

# Trabajo Fin de Grado

Vehículos eléctricos e híbridos y su posible  
implementación en los vehículos del Ejército de tierra

Autor

C.A.C. Álvaro Basadre Santos

Director/es

Director académico: Doctora Dña. Adeline Rezeau

Director militar: Capitán D. Fabián Martínez Viol

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar

2021



## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer al personal del Grupo de Caballería Ligero Acorazado Numancia del Regimiento de Caballería España 11 toda la dedicación y asistencia brindadas, en especial al Capitán D. Fabián Martínez Viol, así como a todo el personal destinado en el Primer Escuadrón Acorazado y el Segundo Escalón de mantenimiento de la unidad. A mi tutora civil la Doctora Dña. Adeline Rezeau por su atención y dedicación a este Trabajo de Fin de Grado. A mis padres Omar y Teresa por su paciencia a lo largo de todos estos años, a mi hermano Mateo por ser un pilar de vital importancia en mi vida; y a mis amigos Sergio, Pedro y Luis por sus asesoramientos y consejos durante el periodo de prácticas externas.

Me gustaría también hacer una mención especial a todos y cada uno de los profesores que me han impartido clase desde mis inicios en los colegios con 2 años de edad hasta hoy en día, pues han sido piezas clave para mi formación tanto en materias didácticas como en valores personales y de educación básica.

Por último quiero hacer una mención especial al Teniente Coronel del arma de Caballería D. Antonio Jesús Bellido Alonso, destinado en la Jefatura de Adiestramiento y Doctrina de Caballería, sin el que hubiera resultado imposible conseguir información y fuentes de tan alta fiabilidad y calidad.



## **RESUMEN**

Este trabajo de fin de grado estudia la viabilidad acerca de la hibridación de los vehículos de ruedas de las unidades de Caballería. Para ello en primer lugar se analizan los diversos tipos de configuraciones existentes y las diferentes fuentes de energía empleadas en la actualidad. Por otra parte, se hace una exposición de las tecnologías ya existentes en el sector militar. Finalmente se analiza individualmente cada vehículo en plantilla, se efectúa una simulación con el VRCC "Centaurus" y se analiza el impacto potencial de las tecnologías estudiadas en el ámbito militar.

Desde el inicio de la investigación se ha querido hacer un enfoque global a modo de comparación y análisis de las principales tecnologías empleadas en la actualidad en el mundo del motor, exponiendo las diversas ventajas y desventajas que estas ofrecen.

Por otra parte se han analizado los diversos tipos de baterías que sobresalen en el sector, exponiendo sus puntos fuertes y débiles y llegando a la conclusión de cuál sería la más adecuada para un vehículo militar.

Asimismo, se ha efectuado un estudio detallado del estado del arte del tema en cuestión en el panorama militar internacional, observando el grado de desarrollo y destacando varios vehículos y prototipos punteros en el sector.

Por último se ha tratado de extrapolar todo lo anterior al nivel interno de las unidades de Caballería del Ejército de Tierra, analizando al detalle los sistemas ya existentes, y calculando de forma numérica una serie de parámetros tales como potencias eléctricas de motores y baterías eléctricas necesarios para satisfacer las necesidades del VRCC "Centaurus".

Como parte final de la investigación, se extraen conclusiones relacionadas con los diferentes niveles de planeamiento de las operaciones militares.

## **PALABRAS CLAVE**

MACI, HED, VRCC, Vehículo híbrido, militar.



## **ABSTRACT**

This end-of degree dissertation tackles the feasibility of hybridizing the wheeled vehicles of Cavalry units. In order to achieve this, first of all, the various types of existing configurations and the different energy sources used today are analysed. On the other hand, there is an exhibition of the technologies already existing in the military sector. Finally, each vehicle is individually analysed on the staff, a simulation is carried out with the VRCC “Centauro” and the potential impact of the technologies studied in the military field is studied.

Since the beginning of the research, a global approach has been sought by comparing and analysing the main technologies currently used in the motor world, exposing the various advantages and disadvantages they offer.

On the other hand, the different types of batteries that stand out in the sector have been analysed, exposing their strengths and weaknesses and reaching the conclusion of which would be the most suitable for a military vehicle.

Likewise, a detailed study of the state of the art of the subject in question on the international military scene has been carried out, observing the development’s degree and highlighting several leading vehicles and prototypes of the sector.

Finally, an attempt has been made to extrapolate all of the above to the internal level of Cavalry units, analysing the existing systems in detail, and calculating numerically a series of parameters such as electrical powers of motors and necessary electrical batteries needed by the VRCC “Centauro”.

As a final part of the investigation, conclusions are drawn related to the different levels of planning for military operations.

## **KEYWORDS**

ICE, HED, VRCC, Hybrid vehicle, military.



## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>Agradecimientos</b>	<b>II</b>
<b>Resumen</b>	<b>III</b>
<b>Palabras clave</b>	<b>III</b>
<b>Abstract</b>	<b>IV</b>
<b>Keywords</b>	<b>IV</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>VII</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES</b>	<b>VIII</b>
<b>Abreviaturas, siglas y acrónimos</b>	<b>IX</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Objetivos y metodología</b>	<b>2</b>
2.1 Objetivos y alcance	2
2.2 Metodología	2
<b>3. Antecedentes y marco teórico (estado de la cuestión)</b>	<b>3</b>
3.1 Situación actual en el sector Defensa	3
<b>4. Tecnologías actuales de los motores híbridos y eléctricos del sector civil</b>	<b>4</b>
4.1 Clasificación	4
4.1.1 Vehículo eléctrico híbrido (HEV)	4
4.1.2 Vehículo eléctrico híbrido enchufable (PHEV)	5
4.1.3 Vehículo híbrido de celda de combustible (FCEV)	6
4.1.4 Vehículo eléctrico puro (EV)	6
4.1.5 Análisis comparativo	7
4.2 Sistemas de propulsión	9
4.2.1 Configuración power-split	9
4.2.2 Configuración en serie	9
4.2.3 Configuración en paralelo	10
4.3 Sistemas de almacenamiento de energía	11
4.3.1 Baterías	11
4.3.2 Pilas de combustible	12
4.3.3 Ultra condensadores	12
<b>5. Tecnologías actuales de los motores híbridos y eléctricos del sector defensa</b>	<b>13</b>
5.1 Tendencias	13
5.2 Vehículos existentes destacados	13
5.3 Viabilidad en los vehículos de la familia ruedas en dotación de las unidades de Caballería	17
5.3.1 VAMTAC ST-5	17



5.3.2	Vehículo de exploración de caballería (VEC)	19
5.3.3	Vehículo de reconocimiento y combate de caballería "Centauro" (VRCC Centauro)	21
<b>6.</b>	<b>Posible implementación en el VRCC Centauro</b>	<b>22</b>
6.1	Motor eléctrico necesario	22
6.2	Batería necesaria	23
6.3	Impacto del VRCC Centauro híbrido	24
6.3.1	Nivel estratégico	24
6.3.2	Nivel operacional	24
6.3.3	Nivel táctico	24
6.4	Problemas detectados y asumidos en el estudio	25
<b>7.</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>26</b>
<b>8.</b>	<b>Referencias bibliográficas</b>	<b>27</b>
<b>9.</b>	<b>Anexos</b>	<b>29</b>
9.1	CÁLCULOS	29
9.1.1	MOTOR ELÉCTRICO	29
9.1.2	BATERÍA ELÉCTRICA	29
9.2	ENCUESTA	30
9.3	ENTREVISTA 1	32
9.4	ENTREVISTA 2	33



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 3.1: Estimación de ventas anuales de coches eléctricos en el mundo (Noya, 2021).....</b>	<b>3</b>
<b>Figura 4.1: Configuración de un HEV (Ingeniería, 2020).....</b>	<b>4</b>
<b>Figura 4.2: Análisis DAFO de un HEV (elaboración propia) .....</b>	<b>5</b>
<b>Figura 4.3: Configuración de un PHEV (Ingeniería, 2020). .....</b>	<b>5</b>
<b>Figura 4.4: Análisis DAFO de un PHEV (elaboración propia).....</b>	<b>5</b>
<b>Figura 4.5: Configuración de un FCEV (elaboración propia).....</b>	<b>6</b>
<b>Figura 4.6: Análisis DAFO de un FCEV (elaboración propia).....</b>	<b>6</b>
<b>Figura 4.7: Configuración de un EV (Ingeniería, 2020). .....</b>	<b>7</b>
<b>Figura 4.8: Análisis DAFO de un EV (elaboración propia).....</b>	<b>7</b>
<b>Figura 4.9: Despliegue QFD de las diferentes configuraciones (elaboración propia)....</b>	<b>8</b>
<b>Figura 4.10: Esquema de funcionamiento de un vehículo power-split (Cesvimat, 2017). .....</b>	<b>9</b>
<b>Figura 4.11: Esquema de funcionamiento de un vehículo en serie (Cesvimat, 2017). .</b>	<b>10</b>
<b>Figura 4.12: Esquema de funcionamiento de un vehículo en paralelo (Cesvimat, 2017). .....</b>	<b>10</b>
<b>Figura 4.13: Tipología y análisis comparativo de baterías (elaboración propia). .....</b>	<b>11</b>
<b>Figura 4.14: Ejemplo de batería Litio- Ion en el sector civil (Ikelectro, 2018).....</b>	<b>12</b>
<b>Figura 4.15: Esquema del funcionamiento de las pilas de combustible (Sanchez Criado, 2014).....</b>	<b>12</b>
<b>Figura 4.16: Ejemplo de diseño de un ultra condensador (Sanchez Criado, 2016). ....</b>	<b>13</b>
<b>Figura 5.1: Demostrador de DARPA en un plano inclinado (Lambert, 2018). .....</b>	<b>14</b>
<b>Figura 5. 2: Esquema de sistemas del T-HEV (Taira, Yoshikawa and Jumonji, 2017). .</b>	<b>14</b>
<b>Figura 5.3: Especificaciones técnicas del T-HEV (Taira, Yoshikawa and Jumonji, 2017) .....</b>	<b>15</b>
<b>Figura 5.4: Motocicleta UBCO 2x2 (Fernández, 2020b). .....</b>	<b>15</b>
<b>Figura 5.5: Prototipo inicial del ISV de General Motors (Pascual, 2021). .....</b>	<b>16</b>
<b>Figura 5.6: Vehículo Storm durante pruebas en zonas arenosas (Pérez, 2021).....</b>	<b>16</b>
<b>Figura 5.7: Prototipo del MEV (Hishman, 2021).....</b>	<b>17</b>
<b>Figura 5.8: VERT del RC España 11 en el CENAD San Gregorio (fotografía propia)....</b>	<b>17</b>
<b>Figura 5.9: Esquema de tracción existente comparado con el dimensionado. ....</b>	<b>18</b>
<b>Figura 5.10: Instalación de los sistemas necesarios para la propulsión híbrida (Díez Cámara, 2021).....</b>	<b>19</b>
<b>Figura 5.11: Parte trasera del VERT (fotografía propia).....</b>	<b>19</b>
<b>Figura 5.12: Características mecánicas principales del VEC (Doctrina et al., 2013). ...</b>	<b>19</b>



<b>Figura 5.13: Vista lateral del sistema de transmisión del VEC (adaptado de (Doctrina et al., 2013)).....</b>	<b>20</b>
<b>Figura 5.14: Vista superior del sistema de transmisión del VEC (elaboración propia).</b>	<b>20</b>
<b>Figura 5.15: Características mecánicas principales del VRCC CENTAURO (Doctrina et al., 2009).....</b>	<b>21</b>
<b>Figura 5.16: Esquema sistema de transmisión del VRCC Centauro. (Doctrina et al., 2009).....</b>	<b>21</b>
<b>Figura 6.1: Magnitudes y variables empleadas para el cálculo (elaboración propia)...</b>	<b>22</b>
<b>Figura 6.2: Magnitudes y variables empleadas para el cálculo (elaboración propia)...</b>	<b>23</b>
<b>Figura 9.1: Potencia necesaria para el motor eléctrico del VRCC Centauro.....</b>	<b>29</b>
<b>Figura 9.2: Relación de potencia/peso del motor eléctrico calculado.....</b>	<b>29</b>
<b>Figura 9.3: Potencia eléctrica total necesaria para el VRCC Centauro.....</b>	<b>29</b>
<b>Figura 9.4: Potencia de la batería necesaria.....</b>	<b>30</b>

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Expresión 6-1.....</b>	<b>22</b>
<b>Expresión 6-2.....</b>	<b>23</b>



## ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS

GCLAC	Grupo de Caballería Ligero Acorazado
CAC	Caballero Alférez Cadete
Cap	Capitán
EAC	Escuadrón Acorazado
TFG	Trabajo Fin de Grado
VRCC	Vehículo de Reconocimiento y Combate de Caballería
CUD	Centro Universitario de la Defensa
HEV	Vehículo Eléctrico Híbrido
MACI	Motor Alternativo de Combustión Interna
PHEV	Vehículo Eléctrico Híbrido Enchufable
ET	Ejército de Tierra
FCEV	Vehículo Híbrido de Celda de Combustible
EUTM	European Training Mission
QFD	Quality Function Deployment
EV	Vehículo Eléctrico
DARPA	Agencia de Proyectos de Investigación Avanzados de Defensa de Estados Unidos
HED	Hybrid Electric Drive
VEC	Vehículo de Exploración de Caballería
MVP	Vehículo Blindado Anfibio Multifunción
MEV	Military Electric Vehicle
VAMTAC	Vehículo de Alta Movilidad Táctico
VERT	Vehículo de Exploración y Reconocimiento Terrestre
INSIA	Instituto Universitario de Investigación del Automóvil
SERT	Sistema de Exploración y Reconocimiento Terrestre



## 1. INTRODUCCIÓN

La tendencia actual en el sector de la motopropulsión está estrechamente ligada a la electrificación o hibridación de los motores. Estos avances no solo están relacionados con la contaminación, emisiones y con la carencia de combustibles fósiles, sino además con la mejora del rendimiento de los vehículos. Además, los nuevos bloques motores traen de la mano un abanico muy amplio de ventajas tácticas, tales como reducción de la firma térmica y acústica. A lo largo del trabajo se analizan los sistemas ya existentes, explicando las diferencias principales y los problemas de cada uno de ellos. También se trata de extrapolar la tecnología civil al ámbito militar, calculando potencias necesarias de baterías y propulsores y tratando el caso concreto del VRCC Centauro, medio de ruedas en dotación de las unidades acorazadas de Caballería, sobre el cual se estudia la posibilidad de implementación de un nuevo sistema de propulsión relacionado con la tecnología híbrida.

A lo largo del estudio se hace referencia a diversas entrevistas y estudios estadísticos realizados por el autor para tratar de dar un enfoque que combine lo objetivo y lo subjetivo al proyecto y así analizar de una forma comparativa y analítica la relación que hay entre la teoría y la experiencia en el sector.



## 2. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

### 2.1 OBJETIVOS Y ALCANCE

El presente Trabajo Fin de Grado se enmarca dentro del ámbito de los vehículos que emplean tecnología híbrida y eléctrica siendo su principal objetivo el de estudiar el desarrollo de los bloques motor en el sector militar y estudiar su posible instalación o adaptación a los vehículos en plantilla de las unidades, concretamente a los de la familia ruedas. Con esta finalidad se propone perseguir los siguientes objetivos específicos:

- Revisar las diferentes clases de configuraciones de vehículos híbridos ya existentes.
- Comparar los desarrollos del sector civil con el sector defensa.
- Recopilar datos acerca de la opinión del personal destinado en las unidades.
- Estudiar las necesidades técnicas relacionadas con el VRCC Centauro.
- Analizar el impacto que podría tener la implementación de estas tecnologías en los vehículos.

El alcance del proyecto es tratar de recopilar la mayor cantidad de datos, tanto técnicos como teóricos, de motores híbridos y eléctricos, para así servirnos de ellos a la hora de futuras modernizaciones o posibles adquisiciones.

### 2.2 METODOLOGÍA

Siguiendo el objetivo principal determinado para este Trabajo de Fin de Grado, estudiar el nivel de desarrollo de las tecnologías híbridas y eléctricas, se ha considerado el emplear una metodología mixta para abordar el proyecto. Por una parte, se considera muy importante el carácter objetivo y técnico del trabajo, que se consigue con una exhaustiva revisión bibliográfica. Por otra parte, se entiende que la carga subjetiva de la investigación es muy importante, ya que las mediciones y las encuestas al personal que ha trabajado con mucha profundidad con los vehículos son indispensables a la hora de hablar del tema central del trabajo. Asimismo, la realización de entrevistas y la anotación de las lecciones aprendidas por los entrevistados ha resultado de gran utilidad para lograr comprender de una manera mejor el tema principal sobre el que gira la investigación.

Inicialmente se llevó a cabo una recopilación de documentación proveniente tanto de fuentes internas al Ejército como a fuentes extraídas de Internet.

Gracias a las entrevistas al Sargento de Caballería D. Luis Javier Molina Abad, destinado en el EAC 1/II/11, gran profesional y conocedor de todos los sistemas del VRCC Centauro y al civil D. José Luis Herrero Latorre, empleado de ventas del Grupo Breogán Motor de Lugo, especialista en vehículos híbridos y eléctricos de la casa Kia y Toyota, se ha conseguido analizar y comprender con mayor profundidad el temario específico de cada uno de los sectores tratados durante la investigación.

Posteriormente, se ha realizado un análisis comparativo de los sistemas existentes en la actualidad usando la herramienta de análisis DAFO<sup>1</sup>, con el objetivo de detectar y plasmar de una forma más sencilla y visual las prestaciones que presenta cada uno de ellos y tratar de ver cuál sería el más adecuado para aplicarlo al sector defensa.

---

<sup>1</sup> El análisis DAFO (Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades) es una herramienta de estudio para analizar las características tanto internas como externas de un tema en concreto.



### 3. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO (ESTADO DE LA CUESTIÓN)

Al hablar de vehículos de propulsión híbrida y de vehículos eléctricos es de obligado cumplimiento el remontarse a sus orígenes. El primer carruaje eléctrico de la historia fue diseñado entre 1832 y 1839 por el empresario escocés Rober Anderson (Costas, 2009).

Por otra parte, la tecnología híbrida como tal no se veía hasta el año 1890, instalada eso sí en un motor de tranvía que combinaba un motor de gas y otro eléctrico. Esta creación fue obra de W.H. Patton, que además empleó una configuración en serie (Costas, 2009).

El que se puede considerar como primer coche híbrido de la historia es la creación de J.H. Dowsing seis años después. El sistema montaba una dinamo que podía tanto auxiliar en la propulsión del vehículo, como hacer de motor de arranque del grupo motor de gasolina o incluso recargar las baterías (España, 2017).

Actualmente, con el continuo desarrollo y evolución en tecnologías, los vehículos híbridos y eléctricos circulan por las calles de las ciudades sin ser este hecho una novedad. El hecho de combinar tecnologías con elevados grados de fiabilidad y respeto al medio ambiente ha hecho que el incremento en las ventas de este tipo de vehículos siga un patrón exponencial (véase Figura 1).

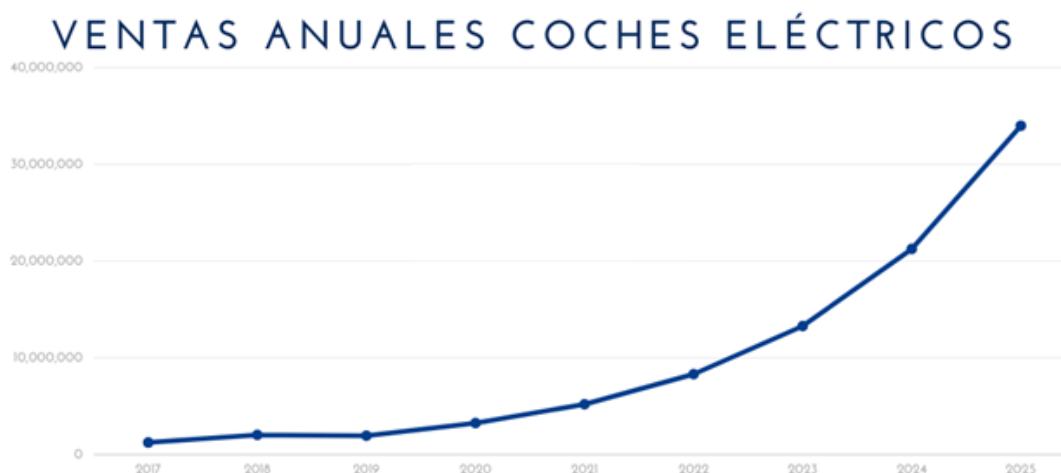


Figura 3.1: Estimación de ventas anuales de coches eléctricos en el mundo (Noya, 2021).

Concretamente en España las ventas de vehículos que equipan estos motores se ha visto aumentada en aproximadamente un 120 % (Martin, 2021). Haciendo referencia a la entrevista realizada a un profesional del sector (véase Anexo 9.3), se han podido sacar como conclusiones que la población busca este tipo de vehículos por las garantías que ofrecen, tales como autonomía combinada elevada, movimiento sostenible o ahorro de combustible y por tanto repercusión económica positiva.

Actualmente se ha llegado a niveles de desarrollo en el sector que permiten que vehículos de propulsión totalmente eléctrica recarguen sus baterías en varios modos de carga (lenta o rápida) y que en el modo con mayor amperaje de carga, consigan cargar al menos el 80 % de sus baterías en menos de 60 minutos (F. (redacción), 2021).

Por otra parte, es de obligado cumplimiento el nombrar también la existencia de varios trabajos de fin de grado realizados en el Centro Universitario de la Defensa sobre el desarrollo de las tecnologías a estudiar y su posible instalación e implementación en unidades militares, además de propuestas de sistemas para vehículos en concreto.

#### 3.1 SITUACIÓN ACTUAL EN EL SECTOR DEFENSA

Actualmente en las unidades de Caballería, se dispone de vehículos de propulsión basada en la combustión de combustibles fósiles, concretamente diésel. Como se estudiará a lo largo del trabajo, son



vehículos que llevan ya muchos años de servicio y es por ello que se trata de buscar mejoras o nuevas adquisiciones mejorando así la capacidad operativa de las unidades.

El problema surge cuando se intenta desarrollar mejoras sobre los vehículos ya existentes, sobre todo en todo lo concerniente a las barcazas. Las barcazas de los vehículos ya existentes son espacios diseñados para alojar las cámaras de motor y de personal y por ello los espacios disponibles para cada fin están medidos y estudiados para cumplir sus misiones. Cuando se analiza la posible instalación de sistemas de propulsión híbrida, con todo lo que estos traen de la mano, véase por ejemplo baterías y motores eléctricos, aparece el problema del espacio disponible para su instalación.

Al fin de paliar estos problemas, la única medida lógica y verdaderamente útil a tomar es la adquisición de nuevos medios con los sistemas ya implementados de fábrica. Se debe tener en cuenta también el impacto económico que esto último traería y es entonces cuando se llega el momento de priorizar las necesidades de nuestros vehículos y estudiar si realmente se debe mejorar la propulsión antes que otros aspectos como por ejemplo la protección o el armamento de los vehículos.

## 4. TECNOLOGÍAS ACTUALES DE LOS MOTORES HÍBRIDOS Y ELÉCTRICOS DEL SECTOR CIVIL

En este primer apartado del desarrollo del trabajo se analizan los diversos sistemas existentes en el panorama mundial, exponiendo las ventajas, desventajas, problemas y limitaciones que presentan.

### 4.1 CLASIFICACIÓN

#### 4.1.1 VEHÍCULO ELÉCTRICO HÍBRIDO (HEV)

Al emplear el término híbrido, se está haciendo referencia a toda clase de vehículo cuyo bloque motor combina dos fuentes de energía para conseguir el movimiento del conjunto en su totalidad. La mayoría de los vehículos híbridos del mercado combinan un motor alternativo de combustión interna (MACI) que consume gasolina con un bloque motor anexo que trabaja de forma eléctrica. Sin embargo, en los últimos años han comenzado a aparecer bloques motores que combinan la parte eléctrica con motores diésel de combustión interna (MACI).

El objetivo principal del motor eléctrico y de la batería de la que se alimenta no es otro que optimizar el rendimiento del vehículo y de reducir su consumo de combustibles fósiles.

Concretamente los HEV funcionan auto recargándose con un sistema de frenos denominados regenerativos que lo que consiguen es poner en funcionamiento el motor eléctrico de forma inversa, como si se tratase de un dínamo, así cargando las baterías que monta el vehículo.

Por último, cabe destacar que este tipo de motorizaciones suele ir ensamblada en serie o en paralelo, como se estudiará más adelante.



Figura 4.1: Configuración de un HEV (Ingeniería, 2020)



<b>DEBILIDADES</b>	<b>FORTALEZAS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• ELEVADO COSTE DE ADQUISICIÓN Y MANTENIMIENTO DE SISTEMAS</li> <li>• FALLOS DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS MÁS PROBABLES</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• AUMENTO DE LA SUPERVIVENCIA</li> <li>• RUIDO EXTREMADAMENTE MENOR</li> <li>• AHORRO DE COMBUSTIBLE= AHORRO DE FONDOS ECONÓMICOS</li> </ul>
<b>AMENAZAS</b>	<b>OPORTUNIDADES</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• POCO DESARROLLO EN EL SECTOR</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SECTOR EN DESARROLLO, GRAN POSIBILIDAD DE MEJORA</li> </ul>

Figura 4.2: Análisis DAFO de un HEV (elaboración propia)

#### 4.1.2 VEHÍCULO ELÉCTRICO HÍBRIDO ENCHUFABLE (PHEV)

Este tipo de vehículos funcionan de una forma muy similar a los anteriores, la única diferencia que presentan es la manera de recargar sus fuentes de energía eléctrica. En el caso de los PHEV, obtienen la energía eléctrica a partir de dos fuentes. La primera es la tecnología de frenado regenerativo, explicada anteriormente con los HEV. La segunda, es la basada en la obtención de la electricidad que necesitan sus bloques motores eléctricos de puntos de carga de baterías externos al vehículo.

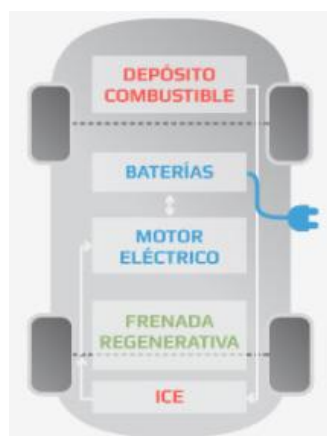


Figura 4.3: Configuración de un PHEV (Ingeniería, 2020).

<b>DEBILIDADES</b>	<b>FORTALEZAS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• ELEVADO COSTE DE ADQUISICIÓN Y MANTENIMIENTO DE SISTEMAS</li> <li>• FALLOS DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS MÁS PROBABLES</li> <li>• NECESIDAD DE PUNTOS DE RECARGA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• AUMENTO DE LA SUPERVIVENCIA</li> <li>• RUIDO EXTREMADAMENTE MENOR</li> <li>• AHORRO DE COMBUSTIBLE= AHORRO DE FONDOS ECONÓMICOS</li> <li>• REDUCCIÓN DE LA FIRMA TÉRMICA</li> </ul>
<b>AMENAZAS</b>	<b>OPORTUNIDADES</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• POCO DESARROLLO EN EL SECTOR</li> <li>• ESCASEZA DE FABRICANTES PARA LAS ESPECIFICACIONES NECESARIAS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SECTOR EN DESARROLLO, GRAN POSIBILIDAD DE MEJORA</li> <li>• COLABORACIÓN CON OTROS PROYECTOS INTERNACIONALES</li> </ul>

Figura 4.4: Análisis DAFO de un PHEV (elaboración propia).



### 4.1.3 VEHÍCULO HÍBRIDO DE CELDA DE COMBUSTIBLE (FCEV)

Esta clase de vehículos emplea hidrógeno almacenado en un tanque auxiliar y una pila de combustible para generar la energía. Además, se sirven también de un sistema de frenado regenerativo, que al igual que con los HEV, almacena la energía en una batería.

El funcionamiento combinado se justifica con la compensación de la demanda de la pila de combustible durante la aceleración por parte de la batería eléctrica y el principal objetivo que persigue es el de facilitar el funcionamiento combinado de ambos sistemas optimizando así su eficiencia.

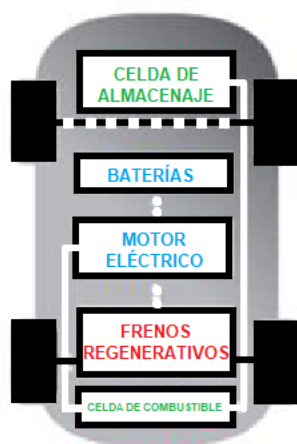


Figura 4.5: Configuración de un FCEV (elaboración propia).

<b>DEBILIDADES</b>	<b>FORTALEZAS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• ELEVADO COSTE DE ADQUISICIÓN Y MANTENIMIENTO DE SISTEMAS</li> <li>• ESPACIO NECESARIO MUY ELEVADO</li> <li>• AUMENTO DEL RIESGO EN EL INTERIOR DEL VEHÍCULO</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• AHORRO DE COMBUSTIBLE= AHORRO DE FONDOS ECONÓMICOS</li> <li>• AUMENTO DE LA MOVILIDAD SOSTENIBLE</li> </ul>
<b>AMENAZAS</b>	<b>OPORTUNIDADES</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• POCO DESARROLLO DE LAS TECNOLOGÍAS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• GRAN VOLUMEN DE COMBUSTIBLE EXISTENTE</li> </ul>

Figura 4.6: Análisis DAFO de un FCEV (elaboración propia).

### 4.1.4 VEHÍCULO ELÉCTRICO PURO (EV)

Estos vehículos se caracterizan principalmente porque emplean únicamente la energía acumulada en las baterías para poner en funcionamiento el propulsor y así conseguir el movimiento de los conjuntos en su totalidad.

El sistema que garantiza el funcionamiento de los EV se compone de tres subsistemas tales como la batería, el motor eléctrico y el controlador del motor. La batería es la encargada de alimentar energéticamente al controlador del motor y a su vez transmite la electricidad al motor eléctrico, que es el encargado de generar el movimiento de las ruedas.

Es así como las baterías son las principales protagonistas y partes clave de este tipo de sistemas, existiendo de varios tipos y materiales y ofreciendo así diferentes cantidades de autonomía a los vehículos que las montan, como veremos posteriormente.



El principal problema de estos vehículos es el elevado coste que tienen, estrechamente relacionado con la calidad de sus baterías y así con la autonomía que estas permiten.

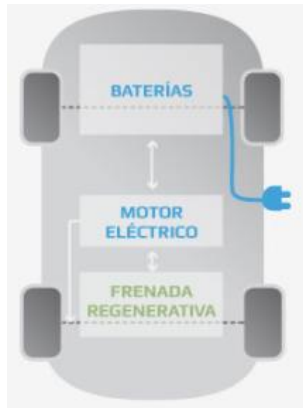


Figura 4.7: Configuración de un EV (Ingeniería, 2020).

<b>DEBILIDADES</b>	<b>FORTALEZAS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• AUTONOMÍA REDUCIDA</li> <li>• ELEVADO COSTE DE ADQUISICIÓN Y MANTENIMIENTO DE SISTEMAS</li> <li>• ELEVADO TIEMPO DE CARGA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CONTAMINACIÓN MUY REDUCIDA</li> <li>• RUIDO EXTREMADAMENTE MENOR</li> <li>• AHORRO DE COMBUSTIBLE= AHORRO DE FONDOS ECONÓMICOS</li> </ul>
<b>AMENAZAS</b>	<b>OPORTUNIDADES</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• NECESIDAD DE PUNTOS DE RECARGA</li> <li>• MENOR DESARROLLO QUE LOS SISTEMAS HÍBRIDOS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• APOYOS O SUBVENCIONES DE GOBIERNOS U ORGANIZACIONES</li> <li>• SECTOR EN DESARROLLO, GRAN POSIBILIDAD DE MEJORA</li> </ul>

Figura 4.8: Análisis DAFO de un EV (elaboración propia).

#### 4.1.5 ANÁLISIS COMPARATIVO

Una vez vistas las características principales de cada una de las clases de vehículos existentes en la actualidad, llega el momento de analizar cuál sería el más conveniente a la hora de implementarlo en los vehículos militares de las unidades.

Es importante tener en cuenta que tanto los EV (H. y electricos (redacción), 2021) como los FCEV (Majdalani, 2021) serían muy difíciles de introducir ya que la instalación de los sistemas compatibles con ellos supondría un desembolso económico y una adaptación logística muy elevados. Además se debe tener en cuenta la mano de obra y la formación técnica necesarias para su implementación.

Es entonces cuando se trata de decidir entre los HEV (77, 2021) y los PHEV (77, 2017). Los primeros son muy compatibles con los vehículos en plantilla, ya que tal y como se ha expuesto anteriormente, sus sistemas son anexionados a los motores de combustión, por lo que su posible implementación es más sencilla y menos costosa. Sin embargo, los PHEV emplean sistemas más complejos que los HEV, con baterías mucho más potentes y la necesidad de puntos de carga para recargarlas, lo cual influye muy negativamente a la hora de escogerlos como posible actualización de los vehículos ya existentes.

Se han tomado como referencia 4 vehículos de características y prestaciones similares (peso, potencia, medidas) y se ha evaluado la tecnología HEV como la principal a la hora de efectuar el estudio aplicando la herramienta QFD (Quality Function Deployment), obteniendo los siguientes resultados:

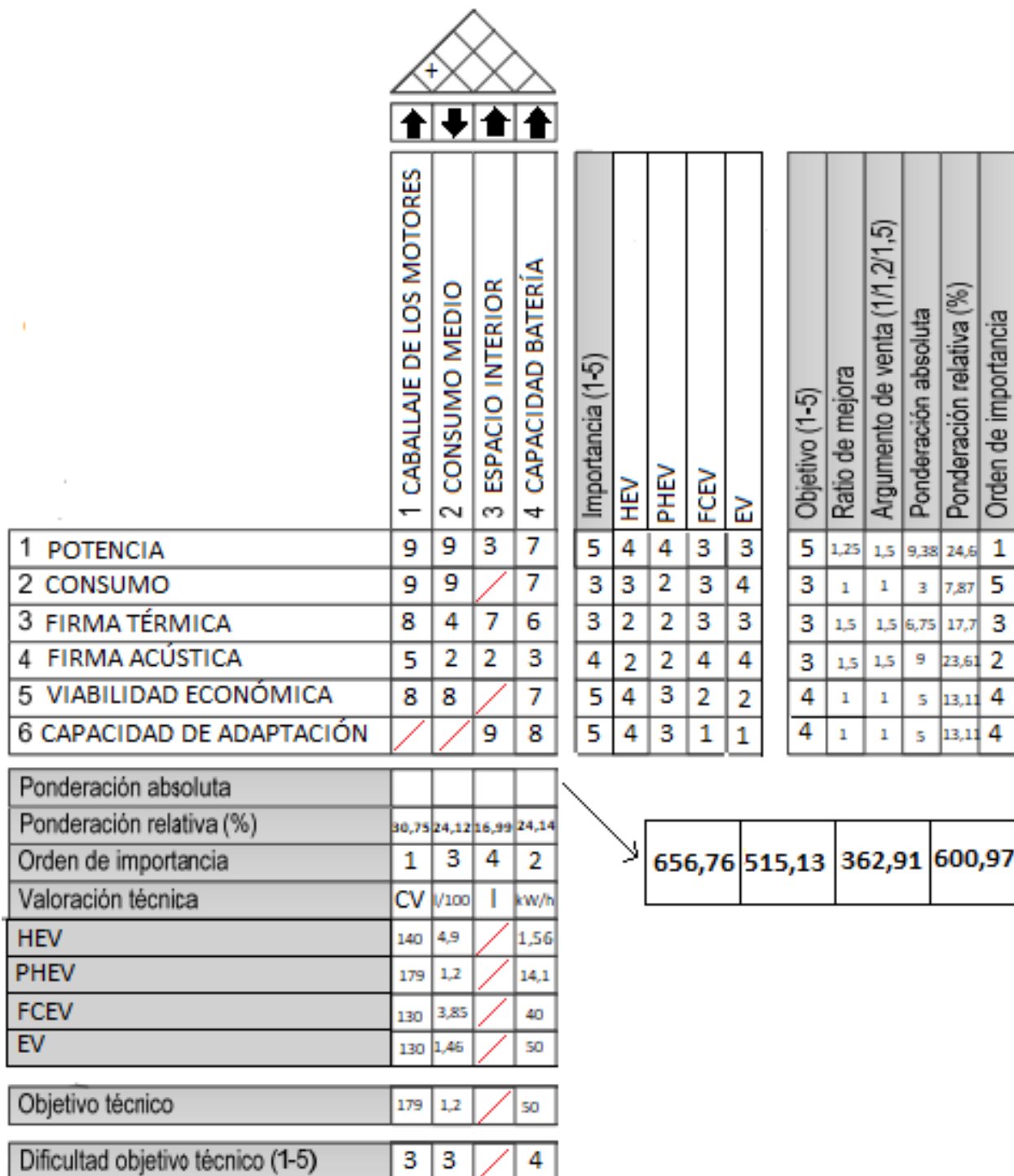


Figura 4.9: Despliegue QFD de las diferentes configuraciones (elaboración propia).

Tal y como se interpreta de la anterior figura, la prioridad sería la potencia de los motores, estrechamente relacionada a la capacidad de las baterías que alimentan los grupos motores eléctricos asociados en el sistema híbrido.

Al analizar los resultados, se observa en primer lugar que las firmas acústica y térmica se verían mejoradas si se llevara a cabo el proceso de hibridación de las plataformas ya existentes.

Por otra parte, el consumo de combustible no se ha visto priorizado en los cálculos, lo cual respalda la idea de que los vehículos blindados híbridos van a mantener un consumo elevado debido a factores como el tonelaje o la complejidad de sus sistemas.



En cuanto a la viabilidad económica y a la adaptabilidad de los sistemas a los vehículos ya existentes se puede concluir que son aspectos que están muy relacionados entre sí. Por una parte, se observa que los EV y los FCEV resultan muy caros ya que su implementación así lo es. Por otra parte, los HEV y los PCEV no lo son tanto ya que la instalación de los sistemas compatibles con estos tipos de vehículos no resulta tan compleja.

## 4.2 SISTEMAS DE PROPULSIÓN

### 4.2.1 CONFIGURACIÓN POWER-SPLIT

Esta disposición es el resultado de combinar el funcionamiento en serie y en paralelo, que serán analizadas en este apartado 4.2. Para lograr la ya mencionada combinación, la configuración se sirve de una serie de engranajes denominados epicicloidales.

Este tipo de sistema permite que los motores, tanto el MACI como el motor eléctrico, funcionen aislada o conjuntamente. En este último caso, es el motor de combustión el encargado de proporcionar potencia a la vez que carga a las baterías eléctricas.

Un detalle muy importante a tener en cuenta durante el proceso de cargado de las baterías con el funcionamiento combinado, es que se produce siempre sin tener dependencia de la velocidad a la que se mueva el vehículo.

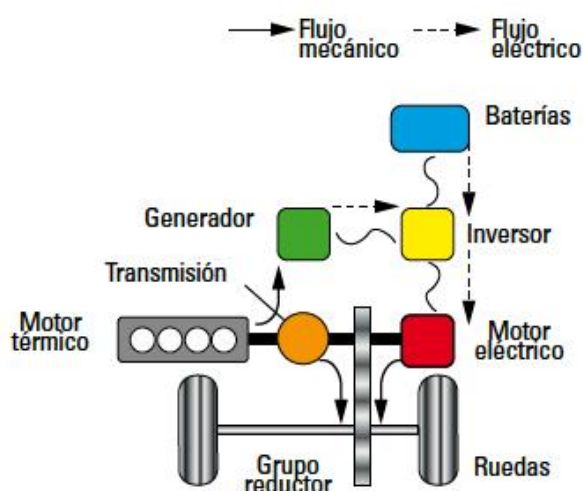


Figura 4.10: Esquema de funcionamiento de un vehículo power-split (Cesvimat, 2017).

### 4.2.2 CONFIGURACIÓN EN SERIE

En los sistemas en serie, el principal protagonista y garante de la hibridación del movimiento es el motor de combustión interna, ya que es el encargado de proporcionar la energía que necesita el alternador para alimentar el motor de electricidad. Por otra parte, este alternador tiene un papel secundario de gran relevancia, que es el de hacer de cargador de las baterías de las que se alimenta el motor eléctrico.

Tal y como se mencionó anteriormente en el apartado 4.1, este tipo de configuraciones lleva de la mano el sistema de frenos regenerativos, que asisten al alternador en la tarea de cargado de baterías.

Como principales ventajas de este tipo de disposiciones están su menor complejidad de sistemas de control del motor, su liberación de espacio dentro del interior del vehículo o la posibilidad de ajustar el motor de combustión para garantizar su máxima eficiencia energética.

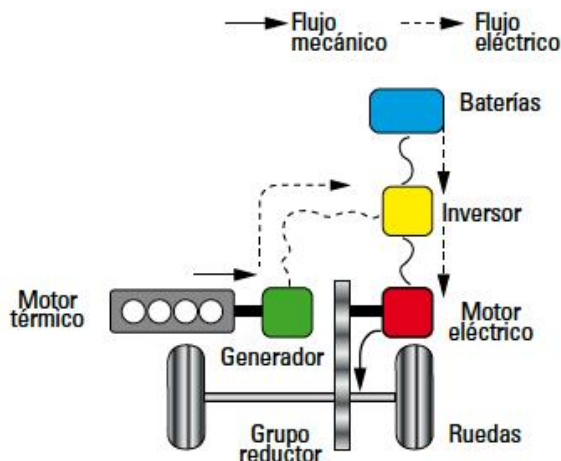


Figura 4.11: Esquema de funcionamiento de un vehículo en serie (Cesvimat, 2017).

### 4.2.3 CONFIGURACIÓN EN PARALELO

La disposición en paralelo, como su propio nombre indica, se diferencia de la anteriormente explicada en que puede poner en funcionamiento de manera independiente tanto el MACI como el motor de electricidad, o en su defecto, emplearlos de forma conjunta.

Si bien, existe un condicionante principal por el cual este funcionamiento combinado queda en jaque y no es otro que el número de embragues que monte la configuración.

Si presenta tan sólo uno, el MACI estará en funcionamiento cada vez que el vehículo lo esté, trabajando a las mismas revoluciones que el motor eléctrico y así negando la posibilidad del funcionamiento eléctrico puro.

Sin embargo, los vehículos que montan sistemas de transmisión de dos embragues pueden funcionar desconectando totalmente el MACI.

Cabe destacar por tanto como ventajas de estos sistemas frente al resto de los existentes, la mayor posibilidad de supervivencia del vehículo debido a la alternativa de movilidad proporcionada por la configuración.

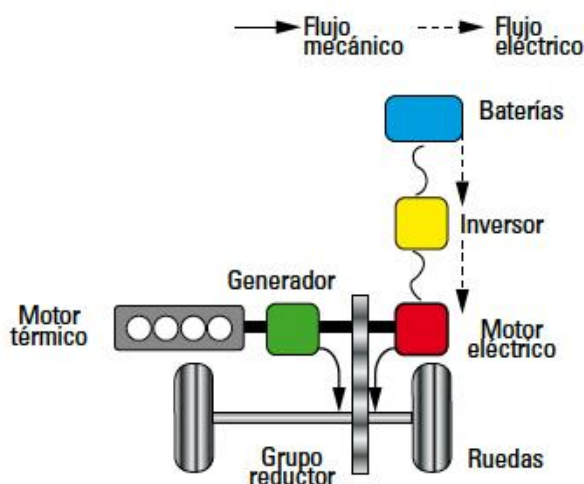


Figura 4.12: Esquema de funcionamiento de un vehículo en paralelo (Cesvimat, 2017).



## 4.3 SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA

### 4.3.1 BATERÍAS

Las baterías son dispositivos de almacenamiento de energía en base a células electroquímicas. La energía que las baterías proporcionan a los sistemas eléctricos a los que están conectados es originaria de la conversión de la energía química almacenada en ellas a energía eléctrica, todo ello se traduce científicamente en una reacción de oxidación y de reducción.

Al hablar de una batería se debe mencionar el concepto de celda. Una celda no deja de ser un contenedor formado por un ánodo, un cátodo y el electrolito en cuestión. Según el tipo de batería, se encuentran configuraciones de una o más celdas conectadas en serie, en paralelo o en una combinación de ambas, dependiendo las configuraciones de la capacidad de salida y tensión deseadas (Linden and Reddy B., 1995).

Hay que tener en cuenta que no todas las baterías tienen el mismo rendimiento. Para analizarlo se estudian factores como su capacidad, la tensión en la que trabajan, ciclo de vida, el rango de temperaturas de trabajo y las densidades gravimétricas y volumétricas tanto de potencia como de energía.

Además el diseño en sí del sistema de las baterías influye de forma muy relevante en sus características (Erb, 2016). Asimismo la temperatura de funcionamiento ideal es un factor muy relevante a la hora de evaluar las prestaciones que ofrece cada batería, esta se ubica en el rango comprendido entre los 20°C y los 40°C (Sims and Crase, 2017).

Hoy en día existen muchos tipos de baterías en función de los materiales que contienen, pero destacan los recogidos en la siguiente figura (Costas, 2019):

MATERIAL	VENTAJAS	DESVENTAJAS
PLOMO-ÁCIDO	<ul style="list-style-type: none"> <li>ALTA POTENCIA</li> <li>ESTABILIDAD Y SEGURIDAD</li> <li>BAJO COSTE</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ENERGÍA BAJA</li> <li>CICLO DE VIDA REDUCIDO</li> <li>ELEVADO PESO</li> <li>PROBLEMÁTICAS A BAJAS TEMPERATURAS</li> </ul>
NÍQUEL-CADMIO	<ul style="list-style-type: none"> <li>ALTA FIABILIDAD Y CARGA RÁPIDA</li> <li>ELEVADO CICLO DE VIDA</li> <li>BAJA AUTODESCARGA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ELEVADO COSTE</li> <li>GRAN TOXICIDAD</li> </ul>
NÍQUEL-METAL HIDRURO	<ul style="list-style-type: none"> <li>ENERGÍA Y POTENCIA ESPECÍFICAS ELEVADAS</li> <li>ALTA SEGURIDAD</li> <li>ELEVADA MANEJABILIDAD</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ELEVADO COSTE</li> <li>BAJO RENDIMIENTO</li> </ul>
LITIO-IÓN	<ul style="list-style-type: none"> <li>ELEVADO RENDIMIENTO</li> <li>BUEN RENDIMIENTO EN CLIMAS CÁLIDOS</li> <li>ENERGÍA Y POTENCIA ESPECÍFICAS ELEVADAS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ELEVADO COSTE</li> <li>PROBLEMAS DE SEGURIDAD</li> </ul>
LITIO-POLÍMERO	<ul style="list-style-type: none"> <li>ENERGÍA Y POTENCIA ESPECÍFICAS ELEVADAS</li> <li>SEGURIDAD ÓPTIMA</li> <li>GRAN ADAPTACIÓN AL VEHÍCULO</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>RANGO DE TEMPERATURAS MUY ELEVADO (60°C, 120°C)</li> </ul>
ALUMINIO-AIRE	<ul style="list-style-type: none"> <li>ENERGÍA ESPECÍFICA ELEVADA</li> <li>ELEVADA VELOCIDAD DE RECARGA</li> <li>TEMPERATURA DE FUNCIONAMIENTO AMBIENTE</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>POTENCIA ESPECÍFICA MUY BAJA</li> </ul>
ZINC-AIRE	<ul style="list-style-type: none"> <li>ENERGÍA ESPECÍFICA ELEVADA</li> <li>FACILIDAD DE CARGA</li> <li>RECICLABILIDAD SIN LIMITE</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>DESCONOCIMIENTO DEL IMPACTO EN EL MEDIO AMBIENTE DEL ZINC</li> </ul>
SODIO-METAL CLORURO	<ul style="list-style-type: none"> <li>ENERGÍA Y POTENCIA ESPECÍFICAS ELEVADAS</li> <li>BUEN RENDIMIENTO</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>RANGO DE TEMPERATURAS MUY ELEVADO (300°C, 350°C)</li> </ul>

Figura 4.13: Tipología y análisis comparativo de baterías (elaboración propia).

Una vez expuestas las principales características técnicas de cada uno de los tipos de baterías que existen en la actualidad, es muy relevante tener en cuenta las condiciones a las que se van a enfrentar instaladas en un vehículo militar, tales como impactos y golpes, extremidad de temperaturas, suciedad y humedad.



Es entonces cuando se priorizan los requisitos más relevantes que deben cumplir las baterías que irán instaladas en los posibles vehículos del futuro, y no son otros que el ciclo de vida, la potencia específica y la energía específica. De este modo y basándose en los resultados de la figura 4.13, se llega a la conclusión de que la tecnología más apropiada y que mejor rendimiento dará en los sistemas militares híbridos y eléctricos es la basada en baterías de Litio- Ion.

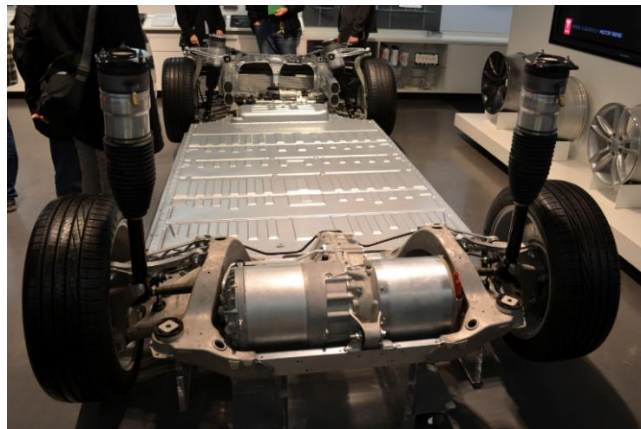


Figura 4.14: Ejemplo de batería Litio- Ion en el sector civil (Ikelectro, 2018).

### 4.3.2 PILAS DE COMBUSTIBLE

Este tipo de sistemas genera la energía eléctrica gracias a la conversión de la energía química del hidrógeno que reacciona con el oxígeno.

La principal ventaja de las pilas de hidrógeno es el material en sí, ya que el hidrógeno es un elemento muy energético por unidad de volumen (Badía, 2005). Además, hay que tener en cuenta que este tipo de energía no emite gases contaminantes durante el funcionamiento de los vehículos.

Sin embargo, el hidrógeno ha de ser manejado con cautela y precaución ya que su carácter altamente energético puede provocar explosiones o incendios si se maneja sin cuidado.

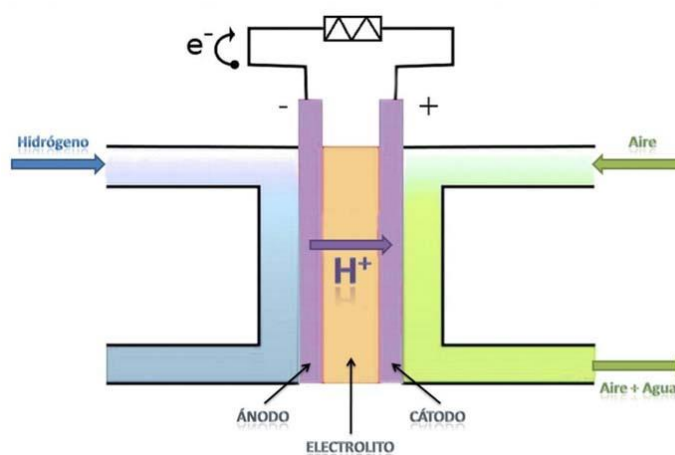


Figura 4.15: Esquema del funcionamiento de las pilas de combustible (Sanchez Criado, 2014).

### 4.3.3 ULTRA CONDENSADORES

Los ultra condensadores presentan estructuras y funcionamientos prácticamente iguales a los condensadores normales, la única diferencia notable a destacar es la densidad de energía que los primeros son capaces de sustentar, mucho mayor que la de los condensadores estándares.



Sin embargo, estos van acompañados de baterías o pilas de combustible, asistiéndolas en tareas de almacenaje de energía cuando la demanda de potencia del grupo moto propulsor sea muy notable.

Las principales ventajas de estos sistemas son su elevada vida útil, su insensibilidad ante los cambios de temperatura y la no necesidad de mantenimiento (Naoi and Simon, 2008), características que hacen que estos sistemas sean muy interesantes en la posible instalación de sistemas híbridos en vehículos del Ejército.



Figura 4.16: Ejemplo de diseño de un ultra condensador (Sanchez Criado, 2016).

## 5. TECNOLOGÍAS ACTUALES DE LOS MOTORES HÍBRIDOS Y ELÉCTRICOS DEL SECTOR DEFENSA

### 5.1 TENDENCIAS

La especialidad fundamental de Caballería está concebida como el arma por excelencia del reconocimiento, el contacto y la seguridad (Doctrina *et al.*, 2006).

Sin embargo, con la cambiante situación táctica del panorama internacional, los vehículos mecanizados y acorazados se han quedado un paso atrás por el desuso al que se ven expuestos en estos teatros de operaciones.

Llega entonces el momento de los vehículos más ligeros. Sin ir más lejos, en la misión EUTM Mali, las tropas españolas se mueven a bordo de LMV Lince y RG 31, vehículos con niveles de blindaje mucho más reducidos y que no montan torres armadas con cañones sino ametralladoras medias o ligeras en sus partes superiores.

Si bien la electrificación de vehículos militares está todavía en un proceso de investigación y desarrollo, el hecho del empleo masivo de vehículos ligeros apoya si cabe más las teorías de que la electrificación o hibridación de los motores montados en los vehículos más pesados es todavía muy prematura (Mikozami, 2021).

En el panorama mundial y de otros ejércitos existen multitud de proyectos encaminados al desarrollo de tecnología de propulsión híbrida o eléctrica para los vehículos en plantilla.

Lo que la mayoría de proyectos tienen en común es que se dirigen hacia un concepto de vehículos muy ligeros, sin torres equipadas con armamento pesado, y que priorizan en gran medida la movilidad y ligereza de los conjuntos y dejan en un segundo plano la protección y potencia de fuego de los vehículos, tal y como se verá en el apartado 5.2.

### 5.2 VEHÍCULOS EXISTENTES DESTACADOS

En primer lugar cabe mencionar que la Agencia de Proyectos de Investigación Avanzados de Defensa de Estados Unidos (DARPA) presentó un vehículo (Lambert, 2018) que persigue el objetivo de no verse



afectado por la orografía del terreno. Esto se consigue con un sistema de suspensión formado por cuatro brazos articulados con un recorrido de 2 metros que trabajan independientes unos de los otros y que consiguen que la cabina de mando vaya siempre por el mismo plano (ver figura 5.1).



Figura 5.1: Demostrador de DARPA en un plano inclinado (Lambert, 2018).

En cuestiones de propulsión, el vehículo, monta cuatro motores eléctricos independientes instalados uno en cada rueda. Cada uno de ellos aporta 100 kW de potencia a la tracción. Las principales ventajas de estos sistemas son un mayor par y mayores potencias y aceleraciones (Martín, 2018).

Por otra parte, la empresa BAE Systems ha sido la elegida para la modernización (Illán Romero, 2021) del vehículo de cadenas Bradley M2 (Gutierrez, 2020). Uno de los elementos clave para la instalación de la propulsión híbrida en el vehículo es la transmisión basada en la tecnología HED (Hybrid Electric Drive), ya desarrollada y probada en un gran abanico de vehículos similares (Defensa.com, 2020).

Tal y como se afirmó en las jornadas internacionales de vehículos blindados<sup>2</sup>, las principales ventajas ofrecidas por esta tecnología son una mayor eficiencia del combustible, mejora considerable de la aceleración, mayor potencia eléctrica en el interior de los vehículos y reducción importante del sonido del motor.

En Japón se está trabajando en el desarrollo del T-HEV (Tracked Combat Hybrid Electric Vehicle) (Taira, Yoshikawa and Jumonji, 2017), un vehículo de cadenas que monta un sistema de propulsión híbrido (véase Figura 5.2).

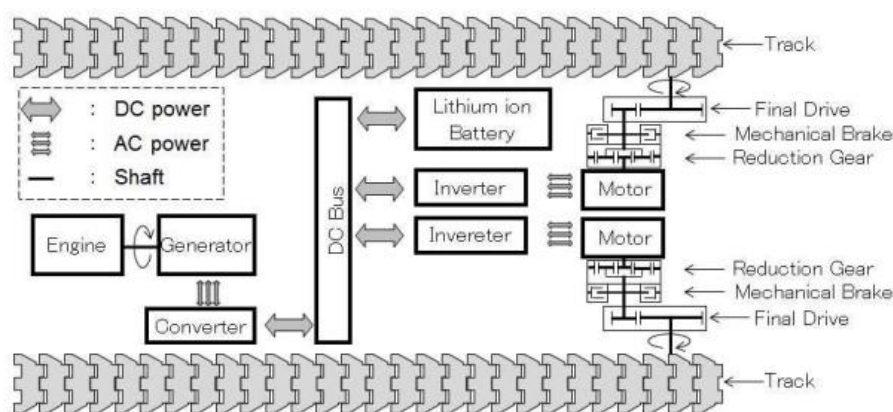


Figura 5.2: Esquema de sistemas del T-HEV (Taira, Yoshikawa and Jumonji, 2017).

<sup>2</sup> Internacional Armoured Vehicles (Defense iQ) llevó a cabo una serie de conferencias enmarcadas en el panorama internacional para el intercambio de información de gran variedad de temas del sector Defensa.



Item	Specification
Dimension (Length x Width x Height)	5.7 x 2.8 x 2.2 (m)
Weight	13 (metric ton)
Engine	In-line 6 cylinder diesel engine Max. power: 168 (kW)
Generator	Permanent Magnet Synchronous type Max. power: 168 (kW), Max. rotation speed: 2200 (/min), Max. torque: 968 (Nm)
Electric Motor	Permanent Magnet Synchronous type Max. power: 250 (kW), Max. rotation speed: 5000 (/min), Max. torque: 2034 (Nm)
Battery	Lithium ion Battery Max. power: 185 (kW), Capacity: 32.6 (kWh)

Figura 5.3: Especificaciones técnicas del T-HEV (Taira, Yoshikawa and Jumonji, 2017)

Tras las pruebas realizadas con los demostradores, se llegó a la conclusión de que el sistema es totalmente efectivo y que podrá ser instalado en los diversos vehículos de combate del país nipón.

A lo largo del año 2020 se han efectuado también pruebas de motocicletas completamente eléctricas para unidades militares de reconocimiento (Fernández, 2020b). Es el caso de las UBCO 2x2 probadas por las fuerzas armadas neozelandesas. Estas motos tienen instalados dos motores independientes, uno por rueda, y una batería central que les sirve de alimentación.



Figura 5.4: Motocicleta UBCO 2x2 (Fernández, 2020b).

El concepto de vehículo es totalmente diferente y novedoso con respecto a los vehículos de reconocimiento ya existentes. En España, concretamente en el Regimiento de Caballería España 11, se han efectuado pruebas muy similares con motocicletas de EINSA (Fernández, 2020). Tal y como se refleja en la Entrevista 2 (véase Anexo 9.4), las motos resultan muy útiles para reconocimientos puntuales y rápidos, pero el problema que tienen es el sistema de atalaje que las une a los vehículos y su escasa protección contra amenazas.

Además de los proyectos conjuntos con los diversos órganos de Defensa encargados, destacan también los vehículos de las empresas civiles General Motors (Pascual, 2021), Highland Systems (Pérez, 2021) y Lordstown Motors (Hishman, 2021).

En el caso de General Motors, se trata del All Electric Concept Vehicle, cuenta con una carrocería de tipo pick-up con una cuna trasera y 5 plazas, además de eliminar el motor de combustión para adoptar un



esquema eléctrico totalmente nuevo. El grupo propulsor entrega 203 caballos y está alimentado por un pack de baterías de 60 kWh.



Figura 5.5: Prototipo inicial del ISV de General Motors (Pascual, 2021).

La empresa ucraniana Highland Systems presentó un MVP (vehículo blindado anfibio multifunción) denominado “Storm”. Está impulsado por un motor híbrido diésel-eléctrico, donde la potencia de pico puede llegar hasta 2.500 caballos. En el apartado eléctrico, monta tres motores. Uno de ellos es exclusivo para circular sobre el agua y tiene una potencia de 150 kW. Los otros dos son los encargados de las maniobras terrestres y cuentan con una potencia individual de 210 kW. Además, existen dos versiones del vehículo, una de ellas equipa orugas en sus trenes de rodaje y la otra tiene instalados tres ejes de ruedas especializadas. Su autonomía es muy elevada ya que ha conseguido circular más de tres horas en modo totalmente eléctrico sosteniendo una velocidad media de 90 km/h.



Figura 5.6: Vehículo Storm durante pruebas en zonas arenosas (Pérez, 2021).

Por último destaca el prototipo de la empresa Lordstown Motors, el denominado MEV (Military Electric Vehicle), que es una adaptación de un modelo existente y comercial de la casa al perfil Defensa. En el caso de la versión comercial, equipa 4 motores que consiguen una potencia de 440 kW y una batería de 110 kWh que ofrece una autonomía de 400 kilómetros.



Figura 5.7: Prototipo del MEV (Hishman, 2021).

### 5.3 VIABILIDAD EN LOS VEHÍCULOS DE LA FAMILIA RUEDAS EN DOTACIÓN DE LAS UNIDADES DE CABALLERÍA

#### 5.3.1 VAMTAC ST-5

El VAMTAC (Vehículo de Alta Movilidad Táctico) ST-5 es la actualización del S3 y fue introducida en plantilla a partir del año 2013. Es un vehículo de tracción a las cuatro ruedas con diferentes versiones tales como ambulancias, plataformas lanzamisiles, porta personal y su versión de vigilancia.

La versión de vigilancia se denomina VERT (Vehículo de Exploración y Reconocimiento Terrestre) y es la asignada a las unidades de Caballería, concretamente a las secciones de exploración y vigilancia.



Figura 5.8: VERT del RC España 11 en el CENAD San Gregorio (fotografía propia).

El VAMTAC se mueve gracias a un motor de combustión diésel de 217 caballos de potencia, lo que le permite cubrir distancias de 600 kilómetros con velocidades máximas de más de 100 km/h. Sin embargo para las versiones de vigilancia este motor ha resultado ineficaz en ciertas ocasiones ya que con el SERT (Sistema de Reconocimiento y Exploración Terrestre) y con todos los procesadores que necesita para el



tratamiento de la información obtenida, el peso del vehículo se ve aumentado sustancialmente y en muchas ocasiones el motor muestra pérdidas de potencia y no es capaz de sortear obstáculos y pendientes en el campo de maniobras.

Es por todo esto por lo que desde finales del año 2019 la Universidad Politécnica de Madrid, y concretamente el INSIA (Instituto Universitario de Investigación del Automóvil), presenta en el marco del programa COINCIDENTE 2015 una propuesta junto con UROVESA para la implementación de un prototipo de vehículo de transporte operativo con tracción puramente eléctrica (Planificación and Innovación, 2019).

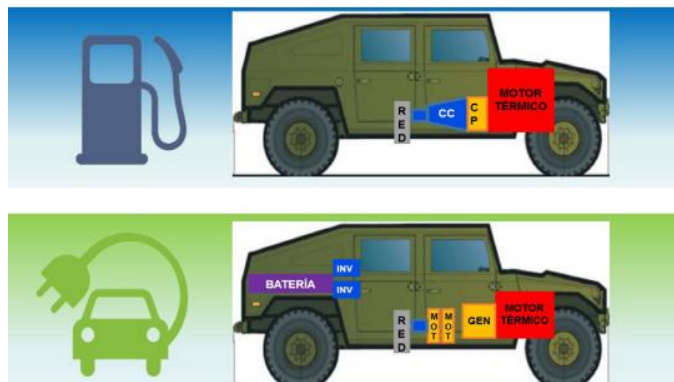


Figura 5.9: Esquema de tracción existente comparado con el dimensionado.

En primer lugar, se llevó a cabo un modelado empleando algoritmos de control y un software comercial para estudiar los posibles errores y alarmas que podían aparecer.

Una vez finalizada la simulación informática se pasó a la acción con el prototipo físico. En primer lugar se instrumentalizaron las zonas más importantes del vehículo para registrar y estudiar aspectos como los rangos de temperaturas de funcionamiento o las tensiones de trabajo (Díez Cámara, 2021).

Se debe tener en cuenta que este tipo de vehículos debe satisfacer unos requisitos fundamentales de movilidad tales como:

- Pendiente máxima superable del 60%.
- Velocidad máxima en llano de 100 km/h.
- Autonomía equivalente al convencional (500 km).

Si bien tras las pruebas en pista se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- El vehículo supera la pendiente del 60% sin necesidad de emplear todo el par disponible por los motores de tracción, por lo que es posible superar inclinaciones mayores.
- La autonomía en modo eléctrico a velocidad máxima mantenida es de 50 km. En una situación con diferente estilo de conducción, véase por ejemplo con menor velocidad o con frenadas, esta autonomía sería superior ya que la frenada regenerativa permitiría recuperar parte de la energía en frenadas y deceleraciones.
- La velocidad máxima del vehículo con la configuración del prototipo resulta escasa, algo previsto y conocido y que no se considera un grave problema, pues está previsto dotar a futuras unidades con cajas de reducción cuya relación en largas sea superior.
- El funcionamiento silencioso de la unidad ha sido muy bien valorado para la aplicación, las ventajas que presenta resultan muy adecuadas para un cierto tipo de misiones en las que las bajas huellas térmicas y sonoras supongan una ventaja táctica.

Sin embargo, una vez más aparece el problema del espacio disponible (véase Figura 5.10), que en el ámbito del vehículo de Caballería impide que esta versión híbrida sea compatible con el sistema de vigilancia, ya que este último aloja en el maletero del VAMTAC el mástil de 5 metros de longitud plegado con todos sus sistemas de obtención y tratamiento de la información.



Figura 5.10: Instalación de los sistemas necesarios para la propulsión híbrida (Díez Cámara, 2021).



Figura 5.11: Parte trasera del VERT (fotografía propia).

### 5.3.2 VEHÍCULO DE EXPLORACIÓN DE CABALLERÍA (VEC)

El VEC es un vehículo blindado de tracción 6x6, armado con una torre que monta un cañón de 25/137 mm, llegó a las unidades de Caballería en el año 1988. Es de fabricación española y como prestaciones principales en cuanto a la mecánica de sus sistemas destacan:

MOTOR	SCANIA DS 9 61A24SMIL (310 CV) TURBOALIMENTADO
PESO EN COMBATE	17 t (en combate)
VELOCIDAD MÁXIMA	80 km/h
AUTONOMÍA	800 km

Figura 5.12: Características mecánicas principales del VEC (Doctrina et al., 2013).

El VEC monta su GMP en la parte posterior izquierda de la barcaza. Mecánicamente tiene instalada una caja de velocidades con 4 gamas de marchas y 4 posiciones de funcionamiento, a seleccionar por dos palancas en el habitáculo del conductor, la selectora:

- Gama 1: primera marcha. Concebida para remolcaje y funcionamiento anfibia.



- Gama 2: de primera a cuarta (inclusive). Concebida para pendientes elevadas y funcionamiento anfíbio.
- Gama 3: de primera a quinta (inclusive). Concebida para conducción todoterreno, conducción por carreteras y travesías con pendientes de más de un 12 %.
- Directa: de segunda a sexta (inclusive). Concebida para viajes por carretera y travesías con pendientes menores al 12 %.

Y la palanca inversora, que tiene las siguientes posiciones:

- Retroceso: marcha atrás.
- Neutro: estacionamiento o ralentí.
- Eco: marcha adelante.
- Power: marcha adelante con potencia extra.

Además su sistema de transmisión lleva una caja transfer que es la encargada entre muchas otras cosas, de recibir el movimiento de la caja de velocidades proveniente del motor e invertir su sentido y transferirlo a través de un árbol de levas al puente central que es el encargado de repartirlo al resto de puentes (véanse Figura 5.12 y Figura 5.13).

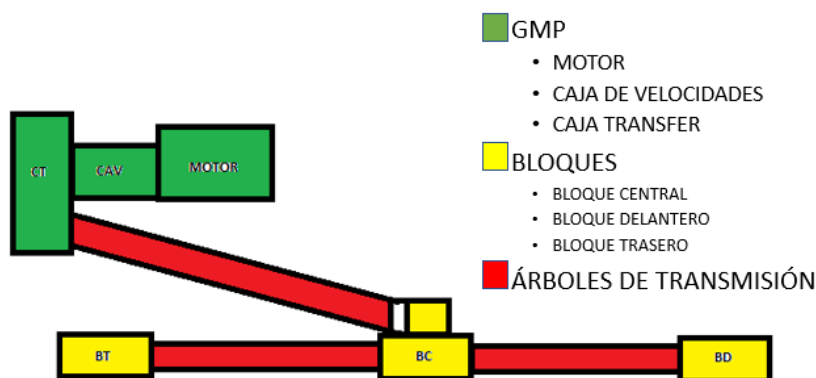


Figura 5.13: Vista lateral del sistema de transmisión del VEC (adaptado de (Doctrina et al., 2013)).

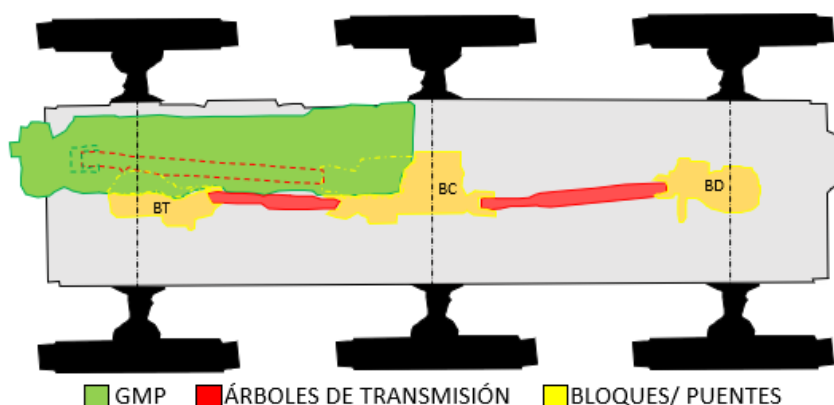


Figura 5.14: Vista superior del sistema de transmisión del VEC (elaboración propia).

Por último, cabe destacar una parte muy importante de su caja de velocidades, que es el denominado retardador de la marcha. El retardador se activa en el primer tramo de pisada del pedal de freno cuando la velocidad del vehículo es mayor o igual a 5 km/h y lo que hace es aliviar el trabajo del sistema principal de frenos activando el freno motor y así logrando no sobrecargar ni sobrecalentar los discos de frenado.



A modo de conclusión no se han propuesto mejoras para este vehículo ya que lleva muchos años de servicio y va a ser sustituido por el vehículo Dragón 8x8.

### 5.3.3 VEHÍCULO DE RECONOCIMIENTO Y COMBATE DE CABALLERÍA “CENTAURO” (VRCC CENTAURO)

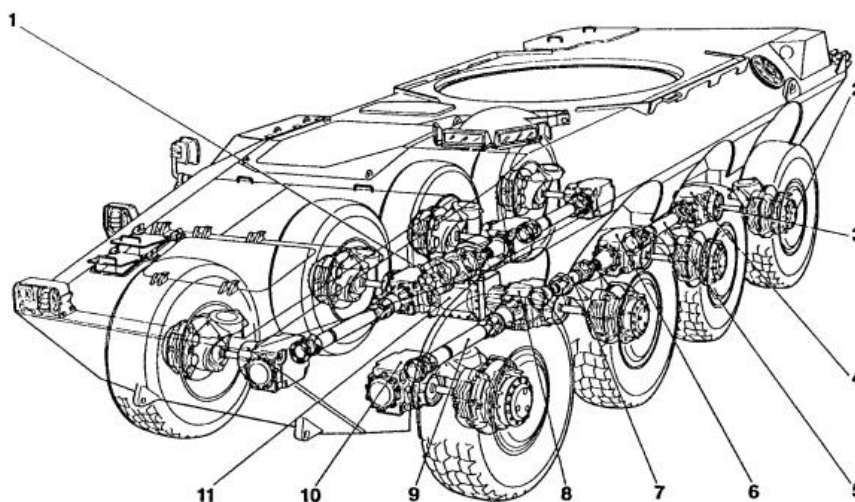
El VRCC Centauro es un vehículo de tracción 8x8 acorazado de la familia ruedas, armado con cañón de 105/52 mm, llegó a las unidades de Caballería en el año 2000 procedente de Italia. Sus prestaciones principales en cuanto a mecánica son las siguientes:

MOTOR	FIAT S.p.A. 6V MTCA (520 CV) turboalimentado
PESO EN COMBATE	26,850 t (sin blindaje reactivo)
VELOCIDAD MÁXIMA	105 km/h
AUTONOMÍA	800 km

Figura 5.15: Características mecánicas principales del VRCC CENTAURO (Doctrina et al., 2009).

El grupo moto-propulsor está instalado en la parte delantera de la barcaza y trabaja con un ciclo de cuatro tiempos de inyección directa.

Un punto muy interesante del vehículo es su sistema de transmisión. El eje de transmisión recibe el movimiento de la caja de velocidades y lo envía al grupo distribuidor-diferencial. La salida del grupo distribuidor-diferencial se transmite a través de semiejes internos a las cajas de transmisión lateral del 2º eje, que además están directamente instaladas en el distribuidor. Así a través de los ejes de transmisión se transfiere el movimiento al 1º y 3º eje, y es el 3º el encargado a su vez de enviar el movimiento al 4º eje. Todo el proceso anterior junto con el nombre de las piezas y conexiones del sistema se pueden apreciar en la Figura 5.16.



- |  |   |
|--|---|
| 1: Eje de transmisión salida de movimiento cambio de velocidades | 6: Caja de transmisión lateral 3º eje   |
| 2: Reductores finales  | 7: Eje de transmisión entre 2º y 3º eje |
| 3: Semieje   | 8: Caja de transmisión lateral 2º eje   |
| 4: Caja de transmisión lateral 4º eje                            | 9: Eje de transmisión entre 2º y 1º eje |
| 5: Eje de transmisión entre 3º y 4º eje                          | 10: Caja de transmisión lateral 1º eje  |
|  | 11: Grupo distribuidor-diferencial      |

Figura 5.16: Esquema sistema de transmisión del VRCC Centauro. (Doctrina et al., 2009)



Al igual que su antiguo compañero el VEC, goza de un sistema de frenado hidrocínético conseguido gracias al retardador de su caja de cambios y que funciona exactamente igual que en el caso del VEC.

Cabe mencionar que la empresa IVECO ha diseñado y presentado<sup>3</sup> un nuevo motor para la versión actualizada del Centauro, denominada Centauro II.

## 6. POSIBLE IMPLEMENTACIÓN EN EL VRCC CENTAURO

Una vez vistas las diversas necesidades y características de cada uno de los vehículos analizados anteriormente, se comienza el estudio técnico de la posible implementación de la configuración híbrida en el VRCC Centauro, haciendo uso del programa informático Matlab.

### 6.1 MOTOR ELÉCTRICO NECESARIO

Para lograr estimar la potencia necesaria para garantizar el movimiento del VRCC Centauro (Zhang, Zhang and Li, 2011), se ha planteado un caso práctico haciendo uso de la expresión (6.1) para la cual se han empleado las siguientes variables y magnitudes.

$$P = \frac{1}{\eta} \left( \frac{Mgf_r}{3600} V_{max} + \frac{CdA}{76140} V_{max}^3 \right) \quad \text{Expresión 6-1}$$

VARIABLE	MAGNITUD	UNIDAD DE MEDICIÓN
P	CALCULADA EN ANEXO	kW
$\eta$	0,97	CONSTANTE
M	26.850	kg
g	9,81	m/s <sup>2</sup>
$f_r$	0,06	CONSTANTE
V <sub>max</sub>	105	m/s
Cd	0,45	Kg/m <sup>3</sup>
A	8,34175	m <sup>2</sup>

Figura 6.1: Magnitudes y variables empleadas para el cálculo (elaboración propia).

Así cada variable corresponde con lo siguiente:

- P: potencia de pico a calcular del motor eléctrico necesario.
- $\eta$ : eficiencia de la transmisión del motor del VRCC Centauro.
- M: masa del VRCC Centauro.
- g: aceleración de la gravedad.
- $f_r$ : coeficiente de resistencia a la rodadura (correspondiente a neumáticos en caminos no asfaltados)(Cruz Encinas, 2014).
- V<sub>max</sub>: velocidad máxima del vehículo.
- Cd: coeficiente de arrastre aerodinámico (correspondiente a una furgoneta). (Orozco-Cantos *et al.*, 2018)
- A: área frontal del VRCC Centauro.

<sup>3</sup> La presentación de mejoras por parte de IVECO se efectuó en el Taller 5 de la Fuerza 35 especializado en la función de combate maniobra.



Para estos datos y el caso supuesto, la potencia obtenida en el Anexo 1 es de 534,04 kW. Además, en el Anexo 1, en la transformación para la obtención de la relación potencia/peso se obtiene un valor de 27,04 CV/t, lo cual es correcto ya que por ejemplo la que tiene el vehículo de serie con el motor de combustión de diésel es de 19,4 CV/t.

## 6.2 BATERÍA NECESARIA

A la hora de calcular la batería idónea para el vehículo, se han llevado a cabo una serie de cálculos que, en relación con la potencia obtenida anteriormente para el supuesto motor eléctrico, permiten reducir el error y ser si cabe más exactos con los resultados obtenidos.

Para ello se debe suponer el caso de aceleración del conjunto de 0 km/h a 100 km/h en 25 s de tiempo (C. Mi, M. A. Masrur, 2011). Haciendo uso de la siguiente expresión (6.2) y los siguientes datos y variables:

$$P = \frac{(mgf_r + \frac{1}{2}\rho_a C_d A_f V^2 + m\delta \frac{dv}{dt})V}{1000\eta_t \eta_{em}} \quad \text{Expresión 6-2}$$

VARIABLE	MAGNITUD	UNIDAD DE MEDICIÓN
P	CALCULADA EN ANEXO	kW
$\eta$	0,97	CONSTANTE
M	26.850	kg
g	9,81	m/s <sup>2</sup>
$f_r$	0,06	CONSTANTE
V	100*(1000/3600)	m/s
$C_d$	0,45	Kg/m <sup>3</sup>
$f_a$	1,2	Kg/m <sup>3</sup>
A	8,34175	m <sup>2</sup>
S	1,035	CONSTANTE
$\eta_{em}$	0,9	CONSTANTE
t	25	s

Figura 6.2: Magnitudes y variables empleadas para el cálculo (elaboración propia).

En este caso cada variable corresponde con lo siguiente:

- P: potencia eléctrica total.
- $\eta$ : eficiencia de la transmisión del motor del VRCC Centauro.
- M: masa del VRCC Centauro.
- g: aceleración de la gravedad.
- $F_r$ : coeficiente de resistencia a la rodadura (correspondiente a neumáticos en caminos no asfaltados). (Cruz Encinas, 2014)
- V: velocidad del vehículo.
- $C_d$ : coeficiente de arrastre aerodinámico (correspondiente a una furgoneta) (Orozco-Cantos *et al.*, 2018).
- $F_a$ : densidad del aire (C. Mi, M. A. Masrur, 2011).



- A: área frontal del VRCC Centauro.
- S: factor de masa (C. Mi, M. A. Masrur, 2011).
- $H_{em}$ : eficiencia del motor eléctrico calculado anteriormente (C. Mi, M. A. Masrur, 2011).
- T: tiempo en alcanzar la velocidad marcada.

Si bien cabe mencionar que para agilizar los cálculos se ha tomado un caso con aceleración constante.

Tras los cálculos realizados en el Anexo 9.1.2, se obtiene una potencia eléctrica necesaria de 1540,6 kW. Si añadimos entonces el resultado obtenido en el anterior apartado, logramos deducir que, de los 1540,6 kW, 534,04 kW corren a cargo del motor eléctrico calculado por lo que concluimos que la batería debe tener una potencia de 1006,56 kW.

### 6.3 IMPACTO DEL VRCC CENTAURO HÍBRIDO

Si bien se han hecho los cálculos numéricos de las necesidades mecánicas que acompañarían a la versión híbrida del vehículo, a continuación se analiza con mayor profundidad el impacto que esta implementación tendría en los diversos niveles del ámbito militar. Además, se han extraído lecciones aprendidas a raíz de la experiencia en operaciones y maniobras gracias a la entrevista desarrollada en el Anexo 9.4.

Cabe mencionar que a pesar de haberse hecho los cálculos en torno a la figura del VRCC Centauro, todo lo explicado y analizado a continuación se puede extrapolar a las figuras de cualquier vehículo eléctrico o híbrido en el sector militar.

#### 6.3.1 NIVEL ESTRATÉGICO

El nivel estratégico es el superior en cuanto a planeamiento militar. Para este nivel, la implementación de mejoras en vehículos ya en plantilla o la posible anexión de nuevos vehículos híbridos y/o eléctricos significa un gran avance en adaptación a las nuevas situaciones actuales. Es el caso por ejemplo del encarecimiento de los combustibles fósiles o su progresiva desaparición derivada del consumo masivo al que estos están sometidos.

#### 6.3.2 NIVEL OPERACIONAL

El nivel operacional está directamente relacionado con el desarrollo y conducción de las operaciones a gran escala y vería mejoras muy significantes relacionadas con el apoyo logístico necesario en cualquier unidad de vehículos de combate. (Ressler, Ottestad and Smith, 2020)

Si bien los órganos logísticos verían reducidas sus tareas en cuanto abastecimiento de combustible, ganando así las unidades de combate tiempo para sus cometidos tácticos y mejorando así el tiempo de exposición ante el enemigo, viéndose este reducido por la no necesidad de repostar con tan elevada frecuencia.

#### 6.3.3 NIVEL TÁCTICO

En este nivel es donde el impacto de los nuevos vehículos se ve más considerable.

En primer lugar, mejora sustancialmente todo lo relacionado con la utilización del vehículo, destacan por ejemplo los siguientes factores:

- Reducción del consumo de combustibles fósiles.
- Mayor dificultad para ser detectados, estrechamente relacionada con la reducción en la firma acústica y en la firma térmica del vehículo.
- Posibilidad de actualización e instalación de nuevos sistemas electrónicos por la mayor potencia eléctrica instalada en los nuevos vehículos.



## 6.4 PROBLEMAS DETECTADOS Y ASUMIDOS EN EL ESTUDIO

En primer lugar cabe mencionar el error sistemático asumido en el cálculo del área frontal del vehículo. El VRCC Centauro es un vehículo que puede llevar ametralladoras equipadas en la torre, lo que puede hacer variar el área frontal del vehículo si se realiza de forma estricta, se ha decidido no tenerlas en cuenta ya que afectan mínimamente al resultado final. Además, se ha tomado como un rectángulo, no teniendo en cuenta la forma de la torre ni de la barcaza, lo cual haría los cálculos más complejos si cabe.

Por otra parte, se han tomado muchos valores aproximados al comportamiento del vehículo en cuestión. Véase por ejemplo el coeficiente de arrastre aerodinámico (extraído de una furgoneta), la eficiencia de la transmisión (indeterminable para un conjunto de vehículos ya que cada uno se comporta de forma diferente) o las ya referenciadas en los cálculos anteriores que son extraídas de las propias fuentes de información y no específicas para el caso del vehículo militar.

Por último, la aceleración, que se ha tomado constante con el objetivo de simplificar los cálculos, siendo la diferencia entre la velocidad final (100 km/h) y la velocidad inicial (reposo) dividida entre el tiempo empleado (25 s). Esto se ha podido realizar ya que al fin y al cabo se ha construido una situación ideal de estudio para el caso concreto.



## 7. CONCLUSIONES

Durante el trabajo se ha llevado a cabo una labor de investigación bibliográfica que ha resultado el verdadero núcleo de aportaciones de información y experiencias del proyecto. Por otra parte, se ha tratado de obtener resultados científicos basados en cálculos y simulaciones con el fin de aportar un carácter más exacto y personalizado con respecto a los vehículos investigados más al detalle.

Tras todos los aspectos expuestos a lo largo de la investigación no cabe la menor duda de que la implantación de sistemas de propulsión híbrida o eléctrica traería de la mano una serie de ventajas tácticas muy importantes, tales como la reducción de las firmas térmica y acústica, el aumento de autonomía o el aumento de potencia eléctrica disponible en los vehículos.

Por otra parte, tras la comparación entre el desarrollo civil y el desarrollo militar, se puede concluir que todavía queda un largo camino que recorrer y que este tipo de tecnologías que pueden ofrecer tan buenas prestaciones a los vehículos tácticos militares, deben ser estudiadas más a fondo y desarrolladas a corto plazo para así introducirlas cuanto antes en el día a día de las unidades motorizadas.

Además, tras recopilar información proveniente de la experiencia del personal destinado en las unidades de VRCC Centauro y efectuar los cálculos pertinentes, se ha llegado a la conclusión de que la actualización del vehículo sobre los medios ya instalados es demasiado costosa y tediosa, por lo que se debe buscar otra solución como la adquisición de nuevos medios o de un grupo motor externo compatible con la barcaza.

Personalmente opino que es un sector en el que debemos continuar trabajando y en la medida de lo posible considero que se debe tratar de colaborar internacionalmente para definir concretamente el tipo de vehículos que será empleado en las diversas zonas de operaciones y así estrechar el cerco y conseguir producir un tipo de vehículo que reúna los requisitos indispensables, además de la modernización necesaria, para cubrir las necesidades actuales de nuestro personal desplegado.



## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (redacción), F. (2021) <https://forococheselectricos.com/2021/07/cuanto-tarda-en-cargar-un-coche-electrico.html>.
- (redacción), H. y electricos (2021) <https://www.hibridosyelectricos.com/seccion/fichas-tecnicas>.
- 77, K. (2017) <https://www.km77.com/coches/lynk-co/01/2017/estandar/pehv/01-hibrido-enchufable/datos>.
- 77, K. (2021) <https://www.km77.com/coches/hyundai/kona/2021/estandar/hibrido/kona-hibrido-16-gdi-141-cv-6dct/datos>.
- Badía, C. F. (2005) *Propiedades del Hidrógeno*, Tesis doctoral, Química Orgánica, Universidad de Sevilla, España.
- C. Mi, M. A. Masrur, and D. W. G. (2011) *Hybrid electric vehicles: principles and applications with practical perspectives*.
- Cesvimat (2017) '<https://www.revistaautocrash.com/abc-los-vehiculos-hibridos/>'.
- Costas, J. (2009) <https://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/historia-del-coche-hibrido-los-pioneros>.
- Costas, J. (2019) <https://aprendecienciaytecnologia.com/2019/06/20/tipos-de-baterias-utilizadas-en-vehiculos-electricos-e-hibridos/>.
- Cruz Encinas, I. (2014) *Calculo del coeficiente de fricción por rodadura en un estacionamiento público usando nuevas tecnologías*.
- Defensa.com (2020) <https://www.defensa.com/otan-y-europa/transmision-electrica-hibrida-bae-systems-vehiculos-combate-us>.
- Díez Cámara, O. (2021) <https://www.defensa.com/espana/vamtac-st5-propulsion-hibrida-para-reconocimiento-sigiloso>.
- Doctrina, M. D. E. A. Y. et al. (2006) PD1-001 (ED. 2) EMPLEO DE LAS FUERZAS TERRESTRES.
- Doctrina, M. D. E. A. Y. et al. (2009) MT6-035 VEHÍCULO DE RECONOCIMIENTO Y COMBATE (VRC-105) 'CENTAURO' MANUAL DE TRIPULACIÓN.
- Doctrina, M. D. E. A. Y. et al. (2013) MI-200 TRIPULACIÓN VEHÍCULO DE EXPLORACIÓN DE CABALLERÍA.
- Erb, D. C. (2016) 'Optimizing Hybrid Vehicles : Battery Pack Design , Energy Management , and Collaborative Learning by'.
- España, T. (2017) <https://www.toyota.es/world-of-toyota/articles-news-events/2017/conoce-abuelo-Toyota-Prius-sxix>.
- Fernández, A. (2020a) <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/actualidad/ejercito-tierra-pone-prueba-motos-electricas-espanolas/20201216103659040847.html>.
- Fernández, A. (2020b) <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/motocicletas-electricas/ubco-motos-electricas-militares/20200727145042036893.html>.
- Gutierrez, D. (2020) <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/actualidad/bae-systems-integrara-motor-electrico-vehiculos-combate-hibridos/20200722111545036795.html>.
- Hishman, E. (2021) <https://electromo.com/lordstown-motors-is-developing-a-military-electric-vehicle/>.
- lekelectro (2018) <https://lelektro.es/2018/04/10/europa-coche-electrico-baterias/>.
- Illán Romero, T. C. R. (2021) 'REVISTA EJÉRCITO', Nº 955, (I), p. 116.
- Ingeniería, Q. (2020) <https://www.quetzalingenieria.es/hablemos-de-coches-electricos/>.
- Lambert, F. (2018) <https://electrek.co/2018/07/21/darpa-electric-vehicle-military-applications-inhub-motor/>.
- Linden, D. and Reddy B., T. (1995) *Handbook of batteries, Third Edition*. doi: 10.1002/9780470933886.ch1.



- Majdalani, J. (2021) <https://www.adslzone.net/e-movilidad/coches/hyundai-nexo/>.
- Martín, J. (2018) <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/tecnologia/darpa-presenta-motores-electricos-aplicaicones-militares/20180817205350021108.html>.
- Martin, P. (2021) [https://www.elconfidencial.com/motor/industria/2021-07-05/el-20-por-ciento-de-los-coches-vendidos-en-espana-este-ano-son-hibridos-no-enchufables\\_3165980/](https://www.elconfidencial.com/motor/industria/2021-07-05/el-20-por-ciento-de-los-coches-vendidos-en-espana-este-ano-son-hibridos-no-enchufables_3165980/).
- Mikozami, K. (2021) <https://www.popularmechanics.com/military/research/a37001881/us-army-electric-vehicles/>.
- Naoi, K. and Simon, P. (2008) 'New materials and new configurations for advanced electrochemical capacitors', *Electrochemical Society Interface*, 17(1), pp. 34–37. doi: 10.1149/2.f04081if.
- Noya, C. (2021) <https://forococheselectricos.com/2021/09/las-ventas-de-coches-electricos-en-el-mundo-se-acercan-a-un-crecimiento-exponencial.html>.
- Orozco-Cantos, L. S. et al. (2018) 'Análisis experimental de la fuerza de arrastre en automóviles modelo por el flujo de fluido', *Polo del Conocimiento*, 3(12), p. 316. doi: 10.23857/pc.v3i12.838.
- Pascual, J. (2021) <https://www.motor.es/noticias/gm-defense-isv-electrico-prototipo-202177773.html>.
- Pérez, A. (2021) <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/curiosidades/storm-es-vehiculo-anfibio-hibrido-que-dejara-boquiabierto/20210827134117048573.html>.
- Planificación, S. G. D. E. and Innovación, T. E. (2019) 'Boletín de observación tecnológica en Defensa'.
- Ressler, R., Ottestad, M. A. J. B. and Smith, M. (2020) 'Electric Propulsion : a Game Changer', *ARMOR MAGAZINE*.
- Sanchez Criado, C. (2014) <https://movilidadelectrica.com/pilas-de-combustible-como-almacenes-de-energia/>.
- Sanchez Criado, C. (2016) <https://www.energynews.es/parque-eolico-chino-se-convierte-en-el-mayor-sistema-que-utiliza-ultracondensadores-del-pais/>.
- Sims, B. and Crase, S. (2017) 'Review of Battery Technologies for Military Land Vehicles', *Defence technical information center*, 5(1), p. 55. Available at: <https://www.dst.defence.gov.au/sites/default/files/publications/documents/DST-Group-TN-1597.pdf>.
- Taira, H., Yoshikawa, T. and Jumonji, K. (2017) 'Development of Tracked Combat Hybrid-Electric Vehicle', *Ministerio de Defensa de Japón*.
- Zhang, G., Zhang, H. and Li, H. (2011) 'The driving control of pure electric vehicle', *Procedia Environmental Sciences*, 10(PART A), pp. 433–438. doi: 10.1016/j.proenv.2011.09.071.



## 9. ANEXOS

### 9.1 CÁLCULOS

#### 9.1.1 MOTOR ELÉCTRICO

```
>> M=26850; %MASA DEL VRCC CENTAURO EN KILOGRAMOS (CONFIGURADO PARA COMBATE)
>> n=0.97; %EFICIENCIA DE UNA TRANSMISIÓN ESTÁNDAR
>> A=3.05*2.735; %ÁREA FRONTAL APROXIMADA DEL VRCC CENTAURO EN m^2
>> g=9.81; %MAGNITUD DE ACELERACIÓN DE LA GRAVEDAD EXPRESADA EN m/s^2
>> f=0.06; %COEFICIENTE DE RESISTENCIA A LA RODADURA DE NEUMÁTICOS EN CAMINOS NO ASFALTADOS
>> Cd=0.45; %COEFICIENTE DE ARRASTRE AERODINÁMICO APROXIMADO EXPRESADO EN kg/m^3
>> Vmax=105; %VELOCIDAD MÁXIMA DEL VRCC CENTAURO EXPRESADA EN km/h
>> P=( (M*g*f*Vmax/3600)+(Cd*A*(Vmax^3)/76140)) * (1/n) %POTENCIA NECESARIA EXPRESADA EN kW
```

P =

534.0408

Figura 9.1: Potencia necesaria para el motor eléctrico del VRCC Centauro.

```
>> P=534.0408; %POTENCIA OBTENIDA EN KW
>> CV=1.3596; %RELACIÓN ENTRE KW Y CVs
>> M=26.85; %MASA DEL VRCC CENTAURO EN TONELADAS
>> RP=(P*CV)/M %FÓRMULA DE CONVERSIÓN
```

RP =

27.0422

Figura 9.2: Relación de potencia/peso del motor eléctrico calculado.

#### 9.1.2 BATERÍA ELÉCTRICA

```
>> M=26850; %MASA DEL VRCC CENTAURO EN KILOGRAMOS (CONFIGURADO PARA COMBATE)
n=0.97; %EFICIENCIA DE UNA TRANSMISIÓN ESTÁNDAR
A=3.05*2.735; %ÁREA FRONTAL APROXIMADA DEL VRCC CENTAURO EN m^2
g=9.81; %MAGNITUD DE ACELERACIÓN DE LA GRAVEDAD EXPRESADA EN m/s^2
fr=0.06; %COEFICIENTE DE RESISTENCIA A LA RODADURA DE NEUMÁTICOS EN CAMINOS NO ASFALTADOS
Cd=0.45; %COEFICIENTE DE ARRASTRE AERODINÁMICO APROXIMADO EXPRESADO EN kg/m^3
fa=1.2; %DENSIDAD DEL AIRE EXPRESADA EN kg/m^3
S=1.035; %FACTOR DE MASA
t=25; %TIEMPO EMPLEADO EXPRESADO EN s
nem=0.9; %EFICIENCIA DEL MOTOR ELÉCTRICO
V=100*(1000/3600); %VELOCIDAD ALCANZADA (100 km/h) EXPRESADA EN m/s
>> a=V/t; %EXPRESIÓN DE LA ACELERACIÓN CONSTANTE
>> P=((M*g*fr+0.5*fa*A*Cd*V^2+M*S*a)*V)/(1000*n*nem) %POTENCIA DE LA BATERÍA EXPRESADA EN kW
```

P =

1.5406e+03

Figura 9.3: Potencia eléctrica total necesaria para el VRCC Centauro.



```
>> Pmot=534.0408; %POTENCIA OBTENIDA DEL MOTOR ELÉCTRICO EN kW
Ptot=1540.6; %POTENCIA ELÉCTRICA TOTAL OBTENIDA EN kW
>> Pbat=Ptot-Pmot %POTENCIA DE LA BATERÍA NECESARIA EN kW
```

Pbat =

1.0066e+03

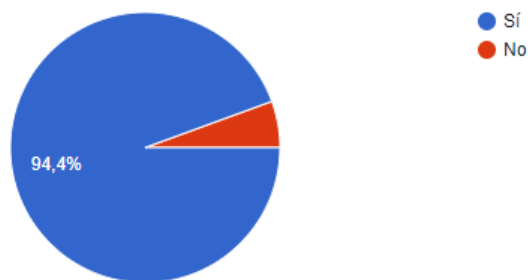
Figura 9.4: Potencia de la batería necesaria.

## 9.2 ENCUESTA

Durante la estancia en el RC España 11 se elaboró y contestó la siguiente encuesta. Los encuestados fueron 18 integrantes de la primera sección acorazada, incluyendo entre ellos al Teniente jefe de sección, a 2 suboficiales y a los soldados encuadrados en la sección, formando un grupo de 18 encuestados. Se obtuvieron los siguientes resultados:

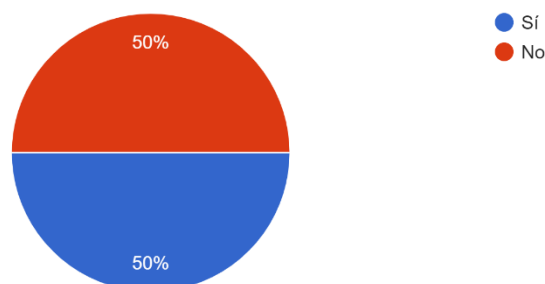
¿Conoce usted algo acerca de vehículos híbridos y/o eléctricos?

18 respuestas



¿Cree que la tecnología de los motores híbridos o eléctricos sería útil en los vehículos de las unidades?

18 respuestas





¿Cuál cree que sería el principal problema de implementar estas tecnologías en los vehículos actuales?

17 respuestas



**Desglose de resultados:**

Autonomía: 4

Averías más costosas y complejas: 4

Presupuesto/ coste: 4

Recarga de baterías: 2

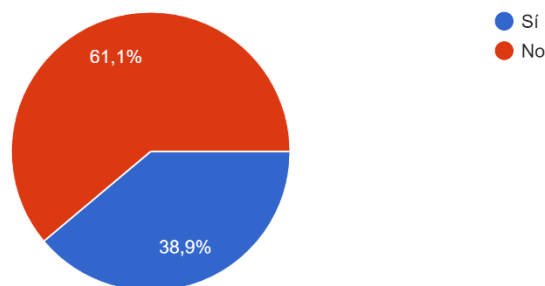
Duración de baterías y potencia: 2

Peso de los vehículos: 1

Espacio en los vehículos: 1

¿Conoce usted algún vehículo militar que emplee esta clase de sistemas de propulsión?

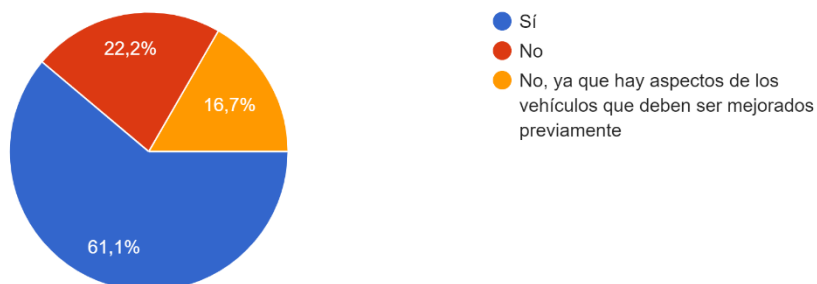
18 respuestas





¿Cree que el Ejército de tierra debería modernizar sus vehículos en este aspecto?

18 respuestas



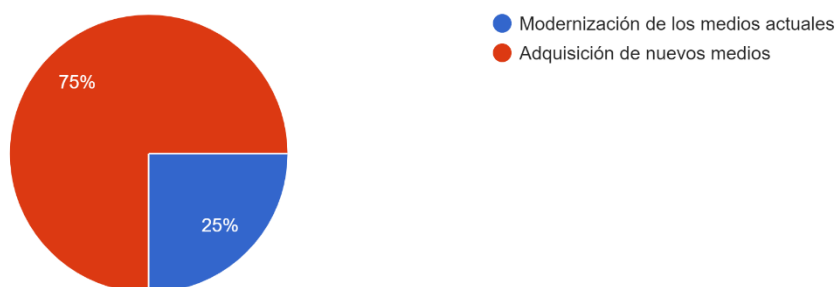
Si cree que hay aspectos que deben ser mejorados previamente. ¿Cuál/ cuales son ? (si ha respondido sí o no en la anterior deje la respuesta en blanco)

4 respuestas

- Baterías
- Modernización en cuanto al blindaje, el armamento y la electrónica de los vehículos.
- Armamento y protección
- Para empezar, crear un vehículo que si se pincha una rueda no sea necesario ir al escalón para cambiar la rueda ya que el primer escalón no puede por el tema del autoinflado

Si ha respondido que el Ejército debe modernizarse en este aspecto. ¿Debería actualizar sus medios con modernizaciones o debería adquirir material que traiga estos sistemas de serie?

16 respuestas



### 9.3 ENTREVISTA 1

A través de contactos se consiguió realizar una breve entrevista a D. José Luis Herrero, empleado del sector de ventas de la empresa Breogán Motor S.L. que respondió a las preguntas que a continuación se muestran:

**CAC:** ¿Cuántos vehículos con configuración híbrida o eléctrica tenéis en la tienda?

**José Luis:** Actualmente tenemos 8 modelos diferentes de vehículos híbridos eléctricos de la casa Kia y 11 de la casa Toyota con los cuales se pueden obtener hasta 54 configuraciones diferentes.

**CAC:** ¿Crees que de aquí a 5 años se verán muchos más coches eléctricos en las calles?



**José Luis:** No tengo la menor duda de que eso será así, el grado de desarrollo en el sector se ha visto aumentado mucho en los últimos años.

**CAC:** ¿Qué porcentaje de vehículos eléctricos o híbridos vendes al público en comparación con los vehículos convencionales que montan motores de combustión interna?

**José Luis:** Hoy por hoy roza el 100% de las ventas, tanto particulares como profesionales ven reunidas en este tipo de vehículos todas las características que tenían los coches convencionales de combustión interna además de sumarle algunas añadidas como la sostenibilidad del movimiento, el ahorro de combustible o incluso las garantías y facilidades ofrecidas por los fabricantes.

**CAC:** Por último, ¿crees que este tipo de tecnologías serían aplicables en vehículos militares acorazados?

**José Luis:** Sin duda sería algo que marcaría la diferencia. Actualmente las tecnologías siguen en desarrollo, en el sector civil, del cual entiendo bastante más, todavía están llegando los primeros vehículos eléctricos que gozan de gran autonomía y tiempos de carga de batería bajos.

Al fin y al cabo, por lo poco que recuerdo de mi servicio militar, los vehículos acorazados tienen grandes dimensiones y elevados pesos, lo cual me hace pensar que las potencias necesarias para moverlos son muy elevadas y hoy por hoy no creo que exista un grado de desarrollo tan elevado como para hacer que las configuraciones híbridas o eléctricas sean rentables en este tipo de vehículos.

Al fin y al cabo este tipo de tecnologías es muy útil en vehículos más ligeros y es en estos en los que de verdad se le saca partido.

## 9.4 ENTREVISTA 2

Durante el periodo de prácticas en la unidad, se efectuó la siguiente entrevista al Sargento D. Luis Javier Molina Abad, destinado en la primera sección acorazada del EAC 1. El Sargento lleva dos años trabajando sobre la plataforma además de ser el enlace del escuadrón con el escalón de mantenimiento.

**CAC:** Desde tu opinión, ¿qué ventajas y desventajas crees que pueden tener los vehículos eléctricos y/o híbridos en el ámbito militar?

**SARGENTO:** Creo que las principales ventajas de la implementación de este tipo de vehículos en las unidades de caballería serían las siguientes:

- Menor carga de trabajo y por tanto menor necesidad de apoyo logístico durante las operaciones.
- Aumento de la movilidad de los vehículos
- Al instalar baterías de gran amperaje y potencia se posibilitaría la instalación de más medios eléctricos, cómo sistemas de armas o sistemas auxiliares, en las torres de los vehículos.
- Mayor grado de supervivencia de los vehículos.
- En el caso del VRCC Centauro, creo que se verían muy optimizadas las firmas térmicas y acústicas provenientes del grupo moto propulsor.

Además creo que a gran nivel, este tipo de vehículos puede contrarrestar la continua subida del precio de los hidrocarburos.

Por otra parte creo que las principales desventajas serían:

- Mantenimientos más complejos y tecnificados.
- Gran complejidad de los sistemas.
- Mayor posibilidad de fallo eléctrico.

**CAC:** ¿Crees que sería posible instalar los sistemas necesarios en el VRCC Centauro?

**SARGENTO:** Creo que la posibilidad existe, de hecho el sistema de transmisión de la barcaza hace relativamente fácil que el traslado de movimiento del motor de combustión a lo que sería el sistema de carga



de baterías se lleve a cabo. Sin embargo, tal y como ha visto usted con sus propios ojos, el vehículo no goza de espacio suficiente para instalar los sistemas necesarios, lo cual creo que es el principal problema para hacer posible la hibridación del vehículo. Además hay que tener en cuenta qué es un vehículo muy pesado y que tiene que cumplir una serie de requisitos de movilidad para así poder cumplir las misiones que se nos encomiendan, lo cual me lleva a pensar si existe algún motor eléctrico con la suficiente potencia para satisfacer las necesidades exigidas, además de que necesitará una batería con una potencia y un grado de fiabilidad muy elevados.

**CAC:** ¿Crees que debe ser nuestra preocupación principal acerca del vehículo o debemos pensar en otras mejoras?

**SARGENTO:** Bueno, creo que todavía hay mucho trabajo que hacer antes de pensar en este tema. Es un vehículo que cuando todo funciona bien, tiene unas prestaciones espectaculares. Sin embargo, creo que en lo primero en lo que debemos pensar es en la correcta definición de tareas a efectuar por los diferentes escalones de mantenimiento, esto haría que el grado de operatividad de los vehículos aumentara sin dudas.

Quizás antes de ponerme a desarrollar un sistema de propulsión de este tipo, pensaría en tratar de inventar o instalar si es que existe ya, un sistema similar al que montan los carros Leopard, que permite el movimiento de la Torre y de todos sus sistemas, con una unidad de potencia auxiliar.

**CAC:** Ya por último para esta materia, ¿mejora de lo ya existente o adquisición de nuevos materiales?

**SARGENTO:** Es una pregunta muy interesante, lo primero que deberíamos definir es el camino actual que vamos a seguir. Hoy en día en los teatros de operaciones el empleo de los vehículos más pesados ha quedado en un segundo plano. Como ya le dije el hecho de mejorar los vehículos ya existentes es algo muy interesante, pero se debe priorizar los elementos a mejorar y tratar así de llegar a un nivel de operatividad óptimo y a un grado de instrucción y adiestramiento elevado.

Si hablamos entonces de las tecnologías que está estudiando usted, creo que lo mejor sería la adquisición de nuevos medios, ya que el grado de fiabilidad de algo ya construido de serie es más elevado que el de algo instalado sobre algo ya existente.

**CAC:** Luis tu estabas aquí cuando se probaron las motos de EINSA, podrías comentarme un poco las conclusiones que se sacaron de las pruebas.

**SARGENTO:** Efectivamente se probaron durante este año. Las motos como tal funcionaban bien y la autonomía que ofrecían no era mala ya que son para misiones puntuales y además sus baterías pueden ser intercambiadas por otras cargadas, como si de una pila se tratase. Me parecen un buen elemento para reconocimientos puntuales pero detecto problemas tales como el dónde llevarlas en el vehículo, su poca y protección contra amenazas.