posible una adaptación de las motorizaciones eléctricas a los vehículos de combate, ya que se equipan en vehículos más pesados, como los autobuses o los camiones, y de características similares a las de un blindado.

Los autobuses eléctricos han evolucionado en términos de autonomía y eficiencia, y la incorporación de esta tecnología en vehículos militares podría proporcionar en el futuro una plataforma móvil silenciosa para el transporte de tropas y equipos en zonas de operaciones y campos de instrucción. Hay muchas ciudades de España en los que los autobuses integran ya esta tecnología, por ejemplo, Zaragoza (ver Ilustración 2 izquierda). En su línea 38 ya circula un autobús Mercedes eCitaro, que es 100% eléctrico y permite realizar su jornada completa de 7:00 a 23:00 gracias a una batería con una capacidad de 588kWh —la de los turismos oscila entre 30kWh y 70kWh— y un conector de carga de 150kW (El Periódico de Aragón, 2023). El peso de este autobús es de 13,44 toneladas, por lo que no dista mucho de las 15 de un VEC en orden de combate (Véase Anexo B: Vehículos de combate de Caballería). Por eso, precisamente, este último es el vehículo por el que se decantan el 75% de los encuestados para implementar un motor eléctrico (Véase Anexo E: Encuesta).



Ilustración 2. A la izquierda, autobús eléctrico de Zaragoza. A la derecha, militar español sosteniendo el dron Raven 100% eléctrico.



Fuente: Ayuntamiento de Zaragoza (2022)



Fuente: Infodron (2017)

En el ámbito de la logística, los camiones eléctricos comerciales se utilizan para el transporte de carga de manera eficiente. Empresas punteras como Volvo, Mercedes o Renault ya ofrecen esta tecnología con una autonomía considerable de unos 500 km. Al adaptar esta tecnología a camiones militares, se podría lograr una logística más sostenible y eficiente en el campo de batalla, lo que reduciría la dependencia de combustibles fósiles y las emisiones. (Marín, 2023). Por otra parte, la tecnología que equipan estos camiones tampoco dista mucho de la que debe equipar un vehículo de combate, ya que hay motores de blindados de combate como el VEC que son prácticamente similares a los de un camión.

En cuanto a los vehículos aéreos no tripulados (UAV) eléctricos (Ilustración 2 derecha) que se utilizan en aplicaciones civiles como la vigilancia y el transporte de carga, ya están siendo adaptados para misiones de reconocimiento y apoyo en operaciones militares, proporcionando una ventaja táctica adicional y una capacidad de reconocimiento sigilosa excelente. Su tamaño reducido y su motorización eléctrica hacen que sean prácticamente indetectables y difíciles de destruir. No obstante, en el Ejército de Tierra aún es un medio que está en desarrollo y la mayoría de las unidades no cuentan con ellos. En muchos videos de conflictos actuales, bien sea el ruso-ucraniano o el más reciente de la franja de Gaza, se puede ver cómo drones de muy poco coste realizan acciones tácticas muy valiosas sin arriesgar la vida del personal.

Un ejemplo de la tecnología civil que utiliza nuestro ejército es el uso de turismos para la movilidad por la plaza donde está ubicado el cuartel. En la base militar “El Empecinado” que acoge al GCAC Villaviciosa II/61 utilizan para desplazamientos dentro de la base y a otras localizaciones de Valladolid un modelo de furgoneta Citroën eléctrica. Dicho cuartel había modificado ciertas plazas de aparcamiento para ubicar cargadores eléctricos con el fin de adecuar la infraestructura a la llegada de estos vehículos sostenibles (Véase Anexo C: Partes que forman un puesto de carga).

Estos ejemplos ilustran cómo la tecnología civil puede adaptarse de manera efectiva a las aplicaciones militares. De hecho, como se expone en el siguiente apartado, ya se están desarrollando algunos prototipos para mejorar el sigilo y la sostenibilidad de los vehículos de combate y la eficiencia operativa. Sin embargo, al ser una tecnología aún en desarrollo, su implementación en el ámbito militar es difícil de acometer hoy, aunque se espera que, en un futuro próximo, además de mejorar sus prestaciones, abarate sus costes.



3.1.2 Experiencias en vehículos militares

El ejército de Estados Unidos ha estado investigando y desarrollando vehículos de combate con propulsión eléctrica para ahorrar combustible. Es la institución que más litros de gasolina consume en el mundo: 16000 millones de litros de combustible al año. Por ejemplo, en 2019 el gasto anual en combustible de dicho ejército fue de 9.000 millones de dólares (Mills y Wiechens, 2022; Kramer y Parker, 2011). El M2 Bradley mostrado en la Ilustración 3 es un vehículo de combate de infantería blindado que permite el combate montado y el transporte de tropas. Necesita ser sustituido por una nueva versión que incorpore tecnología híbrida eléctrica, con el fin de obtener un mayor sigilo en operaciones ofensivas en las que el ruido hace más detectables y vulnerables a los vehículos. Como afirma Stephen Dumont, presidente de GM Defense, dicho blindado "tiene una firma IR realmente baja. No hay ningún motor caliente. No hay tubo de escape caliente. No hay capucha caliente. Esas son las cosas que tienden a darte contraste cuando estás apuntando" (en Biarrun, 2022).

Además, otra de las innovaciones destacadas en el futuro tanque de las fuerzas estadounidense AbramsX (Véase la Ilustración 4) es el sistema de propulsión híbrido. Esta característica habilita al tanque para operar utilizando tanto su fuente de energía eléctrica como su motor de combustión, lo que le proporciona, aparte de un mayor sigilo, una mayor eficiencia. Este modelo aún no se ha incorporado a las unidades, pero General Dynamics lo presenta como "el carro de combate más avanzado desde la Guerra Fría" (Márquez, 2022).

Ilustración 3. M2A3 Bradley IFV americano.



Fuente: Wikipedia.

Ilustración 4. Prototipo AbramsX en la feria AUSA.



Fuente: Navarro García (2022).

Por su parte, el Ejército español ha creado un prototipo a partir de la plataforma vehicular VAMTAC perteneciente a la empresa gallega URO: se trata de un vehículo eléctrico 4x4 con capacidad de autonomía extendida, diseñado específicamente para aplicaciones militares. Su configuración se fundamenta en la presencia de dos motores eléctricos que operan con energía suministrada por una batería que le proporciona una autonomía de 40 kilómetros. Este vehículo incorpora un generador eléctrico y un motor de gasolina que, conjuntamente, le permiten recuperar energía para extender su autonomía, equiparándola a la que se encuentra disponible en su versión diésel. Los dos motores eléctricos pueden funcionar en distintos modos: uno puramente eléctrico, otro donde se emplee solo la energía que se consuma con el motor eléctrico y otro donde se genere más energía de la que se consuma para cargar la batería con ese excedente. No obstante, los 40 kilómetros de autonomía son escasos para determinadas maniobras. De hecho, está pensado fundamentalmente para realizar un movimiento de aproximación al enemigo (De Aragón, 2019; García, 2022).



4 DESARROLLO: ANÁLISIS Y RESULTADOS

A lo largo de este apartado se analizan, a través de distintas metodologías, las ventajas y desventajas tácticas que conllevaría para el Ejército de Tierra la implementación de blindados con motorizaciones eléctricas en sus unidades de línea de Caballería. Para este estudio de viabilidad, se han tenido en cuenta no solo los aspectos técnicos y económicos de los motores eléctricos, sino también todas aquellas consideraciones logísticas y tácticas que puedan afectar a dichas unidades en las distintas misiones y ejercicios que realizan diariamente.

4.1 QFD

Como se ha comentado en el apartado metodológico, el Despliegue Funcional de la Calidad (QFD) trata de identificar las necesidades y expectativas de una organización acerca de un proyecto para tratar de satisfacerlas estableciendo unas prioridades que se representan en un gráfico con forma de casa. Esta representación gráfica distingue “Qués” y “Cómos”. Los “Qués” son las especificaciones que el usuario, en este caso, el personal que compone las unidades de línea del arma de Caballería necesita que tengan sus medios blindados para ir al combate; mientras que los “Cómos” son las formas de obtener esas especificaciones. Las flechas que tienen los “Cómos” indican si hay que aumentar o disminuir ese factor. En la parte superior de la “casa de la calidad” se establecen las interacciones positivas y negativas de los “Cómos”; y, en la parte central, se señalan las relaciones de los “Qués” y los “Cómos” de forma numérica. Sobre esta base, se extrae la importancia de los “Cómos” con un porcentaje para saber qué características son más importantes para centrar los esfuerzos en las pruebas de calidad del producto (CUD, 2021).

Para nuestro análisis QFD se ha considerado solo el motor eléctrico puro, ya que las conclusiones obtenidas también son aplicables a los motores eléctricos que pueda equipar un motor híbrido. Como se observa en la Tabla 1, los niveles de importancia se han establecido considerando como primera prioridad que el motor eléctrico rinda satisfactoriamente y pueda mover el vehículo con eficacia. A continuación, se han tenido en cuenta cuestiones relativas a la seguridad, contemplando el riesgo que tiene el uso de baterías y cargadores de alta potencia. Por último, se han sopesado en menor medida aspectos relativos a los costes materiales y personales del mantenimiento y la vida útil de la tecnología.

Atendiendo a la ponderación que se crea a partir de la relación entre la importancia de los “Qués” y la valoración del modo en que afectan los “Cómos”, se obtienen algunas conclusiones que deberían adjuntarse como especificaciones en un hipotético Pliego de Prescripciones Técnicas para que las empresas que participaran en el concurso de licitación dispusieran de una guía rigurosa para ofrecer un producto final de calidad.

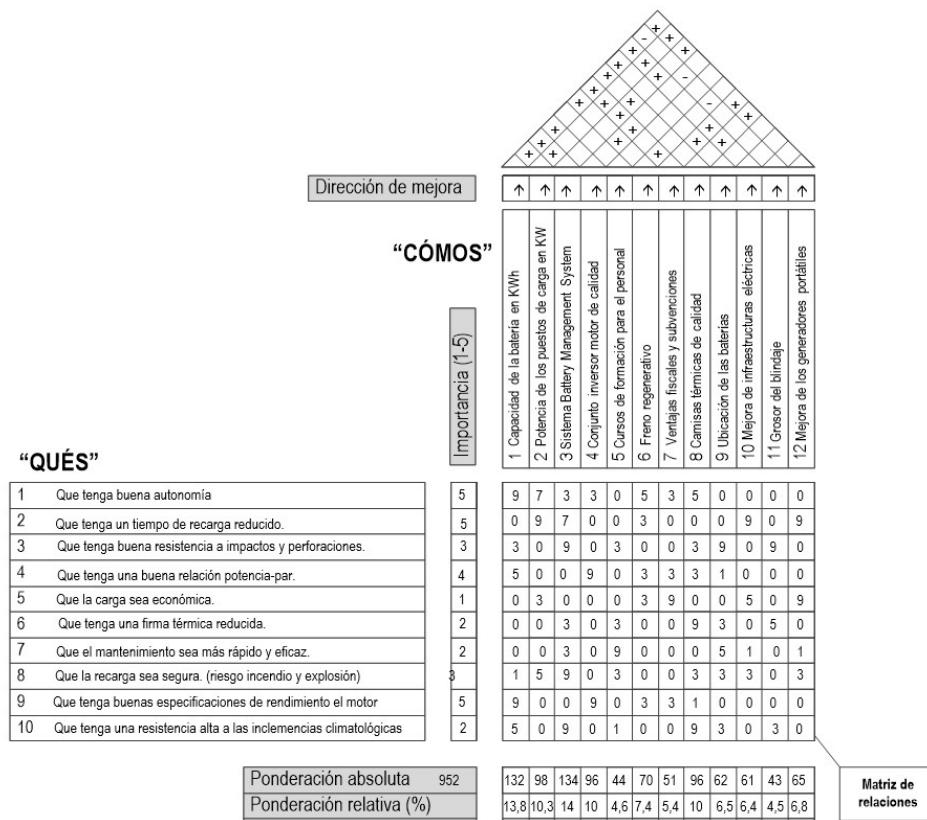
Las especificaciones más importantes son la capacidad de las baterías en KWh y el ya mencionado sistema BMS. Estos dos sistemas que trabajan conjuntamente son cruciales para asegurar un rendimiento eficaz tanto en potencia como en autonomía del motor eléctrico. Una batería con mucha capacidad permite realizar una conducción más potente durante más kilómetros; llevar a cabo movimientos tácticos más duraderos y tener una continuidad en las operaciones. Por otra parte, una batería para este tipo de vehículos está formada por módulos, por lo que, al tener más capacidad y, por ende, más módulos, tiene más probabilidades de supervivencia en caso de accidente o perforación, además de facilitar el mantenimiento, ya que el vehículo puede seguir funcionando aunque algún módulo falle.



Otro aspecto que se ha de tener en cuenta es la cantidad de sistemas eléctricos que hay en los vehículos de combate: sistema de interfonía, radio, movimiento de la torre, testigos... Una batería de calidad con muchos kWh permitirá el uso de estos elementos que necesitan de corriente para funcionar durante un tiempo más prolongado. Por eso, en la “casa de la calidad”, la batería es uno de los aspectos más valorados. No obstante, como señala el brigada Obregón, “los motores eléctricos son más pesados que los térmicos. Una batería más pesada dificultará o impedirá muchos movimientos logísticos terrestres, aéreos e incluso por vía marítima, por lo que, mientras no mejoren las capacidades de las baterías, hay que sacrificar la autonomía para mantener los pesos existentes” (Véase Anexo E: Encuesta).

Por su parte, el sistema BMS realiza una función vital para el uso y funcionamiento de las baterías tanto mientras el vehículo está en marcha como cuando está parado o se encuentra en fase de carga. La temperatura es un parámetro crítico para la batería. La función principal del BMS, como se ha explicado previamente, es preservar la vida útil de esta evitando sobrecalentamientos y enfriamientos que puedan dañarla. Por ejemplo, esta tecnología regula la cantidad instantánea de carga cuando hay un calentamiento excesivo del sistema o, en caso de frío extremo con el vehículo estático, regula la temperatura descargando parte del porcentaje. También es importante que la batería de cada celda esté equilibrada respecto a las demás, por lo que el sistema BMS puede desconectar y conectar la carga de los distintos módulos. Y, como se ha comprobado en la metodología experimental, durante una carga no se rellena de manera uniforme ese porcentaje de batería, sino que es el sistema BMS el que se encarga de gestionarlo. Por lo tanto, este sistema tiene tanta importancia como la aludida capacidad de la batería, debido a que una batería en buen estado mantiene su capacidad y pierde menos autonomía con el paso del tiempo.

Tabla 1. Análisis QFD.



Fuente: elaboración propia



En un segundo plano quedan la potencia de los puestos de carga en kilovatios, el conjunto inversor motor y las camisas térmicas. Estos elementos cumplen funciones distintas, pero todas son importantes y complementarias, como se expone a continuación.

La potencia de los puestos de carga es relevante porque, a mayor potencia, menor tiempo de carga. Por lo tanto, disponer de un cargador con mucha potencia permitirá tener continuidad en las operaciones, ya que el tiempo de carga no limitará el cumplimiento de misiones como la que muestra la Ilustración 5. Esta condición es imprescindible para que sea viable tácticamente la implementación de motores eléctricos en los vehículos de combate.

Ilustración 5. Despliegue de una sección de VEC en el Ejercicio Toro 2023 en San Gregorio.



Fuente: elaboración propia.

El conjunto inversor motor tiene como función transformar la energía de la batería que se almacena en corriente continua en corriente alterna para que la reciba el motor, de tal manera que se encarga de transformar la señal que emite el pedal del acelerador en más o menos corriente que fluye de la batería al motor. Para una unidad de Caballería es importante tener vehículos con una gran potencia que los propulse, ya que los blindados se mueven por terrenos muy cambiantes y tienen que estar preparados para desplazar mucho peso en todo tipo de situaciones abruptas, bien sea una cuesta, el movimiento por campo a través o el discurrir por caminos de tierra, especialmente si están embarrados (Tomás Catalá, 2019). En este sentido, desde el punto de vista táctico, el conjunto inversor motor es otro elemento clave para implementar un motor eléctrico en un blindado de estas características.

En última instancia, las camisas térmicas se encargan de proteger al vehículo de las temperaturas críticas que puedan afectar al resto de sus elementos. Durante la carga se alcanzan temperaturas significativamente altas que, aunque reguladas por el BMS, pueden afectar a otros componentes, por ejemplo, la propia batería, que debe preservarse de las bajas temperaturas para evitar daños en las celdas que la componen. Así se hace un mantenimiento preventivo de los elementos sensibles que componen el motor y se alivia la cantidad de trabajo que tiene el escalón, que puede ocuparse de otro tipo de averías. Este mantenimiento permite realizar una instrucción continua en el día a día y evita la inoperatividad de los vehículos en los períodos de instrucción más largos como pueden ser unas maniobras tipo alfa.

Por fin, como se aprecia en la Tabla 1, hay otros “Cómicos” que quedan en el último nivel porque cumplen funciones secundarias. No obstante, también hay que considerarlos porque son necesarios para que el sistema al completo funcione. En este caso, en este nivel se encuadran los cursos de formación, el freno regenerativo, las ventajas fiscales y las



subvenciones, la ubicación de las baterías, el grosor del blindaje y las mejoras tanto de las infraestructuras de los cuarteles como de los generadores portátiles.

El aspecto final del que se pueden extraer conclusiones son las distintas interacciones que se producen entre los “Cómos”. En ellos se pueden observar muchas interacciones positivas, como la capacidad de la batería o las ventajas fiscales y las subvenciones. La primera, como se ha comentado, potencia el aprovechamiento de muchas especificaciones que posee un motor eléctrico. En cuanto a las ventajas fiscales y las subvenciones, debido a la voluntad de promover una movilidad sostenible, en la actualidad existen muchas iniciativas de financiación para reducir las emisiones a la atmósfera. En el terreno militar, se podría intentar un incremento de las partidas presupuestarias para la adquisición y la implementación de estos motores eléctricos con el fin de aumentar la viabilidad logística y económica. Las empresas privadas que respondan a las licitaciones públicas para llevar a cabo dicha implementación podrán beneficiarse de esas ventajas fiscales y subvenciones, de modo que habrá una oferta más baja y requerirá menos dinero de los Presupuestos Generales del Estado. No es que el Ejército no pueda aprovecharse directamente de una subvención ni de una ventaja fiscal, pero también puede verse beneficiado de manera indirecta (Véase Anexo D: Futuras líneas de investigación).

Entre las interacciones negativas encontramos el grosor del blindaje, ya que aumenta considerablemente el peso del vehículo y hace que sea preciso que los distintos componentes del motor eléctrico sean más potentes. Esto se puede solucionar en la fase de diseño ubicando la batería en la parte trasera de los vehículos para conseguir que esté protegida de un posible impacto por otros elementos del blindado, ya que los vehículos cuando entran en combate de encuentro enfrentan siempre la parte delantera y, lógicamente, la protección frontal es la más fuerte y, por ende, la más pesada.

En conclusión, todas las especificaciones descritas en los “Cómos” son importantes para el empleo de esta tecnología, pero es importante establecer en los “Qués” una escala de prioridades para especificarlas en el Pliego de Prescripciones Técnicas con el objetivo final de mejorar las capacidades tácticas de empleo de un blindado en todas las situaciones y priorizar el éxito del cumplimiento de la misión.

4.2 Análisis de riesgos

A partir de las especificaciones que se han obtenido en el QFD, se va a llevar a cabo un análisis de riesgos para discernir aquellos que traen consigo distintas piezas que componen un motor eléctrico y plantear medidas mitigadoras que consigan reducir tanto las causas como la probabilidad de que estos sucedan.

Los riesgos que, en caso de materializarse, tendrían un impacto negativo significativo en los objetivos del proyecto se ubican en la categoría de alto riesgo (identificados como amenazas 3H en la Tabla 2 y en rojo en la matriz). Estos pueden requerir acciones prioritarias y estrategias de respuesta más energicas, por lo que habrá que centrar más recursos en prevenir y minimizar dichas amenazas. En contraste, las amenazas ubicadas en la zona de bajo riesgo (en verde) pueden no necesitar una gestión proactiva, sino que simplemente se las puede incluir en una lista de supervisión o asignar a una reserva para contingencias. Los riesgos se clasifican según su probabilidad en 1, 2 y 3 (siendo 1 bajo, 2 medio y 3 alto) y según su impacto, en L.M.H (siendo L Low o bajo, M Medium o medio y H High o alto).



Tabla 2. Análisis cualitativo de riesgos.

ID	Descripción riesgo	Categoría riesgo	Causa del riesgo	Impacto (H,M,I)	Probabilidad (1,2,3)	Clae riesgo	Efectos riesgo	Medida / Alternativas	Clae riesgo tras medida	Tendencia
1	Retrasos en el segundo escalón con el mantenimiento de los motores eléctricos	Personal	Falta de instrucción de los especialistas del escalón	M	2	2M	Retrasos en las reparaciones y falta de vehículos para la instrucción	Impartir cursos de formación y mejora a los especialistas del escalón	M1	-
2	Aumento de la factura de la luz	Económico	Carga de los vehículos sin planificar y contratación de tarifa estandar	M	3	3M	Falta de dinero para otros objetivos que tiene la unidad	Carga de vehículos por la noche con una tarifa de la luz con un precio vale por la noche	L1	-
3	Gran inversión inicial	Económico	Precios actuales de las baterías muy elevados	H	2	2H	Falta de dinero a nivel estratégico para el empleo de las grandes unidades (a partir de nivel brigada)	Solicitud de ventajas fiscales y subvenciones, por la voluntad general del avance hasta una movilidad sostenible	M2	-
4	Autonomía insuficiente	Técnico	Batería que no cumple las especificaciones que necesita del kilometraje dentro de un vehículo de combate.	H	3	3H	Parones durante la instrucción en maniobras para la carga de baterías	Solicitar a la empresa licitante de las baterías un PPT que asegure que la batería en su 60% de capacidad cubre los km. Diarios en un día normal de	H1	-
5	Desgaste temporal de la batería	Técnico	Reducción de la capacidad total de la batería en kW/h	H	2	2H	Reducción de la autonomía que dispone un motor eléctrico	Cada 250.000 km, por manual de mantenimiento cambio de batería	2H	-
6	Tiempo de recarga muy lento	Técnico	Punto de recarga con una capacidad de kW muy reducida	M	2	2M	Dependencia del tiempo de recarga para las misiones a ejecutar	Licitar la infraestructura de cargadores que tengan más de 150kW	M1	-
7	Fallos de 1er escalón de mantenimiento	Personal	Falta de instrucción en el mantenimiento de las tripulaciones sobre sus plataformas	L	1	1L	Exceso de órdenes de trabajo en el segundo escalón	Impartir cursos de formación y例行 de mantenimiento de primer escalón a los escuadrones	1L	=
8	Perdidas de batería debido a las inclemencias climatológicas	Técnico	El frío daña las baterías y se autodesconsumen para calentarse	L	1	1L	No se cumple la autonomía real de la batería	Incluir en el PPT de la batería un buen ambiente térmico que mantenga la temperatura dentro de la batería	1L	=
9	Red eléctrica no preparada para la alta demanda de kW	Técnico	Caídas constantes de la luz	M	2	2M	Fallos en las infraestructuras y equipos informáticos de los cuarteles	Carga de vehículos planificada para la noche para evitar saturar la red	2L	-
10	Alcanzar una temperatura crítica durante la carga	Técnico	Sobrecalentamiento debido al alto volumen de kW	H	2	2H	Daños irreversibles en la salud de la batería y perdida de autonomía	Incluir en el PPT de la licitación un buen sistema BMS (Battery Management System) que regule la cantidad de kW en función de la temperatura	1H	-
11	Incendio de la batería	Técnico	Alcance de temperatura crítica o perforación de la batería	H	1	1H	Vehículo inoperativo y motor inservible	Revisión de primer escalón del equipo contraincendios y antieplexivos para evitar daños en el personal	1H	=
12	Liberación de humos tóxicos de la batería	Técnico	Presencia de litio, cobalto y níquel	H	1	1H	Intoxicación por inhalación de la tripulación	Estanqueidad de la cámara motor	1L	-

Fuente: elaboración propia



Tabla 3. Análisis cuantitativo de riesgos.

Fuente: elaboración propia

Atendiendo al análisis de los riesgos que presenta el proyecto se pueden apreciar ciertos aspectos de interés que se tendrán que acometer a la hora de implementar los motores eléctricos en los vehículos de combate de Caballería.

Como se aprecia en la Tabla 3, la mayoría de los riesgos detectados (5), por ejemplo, los retrasos en el segundo escalón con el mantenimiento de los motores eléctricos, el amplio tiempo de recarga o la red eléctrica no preparada para la alta demanda de KW son riesgos medios, por lo que no suponen una grave amenaza para la viabilidad del proyecto. Por el contrario, habría que prestar especial atención a los 4 riesgos de nivel medio-alto, especialmente al desgaste temporal de la batería —de hecho, el 66,7% de los encuestados consideran este riesgo como la principal desventaja táctica de estos motores (Véase Anexo E: Encuesta)— y el alcance de una temperatura crítica durante la carga, porque podrían afectar gravemente la implementación de esta tecnología puntera. No obstante, como se puede ver en la Tabla 2, en cuanto se aplican las medidas mitigadoras, la mayoría baja el nivel de riesgo, en concreto, 9 de los 12 riesgos considerados tienen tendencia a disminuir su peligro para el proyecto.

Atendiendo a los *stakeholders*, se puede apreciar que es un pilar fundamental elaborar un buen PPT de cara a la adquisición de las baterías y los motores, así como realizar pruebas de calidad eficaces antes de la adquisición con los modelos experimentales para verificar empíricamente que cumplen todas las exigencias que requieren un motor eléctrico en un vehículo de combate y si son aptos o no para su extensión al resto de las unidades. Por otra parte, la instrucción tanto de primer como de segundo escalón de las unidades de línea (Véase la Ilustración 6) será imprescindible para poder mantener un buen nivel de formación de la tropa en combate gracias a poder maniobrar con los vehículos en el campo con mayor frecuencia. Del mismo modo, otros riesgos se irán reduciendo con el paso del tiempo y el avance de la investigación y la tecnología, como ya se ha comentado a lo largo de este trabajo. Se espera que mejore la seguridad y las prestaciones de las baterías y que las infraestructuras estén preparadas para un mundo más sostenible.

Por otra parte, como también se observa en la Tabla 2, se reducen otros riesgos que presentan los motores de combustión, por ejemplo, la carencia de repuestos, una de las causas más habituales de los retrasos en las reparaciones en el segundo y el tercer escalón. Hay que



tener en cuenta que los motores de combustión van a acabar en desuso, por lo que también se encarecerá el precio de sus repuestos, lo que derivará en una falta de empleo de dichos vehículos en el campo y también de la instrucción general para manejarlos.

Ilustración 6. Segundo escalón de la base “El Empecinado”.



Fuente: elaboración propia

En conclusión, se puede constatar que existen bastantes riesgos asociados a la implementación de motores eléctricos tanto híbridos como puramente eléctricos en los blindados de Caballería, pero que la mayoría están asociados a la actual falta de madurez de la tecnología. No obstante, con el tiempo estos riesgos se irán reduciendo y, con un buen análisis de calidad antes de su adquisición, se puede obtener un buen producto que solucione los problemas que existen en las unidades logísticas de repuestos. El futuro de la movilidad es eléctrico y el Ejército de Tierra ha de saber adaptarse a los cambios para estar a la vanguardia tecnológica del resto de ejércitos.

4.3 DAFO

Continuando con los análisis de viabilidad y el estudio de la posible implementación de la electrificación de los blindados de combate de Caballería, se va a realizar un estudio DAFO del motor eléctrico. Esta metodología sirve para comparar los distintos tipos de motorización que existen y analizar sus ventajas y desventajas tácticas para el empleo de la fuerza (Gelmanova *et al.*, 2018).

En la Tabla 4, se muestran dichas ventajas y desventajas de manera resumida, ubicándolas en las categorías de Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades, según se desprendan del análisis interno o del entorno del Ejército. Posteriormente, se explican cada una de ellas con detalle para ayudar a la toma de decisiones.



Tabla 4. Análisis DAFO, elaboración propia.

DEBILIDADES (-)	
1	Poca resistencia a temperaturas críticas tanto de frío como de calor.
2	Precio inicial.
3	Tiempo de carga.
4	Autonomía limitada en comparación con sistemas de propulsión convencionales.
5	Dependencia de una red de carga eléctrica en el campo de batalla.
6	Puede ser vulnerable a ciberataques debido a su dependencia de la electrónica.

FORTALEZAS (+)	
1	Nuevas ventajas tácticas frente a motores de combustión.
2	Eficiencia de la energía que utiliza el motor.
3	Fácil mantenimiento.
4	Coste de la energía en comparación al coste del diésel.
5	Cero emisiones locales, menor detección por parte del enemigo en operaciones.

OPORTUNIDADES (+)	
1	Estar en la vanguardia tecnológica de las futuras líneas de investigación.
2	Cambiar formas de empleo de los medios.
3	Integración con fuentes de energía renovable en bases militares.

AMENAZAS (-)	
1	Monopolio de los minerales clave de países no aliados.
2	Cambio de la tendencia actual y recuperación del motor de combustión.
3	Riesgo de daños a las baterías en situaciones de combate.

Fuente: elaboración propia

Debilidades

La primera de las debilidades es la poca resistencia de las baterías de los motores eléctricos a temperaturas críticas tanto de frío como de calor. Por ese motivo, durante los períodos de instrucción fuera de los acuartelamientos, es importante disponer de sistemas de protección para las baterías con el fin de preservar una de las características fundamentales de las motorizaciones eléctricas: la autonomía. La cantidad de kilómetros que se pueden hacer con una carga marcará las horas de instrucción posibles y el nivel de preparación del personal de las diferentes unidades. Debido a las consecuencias tácticas que se derivan de este hecho, es de vital importancia fijar como objetivo en la fase de diseño la protección del elemento más crítico: la batería.



Ilustración 7. Personal del ELAC 1/II/61 instruyéndose en reconocimiento de itinerarios.



Fuente: elaboración propia

Otro de las desventajas que frenan a la población civil a la hora de adquirir un coche eléctrico hoy en día es su elevado coste. En el ámbito militar, un motor eléctrico sigue siendo más caro que uno de combustión. Por otra parte, todos los costes de diseño y adaptación de los medios actuales o la posible incorporación de un nuevo medio que equipe esta tecnología supondrían una inversión muy alta para el Ejército de Tierra. No obstante, como se ha expuesto en el marco teórico, la existencia de las subvenciones y el ahorro de energía y mantenimiento hacen que dicha inversión se pueda plantear a largo plazo, porque, aunque suponga un esfuerzo económico inicial importante, a la larga se irá recuperando la inversión.

Una tercera desventaja es el tiempo de carga de la batería. Como también se ha explicado ya, este tiempo no es un valor fijo, sino que depende de diversas variables. De hecho, esta desventaja podría minimizarse con los medios necesarios y con una estrategia eficaz de recarga planificada por el mando aprovechando períodos de inactividad de los vehículos (durante la noche, las comidas en maniobras o las sesiones teóricas).

En cuarto lugar, se encuentra la autonomía limitada en comparación con los sistemas de propulsión convencionales que equipan los vehículos que tradicionalmente se usan en el Ejército. Para conseguir los objetivos de autonomía se tendrá que esperar a que las baterías evolucionen. Sería interesante realizar un estudio riguroso de los kilómetros diarios que afrontan los distintos tipos de vehículos dependiendo de las misiones que desempeñen. Habrá que solicitar en la licitación un kilometraje que se pueda adaptar a las necesidades de las unidades de línea con un margen para poder cumplir con todos los objetivos de instrucción y disponer de unidades preparadas de manera adecuada para el combate (Véase la Tabla 6. Tabla con modelos de vehículos y distintas autonomías).

Una quinta desventaja es la dependencia de una red de carga eléctrica en el campo de batalla. A este respecto, es preciso desarrollar una infraestructura de carga portátil para poder cargar los vehículos de combate en las diferentes zonas de operaciones. Esta tecnología está aún en desarrollo y en fase de investigación debido a su especial complejidad. Esto supone un problema, tal y como señala el brigada Obregón: “En un acuartelamiento con amplia plantilla de vehículos como la base “El Empecinado”, si los vehículos fuesen eléctricos, sería necesario un



enorme suministro eléctrico. La viabilidad de su implementación dependerá de disponer de una estación transformadora propia o de la construcción de una planta fotovoltaica. En unas maniobras o en un teatro de operaciones la infraestructura de carga va a depender de grandes grupos electrógenos que consumen combustible fósil supeditados a las posibilidades logísticas" (Véase Anexo F: Entrevistas).

Por último, los vehículos de combate eléctricos pueden ser más vulnerables a ciberataques, ya que cuanto más se electrifica un vehículo, más posible es que pueda tener fallos que lo dejen inoperativo por la electrónica. La guerra electrónica es una dimensión del combate en la que los ejércitos están centrando sus esfuerzos, por lo que habrá que equipar a los vehículos con sistemas de inhibidores para evitar ataques que dañen su integridad.

Amenazas

La primera de las amenazas es, sin duda, el fallo en la cadena logística de suministros por el monopolio de países no aliados de los minerales clave para la fabricación de los distintos componentes de los vehículos eléctricos. Como indica Granados (2023a), entre dichos materiales se encuentran el cobre, el níquel, el cobalto, el litio, el grafito y las tierras raras, a los que hay que añadir los recursos hídricos que son esenciales para la transformación de las materias primas en productos elaborados y listos para abastecer a la industria.

En este contexto, gracias al crecimiento experimentado por China en las dos últimas décadas (Lew, 2013) y a su adopción de una política exterior más asertiva en todos los ámbitos (Sierra Ortiz, 2023), el gigante asiático es uno de los principales actores internacionales que hay que considerar en esta transición tecnológica y ecológica. De hecho, actualmente, es responsable de todo el suministro de grafito natural que se usa en las baterías actuales; de alrededor de un 70% del cobalto que se comercializa a nivel mundial y aproximadamente de un 60% del litio y manganeso, componente fundamental de las baterías recargables. Otros países que son actores en la explotación y refinado de estos elementos críticos son la República del Congo, Indonesia, Filipinas, Chile y, por supuesto, Rusia. Por su parte, como apunta Sobotka, consejero delegado de Eurasian Resources Group y copresidente de la Global Battery Alliance, aunque "históricamente, Europa ha estado ligeramente rezagada en la carrera para explorar, explotar y producir los minerales estratégicos esenciales para la transición hacia la energía verde [...] hoy las naciones europeas avanzan para reducir esa brecha" (en Granados, 2023b). No obstante, como señalan Espí y De la Torre Palacios (2022), si, en el plano de los combustibles energéticos, el conflicto ruso-ucraniano ha puesto de manifiesto "la dificultad de muchos países de la UE de desligarse de las importaciones rusas [...], en materias primas minerales pueden existir otros mecanismos de mercado sobre la mesa".

Por lo tanto, del mismo modo que las necesidades energéticas, particularmente las petroleras, han marcado la política exterior de Estados Unidos durante décadas (Tapia, 2022), en el caso de España, las relaciones con otros países de la escena internacional pueden determinar el suministro de piezas para evitar la inoperatividad de los vehículos durante un tiempo indefinido para la formación de la tropa. Dado que, desde un punto de vista estratégico, no se puede depender de países inestables para la defensa de la nación, se debe tender a potenciar la industria nacional en el ámbito de la defensa, si bien, sin materiales para construir las baterías, es imposible. Así lo explica el brigada Obregón: "En estos momentos dependemos en gran medida del flujo de abastecimiento de petróleo que viene de Nigeria, Estados Unidos, México y, en último lugar, Rusia. Es decir, ya conocemos la dependencia estratégica y, al



menos, España goza de buenas relaciones geopolíticas con dichos países. En el futuro, cultivar cuidadosamente las relaciones con los países productores de esos minerales va a ser fundamental”.

Una segunda amenaza es el potencial cambio de la tendencia actual hacia un transporte más sostenible. La alternativa eléctrica al motor de combustión se presenta como una oportunidad para dar solución a los recursos finitos de la Tierra y del cambio climático provocado en gran medida por el fuerte volumen de CO₂ que emiten los vehículos (Greenpeace, 2023). Las estadísticas de ventas de coches eléctricos crecen de manera exponencial año tras año. Previsiblemente esta tendencia se mantendrá en el tiempo y la investigación va a estar dirigida a mejorar las capacidades que actualmente poseen. Dentro de no muchos años se podrá disfrutar de baterías con más capacidad, menor coste y con mayor potencia. Sin embargo, estas previsiones no dejan de ser suposiciones, ya que el que manda es el usuario: si la población aumenta la demanda, el mercado crecerá y mejorará la oferta. La investigación civil y la militar siempre han ido de la mano, por lo tanto, si esta tendencia continúa, la industria militar podrá usar el conocimiento de las investigaciones civiles y utilizará mejores medios para sus vehículos. No obstante, no se puede prever de manera exacta lo que puede pasar en el futuro, por lo que la incertidumbre puede ser considerada una posible amenaza (Véase Anexo D: Futuras líneas de investigación).

Otra amenaza la constituye el riesgo de daños a las baterías en situaciones de combate. Como ya se ha comentado, la batería es un factor crítico y el elemento más caro del motor eléctrico. Por lo tanto, cualquier incidencia que provoque un fallo en ella en la instrucción o en el combate dejará inoperativo el vehículo y el coste de subsanarlo será muy alto. En combate la inflamabilidad de las baterías puede ser un riesgo, como subraya el brigada Obregón: “Las baterías de iones de litio actualmente utilizadas en los vehículos eléctricos son inflamables, al igual que el JP8 o el diésel, por lo que habría que prestar especial atención a su ventilación, ya que el litio arde agresivamente” (Véase Anexo F: Entrevistas).

Fortalezas

Entre las fortalezas es preciso destacar, en primer lugar, las ventajas tácticas que proporcionarán los motores eléctricos gracias a las características especiales que poseen y que los distinguen de los motores de combustión que hoy equipan los vehículos de combate. Una de las principales es la baja sonoridad del motor. Dentro de la doctrina de los vehículos de combate de Caballería, un factor muy importante para la protección y supervivencia de los blindados en combate es evitar ser detectado. El ruido del motor alerta al enemigo y avisa de la cercanía de estos medios, de manera que un soldado que permanezca horas en posición defensiva, al escuchar el fuerte ruido que emiten estos motores, aumentará su nivel de alerta y será más complicado penetrar en las líneas de defensa enemigas. Con un motor híbrido, se podría hacer la marcha de aproximación —aquella que se realiza priorizando la velocidad antes que la seguridad, ya que se está a más distancia del enemigo— con el motor de combustión, ya que tiene más autonomía, y, una vez cerca del enemigo, se podría activar el modo eléctrico y realizar un movimiento táctico de combate de aproximación silenciosa para cumplir con éxito la misión. Otro aspecto de la detección que hay que considerar es que un motor eléctrico trabaja a menor temperatura que uno de combustión. Este hecho presenta una ventaja táctica al reducirse significativamente la huella térmica, lo que hace que sea más difícil de detectar mediante medios avanzados diseñados para esta función. También reduce la capacidad de los misiles guiados que buscan la luz infrarroja que abunda en las fuentes de calor.



Además, en un motor eléctrico, la fuerte relación potencia-par hace que, en todas las velocidades, entregue toda la potencia de manera instantánea al presionar el acelerador, a diferencia de un motor de combustión, que para ello tiene que estar muy revolucionado. En este sentido, los vehículos que equipan un motor eléctrico tienen mucha aceleración, gracias a lo cual pueden realizar entradas y salidas de posición de manera más rápida y ágil, lo que hace más difícil que el enemigo impacte en los blindados. Hay otras ventajas que provocan mejoras tácticas de manera indirecta. Entre ellas sobresalen el menor coste de la energía, que hace que se incremente la autonomía de los vehículos, el menor coste de mantenimiento, que favorece que estén más tiempo operativos o el empleo de frenos regenerativos que hace que ganen efectividad con las frenadas.

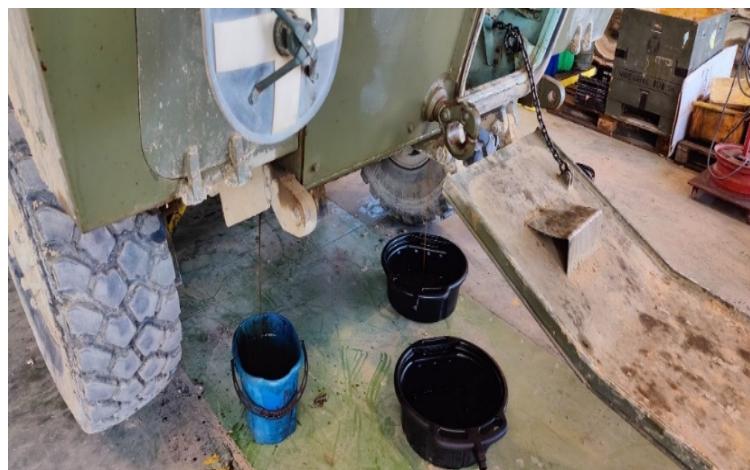
Otra fortaleza relevante es la eficiencia de la energía que utiliza el motor eléctrico (Alanazi, 2023). Muchos de los vehículos eléctricos que ruedan por las carreteras llevan motores que pueden llegar al 90% de eficiencia, por lo que del 100% de energía que se introduce en la batería del coche, un 90% se traduce en movimiento. En este sentido, un motor eléctrico rentabiliza más el uso de la energía, por lo que también reduce el consumo. Por el contrario, un coche convencional de gasolina tiene una eficiencia de un 25% desde que la gasolina sale del depósito hasta que actúa sobre las ruedas. El motivo es que la gran cantidad de piezas en fricción que tiene el motor (Véase la Ilustración 8) hace que parte de la energía no se transforme en movimiento. Si la energía eléctrica se obtiene de fuentes renovables y se analiza la eficiencia global de toda la cadena de suministro, la eficiencia sería de un 77%, mientras que, si no es de origen renovable, sería de un 42% (Energía y Sociedad, 2019). Esta circunstancia conllevaría un importante ahorro a largo plazo para la unidad y compensaría con el paso del tiempo el gran coste inicial de adquisición e implementación de los motores eléctricos en los vehículos de combate.

Ilustración 8. Motor de un VEC



Fuente: elaboración propia

Ilustración 9. Vaciado de los fluidos que quedan en barcaza



.Fuente: elaboración propia.

Una tercera fortaleza que resulta de gran interés es el fácil mantenimiento de un motor eléctrico. En comparación con los de combustión, los motores eléctricos son muy sencillos, ya que cuentan con aproximadamente un 60 % menos de componentes. Por ejemplo, un vehículo eléctrico no incorpora una caja de cambios y no cuenta con componentes como bujías, bielas o embragues. Además, no dependen del aceite como los vehículos de combustión interna (Véase la Ilustración 9). Esto significa que requieren menos filtros y no es necesario el



reemplazo o mantenimiento de elementos tan comunes como correas o embragues. Por último, emplean un sistema de frenado regenerativo, lo que, como se ha señalado, reduce la necesidad de utilizar las pastillas de freno y elimina la función del freno motor (Goodyear, 2018). Por todo ello, es previsible que estos motores experimenten menos fallos o averías.

Evidentemente, una cuarta fortaleza reside en el menor coste de la energía que precisa un motor eléctrico en comparación con el coste del diésel o la gasolina. Como se detallará en el estudio de viabilidad económica, la energía que utiliza el primero es más eficiente y la recarga eléctrica resulta más económica.

Por fin, la última fortaleza que cabe reseñar son las cero emisiones locales, lo que reduce nuevamente la detección por parte del enemigo en operaciones. La detección es uno de los aspectos que trabajan las unidades de Caballería mediante el uso de distintos despliegues o la elección del tipo de ruta para no levantar columnas de polvo. El ruido del motor y la firma térmica son, como ya se ha señalado, claves a la hora de detectar un vehículo, por lo que el hecho de no tener emisiones locales reduce los elementos que provocan la fácil localización de los medios blindados. De hecho, un 63,9% de los encuestados señalan este aspecto como el factor más beneficioso para los movimientos tácticos (Véase Anexo E: Encuesta). Por otra parte, la ausencia de emisiones es beneficiosa para el medio ambiente, puesto que minimiza el efecto negativo provocado por los gases de efecto invernadero. Por último, dichos gases son nocivos para la salud y, en el caso de vehículos como el VEC, hay tripulantes cuyo puesto táctico está dentro del propio vehículo, por lo que si se producen escapes a la cámara de tripulación de los vehículos pueden inhalarlos y sufrir graves problemas respiratorios.

Oportunidades

La primera oportunidad que brindan los motores eléctricos es estar a la vanguardia tecnológica. La transición hacia la movilidad eléctrica se encuentra en pleno desarrollo y el vehículo automotor es un componente esencial de este proceso. Además de los automóviles, otros medios de transporte eléctricos, como motocicletas, bicicletas y patinetes ya se han incorporado a nuestra vida cotidiana. Estamos entrando en una fase en la que las ciudades están a punto de experimentar transformaciones significativas, dado que el actual modelo de movilidad ha alcanzado sus límites. Las áreas urbanas se hallan saturadas de vehículos de combustión, que provocan atascos masivos en unos momentos y la inmovilización de vehículos en otros. Si los distintos medios de transporte ya funcionan con energía eléctrica, es previsible que la adopción generalizada de esta tecnología sea inminente. Además, los progresivos avances en inteligencia artificial (Gómez de Ágreda, 2021, Endesa, 2023) también van a resultar decisivos para la implementación de los vehículos eléctricos, pues optimizarán los flujos de carga y los intercambios con la red para aprovechar al máximo las baterías. Esta transición en el mundo civil obliga al Ejército a adaptarse y a empezar a formarse en este ámbito para estar a la vanguardia tecnológica y que sus medios no caigan en la obsolescencia.

Por otra parte, la guerra tal y como la conocemos se ha efectuado siempre con vehículos de combustión. La incorporación de medios de combate eléctricos modificará también las formas de proceder del Ejército de Tierra y obligará a cambiar las Tácticas, Técnicas y Procedimientos (TTPs) del enemigo. Como ya se ha dicho, la reducción de la firma térmica y la nula sonoridad del motor forzarán a desarrollar otro tipo de armamento y nuevos medios de visión y vigilancia, ya que los blindados eléctricos serán más difíciles de detectar.



Finalmente, estos vehículos supondrán una oportunidad para integrar las fuentes de energía renovable en las bases militares. Con la electrificación de los vehículos de combate de Caballería habrá que desarrollar una nueva infraestructura eléctrica para que la red pueda soportar el aumento de la demanda provocada por la adquisición de cargadores de alta potencia. Este hecho constituye una buena oportunidad para integrar nuevas fuentes de energía renovables en tales unidades para abaratar los costes y poder amortizar antes la gran inversión inicial (Véase Anexo C: Partes que forman un puesto de carga).

4.4 Observación directa

La autonomía es, actualmente, un problema real en las unidades, ya que, cuando se sale a operar en el campo durante un periodo prolongado, el mando con su plana ha de planear los repostajes que se realizan durante la semana; el número de litros que asigna a cada escuadrón y el número de camiones cisterna necesarios. Además, el tiempo que puede durar un repostaje, dependiendo del número de camiones cisterna y de mangueras, puede llegar a ser de hasta dos horas si se es el último vehículo en pasar por este proceso.

Para constatar las necesidades reales de autonomía de un vehículo de combate eléctrico para una unidad de Caballería — uno de los puntos clave, como ya se ha puesto de manifiesto durante todo el estudio, a la hora decidir su adquisición— se llevó a cabo, mediante la observación directa, la recogida de los datos del kilometraje diario recorrido durante unas maniobras de grupo del GCAC Villaviciosa II/61 con las plataformas del VEC y el Leopard 2E. Tomando como base dicha información y algunas otras consideraciones sobre la autonomía real que ofrecen actualmente diversos modelos de vehículos eléctricos civiles, se va a establecer la autonomía de la batería que precisarán los blindados eléctricos para cumplir las necesidades de las unidades de combate y permitir la continuidad de las operaciones sin depender de la carga del vehículo para cumplir la misión.

Tabla 5. Tabla con modelos de vehículos y especificaciones.

VEHÍCULO	CAPACIDAD DE LA BATERÍA	AUTONOMÍA	POTENCIA
Hyundai Ioniq	28 kWh	204 km	120 CV
Jaguar I-Pace	90 kWh	480 km	400 CV
Nissan Leaf	40 kWh	285 km	150 CV
Renault Zoe	41 kWh	300 km	108 CV
Kia Soul	30 kWh	185 km	110 CV
Opel Ampera-e	60 kWh	380 km	204 CV
Tesla Model S 75D	75 kWh	490 km	332 CV
Tesla Model X 100D	100 kWh	565 km	423 CV
BMW i3	33 kWh	225 km	170 CV

Fuente: elaboración propia a partir de Dalmau (2018).

Como se puede observar, en la Tabla 5 se presentan los datos sobre las autonomías



de diferentes automóviles eléctricos que se comercializan en la actualidad. Hay que tener en cuenta que estos valores no son definitivos, ya que pueden verse afectados por diversos factores. No obstante, antes de abordar esos aspectos, es importante profundizar en el concepto de autonomía real de los vehículos eléctricos.

En los vehículos convencionales de combustión interna, suele haber una discrepancia entre el consumo oficial que se anuncia al comprar el vehículo y el consumo real que experimentamos al conducirlo. El consumo real siempre es superior al oficial, ya que se realiza en unas condiciones idóneas que en el uso diario son difíciles de replicar. En el caso de los vehículos eléctricos sucede algo muy similar. Los datos oficiales se obtienen mediante pruebas llevadas a cabo en condiciones ambientales y de temperatura muy específicas que, sin embargo, en la conducción diaria son muy variables. En Europa, estas pruebas se denominan "ciclo WLTP" o "ciclo NEDC". El primero es el más actual y representativo de la realidad. Como resultado, en el mercado existen vehículos cuyas autonomías reales se asemejan mucho a los valores del ciclo WLTP, mientras que otros, como se aprecia en la Tabla 6, se desvían en mayor medida (Plaza, 2022).

La autonomía real se puede aumentar ligeramente al aprovechar la función de frenado regenerativo y adoptar un estilo de conducción más suave. Para ilustrar esta circunstancia, podemos considerar, por ejemplo, el Hyundai Kona. Bajo estas condiciones, podría alcanzar una autonomía efectiva de 485 kilómetros, es decir, 50 kilómetros más que los 435 kilómetros que se mencionan en la Tabla 6.

Tabla 6. Tabla con modelos de vehículos y distintas autonomías.

VEHÍCULO	AUTONOMÍA REAL	AUTONOMÍA CICLO WLTP	AUTONOMÍA CICLO NEDC
Hyundai Kona	435 km	482 km	564 km
Tesla Model S	533 km	-	632 km
Jaguar I-Pace	315 km	470 km	543 km
Renault Zoe	276 km	300 km	400 km
Nissan Leaf	211 km	270 km	378 km
Smart EQ fortwo	124 km	-	160 km

Fuente: elaboración propia a partir de Dalmau (2018).

En consecuencia, es crucial analizar detenidamente la autonomía efectiva antes de decidir la adquisición de un modelo específico o, en el caso de adaptar vehículos de combate a motorizaciones eléctricas, hay que estudiar bien las capacidades que se detallan en el PPT para establecer esas necesidades reales y tener un medio blindado de calidad, porque el éxito de la misión no puede depender de la autonomía del vehículo, ya que sería un grave error de planeamiento.

En cuanto a las especificaciones restantes incluidas en la Tabla 5, es relevante señalar que la autonomía de cada vehículo está determinada por dos factores fundamentales: la capacidad de la batería y la potencia del motor. Así como en un vehículo tradicional una mayor capacidad del tanque de gasolina se traduce en una mayor autonomía, en uno eléctrico, una mayor capacidad de la batería en kWh lo hace en una autonomía superior. Además, al igual



que en los vehículos de combustión con potencias superiores el consumo es mayor, en los eléctricos la autonomía se ve mermada. Los coches eléctricos de gama baja pueden tener capacidades de batería de hasta 30 kWh, los de gama media suelen oscilar entre 40 y 60 kWh y los vehículos de gama alta pueden contar con baterías de hasta aproximadamente 100 kWh. Asimismo, es preciso considerar que el estilo de conducción cotidiano debe estar en concordancia con la capacidad de autonomía del vehículo, es decir, si un vehículo eléctrico no se ajusta a las necesidades de un usuario, podemos concluir que este no está preparado todavía para abandonar el vehículo de combustión y sustituirlo por uno eléctrico.

La autonomía diaria estándar requerida por un usuario que usa un turismo eléctrico que se carga en casa cuando no se usa no debería exceder en ningún caso el 80 % de la capacidad total del vehículo. Por otra parte, como sucede con cualquier vehículo mientras se realiza un trayecto, resulta incómodo conducir cuando el nivel de energía o combustible cae por debajo del 10 %. Además, es importante destacar que hacerlo no resulta adecuado ni para la salud de la batería ni para la del motor de combustión.

Por lo demás, también es esencial dejar un margen de seguridad del 10 %, ya que el consumo de la batería, como se ha advertido más arriba, no es una ciencia exacta, sino que, como en el caso de un motor de combustión, dicho consumo depende de diversos factores, entre ellos, el uso del aire acondicionado, la conducción a velocidades más altas de lo habitual o unas condiciones climáticas extremas, aspectos todos ellos que pueden afectar la autonomía del vehículo. Además, es lógico considerar que el estilo de conducción puede influir también en el consumo de manera análoga a lo que ocurre en los vehículos de combustión, así como el hecho de conducir principalmente en áreas urbanas o de aprovechar el freno regenerativo con frecuencia, circunstancias que permiten aumentar la autonomía al recargar la batería durante la conducción.

A partir de la consideración de todos estos elementos, se sugiere que la distancia que se planea recorrer a diario debería poder ser cómodamente cubierta con el 60% de la autonomía real del vehículo. En otras palabras, si un automóvil como el Hyundai Kona ofrece una autonomía real de 435 km (Véase la Tabla 6), la distancia diaria que podría recorrer su usuario no debería superar los 261 km. Cuando se emplea el freno regenerativo en áreas urbanas y se mantiene una conducción adecuada, es factible considerar un rango de autonomía algo más amplio, aproximadamente entre 470 y 495 km.

Aplicando, por lo tanto, estas disquisiciones al terreno militar, la capacidad de la batería, suponiendo que se realiza una recarga diaria, tendrá que ser capaz de cubrir el 60% de los kilómetros diarios que se planean realizar. En el caso de que la carga se realice cada dos días, el porcentaje sería del 30% y así sucesivamente. Asimismo, el programa de implementación debería contemplar la adquisición del motor con su batería y un sistema de carga por vehículo, para poder cargar cada uno de forma individual.

La observación directa o participante se llevó a cabo, como se ha mencionado, durante unas maniobras de grupo del GCAC Villaviciosa II/61 con un VEC del ELAC 1/II/61 y un Leopard 2E del ELAC 2/II/61, ya que la sección de carros del primer escuadrón se encontraba desplegada en Letonia entonces y no se pudo contar con ellos para el estudio. No obstante, para elaborar el plan de adquisición habría que realizar estas pruebas con muchas unidades de línea para poder sacar una medida más ajustada y obtener un denominador común de cuáles son las necesidades reales de los vehículos.



Como se aprecia en la Tabla 7, durante la semana de maniobras, el VEC recorrió un total de 259 km y el Leopard algo menos de la mitad, en concreto, 126. Hay que destacar los 153 km del lunes con el VEC, ya que hubo una marcha motorizada fuera del campo de maniobras de 140 km (Véase la Ilustración 10), y los pocos kilómetros del martes y miércoles debido a problemas con la operatividad de los vehículos. El jueves fue un día ocupado en temas tácticos (Véase la Ilustración 11) y el viernes no hubo apenas movimiento porque fue el día de recogida de campamento.

Tabla 7. Kilometraje durante las maniobras del GCAC Villaviciosa II/61.

VEHÍCULOS	KILÓMETROS					KM TOTALES
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	
VEC	153	26	12	61	7	259
LEOPARDO	34	12	23	53	5	126

Fuente: elaboración propia

Por lo tanto, se van a estimar los máximos kilómetros diarios tanto del VEC como del Leopard 2E, en este caso, los 153 km del lunes y los 53 km del jueves (Véase la Tabla). No se tendrá en cuenta para el análisis que los kilómetros del lunes del VEC fueron en carretera y no por el campo de maniobras, lo que aumentaría el consumo de gasolina.

En el caso del VEC, si se cargara de forma diaria, habría que solicitar en el PPT una batería de al menos 255 km de autonomía; si se recargara cada dos días, la batería tendría que tener el doble de autonomía y, si se cargara cada tres días, el triple. En esta estimación no se tienen en cuenta el freno regenerativo ni el tipo de conducción ni el terreno. Por su parte, en el caso del Leopard 2E, si la carga planeada fuera diaria, se precisarían 83 kilómetros de autonomía total del vehículo; si el mando tiene en consideración la carga cada dos días, el PPT deberá solicitar 176 km de autonomía y, si se planifica una carga cada tres días, la batería habrá de proporcionar 353 km de autonomía.

Ilustración 10. Marcha de 140 km por carretera.



Fuente: elaboración propia.

Ilustración 11. Leopard en San Gregorio.



Fuente: elaboración propia.



4.5 Estudio de viabilidad económica

En este estudio de viabilidad económica se van a tratar dos grandes factores. Por un lado, el ahorro a largo plazo de la electrificación de los blindados y, por el otro, el coste de la carga considerando los factores que pueden hacer que este varíe. En primer lugar, a partir del análisis de una factura de la luz, se calculará el coste de la carga tomando como referencia una carga en el acuartelamiento, puesto que es donde los vehículos pasan el máximo tiempo durante todo el año. En cuanto al cálculo de lo que cuesta mover un blindado eléctrico, se van a extraer las diferencias con los turismos eléctricos. Este estudio se va a realizar analizando los turismos con cargas en el hogar, ya que permitirá identificar los factores que hay que tener en cuenta para que sea viable la carga en un recinto militar. La factura que se va a utilizar de ejemplo para explicar los conceptos tiene fecha de 2019 (Véase la Ilustración 12. Factura de la luz de 2019). No obstante, para que los cálculos sean más ajustados, tanto para el precio de la luz como para el litro de gasolina se va a tomar como referencia el día 18 de octubre de 2023.

Para comprender la información relacionada con el coste de la recarga de vehículos eléctricos y determinar si supone un ahorro con respecto al repostaje de un vehículo de combustión se han de considerar, en primer lugar, algunas especificaciones abordadas previamente en esta memoria como la capacidad de la batería, el tipo de cargador empleado y la potencia de carga utilizada. Sin embargo, estos elementos no son suficientes para evaluar el coste total de la recarga. Un factor crucial que falta es el coste de la energía en el lugar y en el momento en los que se realiza la recarga.

Para abordar todas las cuestiones planteadas, resulta apropiado comenzar con la explicación de una factura de electricidad estándar. Dado que esta presenta numerosos datos, nos vamos a limitar a examinar los conceptos clave resaltados en la segunda tabla de la Ilustración 12. De entre ellos, nos vamos a fijar, sobre todo, en los relacionados con la energía consumida, debido a que cuando se carga el vehículo se consume más energía.

Ilustración 12. Factura de la luz de 2019.

LUZ	
Importe por potencia contratada:	
3,45 kW x 0,120455 Eur/kW x 37 días	15,38 €
3,45 kW x 0,120455 Eur/kW x 24 días	9,97 €
En dicho importe, facturación por peaje de acceso:	
3,45 kW x 38,043426 Eur/kW y año x (61/365) días	21,93 €
	25,35 €
Importe por energía consumida:	
201 kWh x 0,141945 Eur/kWh	28,53 €
En dicho importe, su facturación por peaje de acceso ha sido:	
Consumo P1	
121 kWh x 0,062012 Eur/kWh	7,50 €
Consumo P3	
80 kWh x 0,0022215 Eur/kWh	0,18 €
	28,53 €
SUBTOTAL	53,88 €
OTROS CONCEPTOS	
Descuento -12 % x 53,88 Eur	-6,46 €
Impuesto electricidad (47,42 X 5,11269632 %)	2,42 €
Alquiler equipos de medida y control (61 días x 0,026721 Eur/día)	1,63 €
SUBTOTAL	-2,41 €
Importe total	51,47 €
IVA normal (21%) 21% s/ 51,47	10,81 €
TOTAL IMPORTE FACTURA	62,28 €
Precios de los términos del peaje de acceso publicados en Orden ETU 1282/2017.	
Precio del alquiler de los equipos de medida y control en Orden IET 1491/2013 de 3 de agosto.	

Por potencia contratada	25,35 €
Por energía consumida	28,53 €
Regularización y otros conceptos	-6,46 €
Impuesto electricidad	2,42 €
Alquiler equipos de medida y control	1,63 €
IVA normal (21%)	10,81 €
TOTAL IMPORTE FACTURA	62,28 €

Fuente: (Tomás Catalá, 2019).



La factura de electricidad que se adjunta nos va a ayudar a identificar qué elementos hay que tener en cuenta para calcular cuánto vale recorrer 100 km con un vehículo eléctrico y poder aplicar después dicho coste a un vehículo militar. En el ejemplo proporcionado, los kWh empleados representan un importe de 28,53€, lo que equivale al 45% del total de la factura. El otro 55% corresponde a otros conceptos que se abordan a continuación porque influyen en lo que podría costar la carga de un blindado de combate eléctrico.

El primer concepto es la potencia contratada. Este es un término fijo que se abona de acuerdo a lo pactado con la empresa suministradora de electricidad. Representa el máximo de kW que puede ser consumido en un instante específico en la vivienda. En el caso particular de esta factura, la potencia contratada es de 3,45 kW. Por lo tanto, se efectúa un pago diario por la disponibilidad de esta potencia de 0,120455 € por kW, lo que resulta en un coste acumulado durante un periodo de dos meses.

Del mismo modo que existe la opción de elevar la potencia máxima contratada en un hogar, en los cuartos sería necesario aumentarla en el caso de electrificar los vehículos de combate, porque la demanda de potencia máxima aumentaría considerablemente, sobre todo si se cargan de día, ya que se combinaría el propio consumo de vida y funcionamiento del cuartel con todos los puestos de carga. Por este motivo, si no se quiere aumentar demasiado la potencia máxima disponible en un acuartelamiento, habría que planificar muy bien las cargas y realizarlas durante la tarde o en horario nocturno, es decir, cuando la mayoría de los equipos eléctricos de las instalaciones están apagados. Esto sería posible porque siempre hay personal de guardia en los cuarteles. También se podría realizar de forma programada con enchufes inteligentes o dejando conectados los cables de carga, pero con el paso general de la luz inactivo hasta que se quiera iniciar dicha carga.

Otro problema lo constituiría el tamaño de la batería y la capacidad del cargador. Puede ser que por la noche no dé tiempo a cargar el porcentaje de batería al máximo o, lo que sería peor, a cargar hasta el porcentaje que permita cumplir los kilómetros de autonomía que se quieran recorrer al día siguiente. En ese caso, habría que cargar los vehículos en momentos en los que hay más personal en la base consumiendo electricidad, de tal manera que habría que aumentar aún más la potencia requerida. Además, habría que adaptar la potencia disponible al número de cargadores que se pretenda enchufar de forma simultánea y al número de kW que consume cada uno para, dejando un margen prudencial, poder asumir todo el consumo energético sin que se produzcan continuas caídas de red. A menor consumo de kW por cargador, más lenta será la carga y más horas tendrá que estar conectado. Pero esto no repercute en un gasto directo de carga de los vehículos, por lo que no se tiene en cuenta para este estudio.

Un segundo concepto es la energía consumida. El gasto reflejado en la factura tomada como ejemplo es de 28,53 €. Esta cantidad se calcula multiplicando la cantidad de electricidad consumida durante los dos meses (201 kWh) por el precio unitario de cada kWh.

El tercer concepto es el alquiler de dispositivos de medición y control. Es necesario contar con sistemas de medición que permitan cuantificar la energía consumida para su correspondiente evaluación. Estos dispositivos de medición son normalmente propiedad de la compañía eléctrica, a la que se abona un alquiler mensual en función de los días de uso. En este caso, el coste es de 1,63 €. Es importante destacar que este gasto no se relaciona con la carga de un vehículo eléctrico en casa, ya que se trata de un desembolso que ya está incluido de forma regular en cada factura y no supone un gasto extra.



El impuesto sobre la electricidad es otro concepto que hay que considerar. Los impuestos son un componente fijo y establecido. En este ejemplo, se aplican 2,42 €. Este coste hay que calcularlo en relación a los kWh que se consumen al cargar el vehículo eléctrico, por lo que habrá que tenerlo en cuenta para la comparativa entre el precio de mover un vehículo de combustión y uno electrificado, ya que cuantos más kWh se consuman más habrá que pagar en impuestos.

El quinto concepto es el Impuesto sobre el Valor Añadido (IVA). En este caso asciende al 21%, e incide en el coste de mantener un vehículo eléctrico cargado, dado que debe ser aplicado a cada kWh consumido por el automóvil, por lo que se tendrá en cuenta para los cálculos finales.

Por último, hay que considerar el descuento de 6,46 €, que equivale al 12% en la factura tomada como ejemplo. Dicho descuento se aplica a varios elementos y tiene un impacto en la cantidad de kWh consumidos por el vehículo eléctrico. La presencia o ausencia de este descuento puede variar en otras facturas, según los acuerdos individuales de cada usuario con la empresa suministradora de electricidad. En el caso de los cuarteles, los impuestos o los descuentos pueden variar con respecto a la tarifa contratada en un hogar, pero considerarlos nos va a permitir calcular el ahorro aproximado que supone mover un vehículo eléctrico en el ámbito militar.

Una vez expuestos los principales elementos que conforman una factura de la luz, es necesario centrar la atención en los aspectos que se necesitan para calcular el coste de cargar un vehículo eléctrico. Para ello se requiere conocer el precio de cada kWh suministrado a la batería (Andrés Blanco, 2023).

A continuación, se va a realizar un primer ejemplo de cálculo en unas condiciones específicas. A partir del valor del kWh del 18 de octubre de 2023, que era de 0,24213 €, se deben aplicar descuentos del 12%, un 5,11% de impuestos que vemos en la factura de la ilustración 12 y, finalmente, al resultado obtenido, se le aplica el 21% de IVA, sumándole el incremento al precio del kWh ya que encarece el precio de la recarga eléctrica. Asumiremos que no se realiza un aumento en la potencia contratada para los cálculos. El precio de la electricidad por kWh destinada al vehículo eléctrico en este ejemplo número 1 sería de 0,27 €:

$$\text{Precio del kWh} = (0,24213 \text{ €/kWh} - (0,24213 \text{ €/kWh} \times 0,12) + (0,24213 \text{ €/kWh} \times 0,0511)) \times 1,21 = 0,27 \text{ €/kWh}$$

Con este dato solo queda incorporar el automóvil a la ecuación. Tomemos como ejemplo un Renault Zoe, con una batería de 41 kWh y una autonomía real de 276 km. El coste de cargar la batería del 0 al 100 % sería de $(41 \text{ kWh} \times 0,27 \text{ €/kWh}) = 11,07 \text{ €}$, lo que permitiría recorrer esos 276 km. Al aplicar una regla de tres simple a este precio, el coste de cargar el automóvil para recorrer 100 km sería de 4,01€:

$$11,07 \text{ €/kWh} / 276 \text{ km} \times 100 \text{ km} = 4,01 \text{ € los 100 km}$$

También se ha explicado en este estudio que esta autonomía puede variar por el uso del freno regenerativo. En el caso del Renault Zoe, dicha autonomía se extendería hasta los 310km (Véase la Tabla . Con esta capacidad, recorrer 100 km tendría un coste de 3,57€:

$$11,07 \text{ €/kWh} / 310 \text{ km} \times 100 \text{ km} = 3,57 \text{ € los 100 km}$$

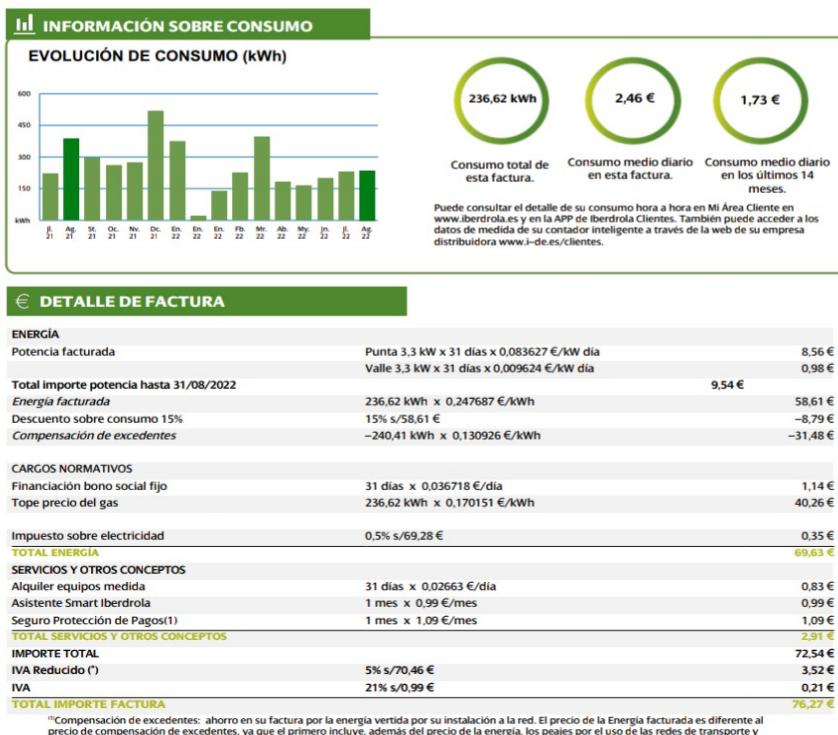


Comparemos este escenario con el de un vehículo de gasolina, que aproximadamente consume entre 5 y 7 litros por cada 100 km, dependiendo de si circula en entornos urbanos o en carreteras. Si el precio de la gasolina el 18 de octubre de 2023 era de 1,70 € por litro, el coste oscilaría entre 8,5 € y 11,9 € por cada 100 km. Por lo tanto, sería de 2 a 3 veces mayor en comparación con el de un vehículo eléctrico.

Hay distintas estrategias de reducción de costes a la hora de realizar la carga de un vehículo eléctrico. Una de ellas es la contratación de una tarifa eléctrica con discriminación horaria, en la cual el coste por kWh varía entre el periodo "diurno" (de 12 h. a 22 h.) y el "nocturno" (de 22 h. a 12 h.). Con esta forma de contratación, que se muestra en la factura de la Ilustración 13, asumimos que cargaríamos el vehículo únicamente durante el periodo valle (nocturno), pero habría que tener en cuenta también la cantidad de kWh que se gastan en el arco diurno para comparar si supondría un verdadero ahorro, ya que en los cuarteles la mayor parte de las actividades se llevan a cabo desde las 7 h. hasta las 16 h.

En el análisis detallado de esta segunda factura, se observa la diferencia de precio entre el periodo punta y el periodo valle. Al ser de 2022, por haber sido obtenida de Internet, no se pueden replicar los cálculos para compararlos con los realizados más arriba, ya que el precio del kW no es similar al actual y, además, cada compañía tiene tarifas valle distintas y estas no son públicas a no ser que haga la pertinente consulta. No obstante, nos permite constatar que al realizar la carga por la noche saldría todavía más económico el precio por kilómetro.

Ilustración 13. Factura de la luz de 2022 con precio punta y valle.



Fuente (OCU, 2023).



A pesar de que los cálculos se han realizado para un turismo, son aplicables a todos los motores con independencia del vehículo en el que se instalen, por lo que el ahorro advertido también se daría en el caso de los blindados de combate y debería tenerse en cuenta, puesto que permitiría moverlos diariamente con un coste mucho menor al actual.

Como se puede ver en la Tabla 8, a pesar de que el consumo es notablemente mayor en un blindado que un turismo, este ahorro es exponencial. Si, como se ha mencionado antes, con respecto a los 5-7 litros que consume de media un turismo de combustión, uno eléctrico consume entre 2 y 3 veces menos, es decir, entre 36 L y 65 L a los 100 km, dicho ahorro aumenta por cada kilómetro recorrido. Este hecho permite amortizar con el paso de los años la inversión inicial y, a la larga, reducir el presupuesto energético.

Tabla 8. Tabla de consumos del VEC según la gama de marchas.

POSICIÓN	1	2	3	D
Velocidad (KM/H)	10 km/h	45 km/h	60 km/h	90 km/h
Consumo (L/100 KM)	65 L/100km	36 L/100km	36 L/100km	43 L/100km
Cerebro Electrónico	1ª velocidad preseleccionada	De 1ª a 4ª y viceversa	De 1ª a 5ª y viceversa	De 2ª a 6ª y viceversa
Uso	Pendiente suave V. Remolcador (Uso anfibio)	Uso anfibio (preferiblemente)	Pendiente +12%	V. Remolcado Menor consumo

Fuente: Elaboración propia a partir de Mando de Adiestramiento y Doctrina (2000).



5 CONCLUSIONES

A continuación, se exponen las principales conclusiones sobre la viabilidad de implementar vehículos eléctricos o híbridos en unidades de Caballería que se han obtenido a través de la aplicación de las distintas metodologías empleadas en el estudio. Para su elaboración se ha seguido el análisis FADECO (Véase Anexo G: Análisis FACECO).

Uno de los principales riesgos de la implementación de vehículos eléctricos e híbridos en las unidades de Caballería es la autonomía. Hoy en día la movilidad sostenible está pensada para usuarios que realizan un kilometraje diario que cubren fácilmente con unos turismos que recargan en sus viviendas o en sus lugares de trabajo mientras el vehículo está estacionado. En este sentido, la tecnología disponible actualmente es un obstáculo importante para dicha implementación, porque la infraestructura eléctrica de los cuarteles no puede soportar la demanda energética que supone la recarga de baterías de múltiples vehículos de forma simultánea en un lapso de tiempo tan corto. Por otra parte, no hay en este momento ningún sistema con la potencia de carga suficiente para todos los blindados que componen un grupo de Caballería cuando se encuentra desplegado en maniobras o en cualquier otra circunstancia operacional. Si se desea electrificar los blindados en el presente, las horas de instrucción se verían afectadas por los tiempos de carga. La coherencia invita a esperar un tiempo para que las baterías mejoren sus capacidades, se carguen más rápido y sean más eficientes.

El militar está preparado para desplegarse en cualquier ambiente y estar en disposición de cumplir con las misiones asignadas. Un jinete del arma de Caballería tiene que estar preparado para ejecutar estas misiones con su “caballo”, es decir, con sus medios acorazados. El hecho de emplear medios eléctricos en sitios donde el acceso a la red eléctrica es imposible es otro factor limitante que imposibilita la implementación actual de esta tecnología, tal y como apuntaba el brigada Obregón en su entrevista. El plan de adquisición de medios eléctricos debería conllevar otro plan de adquisición de un sistema portátil de generadores eléctricos para poder cargar los 18 vehículos de combate que conforman un grupo de Caballería.

El estado del mantenimiento de los vehículos depende de la formación y los conocimientos de los militares que operan con ellos y, sobre todo, de aquellos que trabajan en el escalón como mecánicos de torre, barcaza, armamento y electrónica y velan por el estado operativo de estos. El Ejército de Tierra carece hoy en día, como apunta el brigada Santana, de una oferta formativa de cursos de tecnología eléctrica e híbrida, por lo que, si se plantea cambiar el uso de carburantes por el de los motores eléctricos, habría que activar una serie de cursos orientados a que todo el personal actualizara sus conocimientos y conociera los nuevos elementos con los que va a tener que trabajar de forma cotidiana. Por otra parte, es probable que, en el futuro, las Fuerzas Armadas deban apoyarse en empresas civiles habituadas a efectuar reparaciones y acciones de mantenimiento de esta nueva forma de movilidad.

Todos los puntos que se acaban de mencionar hacen que el coste inicial de diseño y adquisición de vehículos de combate eléctricos o híbridos se dispare de forma exponencial. Cabe esperar que siga la tendencia al alza en las ventas de este tipo de vehículos civiles para que optimicen los procedimientos de fábrica y se reduzcan los costes. Por otra parte, es una realidad que todas las vicisitudes que acompañan a la movilidad sostenible son una incógnita. Estamos hablando de una tecnología en desarrollo que viene a sustituir a otra que se lleva empleando durante más de un siglo, lo que genera un rechazo por parte del gran público fruto del desconocimiento. Esta circunstancia dificulta mucho diseñar un plan de adquisición de estos medios, porque conlleva muchas fases de pruebas, calidad y definiciones de requisitos que, con la ayuda de expertos, derive en un PPT que abarque todas las necesidades que



tienen las unidades de combate con sus medios acorazados. Dicho proceso requeriría solo en sus fases iniciales de una fuerte inyección presupuestaria acorde con la envergadura del proyecto.

En otro orden de cosas, no hay que perder de vista que se está hablando de vehículos de combate de Caballería. El monopolio por parte de países no aliados de los minerales que son necesarios para fabricar los motores eléctricos y las baterías es un problema real. Nuestra defensa no puede depender de que ciertos países quieran especular con los componentes necesarios para la producción de vehículos eléctricos. En este sentido, el complejo e incierto contexto geopolítico actual constituye un serio obstáculo para la transición energética deseada. Actores como China y Rusia jugarán, en este sentido, un papel clave en ella.

Sin embargo, no todos los aspectos de implementar esta tecnología son negativos. Planeta Tierra no hay más que uno y los encargados de preservarlo somos las personas que lo habitamos. El transporte es uno de los principales focos de contaminación en las principales ciudades, por lo que, desde la ciencia y la política, hay una voluntad clara y generalizada de avanzar hacia una movilidad más sostenible. El vehículo eléctrico es una de las soluciones que se plantean para reducir sustancialmente la contaminación en el sector del transporte. Por eso, cada vez hay más ayudas y subvenciones que tratan de paliar el elevado coste para acelerar esta transición. Es previsible que en un futuro no muy lejano se produzca una obsolescencia y un estancamiento en el desarrollo y la investigación de los motores de combustión, lo que afectaría gravemente a la cadena logística de repuestos del Ejército y a la operatividad de sus vehículos. En consecuencia, implementar los motores eléctricos en los vehículos de combate de Caballería, además de ayudar a reducir las emisiones de CO₂ a la atmósfera, también reduciría el riesgo de que los blindados de combustión quedaran inservibles por no contar con repuestos para su reparación.

A parte de lo dicho, un motor eléctrico presenta muchas ventajas novedosas que pueden ser aprovechadas por los militares en sus misiones. La nula sonoridad del motor, la potencia que proporciona, la escasa firma térmica y su gran rendimiento hacen que un blindado sea más difícil de detectar y que, en caso de que sea detectado, no sea fácil de alcanzar debido a la gran aceleración que estos motores permiten. Estos factores presentan, como se ha comentado, nuevos desafíos a la hora de hacer la guerra y obliga al enemigo a tener que adaptar sus tácticas, técnicas y procedimientos para enfrentarse a nuestros efectivos que habrán evolucionado de una forma significativa.

Por otro lado, a largo plazo, esta tecnología puede ser muy rentable. En comparación con el diésel, un vehículo eléctrico es mucho más económico. Por lo tanto, con el paso del tiempo se amortizaría el gran coste inicial, lo que permitiría a las unidades poder hacer ejercicios con sus vehículos con mayor frecuencia. Asimismo, el coste del mantenimiento es mucho menor respecto al de un vehículo de combustión: las piezas dañadas serían más fácilmente reemplazadas para permitir su uso para la instrucción, la maniobra o el combate.

Otro factor que invita a la esperanza es el hecho de que estén empleándose vehículos pesados exclusivamente eléctricos. Es habitual ir paseando por las calles de cualquier ciudad grande de España y ver un autobús urbano eléctrico transportando a los viajeros a bajo coste y con emisiones de CO₂ muy limitadas. También se están empezando a comercializar camiones con una autonomía considerable. Dado que los vehículos de combate de Caballería equipan motores muy similares a los de un camión pues por su peso se asemejan bastante, en un futuro no muy lejano esta tecnología podrá ser aplicada a los medios acorazados con las especificaciones necesarias.

Teniendo todos estos factores en cuenta, podemos concluir que el Ejército de Tierra



todavía no está preparado para equipar a un vehículo de esas capacidades con una motorización puramente eléctrica. De hecho, no hay ningún aliado militar que ahora mismo disponga de vehículos pesados de combate exclusivamente eléctricos, aunque sí hay varios países que poseen vehículos que incorporan tecnologías híbridas en sus unidades de línea. Es de esperar que hasta que ningún país dé el paso y comience a investigar y a experimentar con vehículos eléctricos, España no se sume a esta tendencia.

Una opción mucho más viable en la actualidad sería, por lo tanto, la ejecución de un plan de adaptación de los vehículos actuales mediante la instalación de una unidad de potencia externa, por ejemplo, un alternador. Esta hibridación tendría que permitir almacenar en su batería la suficiente energía para soportar más autonomía y poder transmitirla a los ejes. De este modo, se obtendría una versatilidad táctica total, tal y como señalan los encuestados y entrevistados para este Trabajo de Fin de Grado: se podrían realizar desplazamientos largos con combustible fósil y movimientos tácticos cerca del enemigo en completo silencio. Asimismo, mejoraría la supervivencia de los medios, ya que, en el caso de fallar uno de los dos motores, el otro podría responder y seguir desplazando el vehículo.

Si la implementación se contempla a medio plazo, es presumible que para entonces los motores eléctricos hayan mejorado más las capacidades que ofrecen los de combustión. Por lo tanto, es recomendable esperar unos años para que, con fondos comunes de la OTAN, España participe con medios materiales y humanos junto a los aliados para construir vehículos exclusivamente eléctricos que sustituyan a los medios acorazados actuales que, en muchos casos, por un exceso de longevidad, están equipados con una tecnología cada vez más obsoleta.

La movilidad eléctrica es una realidad cada vez más presente en los hogares y también va a ser la tendencia militar del futuro. Es un nuevo paradigma tecnológico que está dando sus primeros pasos y que ha venido para quedarse, por lo que, si aspiramos a disponer de un Ejército eficaz y puntero, hemos de investigar e invertir para transformar los medios con los que trabajamos y no ser relegados al triste papel de potencia desfasada y expuesta a las amenazas mundiales crecientes que se van manifestando de una forma cada vez más patente.



6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alanazi, F. (2023). "Electric Vehicles: Benefits, Challenges, and Potential Solutions for Widespread Adaptation". *Applied Sciences*, 13(10). Disponible en: <https://www.mdpi.com/2076-3417/13/10/6016> DOI: <https://doi.org/10.3390/app13106016> [Revisado en 18-10-2023].

Andrés Blanco, T. (2023). "¿Qué es y cómo calcular la potencia eléctrica?" bbva.com. Disponible en: <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-y-como-calcular-la-potencia-electrica/> [Revisado en 03-09-2023].

Ayuntamiento de Zaragoza (2022). "La llegada del primero de los 68 nuevos buses 100% eléctricos abre una nueva etapa de modernización de la red de transporte urbano", 30 de agosto. Disponible en: <https://www.zaragoza.es/sede/servicio/noticia/313641> [Revisado en 18-09-2023].

Biarrun, A. (2022). "El Ejército de EE. UU reemplazará los M2 Bradley con un vehículo de combate de infantería híbrido". *La Razón*, 20 de octubre. Disponible en: <https://www.larazon.es/tecnologia/20221020/hqe7ltwebfbgtp6c4ugemg5zgy.html> [Revisado en 20-10-2023].

Calidad. CUD Zaragoza (2021). "Tema 3. Planificación de la calidad".

Consejo Superior de Investigaciones Científicas (2023). "El hidrógeno verde, un acumulador energético para catapultar las renovables", 27 de mayo. Disponible en: <https://www.csic.es/es/actualidad-del-csic/el-hidrogeno-verde-un-acumulador-energetico-para-catapultar-las-renovables> [Revisado 16-11-2023].

Dalmau, J. (2018). "Comparativa de autonomía real de coches eléctricos". coches.net, 20 de julio. Disponible en: <https://www.coches.net/videos/vehiculos-electricos-autonomia-real> [Revisado en 06-09-2023].

De Aragón, E. (2019). VAMTAC, un vehículo eléctrico, todoterreno, de tecnología española, desarrollado para Defensa. Movilidadelectrica.com, 27 de noviembre. Disponible en: <https://movilidadelectrica.com/vamtac-un-vehiculo-electrico-todoterreno-de-tecnologia-espanola-desarrollado-para-defensa/> [Revisado en 28-09-2023].

Ejército de Tierra. "Organización y misión de la Caballería". Disponible en: <https://ejercito.defensa.gob.es/unidades/Valladolid/acab/Organizacion/materiales/index.html> [Revisado en 17-10-2023].

El Periódico de Aragón (2023). "Así es el nuevo bus 100% eléctrico que ya circula en Zaragoza: horario y recorrido", 18 de mayo. Disponible en: <https://www.elperiodicodearagon.com/zaragoza/2023/05/18/asi-es-el-nuevo-bus-100-electrico-que-ya-circula-en-zaragoza-horario-y-recorrido-87011061.html> [Revisado en 22-10-2023].

El Shenawy, K. (2023). "¿Qué tendencias marcarán la movilidad eléctrica en este 2023?". *El periódico de la energía*, 28 de febrero. Disponible en: <https://elperiodicodelaenergia.com/que-tendencias-marcaran-la-movilidad-electrica-en-este-2023/> [Revisado en 08-09-2023].

Endesa (2023), "El futuro del vehículo eléctrico pasa por la Inteligencia Artificial", 24 de octubre.



Disponible en: <https://www.endesa.com/es/la-cara-e/movilidad-sostenible/futuro-vehiculo-electrico-inteligencia-artificial> [Revisado en 25-10-2023].

Energía y sociedad (2019). “La eficiencia energética del vehículo eléctrico”. Disponible en: <https://www.energiaysociedad.es/manual-de-la-energia/4-2-la-eficiencia-energetica-del-vehiculo-electrico/> [Revisado en 08-10-2023].

Espí, A. y De la Torre Palacios, L. (2022). “Posibles efectos de la guerra Rusia-Ucrania en el mercado de las materias primas: los recursos minerales”. *Real Instituto Elcano*, 6 de julio. Disponible en: <https://www.realinstitutoelcano.org/analisis/posibles-efectos-de-la-guerra-rusia-ucrania-en-el-mercado-de-las-materias-primas-los-recursos-minerales/> [Revisado en 12-11-2023].

Fernández, J. (2021). Veinte años del Centauro: el blindado del que España presume se está quedando obsoleto. *El Confidencial*, 9 de mayo. Disponible en: https://www.elconfidencial.com/tecnologia/2021-05-09/centauro-tecnologia-militar-blindado-caballeria-fuerzas-armadas_3069383/ [Revisado en 14-10-2023].

García, G. (2022). “El ejército español se electrifica con el URO VAMTAC, un 4x4 eléctrico de autonomía extendida”. *Híbridos y eléctricos*, 29 de noviembre. Disponible en: https://www.hibridosyelectricos.com/coches/ejercito-espanol-electrifica-uro-vamtac-4x4-electrico-autonomia-extendida_31841_102.html [Revisado en 22-09-2023].

Gelmanova, Z.K. et al (2018). “Electric cars. Advantages and disadvantages”. *Journal of Physics: Conference Series*, 1015 (5). Disponible en: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1015/5/052029> DOI: 10.1088/1742-6596/1015/5/052029 [Revisado en 22-09-2023].

Gómez de Ágreda, Á. (2021). *Mundo Orwell. Manual de supervivencia para un mundo hiperconectado*. Barcelona: Planeta.

González, I. (2022). “Leopardo 2E, el carro de combate de la Brigada Guadarrama que España podría enviar a Ucrania”. *El Español*, 3 de marzo. Disponible en: https://www.elespanol.com/omicrono/tecnologia/20220303/leopardo-combate-brigada-guadarrama-espana-podria-ucrania/653684991_0.html [Revisado en 12-09-2023].

Goodyear (2018). “Mantenimiento de un coche eléctrico: todo lo que debes saber”, 24 de enero. Disponible en: <https://kilometrosquecuentan.goodyear.eu/mantenimiento-coche-electrico/> [Revisado en 09-09-2023].

Granados, O. (2023a). “Grandes potencias pelean por el control de los metales esenciales para la transición energética”. *El País*, 19 de agosto. Disponible en: <https://elpais.com/economia/negocios/2023-08-19/grandes-potencias-pelean-por-el-control-de-los-metales-esenciales-para-la-transicion-energetica.html> [Revisado en 16-09-2023].

Granados, O. (2023b). “Europa tiene un problema serio”. *El País*, 20 de agosto. Disponible en: <https://www.pressreader.com/spain/el-pais-madrid/20230820/282561612718430> [Revisado en 20-10-2023].

Greenpeace (2023). “Cambio climático”. Disponible en: <https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/cambio-climatico/> [Revisado en 14-11-2023].



Haghani M. et al. (2023). "Trends in electric vehicles research". *Transportation Research*, 123. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136192092300278X>. DOI: 10.1016/j.trd.2023.103881 [Revisado en 15-10-2023].

Infodefensa (2021). Grupo JPG mantendrá los blindados Pizarro del Ejército por nueve millones, 10 de mayo. Disponible en: <https://www.infodefensa.com/texto-diario/mostrar/3123244/grupo-jpg-mantendra-blindados-pizarro-ejercito-nueve-millones> [Revisado en 18-09-2023].

Infodron.es (2017). "El Ejército moderniza su flota de RPAS con sistemas 'Raven' digitales", 2 de enero. Disponible en: <https://www.infodron.es/texto-diario/mostrar/3531733/ejercito-moderniza-flota-rpas-sistemas-039raven-039-digitales> [Revisado en 10-10-2023].

Kramer, D. M. y Parker, G. G. (2011). "Current state of military hybrid vehicle development". *International Journal of Electric and Hybrid Vehicles*. 3 (4), pp. 369-387. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/315842801_Current_state_of_military_hybrid_vehicle_development DOI: 0.1504/IJEHV.2011.044373 [Revisado en 2-11-2023].

Lew, R. (2013). *El atlas geopolítico de China*. Le Monde Diplomatique-Fundación Mondiplo-Universidad Nacional de Educación a Distancia

Mando de Adiestramiento y Doctrina (2000). *Manual de instrucción conductor de BMR M-1*. MI6-032.

Mando de Adiestramiento y Doctrina (2011). PD1-001. *Empleo de las fuerzas terrestres*.

Mareca Miralles, J. (2018), Diseño e implementación de un BMS para BVE (Battery Electric Vehicle). Trabajo de Fin de Grado. Universidad de Zaragoza. Disponible en <https://zaguan.unizar.es/record/76348/files/TAZ-TFG-2018-4776.pdf> [Revisado en 28-10-2023]

Marín, J. (2023). "Todos los camiones eléctricos que están disponibles en España y los que van a llegar". *Mundo Deportivo*, 19 de marzo. Disponible en: <https://www.mundodeportivo.com/urbantecnico/motor/todos-los-camiones-electricos-que-estan-disponibles-en-espana-y-los-que-van-a-llegar> [Revisado en 06-10-2023].

Márquez, J. (2022). "Ya tenemos tanques híbridos propulsados con motores eléctricos. Sólo llegan cien años después del primero". Xataka, 14 de octubre. Disponible en: <https://www.xataka.com/otros/tenemos-tanques-hibridos-propulsados-motores-electricos-solo-llegan-cien-anos-despues-primeros> [Revisado en 19-09-2023].

Martim Salgado, R. et al (2021). "The Latest Trends in Electric Vehicles Batteries". *Molecules*, 26 (11). Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8198776/> DOI: 10.3390/molecules26113188 [Revisado en 10-09-2023].

Mills W. y Wiechens R. (2022). "The lethality case for electric military vehicles". *Modern War Institute*, West Point, 12 de enero. Disponible en: <https://mwi.westpoint.edu/the-lethality-case-for-electric-military-vehicles/> [Revisado en 10-10-2023].

Navarro García, J. M^a. (2022). "Los secretos del nuevo carro de combate AbramsX". defensa.com, 21 de octubre. Disponible en: <https://www.defensa.com/industria/secretos-nuevo-carro-combate-abramsx> [Revisado en 20-10-2023].



Oficina de proyectos, CUD Zaragoza (2022). “Tema 5. Gestión de riesgos”.

Organización de Consumidores y Usuarios (2023). “Cómo entender la factura de la luz”. Disponible en: <https://www.ocu.org/vivienda-y-energia/gas-luz/consejos/como-descifrar-la-factura-de-la-luz> [Revisado en 09-09-2023].

Piancastelli L. et al. (2023). “Electric Hybrid Power train for Armored Vehicles. *Energies*, 16 (6). Disponible en: <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/6/2605> DOI: 10.3390/en16062605 [Revisado en 29-09-2023].

Plaza, D. (2022). “¿Qué es el ciclo WLTP y en qué se diferencia del NEDC?” Motor.es. Disponible en: <https://www.motor.es/que-es/wltp> [Revisado en 29-10-2023].

Plaza, D. (2023). “6 tendencias que definirán la movilidad eléctrica en 2023”. Motor.es, 17 de enero. Disponible en: <https://www.motor.es/noticias/tendencias-movilidad-electrica-202392438.html> [Revisado en 29-10-2023].

Power Electronics. “NB Station Power Electronics”. Disponible en: <https://power-electronics.com/mobility/nb-station> [Revisado en 14-10-2023].

Real Automóvil Club de España (2023a). “La prohibición de los coches diésel y de gasolina en España ya tiene fecha: 2035”, 31 de julio. Disponible en: <https://www.race.es/prohibicion-coches-diisel#:~:text=A%20partir%20del%20a%C3%B1o%202035,tipo%20hasta%20el%20a%C3%B1o%202050> [Revisado en 16-10-2023].

Real Automóvil Club de España (2023b). “Freno regenerativo: qué es y cómo funciona”, 5 de julio. Disponible en: <https://www.race.es/freno-regenerativo-que-es-como-funciona> [Revisado en 21-10-2023].

Razmjoo A. et al. (2022). “A Comprehensive Study on the Expansion of Electric Vehicles in Europe”. *Applied Sciences*, 12(22). Disponible en: <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/22/11656> DOI: 10.3390/app122211656 [Revisado en 29-10-2023].

Sierra Ortiz, A. (2023). “La seguridad energética de China: geopolítica y transición energética” *Documento Opinión*, 88/2023 *Instituto Español de Estudios Estratégicos*. Disponible en: https://www.ieee.es/Galerias/fichero/docs_opinion/2023/DIEEO88_2023_ANDSIE_China.pdf [Revisado en 11-11-2023].

Tapia, I. (2022). “La geopolítica de la transición energética”. *Revista Electrónica Papeles de Energía*, 17. Disponible en: <https://www.funcas.es/articulos/la-geopolitica-de-la-transicion-energetica/> [Revisado 12-11-2023].

Tomás Catalá, J. (2019). *Todo lo que debes saber sobre el coche eléctrico*. Universidad de Valencia.

Tzu, S. (S. V a.C.). *El arte de la guerra*.

Universidad Nacional de la Plata (2018). “Tema 11. Motores eléctricos”. Disponible en <https://unlp.edu.ar/wp-content/uploads/32/33732/cbe4aba99c3a4ecc904dd2c666d1f03.pdf> [Revisado en 28-10-2023]



Velázquez, A. (2022). “¿Qué es el análisis DAFO?” QuestionPro. Disponible en <https://www.questionpro.com/blog/es/analisisdafo/#:~:text=El%20an%C3%A1lisis%20DAFO%20que%20por,%2C%20producto%2C%20lugar%20o%20persona> [Revisado en 10-09-2023].

Wikipedia. “Archivo:C-16-VEC-1(2).JPG”. Disponible en: <https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:C-16-VEC-1%282%29.JPG> [Revisado en 17-09-2023].

Wikipedia. “Bradley Fighting Vehicle”. Disponible en: https://en.wikipedia.org/wiki/Bradley_Fighting_Vehicle [Revisado en 25-09-2023].

Zona Eco Hyundai (2020). “Coche híbrido enchufable (PHEV): ¿qué es y cómo funciona?” Disponible en: <https://www.hyundai.com/es/zonaeco/eco-drive/tecnologia/que-es-hibrido-enchufable> [Revisado en 20-09-2023].

Zona Eco Hyundai (2022). “¿Qué son los coches híbridos eléctricos autorrecargables o no enchufables?” Disponible en: <https://www.hyundai.com/es/zonaeco/eco-drive/tecnologia/coche-hibrido-autorrecargable#:~:text=As%C3%AD%20un%20h%C3%ADbrido%20el%C3%A9ctrico%20no,ver%20con%20los%20h%C3%ADbridos%20enchufables> [Revisado en 20-09-2023].



7 ANEXOS

Anexo A: Organización temporal del trabajo

Tabla 5. Diagrama de GANT.

		Nombre	Duracion	Inicio	Terminado
1		Prácticas en el GCAC Villaviciosa II/61.	30 days	4/09/23 8:00	13/10/23 17:00
2		Revisión bibliográfica.	30 days	4/09/23 8:00	13/10/23 17:00
3		Determinación de título del TFG y objetivos con el DIRMIL.	5 days	4/09/23 8:00	8/09/23 17:00
4		Preparación encuestas.	7 days	4/09/23 8:00	12/09/23 17:00
5		Preparación entrevista.	7 days	4/09/23 8:00	12/09/23 17:00
6		Preparación maniobras.	5 days	11/09/23 8:00	15/09/23 17:00
7		Realización de la propuesta del TFG.	2 days	15/09/23 8:00	18/09/23 17:00
8		Maniobras de grupo en Renedo Cabezón.	5 days	18/09/23 8:00	22/09/23 17:00
9		Toma de datos para la metodología experimental.	5 days	18/09/23 8:00	22/09/23 17:00
10		Realización de encuestas.	15 days	25/09/23 8:00	13/10/23 17:00
11		Realización de entrevistas.	15 days	25/09/23 8:00	13/10/23 17:00
12		Redacción introducción.	5 days	25/09/23 8:00	29/09/23 17:00
13		Realización de análisis de riesgos.	5 days	25/09/23 8:00	29/09/23 17:00
14		Redacción y análisis de la metodología experimental.	5 days	25/09/23 8:00	29/09/23 17:00
15		Realización de DAFO.	5 days	25/09/23 8:00	29/09/23 17:00
16		Realización FADECO.	5 days	2/10/23 8:00	6/10/23 17:00
17		Realización QFD.	5 days	2/10/23 8:00	6/10/23 17:00
18		Redacción del marco teórico.	5 days	2/10/23 8:00	6/10/23 17:00
19		Montaje del cuerpo del TFG con las metodologías.	5 days	9/10/23 8:00	13/10/23 17:00
20		Redacción de la conclusión y abstract.	5 days	9/10/23 8:00	13/10/23 17:00
21		Estancia en la AGM.	12 days	16/10/23 8:00	31/10/23 17:00
22		Redacción del borrador del TFG con las correcciones del DIRACA.	12 days	16/10/23 8:00	31/10/23 17:00

Fuente. Elaboración propia

Esta es la programación que se ha seguido para poder concluir de manera exitosa la investigación. La clave de esta programación ha sido adelantar todo el trabajo posible durante el periodo de prácticas en la unidad y aprovechar las dos últimas semanas de octubre en la Academia General Militar para, con la orientación de la directora académica del TFG, concluir la redacción de la memoria.



Anexo B: Vehículos de combate de Caballería

Un jinete no es nada sin su caballo. Los medios son los que hacen que el arma de Caballería sea única y pueda cumplir cometidos muy distintos al resto de armas. Los “caballos” que utiliza esta especialidad fundamental en la actualidad son medios acorazados, ya sean sobre ruedas o cadenas con un armamento principal potente y con otros secundarios que le permiten ejecutar acciones de fuego sobre objetivos distintos. Los vehículos de combate de Caballería en España principalmente son el VEC, el Leopard 2E, el VRCC Centauro y el Pizarro.

Ilustración 14. VEC.



Fuente: (Wikipedia)

Especificaciones:

Peso: 13,7 T (15Tn en orden de combate)

Potencia: 310CV (Ejército de Tierra)

Autonomía máxima en carretera: 800km



Ilustración 15. Leopard 2E.



Fuente (González, 2022)

Especificaciones:

Peso: 50T

Potencia: 1500CV

Autonomía máxima en carretera: 340km

Ilustración 16. VRCC Centauro.



Fuente (Fernández, 2021)

Especificaciones:

Peso: 24T

Potencia: 520CV

Autonomía máxima en carretera: 800km



Ilustración 17. Pizarro.



Fuente (Infodefensa, 2021)

Especificaciones:

Peso: 28T

Potencia: 600CV

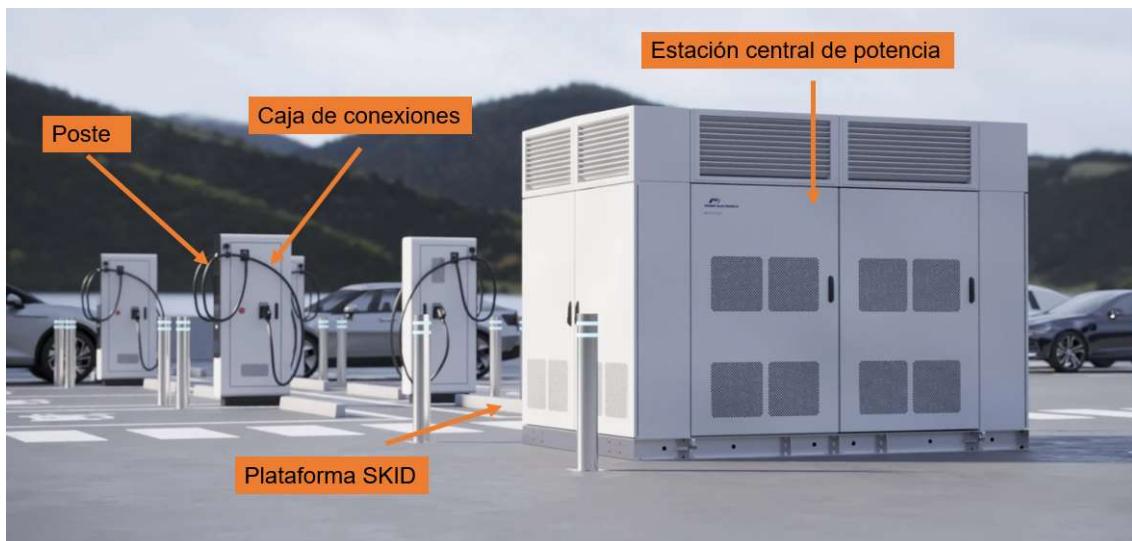
Autonomía máxima en carretera: 800km



Anexo C: Partes que forman un puesto de carga

¿Qué componentes son necesarios para implantar la infraestructura de carga en una instalación militar? ¿Cómo se podría adaptar a un despliegue en un campo de maniobras?

Ilustración 18. Estación de carga rápida Power Electronics.



Fuente: elaboración propia a partir de (Power Electronics).

En la Ilustración 18 se pueden ver, de izquierda a derecha, los componentes que conforman una estación de carga y que habitualmente se usan en electrolineras de carga rápida para turismos eléctricos. Estos son:

1. Los postes de carga: sirven como interfaz con el usuario del vehículo. En la actualidad se considera apropiado para un vehículo convencional una potencia de alrededor de 50 kW, y, para vehículos con baterías más grandes, será necesario incrementar la potencia. En el caso de vehículos de combate se asume que la potencia de estos cargadores lógicamente habrá de ser mayor.
2. La plataforma: la electricidad no requiere de almacenamiento subterráneo, por lo que únicamente protege el transporte de la energía desde la caja de conexiones al puesto de carga.
3. La caja de conexiones: es donde se llevan a cabo todas las conexiones necesarias entre los postes de carga y la estación central.
4. La estación central de potencia: se ubica entre los postes de carga y la red eléctrica, debido a la gran cantidad de potencia que se requiere para el funcionamiento (Tomás Catalá, 2019).

Implementar esta instalación en un cuartel donde el acceso a la red eléctrica solo requiere de una modificación de su infraestructura es relativamente sencillo y no llevará más que tiempo y esfuerzo. Pero el verdadero reto es poder generar una estructura de carga similar mediante generadores para poder disponer de un sistema de carga para todos los vehículos que despliegan en una zona de operaciones donde no hay acceso a la electricidad de manera sencilla. Los escenarios de combate actuales son distintos y cambiantes y no se puede depender del acceso a la red eléctrica convencional para poder alimentar a los vehículos.



Anexo D: Futuras líneas de investigación

Las futuras líneas de investigación en el ámbito de la movilidad sostenible apuntan hacia una transición gradual desde los motores de combustión interna hacia tecnologías más limpias y eficientes, como la propulsión eléctrica. Este hecho plantea desafíos y oportunidades significativas en relación con la obsolescencia de los motores de combustión y sus implicaciones para las piezas y repuestos en la industria automotriz (Haghani *et al*, 2023). A continuación, se examinan estas tendencias y cómo podrían impactar en el mercado de piezas de repuesto.

Movilidad sostenible y la transición a vehículos eléctricos:

Avances en motores eléctricos y baterías. Las investigaciones en vehículos eléctricos continuarán progresando en términos de eficiencia, autonomía y sostenibilidad. Estos avances respaldarán la transición hacia una movilidad más limpia y la eventual obsolescencia de los motores de combustión interna. Al producir y utilizar más motores de estas características es de esperar que mejoren sus calidades, ya que la previsión es que se inviertan más recursos en investigación y desarrollo (Martim Salgado *et al*, 2021).

Desarrollo de infraestructura de carga. La investigación se hace necesaria para expandir y mejorar la infraestructura de carga de vehículos eléctricos y de hidrógeno. Esto incluye la implementación de estaciones de carga más rápidas, eficientes y accesibles, que facilitará la adopción generalizada de vehículos sostenibles. Estos avances beneficiarán a la industria militar, ya que posiblemente se desarrolle formas más eficientes de carga y alguna tecnología de carga portátil que supondría un gran avance para la carga en campos de maniobras y de operaciones.

Impacto en la industria de piezas de repuesto:

Reducción en la demanda de piezas de motor de combustión. Con la gradual disminución de vehículos equipados con motores de combustión interna, la demanda de piezas de repuesto específicas para estos motores también experimentará un descenso y un encarecimiento debido a su menor producción. Los componentes afectados serán pistones, válvulas, árboles de levas y sistemas de escape; todos fundamentales en la cadena logística de repuesto del Ejército.

Auge en la demanda de piezas de repuesto para sistemas eléctricos. A medida que los vehículos eléctricos se vuelven más comunes, la necesidad de piezas de repuesto relacionadas con sistemas eléctricos y electrónicos, como baterías, motores eléctricos, inversores y sistemas de gestión de energía, experimentará un crecimiento considerable. Esto puede suponer un problema, porque hacen falta ciertos minerales esenciales para la fabricación de estos componentes y estos están en poder de pocos países. En el nivel estratégico militar, si se rompen relaciones con estos países, este monopolio afectaría a la cadena de suministros. Es el caso, por ejemplo, de las complicadas relaciones diplomáticas con China, potencia que dispone de todos los suministros necesarios para la fabricación de vehículos eléctricos (Plaza, 2023).

Reciclaje y reutilización de componentes. Las investigaciones sobre el reciclaje y la reutilización de componentes de vehículos de combustión interna pueden contribuir a minimizar el desperdicio y aprovechar la inversión en tecnología automotriz existente en lo referente a carrocerías y elementos no móviles del motor que se puedan reutilizar (El Shenawy, 2023).



Innovación en estrategias de mantenimiento:

Diagnóstico y mantenimiento predictivo. La investigación se centrará en el desarrollo de sistemas de diagnóstico y mantenimiento predictivo que permitan una supervisión más efectiva de los vehículos eléctricos y una planificación precisa de las reparaciones. Estos sistemas supondrán un ahorro en los costes de mantenimiento, ya que se evitarán averías con mayor facilidad. Para el Ejército, tales investigaciones serán una gran ventaja, ya que habitualmente los escalones siempre tienen numerosas órdenes de trabajo que limitan la operatividad de los vehículos.

Ilustración 19. Reventón de la rueda de un VRCC Centauro en San Gregorio.



Fuente: elaboración propia

Formación y certificación de técnico. Con la evolución de la tecnología de vehículos, será fundamental crear programas de capacitación y certificación para los técnicos de servicio, para asegurar que estén preparados para mantener y reparar vehículos eléctricos. Como apuntan las brigadas Obregón y Santana en sus respectivas entrevistas, en la actualidad no se imparten cursos de formación sobre tecnología híbrida y eléctrica en el Ejército de Tierra, ya que no se dispone de vehículos específicos con esta tecnología.

Economía circular y sostenibilidad:

Investigación en economía circular. La economía circular se centrará en el reciclaje de materiales y componentes de vehículos obsoletos, lo que contribuirá a mitigar el impacto ambiental de la obsolescencia de los motores de combustión. Dicho reciclaje también es aplicable a los vehículos eléctricos, puesto que la batería es un elemento que, cuando se daña, se reemplaza por otra para renovar la vida útil del vehículo. Estas baterías son altamente contaminantes y hoy en día son difícilmente reciclables (Razmjoo *et al.*, 2022).

Repuestos reacondicionados y mercados de piezas de segunda mano. A medida que se comercializan más vehículos eléctricos habrá un más amplio mercado de repuestos reacondicionados y piezas de segunda mano, lo que puede reducir costes y minimizar la generación de residuos.



Anexo E: Encuesta

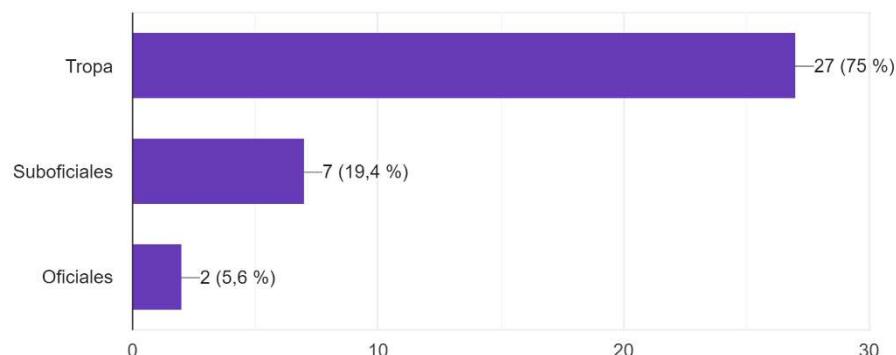
Con la finalidad de cubrir los objetivos del trabajo, se ha consultado la opinión del personal de las unidades de línea que trabajan diariamente con los medios blindados y conocen sus virtudes y servidumbres a la perfección. La población total estaba formada por las 150 personas que componen el GCAC Villaviciosa. Finalmente, la muestra estuvo compuesta por 36 encuestados. A pesar de no resultar muy representativa, resulta interesante observar cómo la mayoría de los participantes coinciden en sus respuestas. El cuestionario incluyó ocho preguntas relacionadas con distintos aspectos de interés sobre la electrificación de los medios blindados. Todas las preguntas fueron cerradas, salvo la 6 y la 8, que buscaban un comentario cualitativo adicional a las cuestiones 5 y 7, respectivamente.

Las preguntas 1 y 2 buscaban conocer el perfil demográfico de los participantes: escala y experiencia. Como se observa en las Ilustraciones 20 y 21, la mayoría de ellos pertenecían a la escala de tropa y llevaban pocos años de servicio.

Ilustración 20. Resultado de la pregunta 1 de la encuesta.

1. ¿A qué escala pertenece?

36 respuestas

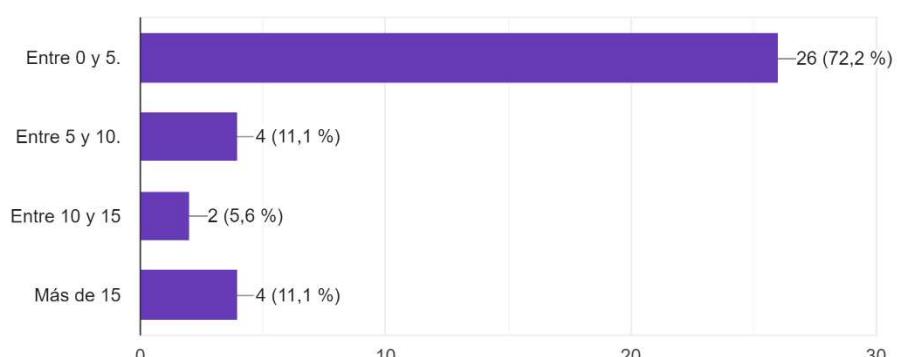


Fuente: elaboración propia.

Ilustración 21. Resultado de la pregunta 2 de la encuesta.

2. ¿Cuántos años lleva de servicio?

36 respuestas



Fuente: elaboración propia.

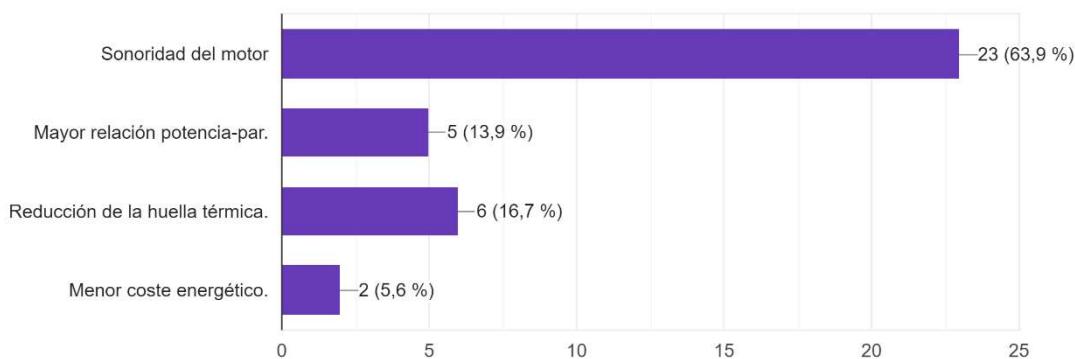


El resto de preguntas buscaban detectar las posibles aplicaciones militares de equipar motorizaciones eléctricas en los vehículos de combate. La 3 y la 4 interrogaban a los encuestados por la principal ventaja y desventaja táctica y, como se puede apreciar en las Ilustraciones 22 y 23, las respuestas son bastante unánimes: un 63,9% considera como la mayor ventaja la baja sonoridad del motor, mientras que un 66,7% entiende que la durabilidad de la batería es uno de los factores más críticos, como se ha apuntado en el análisis QFD.

Ilustración 22. Resultado de la pregunta 3 de la encuesta.

3. ¿Qué ventaja táctica considera más beneficiosa en un vehículo de combate de Caballería con un motor eléctrico o híbrido?

36 respuestas

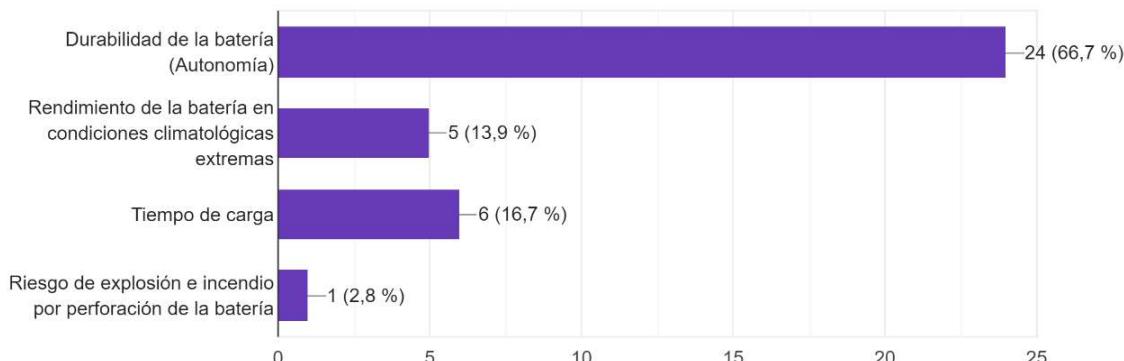


Fuente: elaboración propia

Ilustración 23. Resultado de la pregunta 4 de la encuesta.

4. ¿Qué principal desventaja ve en un motor eléctrico o híbrido en un vehículo de combate de Caballería?

36 respuestas



Fuente: elaboración propia.

Las preguntas 5 y 7 cuestionaban a los participantes sobre el tipo de motor, eléctrico, híbrido enchufable o híbrido no enchufable, que considerarían más adecuado para las unidades de Caballería y sobre el tipo de vehículo que estas poseen en la actualidad lo implementarían. Como muestra la Ilustración 24, la mayoría de los encuestados optaron por el

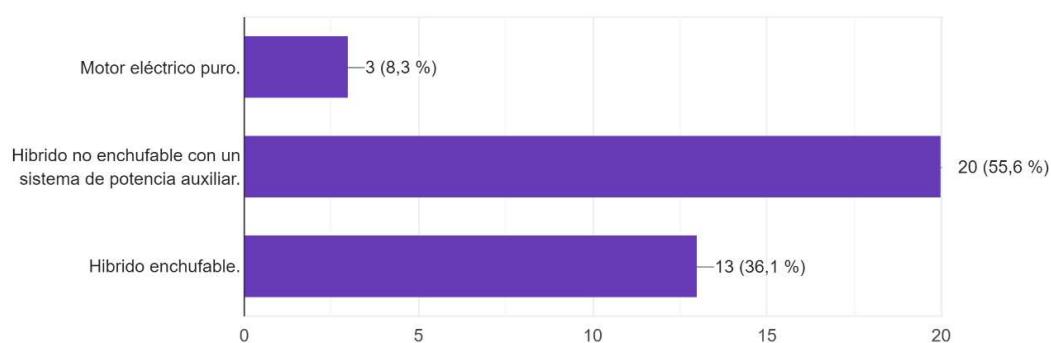


motor híbrido frente al eléctrico. Sin embargo, no hubo una unanimidad clara respecto al tipo de motor híbrido, enchufable o no enchufable, que sería más aconsejable. Las razones de quienes optaron por uno u otro las encontramos, no obstante, en las respuestas a la pregunta abierta 6. Quienes se decantaron por el motor híbrido no enchufable con un sistema de potencia auxiliar, lo hicieron porque, según ellos, da más versatilidad y no exige generar una compleja estructura de puestos de carga. En cuanto a los que optaron por el híbrido enchufable, justificaron su elección por la reducción del consumo y la ya aludida versatilidad táctica.

Ilustración 24. Resultado de la pregunta 5 de la encuesta.

5. ¿Por qué tipo de motor se decantaría?

36 respuestas



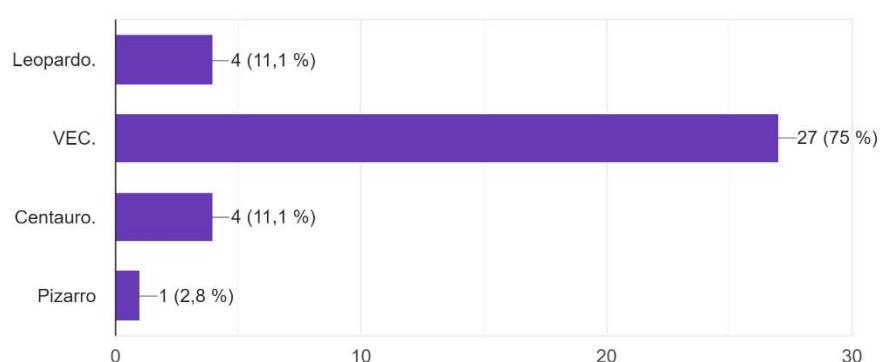
Fuente: elaboración propia

Por último, en la pregunta 7 se recuperó el consenso. En este caso, para el 75% de los encuestados el VEC es el vehículo más apropiado para la implementación de motores electrificados. El motivo principal lo encontramos en las respuestas a la pregunta abierta 8 y es que pesa bastante menos que el resto de vehículos.

Ilustración 25. Resultado de la pregunta 7 de la encuesta.

7. ¿En qué vehículo de combate de Caballería encontraría más útil la implementación de un motor eléctrico o híbrido?

36 respuestas



Fuente: elaboración propia



Anexo F: Entrevistas

Para contar con la opinión de expertos para la realización de este Trabajo de Fin de Grado, se han realizado sendas entrevistas a dos brigadas del acuartelamiento “El Empecinado” que trabajan en el escalón reparando vehículos de combate de Caballería.

Entrevista 1. Brigada especialista en Automoción Antonio Obregón Pérez. Técnico Superior en Automoción.

Ingresó en las Fuerzas Armadas en septiembre de 1998 en la especialidad de Caballería. En 2004 ingresó en la Academia de Suboficiales, especialidad AUTOM. 5 años en Caballería con BMR y VEC; 17 años en Unidades de Infantería Ligera con vehículos ligeros, camiones, BMR, VAMTAC, RG31, y LMV. Dos misiones en Afganistán como 2º y 3º escalón de mantenimiento de vehículos. Toda una vida en el campo dedicado a labores agrícolas y ganaderas en una finca familiar apoyando a sus congéneres a través del manteniendo y la reparación de maquinaria agrícola antigua, actual y de última generación.

1. ¿Qué ventajas tácticas considera que se obtienen al usar un motor eléctrico o híbrido en un vehículo de combate de Caballería?

Los vehículos con motor eléctrico y los vehículos híbridos cuando van usando el motor eléctrico cuentan con la ventaja de usar propulsores que no emiten ruido y que apenas desprenden calor, por lo que son menos detectables frente a los visores térmicos en comparación con los motores diésel. Además, los propulsores eléctricos tienen mayor par motor (fuerza del motor) a bajas revoluciones, lo que les aporta mayor aceleración, mejor salida, en definitiva, mejor arrancada.

2. ¿Cuáles son los principales problemas que ve en el uso de baterías eléctricas en vehículos de combate de Caballería?

Las principales desventajas que, en mi opinión, tienen los motores eléctricos son cuatro. En primer lugar, poseen una autonomía inferior a los térmicos. Además, es fácil para un vehículo militar aumentar su autonomía cargando unas petacas o bidones de combustible, mientras que es muy complicado para un eléctrico montar una batería auxiliar con capacidad suficiente. Por otra parte, los motores eléctricos son más pesados que los térmicos. Una batería más pesada dificultará o impedirá muchos movimientos logísticos terrestres, aéreos e incluso por vía marítima. En síntesis, mientras no mejoren las capacidades de las baterías, hay que sacrificar la autonomía para mantener los pesos existentes. La tercera desventaja es la carga de la batería. El repostaje de los vehículos militares rara vez supera los 15 minutos de duración, mientras que la carga de una batería de la capacidad de un vehículo militar llevará bastante más tiempo aun contando con cargadores rápidos. Además, una carga en zona de despliegue habrá de hacerse con grupos electrógenos potentes, con lo que igualmente se necesitará el transporte de combustible diésel a dicha zona. Por último, está el riesgo de incendio. Las baterías de iones de litio actualmente utilizadas en los vehículos eléctricos son inflamables, al



igual que el JP8 o el diésel; por lo que habría que prestar especial atención a su ventilación, ya que el litio arde agresivamente.

3. El uso de motores 100% eléctricos hace que piezas como el motor de combustión, la caja de cambios, el alternador y otros elementos sean prescindibles y se puedan usar como repuestos en la cadena logística. ¿Qué piensa de este hipotético ahorro y del alivio de la cadena logística de repuestos?

Pienso que de existir un ahorro económico no va a ser gracias a la introducción de los vehículos eléctricos. Aunque las piezas que has enumerado pueden ser prescindibles, existen otras que no lo son. Te pongo tres ejemplos. Dependiendo del tipo de vehículo eléctrico o híbrido de que se trate, se puede equipar un motor acoplado a una transmisión o varios motores, es decir, un motor acoplado a cada una de las ruedas. Por lo tanto, habrá elementos de la transmisión que necesiten recambio. Otro ejemplo. Aunque los vehículos eléctricos carecen del tradicional alternador, van equipados con otro elemento parecido que es el regenerador de energía que convierte el calor que desprenden los frenos en funcionamiento en electricidad. Finalmente, están las baterías de recambio, que son grandes y pesadas.

4. ¿Qué le parece más viable: la implementación de un motor eléctrico o híbrido en un vehículo en uso o la adquisición de unos nuevos que disfruten de esta tecnología?

Me parece más económico y realista la adaptación de un vehículo en uso, porque las líneas de montaje ya existen, así como los chasis, la carrocería y también la línea de repuestos.

5. ¿Qué alternativa sería la idónea para un vehículo de combate de Caballería: ¿un motor eléctrico puro, un motor híbrido enchufable o uno híbrido no enchufable con un sistema de potencia auxiliar? ¿Por qué?

En mi opinión, el idóneo es el híbrido no enchufable. Los dos híbridos tienen mayor autonomía que el eléctrico puro, y no quedan atados a una estación de carga exclusivamente. Respecto al híbrido no enchufable, además de llevar un motor térmico, equipa una unidad autónoma de carga de batería, aunque la autonomía no sea muy elevada. No obstante, los vehículos de Caballería son de una masa elevada, y va a ser realmente difícil sustituir este tipo de vehículo por uno eléctrico. Un vehículo grande y pesado requiere de baterías aún más grandes y pesadas. El desarrollo del diésel sintético haría viable el montaje de un híbrido eléctrico/diésel, que podría ser el vehículo ideal y no solo para la Caballería.

6. Un motor eléctrico tiene en torno a un 60% menos de piezas que uno de combustión. ¿En qué medida su implementación facilitará el mantenimiento ordinario de las unidades? ¿Y en un despliegue en maniobras?

De nuevo, depende del tipo de vehículo y de la plataforma elegida. Si es un vehículo existente adaptado a eléctrico, va a usar ejes de propulsión o transmisiones. Como vehículo militar apto para todo tipo de terreno, necesitará transmisión 4X4 y seguramente también reductora, por lo que va a ser necesario el empleo de algún acoplamiento elástico entre el motor eléctrico y la caja de transmisión o entre el motor eléctrico y el grupo diferencial, de modo



que algún embrague montará. En cuanto a los fluidos, se han reducido mucho, pero las direcciones eléctricas siguen funcionando con fluido hidráulico, así como los sistemas de frenado, los de apertura/cierre de rampas y puertas pesadas o los de elevación de cabinas que llevan bombas eléctricas para los circuitos hidráulicos.

Respecto del mantenimiento del día a día por parte de los usuarios directos, aquí sí contamos con ventaja, pues los motores eléctricos requieren menos tareas de mantenimiento preventivo, aunque de nuevo dependerá del tipo de plataforma. En cuanto al mantenimiento en unas maniobras, dependerá de varios factores, como la humedad, el polvo, las altas temperaturas... Los componentes eléctricos y electrónicos de nuestros vehículos militares nos han dado muestras abundantes de no ser inmunes a estos factores medioambientales.

7. ¿Cómo implementaría una infraestructura de carga para garantizar el suministro en los acuartelamientos? ¿Y cómo garantizaría dicho suministro en una zona de acción, ya sea en unas maniobras o en un teatro de operaciones?

En un acuartelamiento con amplia plantilla de vehículos como la base “El Empecinado”, si estos fuesen eléctricos, sería necesario un enorme suministro eléctrico. La viabilidad dependerá de disponer de una estación transformadora propia o de la construcción de una planta fotovoltaica. En unas maniobras o en un teatro de operaciones la infraestructura de carga va a depender de grandes grupos electrógenos que consumen combustible fósil supeditados a las posibilidades logísticas.

8. Un vehículo que se enchufa a la luz necesita seis veces más minerales que uno convencional. La gran mayoría de estas materias primas necesarias para la fabricación de baterías dependen, en gran medida de pocos países, entre ellos, China, Bolivia, Argentina, Congo, Australia o la India. ¿Qué opina de esta dependencia estratégica a largo plazo y cómo puede afectar a las relaciones geopolíticas de España en el futuro?

En estos momentos dependemos en gran medida del flujo de abastecimiento de petróleo que viene de Nigeria, Estados Unidos, México y, en último lugar, Rusia. Es decir, ya conocemos la dependencia estratégica y, al menos, España goza de buenas relaciones geopolíticas con dichos países. En el futuro, cultivar cuidadosamente las relaciones con los países productores de esos minerales va a ser fundamental. El desarrollo del diésel sintético que alcance a cumplir los requerimientos necesarios para reducir a cero las emisiones contaminantes será vital, ya que no solo simplificaría el gran problema de emisiones contaminantes de los vehículos, sino también la citada dependencia estratégica.



Entrevista 2. Brigada especialista en Automoción Jesús Santana Rodríguez.

La experiencia del brigada Santana con vehículos blindados/acerazados incluye 9 años en el RACA 11 realizando tareas de mantenimiento de 2º Escalón de ATP M-110 y M-109; 2 años en el RCLAC 12 realizando tareas de mantenimiento de 2º Escalón de BMR/VEC; otros 2 años en el RCR 12 realizando tareas de mantenimiento de 2º Escalón de CC LEOPARDO 2E, y 3 años en la AALOG 61 realizando tareas de mantenimiento de 3º Escalón de CC LEOPARDO 2E y LEOPARD 2 A4.

1. ¿Qué ventajas tácticas considera que se obtienen al usar un motor eléctrico o híbrido en un vehículo de combate de Caballería?

Antes de comenzar a responder ninguna pregunta, quiero recalcar que mi experiencia y conocimientos están centrados en el mantenimiento de los vehículos con motor de combustión. Hasta el momento, no hemos recibido cursos de formación para vehículos eléctricos, por lo que mi conocimiento sobre este tema es reducido y para nada soy un experto en la materia. Dicho esto, pienso que entre las ventajas de este tipo de vehículos es la reducción del ruido del motor en comparación con los de combustión producen, lo que conlleva una ventaja en el campo de batalla. Además, otra ventaja añadida es la reducción de temperatura que se produce respecto a los motores térmicos, que los hace menos detectables.

2. ¿Cuáles son los principales problemas que ve en el uso de baterías eléctricas en vehículos de combate de Caballería?

El principal problema que veo es la escasa autonomía que las baterías puedan proporcionar a los vehículos de estas características teniendo en cuenta su peso y los elementos alimentados por electricidad que llevan instalados. Otro inconveniente es la recarga de las baterías por el tiempo y las instalaciones que precisan, en comparación a los vehículos de combustión, que puede repostar en poco tiempo y sin tener que retroceder demasiado.

3. El uso de motores 100% eléctricos hace que piezas como el motor de combustión, la caja de cambios, el alternador y otros elementos sean prescindibles y se puedan usar como repuestos en la cadena logística. ¿Qué piensa de este hipotético ahorro y del alivio de la cadena logística de repuestos?

Es cierto que supondría un ahorro económico y una reducción de la carga logística que hoy en día supone el mantenimiento de este tipo de vehículos, pero también hay que tener en cuenta que los vehículos eléctricos también necesitarán su mantenimiento y tendrán piezas que sufran desgastes, por lo tanto, requerirán repuestos, lo que aumentará el número de artículos que habrá que adquirir para el mismo vehículo si se mantienen las dos versiones: la de combustión y la eléctrica.



4. ¿Qué le parece más viable: la implementación de un motor eléctrico o híbrido en un vehículo en uso o la adquisición de unos nuevos que disfruten de esta tecnología?

Desconozco qué opción sería más viable, pero en los dos casos supondría un elevado desembolso económico.

5. ¿Qué alternativa sería la idónea para un vehículo de combate de Caballería: un motor eléctrico puro, un motor híbrido enchufable o uno híbrido no enchufable con un sistema de potencia auxiliar? ¿Por qué?

Al igual que en la pregunta anterior, desconozco cuál sería la alternativa más idónea para un vehículo de Caballería atendiendo a las necesidades específicas del arma.

6. Un motor eléctrico tiene en torno a un 60% menos de piezas que uno de combustión. ¿En qué medida su implementación facilitará el mantenimiento ordinario de las unidades? ¿Y en un despliegue en maniobras?

Lógicamente si reducimos el número de piezas también reducimos el mantenimiento que conlleva un grupo-motor convencional. Del mismo modo, también se reduciría la plantilla necesaria tanto en la unidad como en un despliegue.

7. ¿Cómo implementaría una infraestructura de carga para garantizar el suministro en los acuartelamientos? ¿Y cómo garantizaría dicho suministro en una zona de acción, ya sea en unas maniobras o en un teatro de operaciones?

Desconozco qué sobredimensionamiento en la infraestructura eléctrica habría que realizar en las bases para adaptarlas a las nuevas necesidades. En zonas de operaciones sería un tanto complejo situar estos puntos de carga móviles por el tiempo que estos vehículos precisan para llenar sus baterías.

8. Un vehículo que se enchufa a la luz necesita seis veces más minerales que uno convencional. La gran mayoría de estas materias necesarias para la fabricación de baterías dependen, en gran medida de pocos países, entre ellos, China, Bolivia, Argentina, Congo, Australia o la India. ¿Qué opina de esta dependencia estratégica a largo plazo y cómo puede afectar a las relaciones geopolíticas de España en el futuro?

Cuanto mayor sea la dependencia que se tenga de terceros países para la obtención de las materias primas necesarias para fabricar los componentes de los nuevos vehículos, más limitada será su construcción y mayores serán también los costes. Esto nos obligará a seguir manteniendo relaciones con países que no estén en concordancia con las organizaciones internacionales con las que España está comprometida.



Anexo G: Análisis FADECO

Esta herramienta de uso frecuente en el ámbito militar para la toma de decisiones en operaciones se ha utilizado como apoyo para la elaboración de las conclusiones. En ella se plantean los distintos factores que se han analizado durante el estudio para valorar la viabilidad de la implementación de los motores eléctricos o híbridos en las unidades de Caballería y, a partir de ellos, se realizan unas deducciones que se justifican en las conclusiones.

Factor 1:

Factor: La autonomía se identifica como el mayor riesgo y problema para la adaptación de los vehículos militares a las tecnologías de movilidad sostenible.

Deducción: la tecnología actual de los turismos eléctricos está planteada para usuarios civiles que cargan sus vehículos diariamente en sus viviendas cuando no utilizan el automóvil.

Conclusión: en la actualidad emplear estas baterías es un plan muy ambicioso, puesto que no siempre se tiene acceso a la red de carga en campos de maniobras y teatros de operaciones ni se puede generar una infraestructura de recarga móvil lo suficientemente potente para garantizar la carga de vehículos. Si se pretende electrificar los vehículos de combate en la actualidad, habría que hacer un estudio minucioso y pormenorizado conducente a efectuar las cargas de manera programada y tener en cuenta que la instrucción se vería afectada, por lo que las capacidades tácticas también quedarían mermadas. Es, por lo tanto, cuestión de esperar unos años a que la tecnología avance y las baterías reduzcan su coste a la mitad, tengan el doble de capacidad y ofrezcan mejores especificaciones de seguridad. No obstante, el hecho de que ya existan vehículos pesados eléctricos, como autobuses y camiones, hace pensar que la transición hacia una movilidad sostenible será para los vehículos de combate una realidad en un futuro próximo.

Factor 2:

Factor: No hay países aliados que tengan en sus unidades de línea vehículos de combate pesados que equipen motorizaciones eléctricas. Sí que hay algunos que equipan tecnología híbrida, pero son modelos nuevos. También hay algunos prototipos exclusivamente eléctricos, pero todavía no están en funcionamiento.

Deducción: la investigación militar enfocada a la electrificación de sus medios se encuentra en un estado embrionario, dado que la mayoría de los países que presentan prototipos dedican más presupuesto a defensa que España y no dan el paso hacia motorizaciones más novedosas.

Conclusión: la investigación militar española no puede, en las condiciones actuales, desarrollar un proyecto de esta envergadura y se tiene que apoyar en sus aliados de la OTAN para elaborar un plan de diseño y adquisición. Por lo tanto, hasta que no haya países con más potencia militar que den el paso, España seguirá a la retaguardia de la investigación en este campo. Es necesario sellar convenios de colaboración para compartir los gastos y, obviamente, los beneficios derivados de los avances logrados.

**Factor 3:**

Factor: la forma de generar una infraestructura móvil de carga para el gran número de vehículos que componen las unidades de línea precisaría de otro programa de diseño y adquisición.

Deducción: incurre en más costes iniciales para el proyecto y retrasaría su ejecución

Conclusión: hay que esperar a que avance la tecnología y el proceso de electrificación de movilidad a nivel mundial para que se investigue más sobre los generadores y, sobre todo, sobre el aprovechamiento en ellos de las energías renovables, ya que recursos como el sol, el viento y el agua están presentes en todos los escenarios de maniobras u operaciones.

Factor 4:

Factor: la formación de los militares del escalón de especialistas del Ejército de Tierra en mecánica de motores eléctricos e híbridos es nula.

Deducción: no se puede impulsar una tecnología sobre la que no se conoce.

Conclusión: esta situación hace que el mando no estimule la investigación sobre estas motorizaciones y nos encontremos estancados. Por otra parte, el plan de adquisición precisaría de un ambicioso programa de formación para poder conocer los motores eléctricos y su mantenimiento, que es, como ya se ha explicado, totalmente distinto al de los motores de combustión.

Factor 5:

Factor: se están empezando a usar motores puramente eléctricos en vehículos civiles pesados.

Deducción: esta tecnología es viable y con el tiempo mejorarán sus condiciones.

Conclusión: el Ejército tendrá que esperar para poder adaptar motores y baterías de autobuses y camiones a vehículos más pesados, como ha ocurrido con los motores de combustión.

Factor 6:

Factor: la movilidad eléctrica es bastante más barata que el transporte con combustibles fósiles.

Deducción: con el transcurso de los años se amortizará la gran inversión inicial que supone y se podrán dedicar más recursos a otras áreas con el fin de cubrir las carencias actuales de las unidades.



Conclusión: no hay que ver la gran inversión inicial como una desventaja, sino como una inversión a futuro que, a la larga, acabará suponiendo un ahorro importante y podrá proveer de más horas de instrucción en los vehículos.

Factor 7:

Factor: la infraestructura actual de los cuarteles no soportaría el alto volumen de demanda eléctrica de la carga de tantos vehículos a la vez.

Deducción: hay que actualizar todo el sistema de red eléctrica en las líneas donde se aparcan los vehículos y modificar el suministro de la electricidad.

Conclusión: se debe desarrollar una fase muy importante de diseño de infraestructuras e invertir dinero en este aspecto para hacer viable el proyecto.

Factor 8:

Factor: el precio de los vehículos civiles eléctricos es considerablemente más elevado que los convencionales.

Deducción: el coste de la misma tecnología para vehículos militares será más elevado que el de los motores de combustión.

Conclusión: el coste inicial de adquisición actual sería muy elevado, por lo que lo más prudente sería encontrar el momento en que el avance la tecnología, siguiendo la tendencia actual del mercado, llegue a abaratar los costes de producción y a mejorar su fabricación.

Factor 9:

Factor: los motores eléctricos presentan ventajas tácticas con mejoras notables en el rendimiento, la potencia, la sonoridad y la firma térmica de los motores.

Deducción: un buen motor eléctrico rinde mejor que uno de combustión.

Conclusión: la transición hacia la motorización sostenible es un hecho al que se va a acabar aspirando.

Factor 10:

Factor: el mantenimiento de los vehículos eléctricos es más sencillo y económico.

Deducción: los vehículos pasarán menos tiempo en el escalón.

Conclusión: la operatividad de los vehículos será mucho mejor y se podrá hacer



instrucción de calidad con muchos vehículos para tener al personal mejor formado.

Factor 11:

Factor: la dependencia geopolítica de países que monopolizan minerales puede suponer en el futuro un problema en la cadena de suministros de repuestos.

Deducción: hay que intentar mejorar las relaciones con países que controlan esos materiales y fortalecer las alianzas ya existentes para que la cooperación propicie la obtención de las materias primas necesarias para fabricar motores eléctricos a precios razonables.

Conclusión: el plano estratégico mundial es clave en el entorno cambiante que atraviesa el mundo en la actualidad y hay que intentar anteponer los intereses nacionales para gestionar bien las relaciones internacionales que tiene el país. De igual forma, hay que intentar impulsar la producción nacional, pero sin materias primas no es posible la producción propia.

Factor 12:

Factor: la obsolescencia de los motores de combustión es cuestión de tiempo.

Deducción: puede haber escasez de repuestos y encarecimiento de las piezas, ya que, ante la menor demanda, las empresas productoras de suministros pueden aprovecharse y subir los precios.

Conclusión: la obsolescencia de la tecnología no es una ciencia exacta, pero si la cadena logística de repuestos en la actualidad ya es un problema, con la desaparición de los motores de combustión este no haría más que acentuarse.

Factor 13:

Factor: el programa de adquisición que supondría generar medios electrificados de combate tiene muchas dimensiones y hay muchas fases de diseño y pruebas que hay que acometer.

Deducción: habría que invertir mucho tiempo en el proyecto para poder solicitar todas las especificaciones y pruebas de calidad necesarias que garanticen un producto seguro, fiable y duradero.

Conclusión: la adquisición de medios es un punto crítico del proceso, ya que requiere una gran inversión de dinero. La tecnología eléctrica de la movilidad es, además, un campo totalmente desconocido para muchos. Es importante la formación previa y el apoyo de expertos para realizar una fase minuciosa de diseño que genere un PPT detallado para obtener un producto final de calidad y poder tener el máximo beneficio en el futuro. Al ser un terreno desconocido hay que aplicar un esfuerzo especial que vaya desbrozando las dificultades que impiden recorrer el camino.

**Factor 14:**

Factor: la movilidad eléctrica es un gran desconocido para la mayoría de las personas.

Deducción: los factores que se perciben como desventajas dependen mucho de cómo se utilicen los medios y qué objetivos se persigan con su uso.

Conclusión: en la actualidad, el gran público no conoce en profundidad la movilidad eléctrica y conlleva cierto rechazo, pero, si se da a conocer y se estudia para sacar el máximo partido, es una tecnología en desarrollo con muchos beneficios que están todavía por terminar de explotar.

Factor 15:

Factor: voluntad generalizada de realizar una transición ecológica hacia una movilidad sostenible.

Deducción: hay muchos intereses y dinero destinado en la industria civil a generar un transporte que reduzca las emisiones para la preservación del planeta.

Conclusión: si el Ejército realiza una transición verde podría beneficiarse de recibir más dinero de las partidas de los Presupuestos Generales del Estado. Además, las empresas privadas que realicen las ofertas a las licitaciones públicas podrán proponer mejores precios al poder recurrir a subvenciones y ventajas fiscales destinadas a la transición hacia este nuevo modelo de movilidad.