



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Estudio para la conversión de un vehículo militar URO
Vamtac con motor de combustión en uno propulsado
eléctricamente por baterías*

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: José Manuel Duarte Gómez

DIRECTORES: Víctor Alfonsín Pérez
Carlos Casqueiro Placer

CURSO ACADÉMICO: 2016-2017

Universida_{de}Vigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Estudio para la conversión de un vehículo militar URO
Vamtac con motor de combustión en uno propulsado
eléctricamente por baterías*

Grado en Ingeniería Mecánica
Intensificación en Tecnología Naval
Infantería de Marina

UniversidadeVigo

RESUMEN

Este Trabajo de Fin de Grado propone el estudio para la viabilidad de la implantación de un motor eléctrico alimentado por baterías en sustitución del motor de combustión del vehículo militar URO Vamtac S3, con la menor pérdida de prestaciones posibles respecto al original.

Para ello se han estudiado los espacios disponibles en el vehículo para albergar el motor eléctrico, así como el mayor número de baterías para hacerlo viable, incluyendo espacios como la zona de carga trasera, empleando el programa Siemens NX como medida auxiliar.

Hecho esto se ha procedido al cálculo de datos necesarios para estudiar las prestaciones ofrecidas por el motor eléctrico escogido, además de determinar sus necesidades de alimentación.

Para suplir esas necesidades se ha escogido un tipo de batería comercializada en el mundo de los vehículos eléctricos, determinándose un modelo concreto e implantando las baterías en los espacios disponibles ya estudiados.

Finalmente se ha realizado la simulación con los datos obtenidos en el programa SIMULINK, dando como resultado una autonomía determinada para un recorrido normalizado.

PALABRAS CLAVE

Vehículos Eléctricos, Vehículos Militares, Diseño Vehículo 3D

AGRADECIMIENTOS

A mi familia y en especial a mis padres José Manuel y Remedios, y a mi hermana Marina por su apoyo y cariño durante todos los años de formación que he pasado lejos de ellos y por su amor incondicional. A mis amigos y compañeros por haber pasado tantos buenos y malos momentos juntos fomentando el apoyo mutuo.

A mis maestros y profesores que a lo largo de mi vida me han enseñado a valirme por mí mismo y a aprender cómo funciona el mundo.

A mis tutores Víctor Alfonsín Pérez y Carlos Casqueiro Placer por su guía y ayuda en la realización del presente proyecto y hacerlo posible.

CONTENIDO

Contenido	1
Índice de Figuras	3
Índice de Tablas.....	5
1 Introducción.....	7
1.1 Panorama energético	7
1.1.1 Incremento del consumo de combustibles fósiles	7
1.1.2 Disminución de reservas	8
1.1.3 Contaminación atmosférica	9
1.1.4 Protocolo de Kioto	9
1.2 Energías renovables	10
1.2.1 Definición	10
1.2.2 Tipos	11
1.2.3 Uso y almacenamiento energético	11
1.3 Automoción.....	12
1.3.1 Automóvil.....	13
1.3.2 Vehículos eléctricos.....	13
1.3.3 Vehículos eléctricos híbridos.....	14
1.3.4 Pila de combustible.....	15
1.4 Vehículos eléctricos en Fuerzas Armadas	18
1.4.1 Vehículos eléctricos militares existentes y usos	18
1.4.2 Fuerzas Armadas y energías renovables	19
1.5 Vehículo Táctico URO Vamtac S3.....	20
1.5.1 Características del vehículo	20
1.5.2 Usos del vehículo en la Infantería de Marina	21
1.6 Software utilizado	22
1.6.1 Siemens NX	22
1.6.2 Entorno SIMULINK en Matlab	23
1.7 Objetivos TFG.....	24
2 Estado del arte	25
2.1 Usos de los vehículos eléctricos en la sociedad.....	25
2.1.1 Vehículo eléctrico alimentado por baterías	25
2.1.2 Usos de vehículo eléctrico de baterías en la sociedad	26
2.1.3 Recarga de las baterías.....	27

3 Desarrollo del TFG.....	31
3.1 Desarrollo URO Vamtac Eléctrico	31
3.1.1 Diseño en Siemens NX.....	31
3.1.2 Selección e implementación del motor eléctrico	34
3.1.3 Selección e implementación de baterías	39
3.1.4 Recarga de las baterías.....	41
3.1.5 Variador de frecuencia.....	42
3.2 Simulación-Autonomía	42
3.2.1 Modelado de la dinámica.....	43
3.2.2 Modelado de las baterías	44
3.2.3 Modelado del motor eléctrico	45
3.2.4 Realización de la simulación	45
4 Resultados	47
4.1 Resultados alcanzados.....	47
4.1.1 Implantación del motor eléctrico y características generales del vehículo.....	47
4.1.2 Implantación baterías y autonomía obtenida	48
5 Conclusiones y líneas futuras	49
5.1 Conclusiones	49
5.2 Líneas futuras	50
6 Bibliografía.....	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Consumo mundial energético [3]	8
Figura 1-2 Reservas de petróleo y gas [5]	9
Figura 1-3 Países del Protocolo de Kioto [6]	10
Figura 1-4 Energías renovables [7]	11
Figura 1-5 Esquema red de transporte eléctrica [10].....	12
Figura 1-6 Automóvil eléctrico de Tesla Motors [11].....	14
Figura 1-7 Esquema general de vehículo eléctrico [12]	14
Figura 1-8 Esquema general de vehículo híbrido [16]	15
Figura 1-9 Funcionamiento pila de combustible [19]	16
Figura 1-10 Submarino de la Armada española Clase Galerna [20]	18
Figura 1-11 ISO 14001 [21]	19
Figura 1-12 Placas solares en la FOB JACKSON, Afganistán [23]	19
Figura 1-13 Vamtac Mando y COMM's [24]	20
Figura 1-14 Vamtac S3 blindado de Infantería de Marina [26]	21
Figura 1-15 Vista del programa Siemens NX [27].....	22
Figura 1-16 Presentación del SIMULINK [29].....	24
Figura 2-1 Enchufe Schuko [32]	28
Figura 2-2 Conector SAE J1772 (Tipo 1) [32].....	28
Figura 2-3 Conector MENNEKES (Tipo 2) [32]	28
Figura 2-4 Conector CCS [32]	29
Figura 2-5 Conector Scaame (Tipo 3) [32]	29
Figura 2-6 Conector Chademo [32].....	29
Figura 3-2 Primer modelo finalizado	32
Figura 3-3 Modelo final del vehículo	32
Figura 3-4 Modelo final del vehículo y espacio aproximado del motor	33
Figura 3-5 Curvas de potencia motor HVH 250-090 [34]	37
Figura 3-6 Gráfica Potencia-Revoluciones	38
Figura 3-7 Gráfica Par-Revoluciones	38
Figura 3-8 Batería WB-LYP100AHA LiFePO ₄ (3.2V/100Ah TALL) [36]	40
Figura 3-9 Espacio aprovechado en zona de carga para baterías	41
Figura 3-10 Cargador portátil del Tipo 2 a Schuko [32]	42
Figura 3-11 Modelo de vehículo eléctrico para el vehículo URO Vamtac S3 en SIMULINK.....	43
Figura 3-12 Bloque de modelado de la dinámica	43

Figura 3-13 Bloque de modelado de las baterías.....44

Figura 3-14 Bloque de modelado del motor eléctrico45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Tipos de pilas de combustible	17
Tabla 2-1 Comparación características marcas y automóviles [11]	26
Tabla 2-2 Comparación de tipos de recarga [31]	27
Tabla 3-1 Parámetros empleados cálculo prestaciones	34
Tabla 3-2 Parámetros a incluir en bloques del SIMULINK	46
Tabla 4-1 Prestaciones más destacables para vehículo cargado/no cargado y con reductora/sin reductora	47

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Panorama energético

El recurso energético hoy día se basa en el consumo de combustibles fósiles en su mayor parte, lo que conlleva una disminución considerable de estas reservas en los últimos años, así como un impacto ambiental considerable durante el proceso de consumo de los mismos.

1.1.1 Incremento del consumo de combustibles fósiles

Actualmente la mayor parte del consumo energético mundial se basa en la utilización de combustibles fósiles. Éstos son aquellos productos derivados por la transformación de la biomasa de seres vivos muertos hace millones de años. Se pueden dividir estos combustibles en 3 clases principales:

- El carbón. Es una roca sedimentaria de color negro, rica en carbono y con cantidades variables de hidrógeno, azufre, oxígeno y nitrógeno. Se origina por la descomposición de vegetales terrestres que se acumulan en zonas con agua de poca profundidad. Comienza con una lenta transformación por la acción de bacterias anaerobias. Con el tiempo se produce un progresivo enriquecimiento en carbono.
- El petróleo. Es una mezcla de compuestos orgánicos, principalmente hidrocarburos, los cuáles son insolubles en agua. Es un líquido bituminoso, cuyo color y viscosidad (desde amarillentos y poco viscosos hasta líquidos negros tan viscosos que apenas fluyen), densidad capacidad calorífica, etc., se deben a la diversidad de concentraciones de los hidrocarburos que componen la mezcla. Se origina por transformación de materia orgánica acumulada en trampas geológicas naturales hace millones de años.
- El gas natural. Es una mezcla de hidrocarburos gaseosos ligeros que se extrae, bien sea de yacimientos independientes o junto a yacimientos petrolíferos o de carbón. Su formación sigue el mismo proceso que el petróleo.

Desde el descubrimiento del poder calorífico que presenta el carbón y el gas natural, así como el de los derivados del petróleo, se han utilizado ampliamente en el día a día de las sociedades occidentales, tanto en el ámbito doméstico como en el industrial para los procesos de producción. Sin embargo, no ha sido hasta poco después de la Segunda Guerra Mundial cuando los procesos de obtención, refinado y consumo de estos recursos han aumentado de forma casi exponencial. Cabe destacar la grandísima importancia de los mismos en nuestras vidas. En la Figura 1-1 podemos ver el consumo energético producido por las diferentes fuentes, donde claramente observamos la importancia de los combustibles fósiles [1] [2].

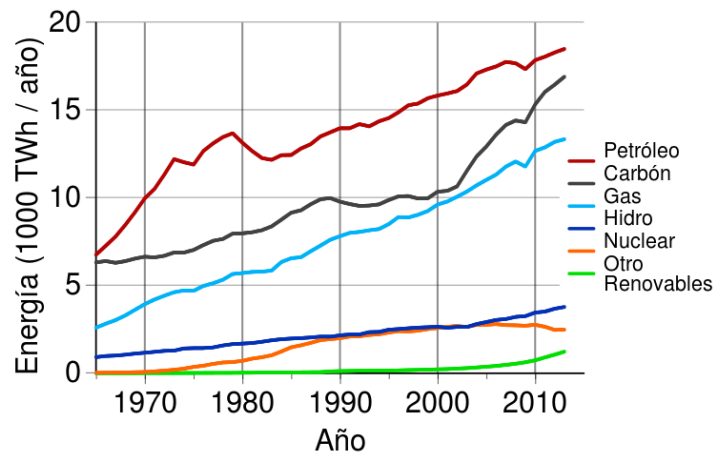


Figura 1-1 Consumo mundial energético [3]

Este crecimiento del consumo energético aumenta año tras año, y el 80% de ese consumo proviene de los combustibles fósiles. Es evidente que el mantener este ritmo de crecimiento dependerá en gran medida de las reservas que se dispongan de estos recursos si es que siguen constituyendo el pilar central del consumo energético.

1.1.2 Disminución de reservas

Debido al elevado consumo de combustibles fósiles, aparece la problemática acerca de la disminución de las reservas existentes. Los combustibles fósiles son recursos energéticos no renovables, ya que no pueden reponerse por procesos biológicos al mismo ritmo que se consumen, ya que para ello son necesarios millones de años para su formación. Es por ello que, unido al creciente consumo de los mismos y a que no son recursos virtualmente infinitos, acabarán por agotarse.

Con respecto al petróleo, ya desde que en 1956 fue sugerida la teoría del pico de Hubbert, en la cual se predice que la producción mundial de petróleo llegará a su cenit (máximo) y después declinará tan rápido como creció, y por la que el factor limitador de la extracción de petróleo es la energía requerida y no el coste económico, se ha observado que la realidad en los últimos 60 años se ajusta perfectamente a la misma. Como se puede ver en la Figura 1-2, las reservas de estos recursos se ajustan a la curva antes mencionada por Hubbert, destacando el hecho de que se estima que sólo quedan reservas suficientes para los próximos 100 años, teniendo en cuenta la tendencia de aumento del consumo energético actual [1] [4].

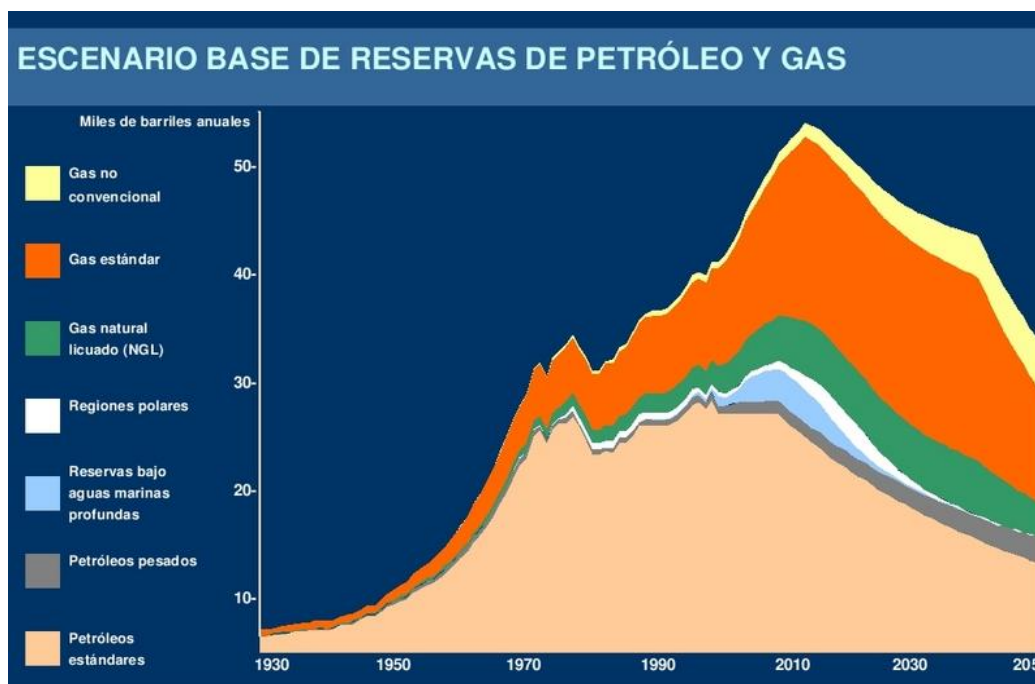


Figura 1-2 Reservas de petróleo y gas [5]

1.1.3 Contaminación atmosférica

La disminución de las reservas y el incremento del consumo no son los únicos inconvenientes existentes en el panorama energético actual, ya que por otro lado existe la contaminación atmosférica asociada que su consumo genera.

La expulsión de los gases que se generan por el uso de los combustibles para producir energía está alterando la atmósfera. La consecuencia principal más palpable de esto bien podría ser el aumento del ya existente efecto invernadero, por el que parte de la radiación solar no escapa de la atmósfera y se queda para mantener una temperatura estable en la misma.

Además, el manejo del petróleo, desde su extracción, transporte y tratamiento para producir combustibles (gasolina, gasóleo, alquitrán, gas) aptos para su utilización, produce una serie de efectos nocivos para la atmósfera. Durante la extracción y transporte del crudo, se corre un gran riesgo de vertido del mismo. Los efectos de estos derrames accidentales tienen efectos sobre el suelo, agua y el aire, además de alterar de forma muy significativa el ecosistema local, produciendo la muerte de los animales y plantas que se encuentren, además de imposibilitar la habitabilidad de la misma por un periodo de tiempo muy prolongado.

Los motores de combustión interna, que la mayoría de vehículos actuales utilizan, emiten varios tipos de gases que dañan la atmósfera, siendo los más abundantes: óxidos nitrosos, monóxido de carbono y dióxido de carbono. Además de los gases mencionados, los motores a gasolina emiten además compuestos de plomo y pequeñas cantidades de dióxido de azufre y de sulfuro de hidrógeno. A mayores sucede que, dado que los sistemas de frenos poseen partes construidas con amianto, al accionar el freno de un vehículo se liberan a la atmósfera pequeñas cantidades de amianto, sustancia extremadamente dañina para el ser humano.

1.1.4 Protocolo de Kioto

Como respuesta al incremento del efecto invernadero y emisión de demás gases nocivos para la atmósfera, se conformó el Protocolo de Kioto sobre el Cambio Climático, que aunque adoptado el 11 de diciembre de 1997, no entró en vigor hasta el 16 de febrero de 2005.

Este acuerdo internacional tiene como objeto reducir las emisiones de los llamados gases de efecto invernadero: dióxido de carbono (CO_2), gas metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O), así como otros gases industriales fluorados: hidrofluorcarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF_6), en un porcentaje de al menos un 5%, en el período entre 2008 y 2012, en comparación a las emisiones de 1990 [6].

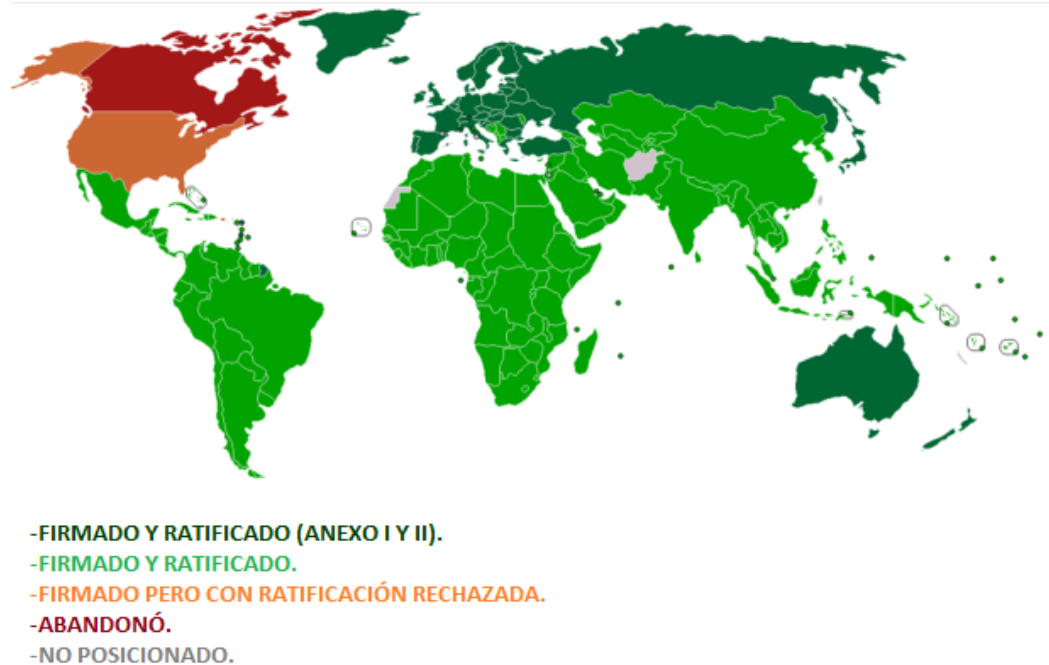


Figura 1-3 Países del Protocolo de Kioto [6]

Del 26 de noviembre al 7 de diciembre de 2012, tuvo lugar la 18ª Cumbre de Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Los 194 países reunidos en Doha alcanzaron un acuerdo de mínimos, conocido como Puerta Climática de Doha, y que prorroga hasta 2020 el periodo de compromiso del Protocolo de Kioto. Sin embargo, denotó un compromiso muy débil entre los países industrializados, ya que por ejemplo Estados Unidos, Rusia y Canadá no la respaldaron [6].

Además de cumplir con estas exigencias de emisión de gases se promovió la generación de un desarrollo sostenible, mediante el empleo de energías no convencionales que contribuyan a la disminución del calentamiento global. Esto se tradujo en el mayor empleo de las energías renovables.

1.2 Energías renovables

1.2.1 Definición

Para paliar la dependencia y efectos nocivos del uso de los combustibles fósiles, en la actualidad se apuesta por el uso de las energías renovables.

Las energías renovables son aquellas que se obtienen de fuentes naturales inagotables, debido a la gran cantidad de energía que se obtiene o a que se renuevan en poco tiempo. El uso de las mismas no genera contaminantes perjudiciales para el medio ambiente, por lo que suprime uno de los ya mencionados problemas de los combustibles fósiles. Por otro lado, en la mayoría de ellas existe un impacto ambiental más o menos importante que afecta al medio, como por ejemplo, centrales hidroeléctricas, un campo de aerogeneradores o de paneles fotovoltaicos.

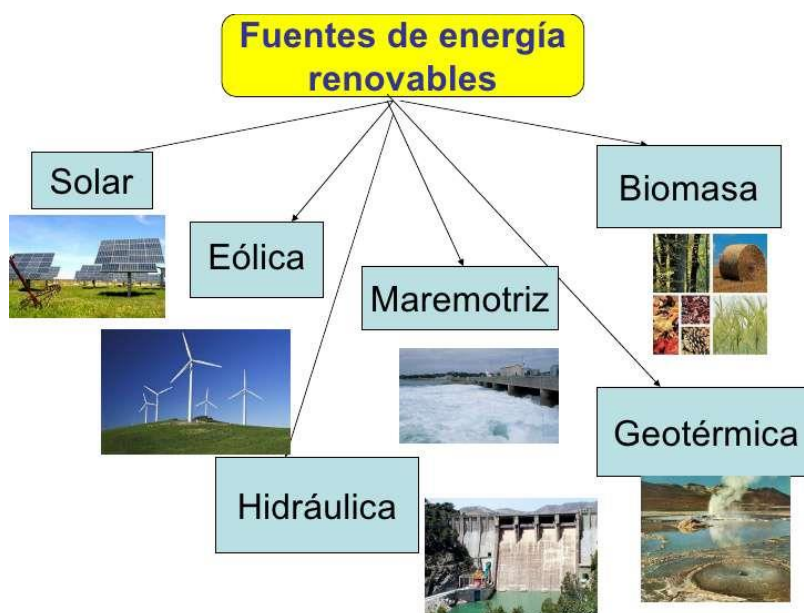


Figura 1-4 Energías renovables [7]

1.2.2 Tipos

Existen varios tipos de energías renovables, que utilizan distintos elementos de la naturaleza para obtener energía, ya sea para producir calor o electricidad [8] [9].

- Hidráulica. Aprovecha la energía potencial de un salto de agua, que al mover unas turbinas, produce energía eléctrica.
- Solar. La radiación solar puede recogerse mediante colectores solares y convertirla en energía térmica que se utiliza para uso doméstico o industrial. Por otro lado mediante paneles fotovoltaicos, se aprovecha la energía lumínica para producir electricidad.
- Biomasa. La formación de biomasa a partir de la energía solar se lleva a cabo por fotosíntesis vegetal que almacena la energía solar en forma de carbono. Posteriormente esta energía puede transformarse en energía térmica o eléctrica.
- Eólica. Mediante el aprovechamiento de la energía cinética obtenida por el viento al mover las hélices de un aerogenerador, se obtiene energía eléctrica.
- Geotérmica. Es la energía térmica que se obtiene aprovechando el calor del interior de la Tierra. Con ella puede evaporarse agua, que moverá una turbina para obtener energía eléctrica.
- Marina. Es la que se obtiene del movimiento de aguas marinas, pudiendo ser aprovechando las mareas, olas, corrientes, diferencia de salinidad o la diferencia térmica entre el agua superficial y la más profunda.

1.2.3 Uso y almacenamiento energético

La energía eléctrica obtenida por medio de estas fuentes renovables tiene como principal destino el funcionamiento de las principales infraestructuras de la sociedad moderna. Desde fábricas, pasando por los transportes y la agricultura hasta los hogares y centros urbanos, prácticamente todo utiliza la energía eléctrica para funcionar.

Una vez obtenida, la electricidad debe ser almacenada para luego transportada a estos destinos. Para ello se utilizan los condensadores eléctricos. Éstos, mediante un par de superficies de carácter conductor, en forma de placas o láminas, que están separadas por material dieléctrico o por el vacío, se someten a una diferencia de potencial que provoca que la variación total de la carga sea nula. Con ello se consigue

que durante la carga se almacene energía eléctrica y durante la descarga se vacíe de la misma. El valor de la capacidad de un condensador viene dado por:

$$C = \frac{Q_1}{V_1 - V_2} = \frac{Q_2}{V_2 - V_1}$$

En donde:

C: Capacitancia, medida en faradios (F).

Q: Carga eléctrica en la placa, medida en culombios (C).

$V_1 - V_2$: Diferencia de potencial entre placa 1 y 2, medida en voltios (V).

Para transportar la electricidad se emplea la red de transporte eléctrica, formada por aquellos elementos que llevan hasta los puntos de consumo la energía eléctrica a través de grandes distancias desde su origen. En la Figura 6 se resume su estructura básica.

Para conseguirlo, los niveles de energía producidos deben ser transformados, elevándose su tensión. De esta forma se reducen las pérdidas por el efecto Joule, debido a que para un determinado nivel de potencia, al elevar la tensión, la corriente que circula es menor. Para conseguirlo se emplazan subestaciones que básicamente emplean transformadores que varían la tensión.

Las llamadas líneas de transporte son básicamente el medio físico por el que se transmite la electricidad. Normalmente se conforman con torres que conducen el cableado entre las estaciones y subestaciones [10].

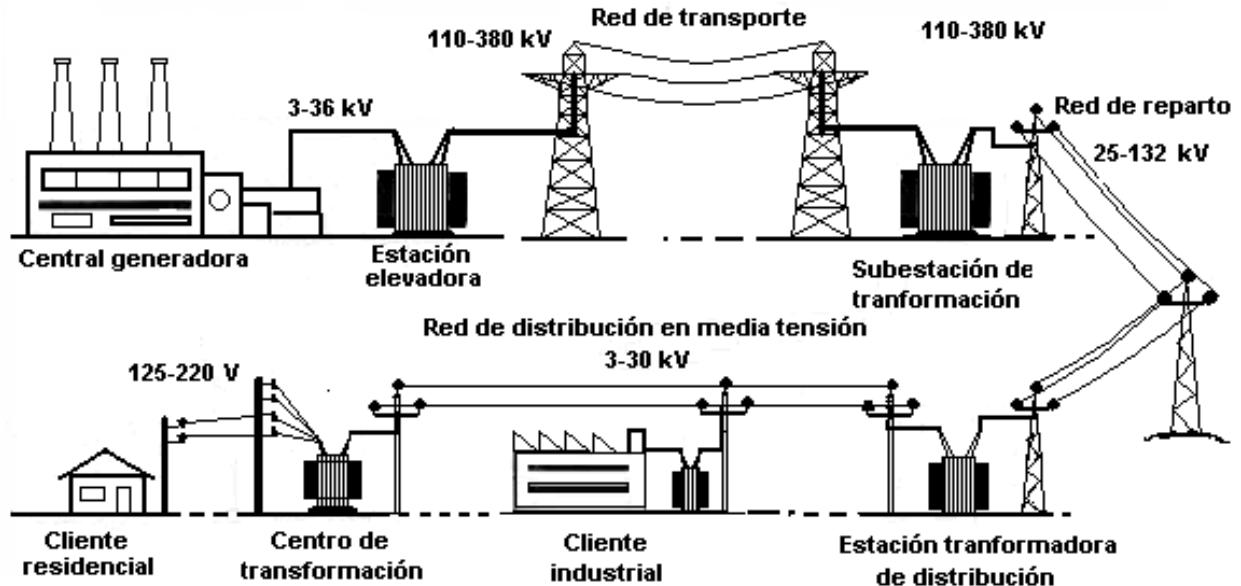


Figura 1-5 Esquema red de transporte eléctrica [10]

1.3 Automoción

El ser humano ha necesitado ser capaz de transportar cargas que por sí solo no sería capaz, y con el tiempo ha ideado máquinas capaces de ser dirigidas y propulsadas para satisfacer esas necesidades de transporte. Estos ingenios son los vehículos, y más concretamente los automóviles.

1.3.1 Automóvil

Podemos definir un automóvil como cualquier vehículo capaz de moverse por sí mismo, así como también de poder ser guiado por sus propios medios. El conductor del mismo empleará medios del propio vehículo para fijar su trayectoria.

La propulsión de los automóviles se ha basado principalmente en el motor de combustión interna, por el cual se produce energía cinética a partir de las reacciones de combustión de combustibles fósiles. Debido al ambiente actual se ha dado mucha relevancia al desarrollo y uso de vehículos capaces de aprovechar la energía eléctrica para poder moverse, y así no depender del uso de esos recursos no renovables.

1.3.2 Vehículos eléctricos

El vehículo eléctrico constituye una de las alternativas para la resolución del problema energético y medioambiental, siendo la única tecnología disponible que no genera ningún tipo de emisión y, por lo tanto, no contamina en absoluto por donde circula.

Podemos definir vehículo eléctrico como aquel que es propulsado exclusivamente por un motor eléctrico, el cuál es alimentado por una batería que se carga a la red eléctrica.

La evolución tecnológica de los componentes del vehículo eléctrico ha sido en los últimos años espectacular. El avance en la tecnología de semiconductores ha permitido la aplicación de los motores de inducción, lo que eliminaba los problemas de desgaste que sufrían los colectores y escobillas de los primeros motores de corriente continua.

Otro aspecto importante en el vehículo eléctrico es el del control de la velocidad, donde el primitivo sistema, que variaba la corriente por conexión y desconexión de resistencias en serie, fue sustituido por los rectificadores de silicio y los tiristores.

Comparados con los automóviles con motores de combustión interna, los vehículos eléctricos presentan ciertas ventajas:

- Alto nivel de eficiencia: la eficiencia de los motores de combustión interna actuales es de entorno al 38%, mientras que en los eléctricos se llegan a alcanzar del 80%.
- Bajo nivel de contaminación y ruido: al ser propulsados por baterías eléctricas, los vehículos eléctricos no generan gases y las vibraciones producidas se reducen en gran medida, obteniendo de esta forma un vehículo menos ruidoso.
- Múltiples fuentes de energía posibles, es decir, pueden adquirir su energía de la red eléctrica, evitando así el consumo de combustibles fósiles, siempre que ésta provenga de fuentes de energía renovables.

A fines de la década de 1990 y a principios de 2000, parecía que el automóvil eléctrico se convertiría en una realidad. Pero las limitaciones de la tecnología de baterías fueron excesivas. El peso y capacidad de las mismas reducían en gran medida la autonomía del vehículo y le otorgaban capacidades limitadas en cuanto a potencia y prestaciones.

Actualmente existen vehículos eléctricos capaces de tener autonomías de hasta 300 kilómetros, dándole a los mismos un uso útil en entornos urbanos con pocos desplazamientos. La aparición de nuevas tecnologías de baterías como la de níquel metal hidruro y, sobre todo las de litio, hace que ciertas marcas de coches apuesten por este tipo de vehículo junto con el híbrido, si bien este como una alternativa provisional. En la Figura 1-6 podemos ver un ejemplo de automóvil deportivo eléctrico, del fabricante de automóviles eléctricos Tesla Motors.



Figura 1-6 Automóvil eléctrico de Tesla Motors [11]

Los vehículos eléctricos impulsados por baterías tienen la capacidad de recargarse en enchufes destinados a tal propósito. Su funcionamiento se basa simplemente en que la energía eléctrica almacenada en la batería se transmite al motor eléctrico y a los sistemas auxiliares del vehículo. El motor transmite el movimiento mediante la transmisión a las ruedas y así se desplaza el vehículo. Aun así, también se da el caso de tener un motor eléctrico por rueda, lo cual elimina este sistema de transmisión y cada una puede producir la potencia necesaria según lo que se requiera. En la Figura 1-7 se observa un esquema del sistema completo de un vehículo eléctrico.

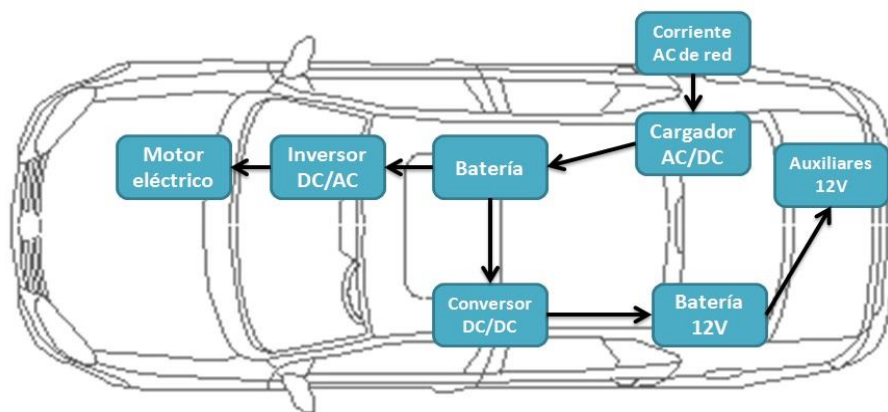


Figura 1-7 Esquema general de vehículo eléctrico [12]

Por otra parte, la mayoría de los vehículos eléctricos son capaces de recoger y volver a utilizar la energía cinética que se perdería por el frenado en forma de calor. Para ello utilizan frenos regenerativos, que les permiten almacenar esa energía y aprovecharla para acelerar [13] [14] [15].

El mayor inconveniente de los vehículos eléctricos es la autonomía que poseen comparados con uno de combustión interna, o con un híbrido. Además de la pérdida de prestaciones como el poder alcanzar una velocidad alta de forma sostenida, ya que se consumiría la batería rápidamente perdiendo autonomía.

1.3.3 Vehículos eléctricos híbridos

Se denomina vehículo eléctrico híbrido a aquel en el que la energía eléctrica que lo impulsa proviene de baterías y, de forma alternativa, de un motor de combustión interna que mueve un generador. Normalmente, el motor también podría impulsar las ruedas directamente.

El hecho de combinar la alta eficiencia de un motor de combustión y el recuperar energía que se perdería por frenado hace que aumente el rendimiento y que se reduzcan los consumos de combustible y emisiones de gases.

Además, algunos vehículos híbridos cargan sus baterías mediante un generador que emplea combustible para funcionar. Esto les permite tener mayor autonomía que los vehículos eléctricos convencionales, pues tendrían que recargar sus baterías en una estación adecuada.

Sin embargo, estos vehículos presentan problemas evidentes derivados de la combinación del uso de motores eléctricos y de combustión interna. Son más pesados debido a la cantidad de sistemas que se integran, son más caros en cuanto al precio de adquisición, es más difícil de reparar y mantener debido a la complejidad del conjunto y contaminan como cualquier vehículo con motor de combustión. Aunque el mayor inconveniente sería que siguen dependiendo de los combustibles como gasóleo o gasolina.

Cuando el motor de combustión o motor térmico está funcionando, mediante un generador se produce energía eléctrica que recarga las baterías del vehículo, además de impulsar al mismo, además de aprovechar la energía de frenada. En el momento que trabaja el motor eléctrico, la energía que mueve la transmisión para producir impulso en las ruedas proviene de éste, por lo que el de combustión deja de producir energía. En la Figura 1-8 se muestra la disposición de los elementos de un vehículo híbrido.

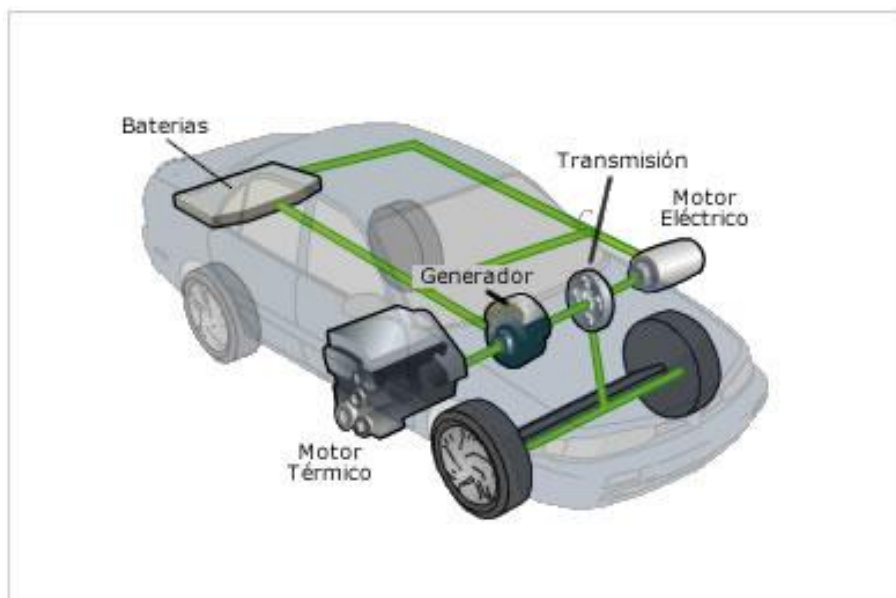


Figura 1-8 Esquema general de vehículo híbrido [16]

Normalmente el motor eléctrico es el que proporciona impulso en zonas urbanas o con velocidad de cruce baja. En este caso el consumo de combustible pasa a ser cero, y el ruido emitido por el vehículo se debería solamente a la rodadura. Por otro lado, para velocidades de cruce medias o altas, se emplea para moverse el motor de combustión, con puntuales asistencias del eléctrico para ligeras pendientes, en caso contrario se almacena en las baterías cualquier excedente de potencia del motor térmico. En este caso, la alta eficiencia del motor térmico rebaja el consumo [16] [17].

1.3.4 Pila de combustible

En la aplicación de elementos que alimenten y propulsen a los automóviles encontramos también la pila de combustible o célula de combustible.

Son dispositivos electroquímicos, capaces de convertir la energía química contenida en un combustible determinado en energía eléctrica. La transformación tiene rendimientos muy altos, del 40% al 60%.

Fundamentalmente una pila de combustible es un apilamiento en serie de células individuales. Estas células están formadas por dos electrodos (ánodo y cátodo) en los que se producen respectivamente la oxidación del hidrógeno y reducción del oxígeno, y por un electrolito (que puede ser ácido o básico) que permite el intercambio de los iones que generan ambas reacciones.

Entre las ventajas generales de las pilas de combustible, cabe destacar:

- Su buen rendimiento, en torno al 40 o 50%.
- Este rendimiento, a diferencia de otros sistemas, es relativamente alto para distintas potencias en un mismo sistema, totales o parciales, lo que permite ajustar la producción a la demanda sin sacrificar eficiencia.
- El rendimiento es bueno independientemente del tamaño del sistema.
- Son sistemas con muy poca inercia, que pueden seguir casi al instante la curva de demanda.
- Tienen un carácter modular, lo que por un lado implica un aumento de la fiabilidad a la vez que una reducción de costes, y por otro que las plantas se pueden construir en poco tiempo y pueden aumentar o disminuir la potencia sin cambiar su diseño. Además de que la parada de un módulo no supondría la parada de todo el sistema.
- Al carecer de partes móviles, las pilas de combustible son silenciosas, no producen vibraciones y requieren de poco mantenimiento.

Se clasifican normalmente atendiendo al electrolito que utilizan. Entre las de baja temperatura están las alcalinas y las de polímeros (PEM). Las de metanol directo son un tipo particular de pilas PEM que consumen directamente metanol [18].

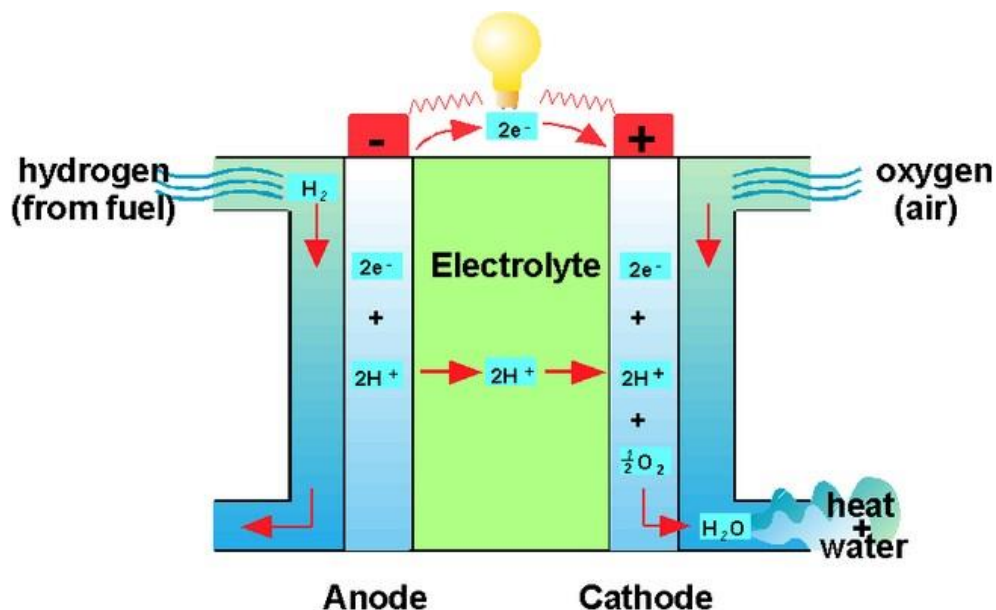


Figura 1-9 Funcionamiento pila de combustible [19]

Las pilas de combustible de media temperatura son las de ácido fosfórico, y las de alta temperatura son las de carbonatos fundidos y las de óxidos sólidos. En la Tabla 1-1 podemos observar la clasificación de los distintos tipos de pilas de combustible.

	AFC	PEM	SOFC	DMFC	MCFC	PAFC
Nombre	Alcalina	Membrana de intercambio protónico	Óxidos sólidos	Metanol directo	Carbonatos fundidos	Ácido fosfórico
Carga	OH^-	H^+	O^{2-}	H^+	CO_3^{2-}	H^+
Temperaturas	90-100°C	50-120°C	700-1000°C	50-100°C	600-700°C	150-200°C
Eficiencias	60-70%	60%	60%	40%	45-50%	40%
Electrolito	KOH disuelto en agua	Membrana de polímeros	Óxidos sólidos	Membrana de polímeros	Carbonatos fundidos	Ácido fosfórico
Combustible	H_2	H_2	H_2 , CH_4 , CO_2	Metanol	H_2 , CH_4 , CO_2	H_2

Tabla 1-1 Tipos de pilas de combustible

1.4 Vehículos eléctricos en Fuerzas Armadas

La preocupación por la conservación de los recursos combustibles, así como del medio ambiente, han propiciado e impulsado el hecho de que las Fuerzas Armadas de distintos países estudien y apliquen las tecnologías ya mencionadas en sus vehículos de combate.

1.4.1 Vehículos eléctricos militares existentes y usos

Cuando se habla de vehículos eléctricos en los ejércitos de una nación, normalmente lo primero que se piensa es en los drones y aeronaves pilotados de forma remota, que emplean en la mayoría de casos baterías recargables para su funcionamiento. Sin embargo históricamente los primeros fueron los submarinos los que emplean propulsión eléctrica por baterías para navegación bajo el agua.



Figura 1-10 Submarino de la Armada española Clase Galerna [20]

Los motores diésel que llevan los submarinos no podrían operar estando sumergidos debido a la necesidad de oxígeno para que tenga lugar la reacción de combustión. Cuando están cerca de la superficie despliegan el snorkel para tomar aire y así recargar sus baterías, que le darán una autonomía determinada para navegación bajo el agua. La llegada de submarinos que emplean propulsión nuclear permitió a estos el poder estar bajo el agua navegando de forma ininterrumpida durante semanas o meses [20].

Sin embargo, lo más usual en cuanto a vehículos eléctricos militares en tierra suelen ser vehículos híbridos, como es el caso del Joint Light Tactical Vehicle (JLTV) que adquirirá el ejército norteamericano en sustitución del mundialmente conocido Humvee, o del Krymsk ruso, vehículo blindado para transporte de personal que en su modo eléctrico sería muy silencioso comparado con cualquier otro vehículo de su clase.

Estos vehículos militares normalmente tienen misiones de reconocimiento o transporte de personal más que combate o de acciones de choque. Sin embargo, los vehículos cuando están siendo propulsados por su motor eléctrico ganan en sigilo y pueden ser útiles para ciertas tácticas que requieran de esa característica. Además de poder utilizar su motor de combustión como generador para un puesto de avanzada o campamento y no tener que transportar uno para ello de forma exclusiva.

1.4.2 Fuerzas Armadas y energías renovables

Como institución del Estado español, las Fuerzas Armadas están comprometidas con la conservación del medio ambiente, evitando el despilfarro de recursos o a la deposición indebida de residuos. Es por ello que los campos de maniobras, como el Campo de Adiestramiento de la Sierra del Retín, y recintos militares de acuartelamiento adquieren certificados para la preservación del medio ambiente, garantizando que cumplen con la normativa. En la Figura 1-11 Figura 1-11 ISO 14001 vemos el símbolo de certificación de compromiso con el medio ambiente que se recoge en la ISO 14001.



Figura 1-11 ISO 14001 [21]

Este compromiso ha hecho que actualmente las unidades militares estén empleando cada vez más en sus actividades diarias medios que les permitan aprovechar las energías renovables. Un ejemplo de esto sería el de la propuesta de implantación de sistemas portátiles de placas solares para los vehículos TOA de la Brigada Acorazada XII por parte de la empresa Yingli Solar, o el de la empresa Donalba, que ha presentado ejemplos de uso de baterías alimentadas por energía solar y eólica y de pilas de combustible, que se adaptarían a las necesidades de los vehículos e infraestructuras que se precisen [22].

La Armada también está estudiando la posibilidad de adquirir y utilizar medios que empleen energías renovables para alimentar los equipos y sistemas de sus unidades. El uso de placas solares en sus bases, así como en unidades de Infantería de Marina son estudios que se llevan a cabo para conseguir esto, tal como se hace en las FOB's (Bases de Operaciones Avanzadas) de unidades norteamericanas en operaciones militares, como se observa en la Figura 1-12.



Figura 1-12 Placas solares en la FOB JACKSON, Afganistán [23]

1.5 Vehículo Táctico URO Vamtac S3

Las exigencias del entorno operacional actual demanda de vehículos capaces de ser empleados en gran variedad de ambientes sin que sea necesario modificarlos en profundidad. Como respuesta, la empresa española UROVESA lanza el Vamtac S3.

1.5.1 Características del vehículo

El Vehículo de Alta Movilidad Táctica S3, o Vamtac S3, es un vehículo todoterreno de tracción a las cuatro ruedas destinado principalmente al ámbito militar. De concepción similar al Humvee estadounidense, aunque desarrollado quince años después de éste, y al GAZ 2975 Tigr ruso. Actualmente es el vehículo de dotación del Ejército de Tierra español y se está implantando en otras unidades como la Infantería de Marina en sustitución del Humvee.

Existen diversos tipos de Vamtac en función del uso que tenga, por ejemplo para mando y comunicaciones (Figura 1-13), para el combate o incluso en el ámbito policial.



Figura 1-13 Vamtac Mando y COMM's [24]

Sus características físicas le permiten adaptarse a cualquier terreno siendo capaz de transportar una gran carga en cuanto a material y resistir un duro castigo para el caso del Vamtac blindado. Una cualidad muy importante, y que hoy en día está muy vigente en los vehículos militares, es la capacidad de resistir la explosión de una mina de forma que al proyectar en forma de V la energía del explosivo, puede proteger a sus ocupantes de buena parte de esta.

El hecho de que sea un producto fabricado por una empresa con sede en España, UROVESA, implica además la ventaja del mantenimiento y recambio de piezas, así como el rápido suministro de las mismas y la inversión producida en una empresa nacional.

Actualmente el modelo URO Vamtac S3 se fabrica en 3 versiones:

- Chasis-cabina. Con capacidad para dos o cuatro personas y caja de carga que puede ser de uso general para 1.500-2.000 Kg, o bien, para transporte de personal, con lo que su capacidad total aumenta hasta los diez pasajeros incluido el conductor. También admite la colocación de numerosos equipos como aljibe, pala quitanieves, grúa, hoja empujadora, plantas de potabilización o desalinización, o diversos sistemas de armas como lanzadores de misiles contra carro o antiaéreos. Además, existe la posibilidad de instalarle una caja porta-contenedores dando lugar a variantes de puesto de mando, taller, almacén de repuestos, ambulancia, transmisiones, etc.
- Pick-up. Esta versión es similar a la anterior, excepto en que el techo y, opcionalmente, las puertas, son de lona.

- Cerrada. Dispone de una cabina para cuatro plazas más un portón o una caja cerrada trasera; esta última, se puede utilizar en configuración de transporte de personal o ambulancia, o para alojar diversas cargas. Aparte de poder incluir diferentes equipos opcionales, esta versión puede ser dotada de diferentes tipos de armas (ametralladoras de todos los calibres, cañones de 20, 25 o 30 mm, lanzagranadas automático de 40 mm, misiles contracarro o antiaéreos, etc.).

El URO Vamtac ha estado en servicio en zonas como Afganistán, Irak, Kósovo, República Democrática del Congo o Líbano, bajo utilización de las Fuerzas Armadas de España o de otras como Portugal, Rumanía y Marruecos, quedando patente su excelente desempeño en cuanto a versatilidad, resistencia y adaptabilidad medioambiental [24].

Cabe destacar que en 2013 la Armada Española firmó un nuevo contrato por cinco años que suponía la entrega de 99 vehículos de la versión URO Vamtac S3 y que se destinarán a las unidades de Infantería de Marina, aunque se pretenden comprar un total de 280 unidades [25].

1.5.2 Usos del vehículo en la Infantería de Marina

En la Organización Orgánica de la Fuerza de Infantería de Marina del Tercio de Armada, en San Fernando (Cádiz) se encuentran múltiples unidades que emplean desde hace 20 años el Humvee estadounidense, debido a su capacidad anfibia de vadeo y de soportar el duro castigo que las condiciones marinas infligen. Después de muchas pruebas que ponen al límite al URO Vamtac se determinó que sería un sustituto viable del ya muy explotado Humvee.

Principalmente el modelo blindado del vehículo se destinará a los Batallones de Desembarco, que cumplirán con cometidos de reconocimiento y combate con sus armas montadas, ya sean ametralladoras pesadas Browning M2 del calibre 12,7 mm, lanzagranadas LAG-40 de 40 mm o sistemas contra carro SPIKE, ver Figura 1-14. Por otro lado, también hay modelos que se emplearán como vehículos de mando y comunicaciones, el tipo SHELTER, o de carga para transporte de material, que no requeriría de blindaje.



Figura 1-14 Vamtac S3 blindado de Infantería de Marina [26]

Los principales requerimientos que se le dan al URO Vamtac son básicamente soportar las mismas condiciones que el Humvee sufría, ser capaz de operar en condiciones salinas tras un desembarco en playa, capacidad de carga y nivel de protección acorde a uso del vehículo, capacidad de vadeo y sencillez de conducción y mantenimiento, entre otros.

En concordancia con la actual visión del empleo de energías renovables, y de que para ello los vehículos eléctricos cumplen un papel de gran importancia, se podría plantear la posibilidad del diseño y creación de un vehículo táctico militar que fuese impulsado por motor eléctrico alimentado por baterías.

1.6 Software utilizado

Para la modelación y estudio de la viabilidad de implantar un motor eléctrico impulsado por baterías en el Vamtac S3 se emplean el Siemens NX, y el SIMULINK, con base en Matlab.

1.6.1 Siemens NX

El programa informático Siemens NX, o simplemente NX (ver Figura 1-15), es una herramienta que incluye funciones CAD/CAE/CAM, y fue desarrollado por la compañía Siemens PLM Software. Sus usos, entre otros, son los siguientes:

- Diseño (CAD). Para el modelado paramétrico y directo de sólidos/superficies.
- Análisis para ingeniería (CAE). Se puede realizar análisis estático, dinámico, electromagnético y térmico usando el método de elementos finitos, y análisis de fluidos usando el método de volúmenes finitos.
- Manufactura digital (CAM). Para definir la forma de modelado o fabricación del producto, puede generar instrucciones compatibles con CNC.

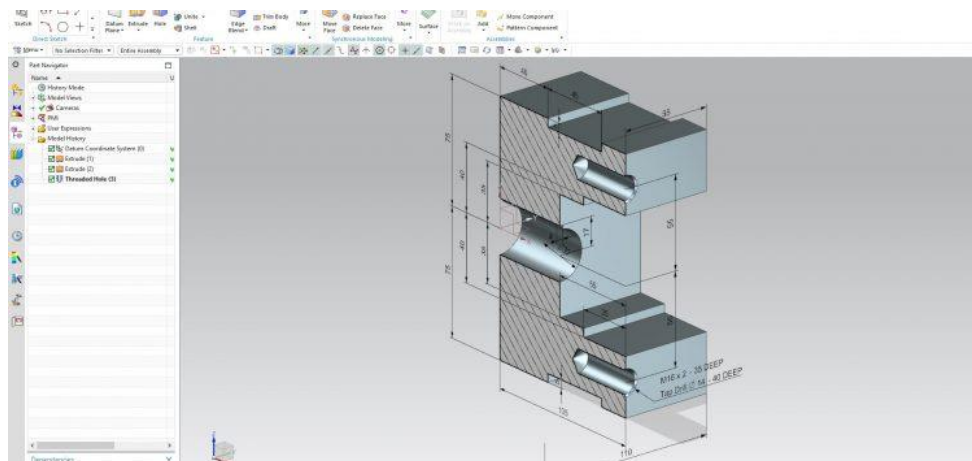


Figura 1-15 Vista del programa Siemens NX [27]

Mediante el uso de este programa se pueden modelar geometrías más o menos complejas. A partir de comandos que se basan en el extrusionado de figuras planas realizadas en 2D y el cortado mediante planos concretos y arranque de material, se permite la modelación de piezas en 3D. Con instrucciones específicas basadas en restricciones es posible el ensamblado de varias piezas independientes y generar un conjunto, por ejemplo un rotor que sea capaz de girar dentro de un estator, pero no de moverse fuera del eje. Estas piezas independientes pueden ser importadas de otro archivo de NX y así luego integrarlas juntas en un mismo diseño, siendo así mucho más fácil su diseño por separado.

Por otro lado, mediante el CAE se puede asignar a las piezas materiales concretos, así como someter a distintos esfuerzos y ambientes, para estudiar mediante el método de elementos finitos sus reacciones físicas ante estos, por ejemplo tensiones ante un esfuerzo de tracción. Gracias a esta función se puede analizar si una pieza diseñada con NX o importada de otro software es capaz de cumplir la función para la que está destinada. Por ejemplo, si una viga debe soportar una cierta carga distribuida, se puede analizar qué material sería mejor para esa función o si la sección es adecuada.

La función de fabricación del NX permite la generación de una pieza a partir de acciones concretas, pudiendo obtener los comandos en CNC necesarios para su fabricación si se utilizase un torno CNC. Esto incluye arrancado de material mediante fresado o corte, y crear agujeros de diámetros concretos mediante un taladro, por ejemplo [27].

1.6.2 Entorno SIMULINK en Matlab

Mediante este programa basado en Matlab se modelan los bloques que permiten estudiar las capacidades de dicho montaje en el vehículo.

MATLAB (MATrix LABoratory) es una herramienta de software de carácter matemático que ofrece un entorno de desarrollo integrado con lenguaje de programación propio (.m).

Entre sus prestaciones básicas se hallan la manipulación de matrices, la representación de datos y funciones, la implementación de algoritmos, la creación de interfaces de usuario y la comunicación con programas en otros lenguajes y con otros dispositivos hardware.

Es un software muy usado en universidades y centros de investigación y desarrollo. En los últimos años ha aumentado el número de prestaciones, como la de programar directamente procesadores digitales de señal.

MATLAB es un entorno de cálculo técnico de altas prestaciones para cálculo numérico y visualización, en el cuál se integran:

- Análisis numérico.
- Cálculo matricial.
- Procesamiento de señales.
- Generación de gráficos.
- Adquisición de datos.
- Desarrollo de aplicaciones.

Matlab consta de cinco partes básicamente:

- Entorno de desarrollo. Se trata de un conjunto de utilidades que permiten el uso de funciones Matlab y ficheros. Muchas de estas utilidades son interfaces gráficas de usuario. Incluye el espacio de trabajo Matlab y la ventana de comandos.
- La librería de funciones matemáticas Matlab. Se trata de un amplio conjunto de algoritmos de cálculo, comprendiendo las funciones más elementales como la suma, senos y cosenos o aritmética compleja, hasta funciones más sofisticadas como inversión de matrices, cálculo de autovalores, transformadas de Fourier y funciones de Bessel.
- Gráficos. Dispone de un conjunto de herramientas destinadas a visualizar vectores y matrices gráficamente. Existe una gran cantidad de posibilidades para ajustar el aspecto de los gráficos, en que destaca la visualización tridimensional con opciones de iluminación y sombreado, y el hecho de crear animaciones.
- El interfaz de aplicación de Matlab. Consiste en una librería que permite escribir programas ejecutables independientes accediendo, mediante DLLs, a las utilidades de cálculo matricial del Matlab.

Todas estas funciones permiten al programa el auxiliar en labores matemáticas y de cuestiones físicas al aplicar los diferentes modelos, como el ya mencionado SIMULINK [28].

SIMULINK es una aplicación que permite construir y simular modelos de sistemas físicos y sistemas de control mediante diagramas de bloques (cajas negras). El comportamiento de dichos sistemas se define mediante funciones de transferencia, operaciones matemáticas, elementos de Matlab y señales predefinidas de todo tipo. En la Figura 1-16 se ve la forma que presenta el programa.

Dispone de una serie de utilidades que facilitan la visualización, análisis y guardado de los resultados de simulación. SIMULINK se emplea profusamente en ingeniería de control.

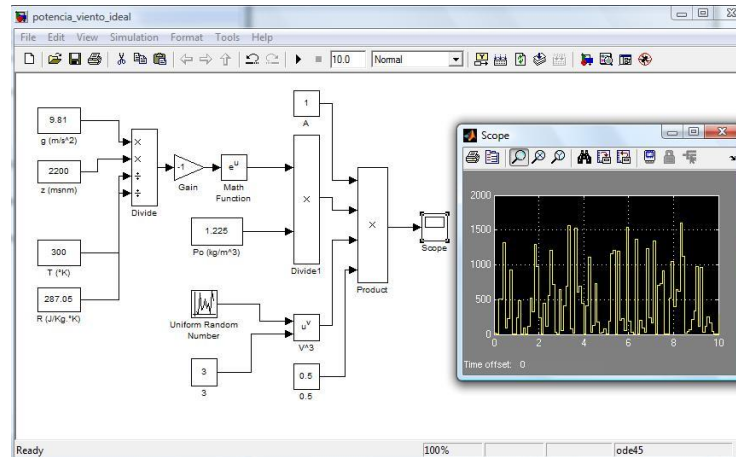


Figura 1-16 Presentación del SIMULINK [29]

En resumen, el entorno SIMULINK permite modelar sistemas complejos utilizando elementos obtenidos de otras bibliotecas, de esta forma se configuran en el área de trabajo y se conectan a otros elementos, siendo muy visual su entorno.

Las ecuaciones implementadas en la simulación del programa son de excelente aplicación para el entorno del automovilismo. Con ello se definen los parámetros que se refieren a la dirección o capacidades de los elementos del mismo, interconectadas entre sí, y se puede emplear para estudiar la capacidad general del sistema si integramos bloques que simulen un motor eléctrico o baterías. Esto permitiría determinar si se entrega la potencia necesaria para un esfuerzo determinado o si la capacidad de dichas baterías es suficiente [29].

1.7 Objetivos TFG

El presente Trabajo de Fin de Grado tiene como objetivo principal estudiar la viabilidad de la implantación de un motor eléctrico alimentado por baterías en el vehículo militar URO Vamtac, así como determinar las posibles limitaciones del mismo, en caso de ser afirmativo.

Como objetivo secundario se plantearían los siguientes:

- Estudio del espacio disponible para las baterías en el vehículo en Siemens NX.
- Análisis de la autonomía del vehículo bajo SIMULINK.
- Determinar posibles usos y posibilidades que tuviera dicho vehículo en un entorno militar.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 Usos de los vehículos eléctricos en la sociedad

La creciente preocupación medioambiental, unida a la modernización tecnológica sufrida por estos vehículos, y más concretamente por sus sistemas de almacenamiento energético, ha impulsado su uso. Dependiendo de sus sistemas, podemos encontrar varios tipos de vehículos puramente eléctricos en uso.

2.1.1 Vehículo eléctrico alimentado por baterías

En los últimos años, con la modernización de las baterías y su mayor capacidad de albergar carga eléctrica, ha tenido lugar un aumento en el número de vehículos eléctricos impulsados por éstas, teniendo diversos usos, ya sea en el ámbito doméstico o en el de transportes, entre otros.

Desde la creación del primer vehículo impulsado por baterías por Thomas Davenport en 1834, se empezó a invertir en su desarrollo, pues su comodidad y silencioso motor eran capaces de alcanzar y sobrepasar los 100 Km/h. Sin embargo debido a la limitada capacidad de las baterías de la época, no ha sido hasta la crisis del petróleo en los años 70 cuando se han vuelto a tener en consideración [12].

La estructura que tienen estos vehículos distingue entre 3 subsistemas:

- Sistema de propulsión del motor eléctrico. Que incluye la dirección, convertidor eléctrico, el motor eléctrico en sí y la transmisión.
- Sistema de baterías. Formado por las baterías, sistema de gestión de la batería y unidad de recargado.
- Sistemas auxiliares. Incluyendo el resto de sistemas como bombas electrónicas, sistemas de aire acondicionado y demás sistemas electrónicos auxiliares.

El principio de funcionamiento es sencillo, los pedales de aceleración y frenos dan señales al convertidor eléctrico, que regula la potencia que se transmite entre las baterías y el motor eléctrico. El motor además puede funcionar como generador, convirtiendo la energía de frenado en eléctrica para recargar la batería. El par entregado es muy alto comparado con otros vehículos, sin embargo el problema radica en el equilibrio entre mantener una velocidad alta de forma sostenida pues las baterías se consumen muy rápido [12].

Aunque se ha avanzado mucho en el desarrollo de vehículos que emplean baterías, quedan algunos puntos importantes para globalizar aún más el uso de los mismos y su integración completa en la sociedad. Algunos de ellos son los que siguen:

- Reducir costes de fabricación de las baterías.
- Mejorar la seguridad de las baterías en cuanto a la posibilidad de sobrecarga en baterías actuales como las basadas en níquel y cobalto.
- Prolongar la vida útil de las baterías, al menos hasta 10 años o 240.000 km en condiciones estándar de circulación.
- Acortando el tiempo de recarga de las baterías a solamente minutos, así como proveer de puntos de recarga más distribuidos.
- Reducir el tamaño y peso de las baterías.

Por otro lado, los problemas que puedan ser derivados del motor eléctrico o demás sistemas son realmente mínimos en comparación con los ya expuestos. La eficiencia dada por estos motores, unida a la del convertidor eléctrico, hace que realmente el elemento con mayor margen de mejora sea el de las baterías, principalmente en cuanto a tamaño, peso y capacidad de almacenar energía eléctrica [15] [13].

2.1.2 Usos de vehículo eléctrico de baterías en la sociedad

En el uso doméstico o privado, las principales marcas han ofrecido al mercado varios modelos de vehículos eléctricos impulsados con baterías, de distintos pesos, capacidades y prestaciones, pero todas muy similares al final. En la Tabla 2-1 podemos ver una comparativa de distintas casas de automóviles con varios modelos y distintos parámetros que se pueden comparar.

	Modelo	Potencia Máxima	Par Máximo	Velocidad Máxima	Aceleración 0- 100 km/h	Autonomía NEDC	Tiempo recarga 100%
Mercedes-Benz	Clase B	177 CV	340 Nm/rpm	160 km/h	7,9 s	200 km	3,5 h
	SLS AMG	750 CV	1000 Nm/rpm	250 km/h	3,9 s	250 km	Wallbox rápido-3h Lenta-20h
Ford	Focus Electric	125 CV	250 Nm/rpm	136 km/h	11 s	160 km	4 h
Tesla Motors	Model III	524 CV	830 Nm/rpm	250 km/h	6 s	346 km	Lenta-12 h Rápida-20 min
	Model S	306 CV	900 Nm/rpm	210 km/h	5,8 s	400 km	Lenta-12 h Rápida-20 min
	Model X	524 CV	830 Nm/rpm	210 km/h	6,2 s	417 km	Lenta-12 h Rápida-20 min
BMW	i3	170 CV	250 Nm/rpm	150 km/h	7,2 s	190 km	Schuko 8 h Wallbox 6 h Rápida 30 min
Nissan	LEAF	109 CV	280 Nm/rpm	145 km/h	11,9 s	175 km	8 h
	E-NV200	109 CV	254 Nm/rpm	123 km/h	14 s	167 km	8 h
Renault	TWIZY	13 CV	57 Nm/rpm	80 km/h	-	100 km	3,5 h
	ZOE	92 CV	220 Nm/rpm	135 km/h	12 s	240 km	8 h
	KANGOO Z.E.	60 CV	226 Nm/rpm	130 km/h	20,3 s	170 km	6-8 h

Tabla 2-1 Comparación características marcas y automóviles [11]

Otras aplicaciones prácticas son las que se dan en los llamados medios de transporte “verdes”. Las tareas diarias de reparto de material en tiendas o almacenes, así como la red de autobuses y taxis, están añadiendo vehículos eléctricos a sus flotas de vehículos. Ya que éstos operan en zonas urbanas y en la periferia de las ciudades, resulta un medio muy eficaz para la distribución de sus servicios. El alto par motor que ofrece el motor eléctrico a cualquier velocidad, su eficiencia energética con mucho tráfico, un maniobrabilidad en calles estrechas y su nula emisión de ruidos y gases de efecto invernadero, hacen de estos vehículos ideales para este tipo de movimientos.

También en el sector industrial pueden tener cabida los vehículos eléctricos. En la práctica, BMW usa camiones de 40 toneladas para transporte de piezas de su centro logístico a una planta de fabricación

en Múnich. Sectores de la alimentación y farmacéutica también emplean estos medios para sus movimientos [30].

2.1.3 Recarga de las baterías

Hay que tener en cuenta que la velocidad de recarga de las baterías es un elemento primordial en su uso, así como la capacidad que puedan tener. Se pueden distinguir entre 3 tipos fundamentalmente:

- Lenta. Con este método se recarga un vehículo eléctrico convencional entre 6 y 8 horas, y entre 2 y 3 horas para motocicletas, siendo éste el único posible para las mismas.
- Rápida. Se tardaría entre 1 y 2 horas para un automóvil.
- Ultra-rápida. Es el más rápido, necesitándose solamente entre 5 y 30 minutos.

Los distintos modelos de sistemas para recarga están condicionados por la infraestructura de la zona y el tipo de carga. En la Tabla 2-2 podemos comparar entre los tipos de recarga, así como los lugares usuales en los que se dispone de ella.

	Lenta	Rápida	Ultra-rápida
Potencia	3 kW	7-43 kW	50-250 kW
Coste por unidad (infraestructura)	< 4.500 €	4.500-6.000 €	6.000-60.000 €
Tiempo de recarga	6-8 h (100%) 3-4 h (80%)	1-2 h (100%) 30 min (80%)	5-30 min
Tipo de batería	Pb-acid, Ni-MH, ZEBRA, Li-ion	Ni-MH, ZEBRA, Li-ion	Li-ion
Localización recomendada	Aparcamientos públicos Zonas públicas Domésticos Concesionarios	Compañías de alquiler de vehículos Concesionarios Estaciones de servicio	Estaciones de servicio

Tabla 2-2 Comparación de tipos de recarga [31]

Además de los distintos modos de recargar las baterías, hay que tener en cuenta el tipo de conector o enchufe requerido. Existen varios tipos de los mismos, siendo los más habituales los 3 primeros [32] [13]:

- Enchufe Schuko (Figura 2-1). Compatible con las tomas de corriente europeas y responde al estándar CEE 7/4 Tipo F. Tiene toma de tierra y dos bornes, por lo que solo es compatible con recargas lentas. Es común en algunas motocicletas y bicicletas eléctricas, incluso en algún coche eléctrico como el Renault Twizy.



Figura 2-1 Enchufe Schuko [32]

- Conector SAE J1772 (Tipo 1) (Figura 2-2). Estándar japonés (adoptado por los americanos y aceptado en la Unión Europea) para la recarga en corriente alterna. Tiene un total de 5 bornes, dos de ellos de corriente, dos complementarios y el de tierra. Este tipo de conector tiene dos niveles, uno de ellos hasta 16 A para recarga lenta y otro de hasta 80 A, que corresponde a recarga rápida. Apto para modelos como el Nissan Leaf, el Nissan E-NV200 y el Ford Focus Electric.



Figura 2-2 Conector SAE J1772 (Tipo 1) [32]

- Conector MENNEKES (Tipo 2) (Figura 2-3). Conector alemán, que aunque no es específico para vehículos eléctricos es muy habitual en ellos. Con tiene 7 bornes, de los que 4 son para corriente (trifásica), otro de tierra y dos para comunicaciones. En este tipo tenemos la opción de dos corrientes, por un lado monofásica (de hasta 16 A para recarga lenta), y por otro trifásica (de hasta 63 A para recarga rápida). Lo utilizan modelos como el BMW i3, el Renault Zoe y el Tesla Model S.



Figura 2-3 Conector MENNEKES (Tipo 2) [32]

- Conector único combinado (CCS) (Figura 2-4). Propuesta creada por alemanes y norteamericanos como una solución estándar. Consta de 5 bornes distribuidos para corriente, toma tierra y comunicación con la red. Este tipo de conector admite recargas lenta y rápida. Marcas como Audi, BMW y Volkswagen incorporan este tipo de conector.



Figura 2-4 Conector CCS [32]

- Conector Scaeme (Tipo 3) (Figura 2-5). Dispone de 5 o 7 bornes, dependiendo si la corriente es monofásica o trifásica, incluyendo en ambas toma de tierra y de comunicación con la red. Admite hasta 32 A, para recarga rápida.



Figura 2-5 Conector Scaeme (Tipo 3) [32]

- Conector Chademo (Figura 2-6): Estándar de los fabricantes japoneses. Está pensado para recarga rápida en corriente continua, con 10 bornes, toma de tierra y comunicación. Admite hasta 200 A y es el que mayor diámetro tiene de todos los conectores. Es el equipado para coches como el Nissan Leaf, el Nissan E-NV200, el Mitsubishi Outlander y el Citroën C-Zero.



Figura 2-6 Conector Chademo [32]

3 DESARROLLO DEL TFG

3.1 Desarrollo URO Vamtac Eléctrico

3.1.1 Diseño en Siemens NX

Para el estudio de la viabilidad de la implantación del motor eléctrico en el vehículo URO Vamtac ha sido necesario el diseño del mismo mediante la herramienta informática Siemens NX. El uso de una herramienta de diseño en 3D ha sido necesaria debido a que así puede identificarse de forma gráfica las distintas dimensiones y distancias del vehículo, así como realizar estimaciones de los espacios que pudiesen ser aprovechados para la implantación de baterías, del motor, etc. El proceso seguido para ello ha derivado en el desarrollo de dos modelos distintos, de los cuales el definitivo y utilizado para el estudio fue el segundo.

El primer paso para ello ha sido el desarrollo de planos de referencia que delimiten las dimensiones del vehículo en cuanto a longitud, anchura y altura. Tras esto se insertó en el programa una imagen procedente de la ficha técnica que la empresa UROVESA distribuye para marketing del vehículo, que figura como Anexo I.

La imagen mencionada se amplía de forma proporcional hasta que coincide con los planos previamente establecidos. Hecho esto simplemente se proyectan las líneas y superficies en base a la imagen como si fuese calcada sobre papel, quedando como en la Figura 3-1.

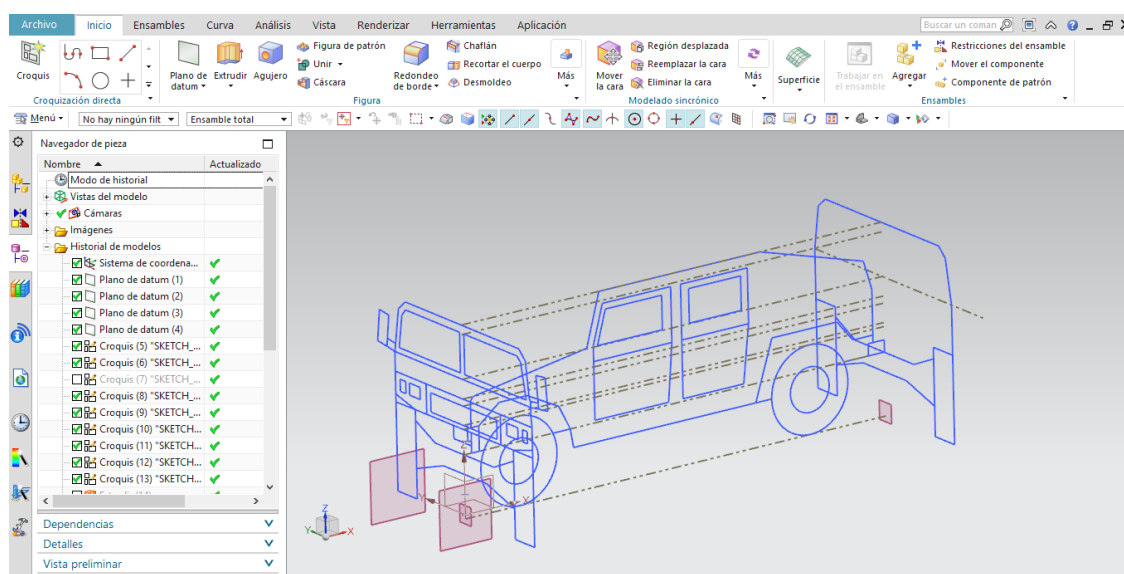


Figura 3-1 Primer modelo en Siemens NX

Finalmente mediante el comando de extrusión y el booleano de la intersección de las superficies obtenidas se generan los volúmenes que conforman el vehículo, como en la Figura 3-2. Con esto ha sido posible a su vez distinguir partes como ruedas, eje de transmisión, ventanas, forma general del vehículo y puertas.

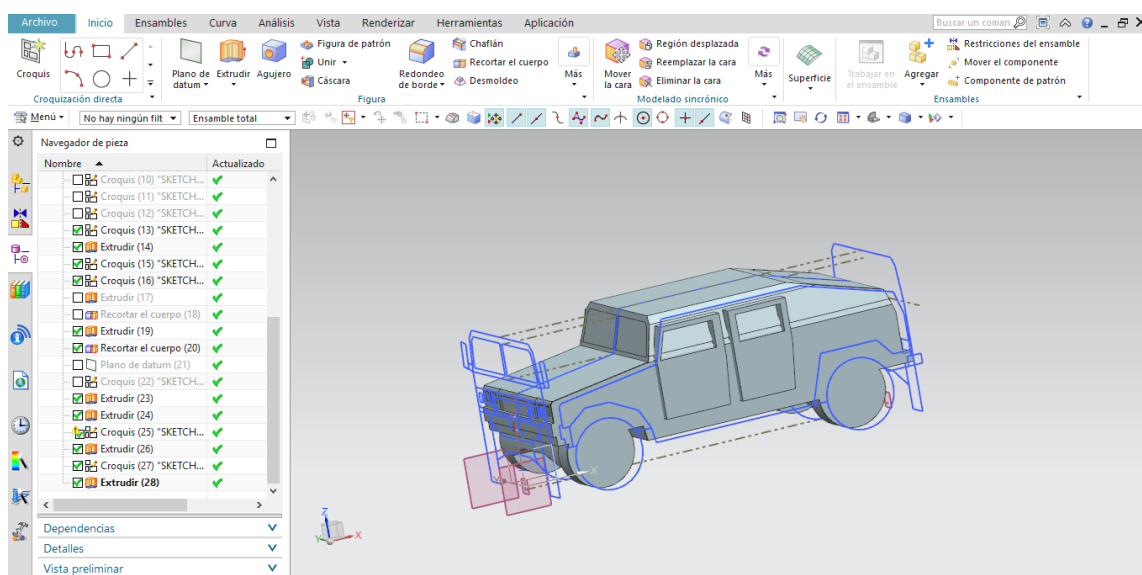


Figura 3-2 Primer modelo finalizado

Sin embargo, la falta de datos internos como el hueco disponible en la zona del motor, así como la de carga en la parte trasera del vehículo han llevado al punto de decidir si buscar información más detallada sobre el vehículo realizando mediciones de uno real y así plasmarlas en el modelo, o de buscar otros métodos.

El método alternativo antes mencionado ha consistido en la importación de un modelo del URO Vamtac S3 procedente del programa Sketch Up, que produce archivos con formato *skp*. El programa Sketch Up poseía modelos de diferentes vehículos y simplemente ha bastado con convertir desde ese programa el archivo del vehículo a *dfx.*, el cuál es utilizable para modelación con el ya mencionado Siemens NX, Figura 3-3. Una vez importado se puede manipular añadiendo o eliminando partes del modelo como si hubiese sido generado con el programa.

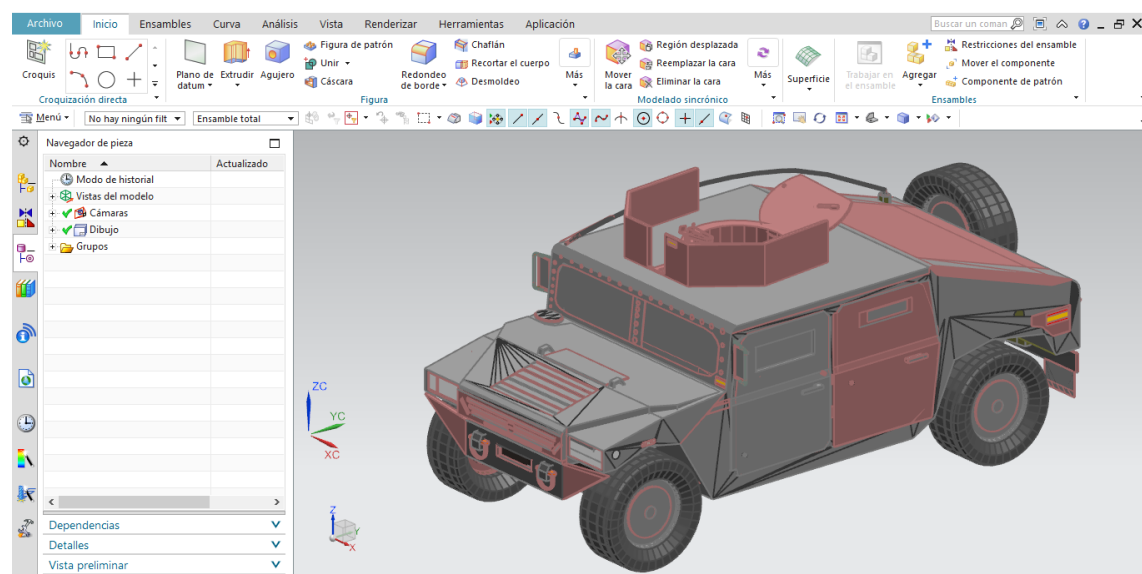


Figura 3-3 Modelo final del vehículo

De este modelo importado no se pudieron obtener medidas directas, aunque al poseer las proporciones correctas fue posible realizar una estimación muy detallada de las mismas, así como su representación en Siemens NX. Cabe destacar que de este modelo importado el nivel de detalle de las partes externas e internas del vehículo es considerablemente alto. Aunque para apreciar tal detalle de elementos internos como asientos, zona interna del motor bajo el capó, zona de carga trasera y equipos

de comunicaciones es necesario borrar o hacer transparentes las capas más externas del vehículo, como ventanas o puertas. De la hoja de características del URO Vamtac S3 obtenida en la página web de la empresa UROVESA se ha pudieron obtener las medidas principales como el largo y el ancho, para así comprobar que las estimaciones realizadas con el diseño importado eran utilizables. Dicha hoja de características figura como Anexo I. De esta forma a su vez fue reutilizado el primer diseño realizado con el Siemens NX ya que, al limitar perfectamente las dimensiones del vehículo, ha servido para adecuar el nuevo modelo a las mismas.

Una vez obtenido un modelo detallado con las medidas del vehículo, el primer paso fue el de investigar de cuanto espacio se dispone en las distintas partes del vehículo para poder alojar el motor eléctrico y las baterías que le alimenten. Bajo el capó se delimitaron unas dimensiones (de forma prismática) tomando márgenes con respecto a las paredes del mismo para ver el espacio disponible para un motor eléctrico y quizá algún bloque de baterías (Figura 3-4). Por otra parte, el espacio disponible en el depósito de combustible también se utilizaría para albergar baterías, y puede aproximarse al conocerse la capacidad del mismo.

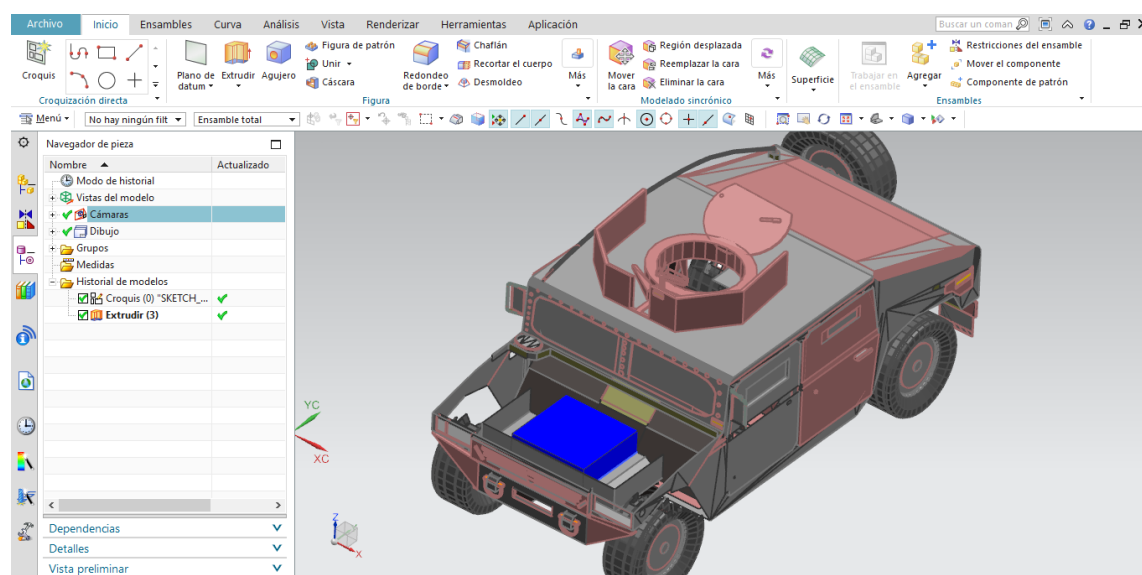


Figura 3-4 Modelo final del vehículo y espacio aproximado del motor

Determinado de forma gráfica el espacio del que disponemos en los lugares destacados, podemos considerar las dimensiones límites de los mismos de la siguiente forma:

- Volumen disponible en la zona del bloque motor. El prisma considerado para esta zona deja unos márgenes de 10 cm entre la parte frontal del vehículo y otros 10 cm para la que contacta con la del habitáculo, así como 30 cm con los laterales (con cada uno) y 5 cm en la zona más cercana al capó (por encima). El prisma tiene unas medidas de 85 cm de ancho, 80 cm de largo y 25 cm de alto, lo que supone un espacio de 170000 cm^3 (170 l) de volumen para albergar el motor eléctrico y probablemente un cierto número de baterías.
- Volumen disponible en la zona del depósito de combustible. El depósito de combustible tiene un volumen de 110 litros, que sería lo disponible para el combustible del motor de combustión. Si tuviésemos en cuenta todo el volumen se dispondría para alojar baterías de 110000 cm^3 . Sin embargo se ha considerado una reducción del espacio disponible pues la forma del depósito no se adecua a una forma prismática perfecta. Con ello finalmente se dispone de 100000 cm^3 (100 l).
- Volumen disponible en zona de carga. La zona trasera de carga para material es muy amplia, pues dispone de aproximadamente 775000 cm^3 (775 l) de espacio (considerando la inclinación de la parte posterior. Es por ello que se ha considerado el poder utilizar parte de este espacio para baterías y así aumentar la autonomía del vehículo.

En resumen cabe destacar que el modelo utilizado ha servido más para buscar los espacios disponibles en el vehículo para albergar elementos tales como la batería y el motor eléctrico que para tener unos valores concretos en cuanto a medidas. Sin embargo las aproximaciones realizadas con estos diseños, sumadas a los datos obtenidos de las hojas de características permiten que estos valores de volúmenes sean de utilidad para el cálculo.

Por otro lado, no será necesario, debido a las estimaciones a la baja tenidas en cuenta al hallar los volúmenes disponibles, determinar un volumen menor a estos para colocar baterías y motor. Por lo que los volúmenes calculados serán los utilizados para albergar dichos equipos.

Una vez conocidas las dimensiones límite en cuanto al motor y a las baterías, el siguiente paso consiste en la selección de un motor que sea adecuado a las necesidades del vehículo.

3.1.2 Selección e implementación del motor eléctrico

El motor de combustión interna del URO Vamtac S3 es un modelo Steyr M16 TCA de 6 cilindros turboalimentado con intercooler, de 3200 cm³ de cilindrada, y que otorga una potencia de 188 CV y un par máximo de 410 Nm. Utilizando diésel como combustible y una capacidad de 110 l en el depósito, tiene una autonomía de más de 600 km, con un consumo de 17 l/100 km. Por otro lado el vehículo dispone de 5 marchas + marcha tras, así como de reductora para superar grandes pendientes sacrificando velocidad y ganando un alto par [19].

Después de comparar varios motores eléctricos del mercado que puedan otorgar unas prestaciones similares al antes mencionado, se ha elegido el HVH 250-090, con una potencia máxima de 131 CV con el motor a 3500 rpm y un par máximo de 313,65 Nm, con el motor trabajando a 1500 rpm. Es de destacar que el vehículo tendrá la mayor cantidad de similitudes posibles con el original. Los parámetros empleados en el cálculo de las prestaciones del vehículo se detallan en la Tabla 3-1:

PARÁMETROS EMPLEADOS EN EL CÁLCULO	
Peso en orden de marcha	3500 kg
Peso máximo admisible	6300 kg
Par máximo	313 Nm
Potencia máxima	131 CV
Eficiencia de transmisión	90%
Diámetro rueda	0,94 m
Área frontal (A_f)	2,46 m ²
Coeficiente aerodinámico (C_x)	0,57
Coeficiente resistencia rodadura asfalto (f_r)	0,015
Coeficiente resistencia rodadura suelo duro (f_r)	0,08
Aceleración gravitatoria (g)	9,8 m/s ²
Densidad del aire (ρ)	1,2 kg/m ³

Tabla 3-1 Parámetros empleados cálculo prestaciones

Para analizar si cumple con unas capacidades similares se ha seguido el siguiente proceso [27]:

Primeramente hay que determinar para comparar prestaciones las relaciones de transmisión que ofrece el motor eléctrico, que estarán sujetas a factores que dependen del vehículo en sí, como su masa y sus dimensiones, y al terreno, como la pendiente.

Para hallar la 1ª relación de transmisión, que se busca para que el vehículo sea capaz de superar una cierta pendiente, en este caso del 100% (45°), con su masa máxima (6300 kg) y con el parámetro de resistencia a la rodadura para suelo duro (0,08), hay que previamente calcular la fuerza que se necesita en rueda. El hecho de que emplee esta resistencia a la rodadura es debido a que el terreno en el que existen pendientes así suele ser campo abierto con unas condiciones de suelo más restrictivas. Para calcular esa fuerza en rueda se han estudiado dos casos, con el vehículo partiendo de estar estático y para el vehículo ya en movimiento a velocidad constante.

Finalmente se ha determinado que la fuerza más restrictiva (la mayor de las dos) es la necesaria para mover el vehículo desde una posición estática, con la típicamente considerada aceleración de $0,5 \text{ m/s}^2$, además de aplicar un coeficiente por pérdidas por partes móviles en la transmisión, que multiplica a la aceleración. Esta fuerza viene dada por:

$$F = m * g * \sin(\alpha) + f_r * m * g + m * a$$

Que sustituyendo los parámetros queda como:

$$F = 6300 \text{ kg} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * \sin(45^\circ) + 0,08(\text{suelo duro}) * 6300 \text{ kg} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} + 6300 \text{ kg} * 0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} (\text{aceleración más usual}) * 1,05(\text{pérdidas por partes móviles en la transmisión})$$

$$F = 51903,47 \text{ N}$$

Con esta F, se obtiene el par en rueda (de 0,47 m de radio), para luego hallar la relación de transmisión para la 1ª marcha con reductora, ya que para superar este tipo de condiciones como suelo duro y una pendiente elevada se presupone que se empleará la reductora. A su vez hay que aplicar un rendimiento del 75% puesto que la marcha es considerada como “muy corta”, en lugar del típico 90%:

$$T_{\text{rueda}} = F * r_{\text{rueda}}$$

$$T_{\text{rueda}} = 51903,47 \text{ N} * 0,47 \text{ m} = 24394,63 \text{ Nm}$$

$$R_{1^\circ \text{ con reductora}} = \frac{T_{\text{motor}}}{T_{\text{rueda}}}$$

$$R_{1^\circ \text{ con reductora}} = \frac{313 \text{ Nm} * 0,75(\text{por ser marcha muy corta})}{24394,63 \text{ Nm}} \sim 0,01$$

Al estar utilizándose una reductora con variación de 1/3, hay que multiplicar el valor de la relación obtenido por 3:

$$R_{1^\circ \text{ marcha}} = 0,01 * 3 = 0,03$$

Para hallar la relación de la marcha más larga se aplica la misma ecuación para el motor trabajando a régimen de potencia máxima a velocidad máxima, por lo que hay que hallar esa velocidad máxima para una potencia absorbida determinada. En este caso el peso del vehículo será el de orden de marcha (3500 kg), y el f_r en asfalto (0,015) en lugar de suelo duro, puesto que este tipo de pruebas de velocidad máxima se emplean para un suelo firme como puede ser el asfalto.

Sabiendo que la potencia máxima es de 131 CV (97686,7 W) a 3500 rpm con una eficiencia de transmisión del 90%, ésta se iguala a la potencia absorbida del vehículo a esa velocidad máxima. Por lo que se tendrá que:

$$P_{abs} = v * (m * g * \sin(\alpha)(en\ llano) + \frac{1}{2} * \rho * A_f * C_x * V^2 + m * g * f_r)$$

$$P_{abs} = P_{m\acute{a}x} = 97686,7\ W$$

$$0,9 * 97686,7\ W = \frac{1}{2} * 1,2 \frac{kg}{m^3} * 2,46\ m^2 * 0,57 * v^3 + 3500\ kg * 9,8 \frac{m}{s^2} * 0,015 * v$$

$$v = 42,79 \frac{m}{s} = 154\ km/h$$

Con esta velocidad se hallan las revoluciones de trabajo, y así la relación de transmisión:

$$\omega = \frac{v}{r}$$

$$\omega = \frac{42,79\ m/s}{0,47\ m} = 91 \frac{rad}{s} \sim 870\ rpm$$

$$R_{marcha\ más\ larga} = \frac{n_{rueda}}{n_{motor}}$$

$$R_{marcha\ más\ larga} = \frac{870\ rpm}{3500\ rpm} = 0,24$$

Una vez obtenidas las relaciones más corta y más larga se procede al cálculo de los desarrollos, por lo que primero se halla el factor k. La marcha más larga en este caso será considerada como la 5º marcha, ya que queremos un vehículo similar a como era en su versión original (con 5 marchas + marcha atrás). Esto implica que para hallar la k (relación entre las R más larga y R más corta) se tendrá que n=5:

$$k = \left(\frac{R_{más\ larga}}{R_{más\ corta}} \right)^{\frac{1}{n-1}}$$

$$k = \left(\frac{0,24}{0,03} \right)^{\frac{1}{4}} = 1,68$$

Con esta k obtendremos los desarrollos que se introducen en la tabla de EXCEL que refleja las prestaciones de interés del vehículo. Para poder hallar estos desarrollos de la relación del cambio en la transmisión hay que calcular la velocidad en rueda para el motor trabajando a 1000 rpm. Hallándola para la primera velocidad se podrán obtener las demás en función de:

$$Relación\ de\ cambio = v_{marcha\ más\ corta\ a\ 1000rpm} * k$$

Para hallar esa velocidad se sabe que:

$$revoluciones\ en\ rueda = 1000\ rpm\ (en\ motor) * R_{1^{\circ}\ marcha}$$

$$revoluciones\ en\ rueda = 1000\ rpm * 0,03 = 30\ rpm = 3,14 \frac{rad}{s}$$

$$v = \omega * r_{rueda}$$

$$v = 3,14 \frac{rad}{s} * 0,47\ m = 1,47 \frac{m}{s} = 5,3 \frac{km}{h}$$

Finalmente se procede a calcular los desarrollos para las 5 marchas:

$$Relación\ de\ cambio_{1^{\circ}\ marcha} = 5,3 \frac{km}{h} * 1,68^0 = 5,3\ km/h / 1000\ rpm$$

$$Relación\ de\ cambio_{2^{\circ}\ marcha} = 5,3 \frac{km}{h} * 1,68^1 = 8,9\ km/h / 1000\ rpm$$

$$\text{Relación de cambio}_{3^{\circ} \text{ marcha}} = 5,3 \frac{\text{km}}{\text{h}} * 1,68^2 = 14,95 \text{ km/h} / 1000 \text{ rpm}$$

$$\text{Relación de cambio}_{4^{\circ} \text{ marcha}} = 5,3 \frac{\text{km}}{\text{h}} * 1,68^3 = 25,13 \text{ km/h} / 1000 \text{ rpm}$$

$$\text{Relación de cambio}_{5^{\circ} \text{ marcha}} = 5,3 \frac{\text{km}}{\text{h}} * 1,68^4 = 42,22 \text{ km/h} / 1000 \text{ rpm}$$

Estos datos, así como las características físicas del vehículo, como el peso, área frontal, y coeficiente C_x , se introducen en la mencionada hoja de EXCEL, y así verificar si sus prestaciones servirán para confirmar si el motor cumple con lo esperado. Además de los desarrollos calculados y los datos antes mencionados, se introducen datos como puntos extraídos de la curva de potencia del motor, trabajando éste a 400 V, ver Figura 3-5.

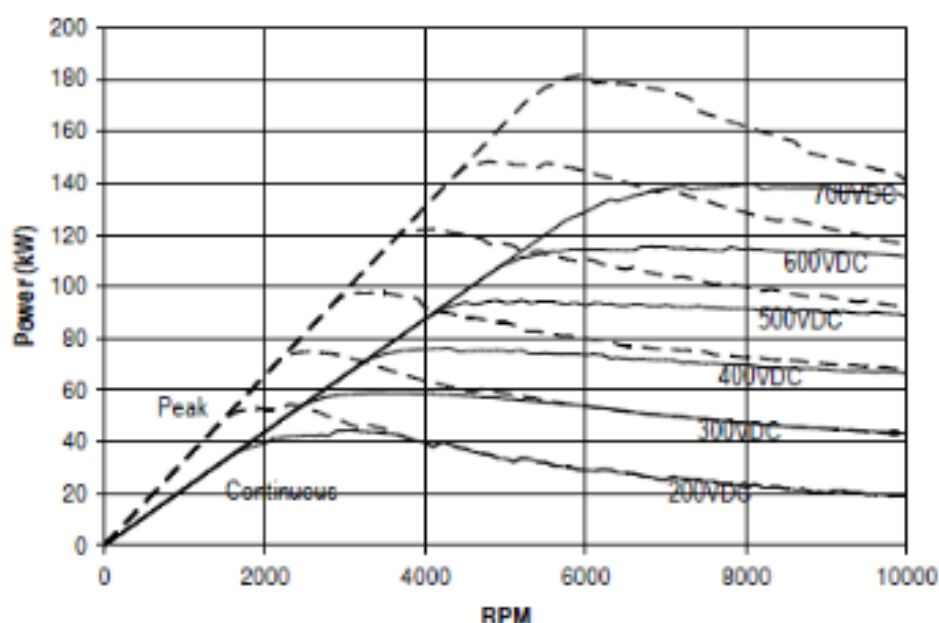


Figura 3-5 Curvas de potencia motor HVH 250-090 [34]

La curva potencia-revoluciones de interés sería la de los 400 V, la cual se detalla en la Figura 3-6, así como la curva del par-revoluciones (Figura 3-7).

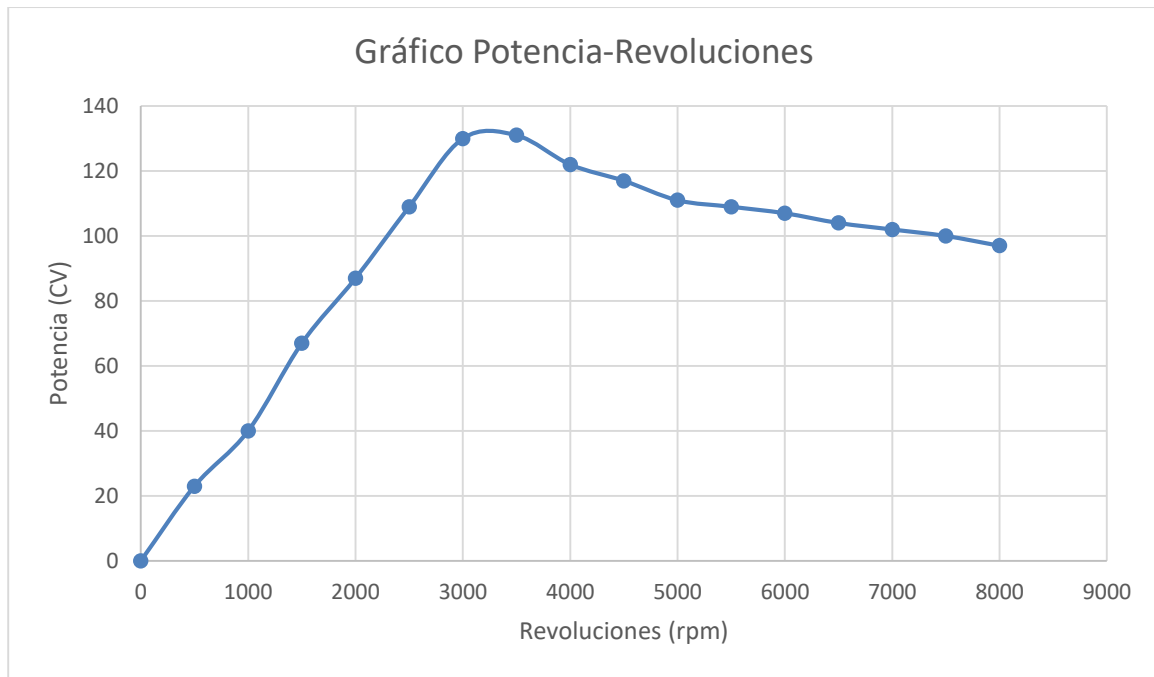


Figura 3-6 Gráfica Potencia-Revoluciones

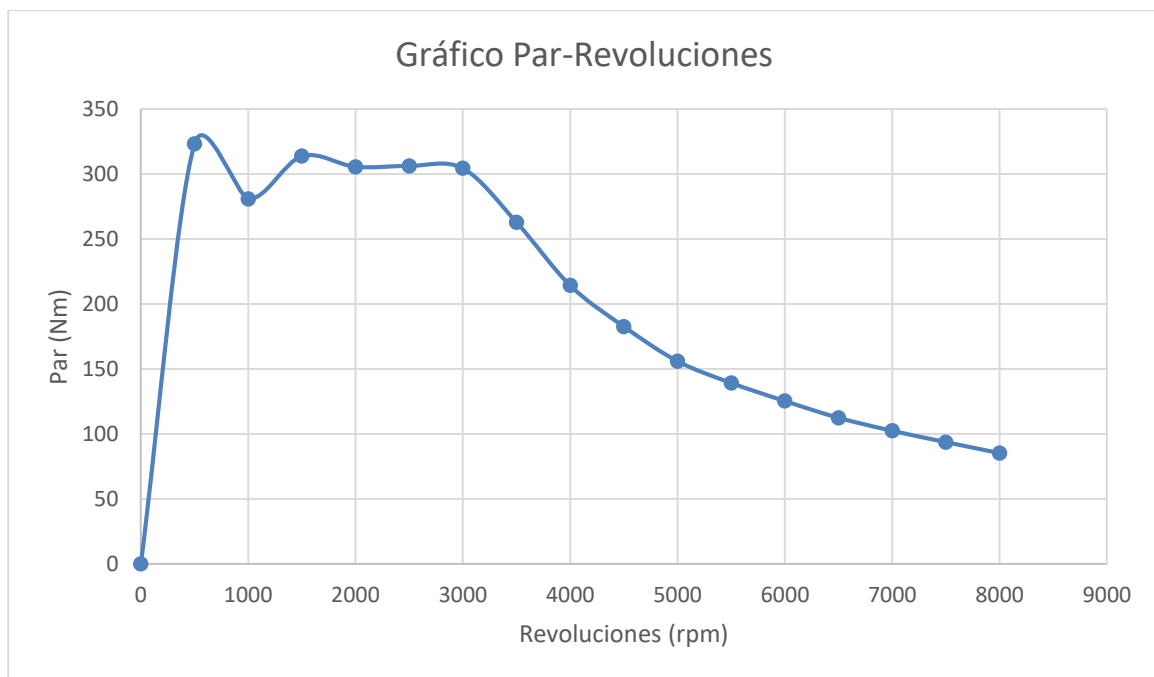


Figura 3-7 Gráfica Par-Revoluciones

Este motor eléctrico es además considerablemente más pequeño y ligero que el motor de combustión original. Considerando que su masa es de casi 50 kg, y que mide 275 mm de largo, con 242 mm de diámetro exterior, se puede resumir su volumen al contenido en un prisma de 275 mm x 242 mm x 242 mm, ocupando un espacio de aproximadamente 16105 cm³ (aproximadamente 16 l).

Finalmente la eliminación del motor diésel supone que se reduce la masa total del vehículo en aproximadamente 250 kg, a lo que se sumaría el peso del combustible, que sería:

$$m_{diésel} = 110 \text{ l (depósito)} * 0,832 \frac{\text{kg}}{\text{l}} (\text{densidad diésel}) = 91,52 \text{ kg}$$

Por tanto la masa total del vehículo se reduciría aproximadamente 341,52 kg, sin embargo habría que tener en cuenta el aumento de la misma al integrar el motor eléctrico y las baterías.

3.1.3 Selección e implementación de baterías

La tensión nominal de trabajo del motor eléctrico escogido es de 400 V. Tras comparar diversos modelos de baterías que puedan cumplir con la alimentación del mismo, se ha optado por escoger baterías de litio-ferrofosfato (LiFePO_4), que tienen las siguientes características:

- Son recargables.
- Presenta una durabilidad mayor que otras baterías de ión de litio.
- No requiere de mantenimiento.
- No contiene metales tóxicos, por lo que es más segura que una de plomo, por ejemplo.
- Permite mantener la tensión de salida hasta el momento de la descarga completa.

Así como las siguientes especificaciones generales [35]:

- Voltaje de celda:
 - Voltaje mín. de descarga = 2,5 V.
 - Voltaje de trabajo = 3,0 ~ 3,3 V.
 - Voltaje máximo de carga = 3,65 V.
- Densidad energética por volumen = 220 Wh/dm³ (790 kJ/dm³).
- Densidad de energía gravimétrica > 90 Wh/kg (> 320 J/g).
- Ciclos con profundidad de descarga del 100% (número de ciclos hasta llegar al 80% de la capacidad inicial) = 2000–7000.
- Ciclos con profundidad de descarga del 10% (número de ciclos hasta llegar al 80% de la capacidad inicial) > 10000.
- Sony Fortelion: 71% de capacidad después de 8.000 ciclos con el 100% de profundidad de descarga.
- Composición del cátodo (relación):
 - 90% C-LiFePO₄, grado Phos-Dev-12.
 - 5% carbono EBN-10-10 (grafito).
 - 5% PVDF.
- Configuración de la celda:
 - Colector de corriente de aluminio recubierto de carbono.
 - Cátodo: 1,54 cm².
 - Electrolito: Carbonato de etileno-Carbonato de dimetilo (EC-DMC) 1-1 LiClO₄ 1M.
 - Ánodo: Grafito o carbono endurecido con litio metálico intercalado.
- Condiciones experimentales:
 - Temperatura ambiente.
 - Límites de voltaje: 2,0–3,65 V.
 - Carga: Ratio 1C hasta 3,6 V, después voltaje constante a 3,6 V hasta que $I < C/24$.

De entre los diferentes modelos que ofrecen este tipo de baterías se ha escogido para el estudio e implantación el GWL/Power WB-LYP100AHA LiFePO_4 (3.2V/100Ah TALL), ver Figura 3-8.



Figura 3-8 Batería WB-LYP100AHA LiFePO₄ (3.2V/100Ah TALL) [36]

Esta batería tiene las siguientes características particulares [36]:

- | | |
|------------------------------------|------|
| • Peso (kg) | 3,3 |
| • Altura (mm) | 218 |
| • Anchura (mm) | 143 |
| • Profundidad (mm) | 67 |
| • Volumen ocupado (l) | 2,1 |
| • Tensión nominal (V) | 3,2 |
| • Capacidad (Ah) | 100 |
| • Máxima corriente de descarga (A) | 1000 |
| • Óptima corriente de descarga (A) | 50 |
| • Máxima corriente de carga (A) | 300 |
| • Óptima corriente de carga (A) | 50 |

Para poder suplir las necesidades del motor eléctrico se necesitan como mínimo 125 celdas, ya que:

$$125 \text{ celdas} * 3,2 \text{ V/celda} = 400 \text{ V}$$

Por la disposición de los espacios disponibles en el vehículo se ha llegado a la conclusión de colocar baterías en las tres partes antes mencionadas: zona motor, depósito de combustible y zona de carga.

En el depósito de combustible se dispone de un volumen de 100 l, por lo que:

$$100 \text{ l} \div (2,1 \text{ l/celda}) \sim 47 \text{ celdas}$$

En la zona del motor se encuentra también el motor eléctrico, por lo que:

$$170 \text{ l} - 16 \text{ l}(\text{motor}) = 154 \text{ l}$$

$$154 \text{ l} \div (2,1 \text{ l/celda}) \sim 73 \text{ celdas}$$

En la zona de carga del vehículo se ha contemplado disponer las celdas cubriendo la base del mismo, con lo que se pierde espacio de carga pero se ganará en autonomía al añadir más baterías. Contemplando el área disponible se comprueba que:

$$100 \text{ cm}(\text{largo}) * 220 \text{ cm}(\text{ancho}) = 22000 \text{ cm}^2$$

Las baterías estarían dispuestas de forma que el lado de 67 cm x 218 cm quedase apoyado como base, lo que implica que se gana una altura de 143 cm en toda la base de la zona de carga, disminuyendo el espacio de carga total, como se muestra en la Figura 3-9. En total se tendría:

$$6,7 \text{ cm} * 21,8 \text{ cm} = 146,06 \text{ cm}^2 \text{ por celda}$$

$$22000 \text{ cm}^2 \div 146,06 \text{ cm}^2 \sim 150 \text{ celdas}$$

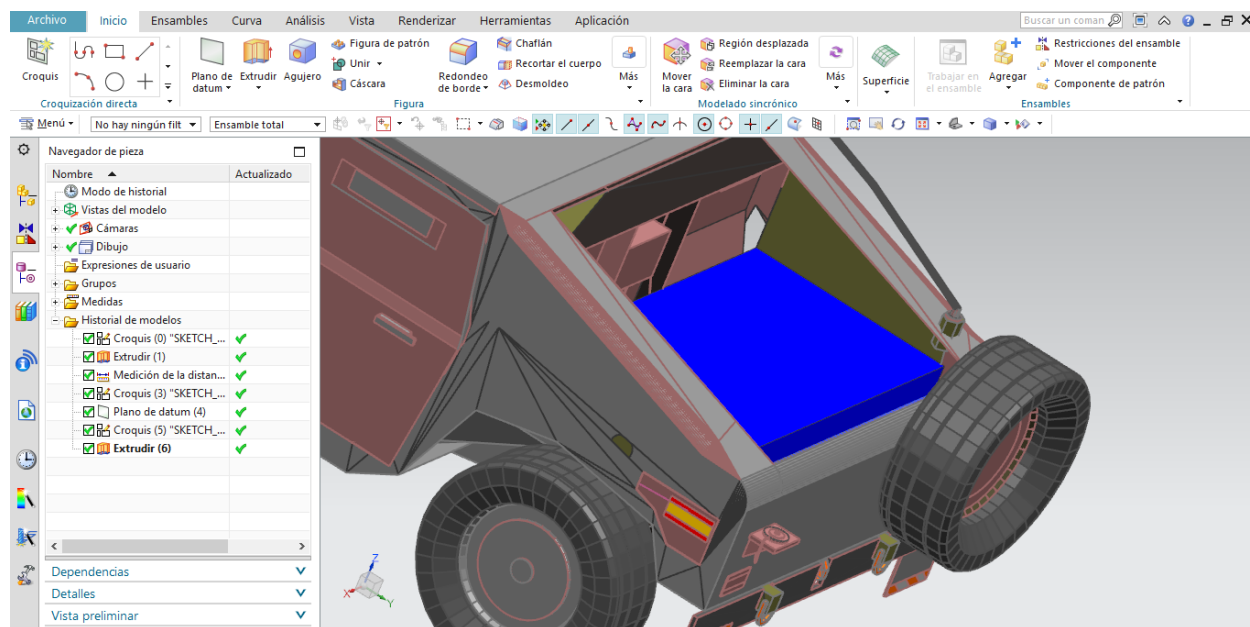


Figura 3-9 Espacio aprovechado en zona de carga para baterías

Se puede concluir que en total se dispone de 270 celdas, siendo más del doble de las necesarias (125 celdas necesarias, que influiría directamente en la autonomía. Sin embargo es destacable que se reduce el espacio disponible para carga a 460 l.

3.1.4 Recarga de las baterías

Al emplearse baterías recargables es necesario elegir un tipo de conector a emplear para poder recargar dichas baterías cuando sea necesario.

Tras la consideración de los distintos modelos disponibles en el mercado, se ha elegido para su implantación en el vehículo el conector único combinado (CCS) (Figura 2-4). Siendo éste un conector de Tipo 2 en el estándar IEC 62196, fue pensado como solución estándar por norteamericanos y alemanes. Éste combina un sistema de carga monofásico con uno rápido trifásico utilizando corriente alterna en un máximo de 43 kW, así como la carga a un máximo de 200 kW, todo en un solo sistema.

El CCS incluye el conector y combinación de entrada, así como todas las funciones de control. También gestiona las comunicaciones que hay entre el vehículo eléctrico y la infraestructura de recarga. Como resultado, proporciona una solución a todos los requisitos de carga para un vehículo eléctrico.

La localización de la entrada de la toma sería aprovechando la entrada del depósito de combustible, situada en el lateral trasero del vehículo, así como el resto del sistema ocuparía ese espacio.

Por otra parte, como medida auxiliar el vehículo portaría en la caja de herramientas que hay el compartimento trasero un cable portátil para conectarlo a la red y recargarlo si no hubiere toma de recarga. El modelo que llevaría sería un cargador portátil del Tipo 2 a Schuko (Figura 3-10), ya que así podría conectarse a cualquier enchufe dentro de España y en otras zonas y acceder a la red eléctrica [32].



Figura 3-10 Cargador portátil del Tipo 2 a Schuko [32]

3.1.5 Variador de frecuencia

Finalmente queda por instalar el variador de frecuencia que controla las revoluciones del motor eléctrico. De forma simple regula la frecuencia que le debe llegar al motor eléctrico para que gire a la velocidad adecuada según lo que el conductor desee, por lo que actúa como puente entre el pedal del acelerador y el motor eléctrico [37].

Para poder implementarlo hay que tener en cuenta que la tensión de trabajo del motor es de 400 V, y simplemente queda decir que se localizaría en la zona del habitáculo cerca del pedal del acelerador, bajo el panel de control y del volante de dirección. La razón principal de esta localización es que esté en una zona protegida (la zona en la que están los ocupantes) y que esté cerca tanto del motor como del acelerador y así relacionar estos dos componentes del vehículo.

3.2 Simulación-Autonomía

Para la simulación del modelo y hallar el dato de la autonomía se emplea el sistema creado en el Trabajo de Fin de Grado titulado *Simulación y validación de un modelo de vehículo eléctrico para futuras aplicaciones en el ámbito militar*, realizado por Antonio Moreno Cózar [38].

Éste emplea ecuaciones que modelan cada parte que compone un vehículo eléctrico de forma independiente, teniendo: un módulo para la parte dinámica, uno para el motor eléctrico y uno para la batería. Al final se implementan en un modelo global para la simulación bajo determinados ciclos de conducción. El modelo de simulación completo para el vehículo bajo estudio se muestra en la Figura 3-11.

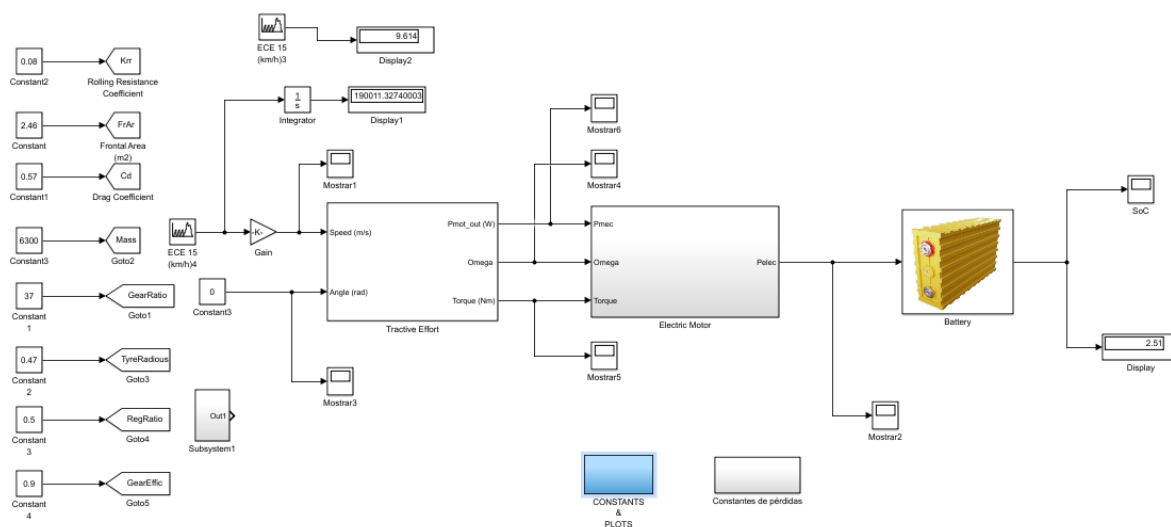


Figura 3-11 Modelo de vehículo eléctrico para el vehículo URO Vamtac S3 en SIMULINK

3.2.1 Modelado de la dinámica

El bloque correspondiente a la dinámica está conformado por otros bloques que corresponden con, la fuerza de aceleración, la fuerza de resistencia aerodinámica, fuerza de resistencia a la rodadura, fuerza para superar una pendiente, así como la potencia mecánica, las salidas de par motor y velocidad angular (Figura 3-12).

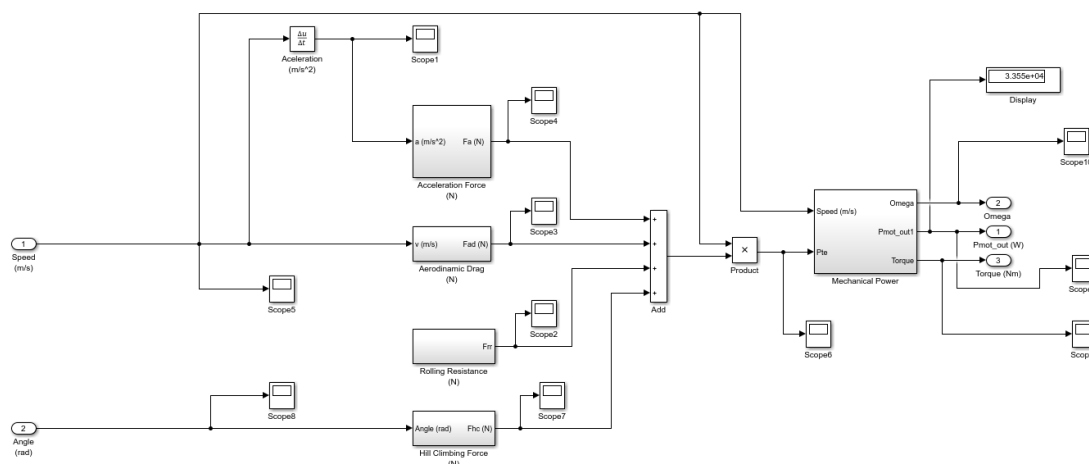


Figura 3-12 Bloque de modelado de la dinámica

- **Bloque de fuerza de aceleración.** Aquí se calcula la fuerza de aceleración del vehículo a partir de la aceleración, la velocidad y la masa. Estas entradas se multiplican obteniéndola fuerza de aceleración en Newtons.
- **Bloque de fuerza de resistencia aerodinámica.** A partir de parámetros como la densidad del aire, área frontal del vehículo y el coeficiente aerodinámico del mismo, multiplicados por la velocidad al cuadrado.
- **Bloque de resistencia a la rodadura.** Se obtiene multiplicando la masa del vehículo por la gravedad y por el coeficiente de resistencia a la rodadura.
- **Bloque de fuerza para superar una pendiente.** Al moverse el vehículo requerirá de una fuerza que le permita superar diferentes cuestas o pendientes. Que vendrán dadas por un

ángulo de pendiente. Se multiplica el seno de dicho ángulo por la masa y la gravedad para hallar la fuerza deseada.

- **Bloque de la potencia mecánica.** La fuerza de tracción suma de las anteriores descritas se multiplica por la velocidad del vehículo, dando como resultado la potencia eléctrica de tracción que se necesita para mover el vehículo. La potencia de salida se obtendrá a partir de la velocidad de giro de las ruedas (obtenida a partir del radio de la rueda por la velocidad del vehículo y la relación de transmisión) y de esa fuerza total de tracción, además se obtendrá el par, la eficiencia de la caja de cambios y la relación de transmisión.

3.2.2 Modelado de las baterías

El modelado correspondiente a las baterías se basa en la integración de los siguientes bloques, representados conjuntamente en la Figura 3-13:

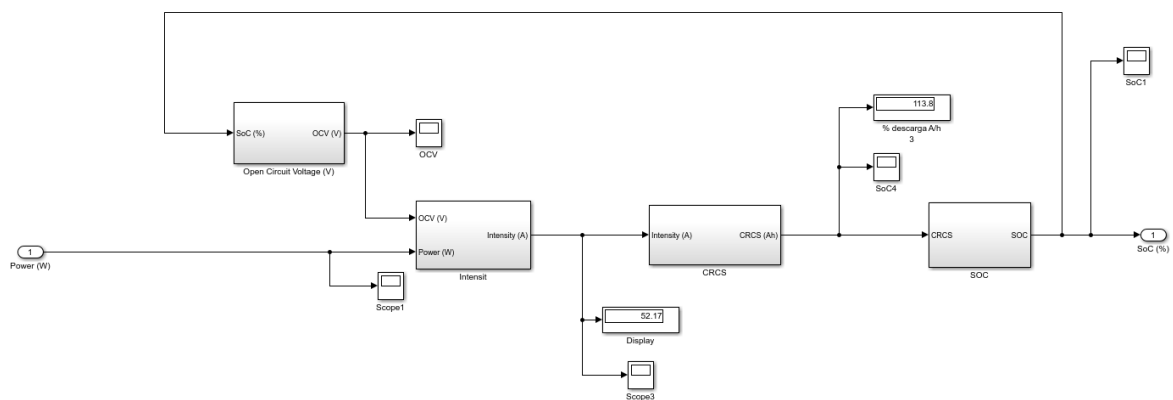


Figura 3-13 Bloque de modelado de las baterías

- **Bloque configuración baterías.** Se insertan aquí los parámetros que definen a la batería, siendo: el número de celdas, el coeficiente de Peukert, la capacidad, el tiempo nominal y el valor de la resistencia interna.
- **Bloque de resistencia interna.** La resistencia interna de cualquier batería es distinta cuando se produce la carga y cuando se produce la descarga. Para su cálculo se multiplica el número de celdas por el valor inicial de la resistencia interna y el resultado se divide entre la capacidad de carga según sea carga o descarga.
- **Bloque de capacidad de Peukert.** La capacidad de descarga de una batería viene dada en función de la intensidad a la que se descarga ésta y el tiempo que requiere dicho proceso.
- **Bloque de tensión de circuito abierto.** La tensión de circuito abierto (OCV) variará en función de la batería elegida, y se calcula a partir del estado de carga y del número de celdas existentes en la batería.
- **Bloque de intensidad.** Debido a que con el frenado regenerativo es posible recargar las baterías al actuar el motor como generador, es necesario saber la intensidad que se gana o se pierde para poder averiguar la carga que está disponible en la batería.
- **Bloque de carga y descarga.** Aquí se trata la cantidad de carga suministrada o eliminada en función de la intensidad, del coeficiente de Peukert y del tiempo transcurrido. Si la intensidad calculada es superior a cero, la batería será descargada, y si es menor que cero, la batería se carga.
- **Bloque de estado de carga.** Para saber el nivel de carga que queda en la batería basta con dividir la carga que tiene obtenida del bloque anterior entre la capacidad original de la misma.

3.2.3 Modelado del motor eléctrico

El motor eléctrico se definirá en función de diversos bloques que se considerarían afines a los diversos tipos de motores eléctricos existentes. Para conseguirlo es necesario incluir la eficiencia del motor en relación a las pérdidas que se tendrían en un motor eléctrico real. El bloque final quedaría como la Figura 3-14.

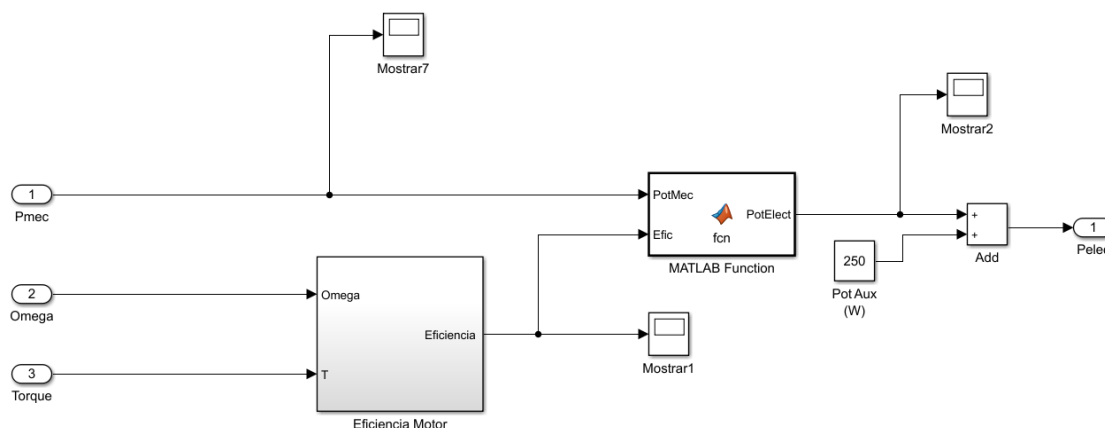


Figura 3-14 Bloque de modelado del motor eléctrico

- **Bloque de configuración del motor eléctrico.** Se insertan las pérdidas internas del motor eléctrico en este bloque, a fin de ser utilizadas en los demás a modo de parámetros. Pérdidas debidas a factores del motor en sí como las fricciones internas, de la ventilación o de la alimentación.
- **Bloque de pérdidas.** Aquí se incluyen las ecuaciones de pérdidas que sufren los motores eléctricos, obteniéndose las pérdidas totales de los mismos.
- **Bloque de eficiencia.** La eficiencia se obtiene a partir de la aplicación de las pérdidas ya obtenidas del motor eléctrico del bloque anterior con la potencia de entrada del motor, relacionándolas con la potencia de salida.
- **Bloque de potencia eléctrica.** En este bloque se calcula la potencia suministrada por las baterías, necesaria para que el vehículo se desplace.

3.2.4 Realización de la simulación

El paso final, ahora que se dispone de unas características que proporciona el motor, así como del vehículo y de las baterías, es emplear esos datos en una simulación.

Para el recorrido empleado en la simulación se ha introducido el NEDC (New European Driving Cycle), consistente en cuatro ciclos de conducción ECE-15 y un ciclo de conducción extra-urbano. Este ciclo se ha empleado en laboratorios estos últimos años para evaluar el impacto ambiental de los automóviles. En el caso del presente proyecto, se utilizará para hallar la autonomía que ofrece el conjunto de baterías y motor eléctricos elegidos para el vehículo.

En la Tabla 3-2 figuran los parámetros del caso de estudio para el vehículo eléctrico URO Vamtac S3. Cabe destacar que para hallar la autonomía del vehículo se empleará su peso máximo permitido, siendo éste el caso más restrictivo de estudio.

PARÁMETROS DE LA CONFIGURACIÓN ELEGIDOS	
Masa vehículo	6300 kg
Coeficiente resistencia rodadura	0,08
Área frontal	2,46 m ²
Coeficiente aerodinámico	0,57
Eficiencia de transmisión	0,9
Tasa de regeneración	0,5
Radio rueda	0,47 m
Nº celdas de batería	270 unidades
Capacidad celdas batería (por unidad)	100 Ah
Tensión nominal batería	3,2 V
Coeficiente de Peukert	1,056

Tabla 3-2 Parámetros a incluir en bloques del SIMULINK

Una vez introducidos estos datos en los consecuentes bloques se procede a introducir el tiempo de simulación y se inicia la misma. El primer tiempo introducido es estimado y se introduce en segundos. Es probable que ese tiempo introducido tenga que ser variado puesto que la simulación muestra el porcentaje de batería que queda antes de descargarse, con lo que hay que hallar la autonomía con la mayor precisión posible (batería completamente descargada). Simplemente se comprueba que este porcentaje se aproxima a cero y se ajusta el tiempo de simulación en consecuencia.

Una vez ejecutada de forma adecuada la simulación, para un tiempo de 9900 s, y con la descarga completa de las baterías, se observa que se ha obtenido una autonomía de 190 km.

4 RESULTADOS

4.1 Resultados alcanzados

Podemos dividir los resultados obtenidos en cuanto al análisis en dos partes, en cuanto al motor y prestaciones del vehículo, y a la implementación de las baterías y la autonomía obtenida.

4.1.1 Implantación del motor eléctrico y características generales del vehículo

Las prestaciones obtenidas con la implantación del motor eléctrico HVH 250-090 permiten al vehículo URO Vamtac S3 tener muchas similitudes con el original que utiliza motor de combustión interna. Los datos hallados previamente sobre el vehículo al aplicar el motor eléctrico se introducen en una tabla de EXCEL, en la que como resultado se pueden observar diversas prestaciones a tener en cuenta para vehículos. A continuación se relacionan las usualmente más destacables en vehículos en la Tabla 4-1, obtenidos de las hojas mencionadas que figuran en el Anexo II.

	Vehículo en vacío sin reductora	Vehículo en vacío con reductora	Vehículo cargado sin reductora	Vehículo cargado con reductora
Velocidad máxima	142 km/h	112 km/h	120 km/h	106 km/h
Tiempo 0-100 km/h	28,51 s	34,64 s	63,94 s	93,85 s
Tiempo 0-1000 m	44,43 s	46,56 s	54,64 s	56,13 s
Tiempo 80-120 km/h	38,37 s en 4º marcha	No corresponde	No corresponde	No corresponde
	47,33 s en 5º marcha	No corresponde	No corresponde	No corresponde

Tabla 4-1 Prestaciones más destacables para vehículo cargado/no cargado y con reductora/sin reductora

Sin embargo hay que destacar que:

- A pesar de que el motor eléctrico ocupa un volumen mucho menor que el de combustión interna, se ha hecho necesario ocupar el resto de ese volumen con baterías para, no sólo poder garantizar que el vehículo pueda moverse, sino para que pueda tener la máxima autonomía posible. Además de eso, se ha empleado parte de la zona de carga para albergar baterías, lo que supone una reducción del volumen de carga a 460 l.
- Se produce un aumento en la masa del vehículo, teniendo ya en cuenta que el motor diésel y el peso del combustible se retiran, al integrar el motor eléctrico y las baterías. El peso en orden de marcha sería finalmente de unos 4100 kg, lo que implica que habría que reducir la cantidad de munición y armamento, de personal, o de carga en general, a embarcar hasta alcanzar la carga máxima.

Por tanto, habría que calcular los desarrollos a partir de esta nueva masa, pues se partió del vehículo con masa mínima de 3500 kg, con lo que las prestaciones del vehículo variarían un tanto en su versión en orden de marcha (masa menor).

Por otro lado es reseñable que la velocidad máxima utilizando la reductora es muy alta en comparación con los vehículos de combustión interna, puesto que a altas revoluciones los motores

eléctricos no pierden tanta potencia (Figura 3-6) y, por tanto, siguen disponiendo de una velocidad aprovechable.

4.1.2 Implantación baterías y autonomía obtenida

La implantación del modelo de batería de litio-ferrofosfato GWL/Power WB-LYP100AHA LiFePO₄ (3.2V/100Ah TALL), ha supuesto que, con los volúmenes disponibles considerados, se utilicen 270 celdas, proporcionando la tensión de trabajo constante de 400 V que el motor necesita.

El hecho de utilizar más del doble de las necesarias (125 celdas) se debe al hecho de tratar de aumentar la autonomía al máximo posible aun sacrificando espacio utilizable. La autonomía de 190 km supone que el vehículo no podrá ser utilizado de la misma forma que el modelo que emplea el motor de combustión, pues la autonomía de este último es de más de 600 km, aunque sigue teniendo una autonomía bastante decente y con unas prestaciones similares al original.

5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

5.1 Conclusiones

Puede decirse que se cumple el objetivo principal del Trabajo de Fin de Grado, ya que si sería viable la conversión del vehículo militar URO Vamtac con motor de combustión a uno propulsado eléctricamente por baterías, aunque hay que tener en cuenta diversas consideraciones y limitaciones en cuanto al uso del vehículo.

La autonomía obtenida influye directamente en el uso del vehículo. Utilizarlo en primera línea de combate sería poco productivo puesto que la limitada autonomía implicaría que se necesitan en el frente puestos para poder recargar sus baterías. Lo que es bastante complicado teniendo en cuenta que este tipo de puestos, que aprovisionan de combustibles, pertrechos, munición, etc., no están tan a vanguardia en los despliegues. Esta autonomía también significa que para los desplazamientos en una columna vehicular logística limitarían seriamente el ritmo de avance de la misma, pues habría que parar para recargar las baterías de los vehículos más a menudo que si fuesen a ser llenados de combustible.

Por otro lado las limitaciones en cuanto a carga del vehículo suponen que no pueda emplearse de la misma forma en caso de utilizarse en combate o para transporte de personal y escolta de convoyes. Al reducirse su capacidad de carga en cuanto a volumen y peso, se concluye que sería necesario un mayor número de vehículos para transportar una cierta carga, así como un mayor aprovisionamiento en caso de que fuese para el combate.

El hecho de emplear más componentes electrónicos para el uso del URO Vamtac en su forma eléctrica implica además que se necesita además implementar alguna medida de protección de los mismos de los elementos, concretamente del agua. Los vehículos militares orientados al combate requieren tener capacidades como el vadeo de ríos, por lo que en el caso del Vamtac eléctrico habría que proteger sus baterías y motor eléctrico del agua para poder conservar esta capacidad. Para el caso del URO Vamtac que emplea la Infantería de Marina Española también habría que considerar el ambiente de trabajo salino al que se expondría el vehículo, debido a la naturaleza anfibia del Cuerpo.

A mayores, el uso de un motor eléctrico implica que se requiere mucho menos mantenimiento que en el caso de uno de combustión interna, así como para las baterías implementadas en el presente estudio. Por tanto, los escalones de mantenimiento más bajos podrían olvidarse del trato con ciertos problemas derivados del motor original, así como del transporte y mantenimiento de esas piezas.

Sumado a lo anterior, el empleo de un motor eléctrico permite que el vehículo al utilizar la reductora pueda seguir disponiendo de una velocidad máxima bastante alta, al contrario que los de motor de combustión interna. Por lo que al superar campo a través una gran pendiente mediante la reductora podría hacerlo a una velocidad más alta que el original.

Finalmente teniendo en cuenta las consideraciones antes expuestas se propone que los posibles usos militares del URO Vamtac con motor eléctrico impulsado con baterías sean los siguientes:

- Como vehículo de patrulla dentro de las bases. Esto sería altamente beneficioso pues el hecho de no emitir gases contaminantes mejora la calidad de vida dentro de las bases y en los alrededores, así como de no perturbar las actividades que se llevan a cabo debido al silencioso motor eléctrico. Su autonomía tampoco sería un problema pues los desplazamientos serían mínimos, muy parecidos a los que podría hacer un vehículo civil en ciudad.
- Como vehículo de combate en ambientes nocturnos o con condiciones de visibilidad reducida. Aunque habría que tener en cuenta la autonomía para que permitiese sus desplazamientos, es innegable el alto valor táctico que tiene la sorpresa cuando se enfrentan

dos fuerzas en combate, sorpresa a la que contribuiría de forma decisiva el empleo de vehículos silenciosos, como los que utilizan un motor eléctrico.

- Como vehículo de combate o de apoyo en Operaciones de Mantenimiento de la Paz. En el ambiente actual en que la guerra convencional queda relegada al último recurso, la mayoría de las intervenciones que los países occidentales realizan a nivel militar son de este tipo. Al no requerirse de demasiados desplazamientos en este tipo de operaciones, quedando las fuerzas muy cercas de las bases al montar checkpoints o registros de viviendas, el uso de vehículos eléctricos sería de gran utilidad, debido al factor medioambiental (dando una imagen positiva) y al menor consumo de recursos (sólo se requiere de electricidad y no de combustibles), que habría que transportar a la zona.

5.2 Líneas futuras

Como líneas futuras para este proyecto se plantea la posibilidad del estudio de implantación de medidas que adapten el uso de un vehículo eléctrico propulsado por baterías en el ambiente en que se mueve una unidad anfibia como la Infantería de Marina Española.

Podría ampliarse además este estudio con medidas de protección de los componentes electrónicos del vehículo ante acciones de Guerra Electrónica.

Otra opción sería el estudio de la posibilidad de convertir el vehículo en un modelo híbrido como solución a la pérdida de autonomía.

A mayores podría considerarse el estudio de la viabilidad de la recarga de las baterías del vehículo mediante el uso de energías renovables en bases de operaciones o campamentos durante un despliegue.

6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] «Combustibles fósiles- Leentech,» [En línea]. Available: <http://www.lenntech.es/efecto-invernadero/combustibles-fosiles.htm>. [Último acceso: 13 03 2017].
- [2] «Wikipedia- Combustibles fósiles,» [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Combustible_f%C3%B3sil. [Último acceso: 13 03 2017].
- [3] «Wikiwand- Consumo y recursos energéticos,» [En línea]. Available: http://www.wikiwand.com/es/Consumo_y_recursos_energ%C3%A9ticos_a_nivel_mundial. [Último acceso: 13 03 2017].
- [4] «Teoría del pico de Hubbert,» [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Teor%C3%ADa_del_pico_de_Hubbert. [Último acceso: 13 03 2017].
- [5] Master Design CR, «Huellatica,» [En línea]. Available: <http://www.huellatica.org/index.php/ciudades-sostenibles/energia>. [Último acceso: 13 03 2017].
- [6] «Wikipedia-Protocolo de Kioto,» [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Protocolo_de_Kioto_sobre_el_cambio_clim%C3%A1tico. [Último acceso: 13 03 2017].
- [7] «Revista Madre Tierra,» [En línea]. Available: <http://revistamadretierra.com/2013/09/la-capa-de-ozono-se-fortalece/>. [Último acceso: 13 03 2017].
- [8] «Wikipedia-Energías renovables,» [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_renovable. [Último acceso: 13 03 2017].
- [9] «Clases de Energías Renovables- En Buenas Manos,» [En línea]. Available: <http://www.enbuenasmanos.com/ecologia-y-medio-ambiente/cuidado-del-medio-ambiente/energias-renovables/>. [Último acceso: 13 03 2017].
- [10] J. J. G. R. Tomás Arturo Avalos de la Cruz, Electricidad y magnetismo, México DF: Coordinación de Universidades Politécnicas, 2013.
- [11] «Coches eléctricos-Marcas, modelos y novedades-Electromaps,» [En línea]. Available: <https://www.electromaps.com/coches-electricos>. [Último acceso: 14 03 2017].
- [12] «Coches eléctricos: ¿qué son y cómo funcionan?-Motorpasion,» [En línea]. Available: <https://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/coches-electricos-que-son-y-como-funcionan>. [Último acceso: 13 03 2017].
- [13] A. P. R. E. M. Piñeiro, El vehículo eléctrico y su infraestructura de carga, Málaga: Marcombo S.A., 2013.
- [14] Libro de Sociedad de Técnicos de Automoción, El vehículo eléctrico, Barcelona: Librooks Barcelona S.L.L., 2011.
- [15] J. Larminie y J. Lowry, Electric vehicle Technology Explained, Oxford, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2003.

- [16] «Cómo funciona un coche híbrido-Motorpasion,» [En línea]. Available: <https://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/como-functiona-un-coche-hibrido>. [Último acceso: 13 03 2017].
- [17] H. Bridges, Hybrid Vehicles Hybrid Electric Vehicles, London: Nova Science Publishers Inc, 2015.
- [18] F. J. M. M. V. Ibáñez, Generación de energía eléctrica con pilas de combustible, Koobeht International España, 2006.
- [19] «Pilas de combustible,» [En línea]. Available: <http://www.pilasde.com/tecnologia-del-hidrogeno/pilas-de-combustible>. [Último acceso: 13 03 2017].
- [20] «Wikipedia-Submarino,» [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Submarino>. [Último acceso: 13 03 2017].
- [21] «ISO 14001 Certificación de la norma de sistema de gestión ambiental,» [En línea]. Available: <http://www.lrqa.es/certificaciones/iso-14001-medioambiente/>. [Último acceso: 10 03 2017].
- [22] «infodefensa.com,» [En línea]. Available: <http://www.infodefensa.com/es/2015/11/11/noticia-industria-presenta-fuerzas-armadas-nuevas-soluciones-generacion-energia.html>. [Último acceso: 14 03 2017].
- [23] «MARINES- THE OFFICIAL WEBSITE OF THE UNITED STATES MARINE CORPS,» [En línea]. Available: <http://www.1stmardiv.marines.mil/News/News-Article-Display/Article/541350/renewable-energy-vital-to-marines-success-in-afghanistan/>. [Último acceso: 14 03 2017].
- [24] «Urovesa,» [En línea]. Available: <http://www.urovesa.com/es/>. [Último acceso: 14 03 2017].
- [25] «Wikipedia-URO Vamtac,» [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/URO_VAMTAC. [Último acceso: 14 03 2017].
- [26] Armada Española, «Armada Española- Ministerio de Defensa - Gobierno de España,» [En línea]. Available: http://www.armada.mde.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/_inicio_home/prefLang_es/. [Último acceso: 12 03 2017].
- [27] «NX: Siemens PLM Software,» [En línea]. Available: https://www.plm.automation.siemens.com/es_es/products/nx/. [Último acceso: 14 03 2017].
- [28] «MATLAB-MathWorks,» [En línea]. Available: <https://es.mathworks.com/products/matlab.html>. [Último acceso: 14 03 2017].
- [29] «Simulink- Simulation and Model-Based Design- MathWorks,» [En línea]. Available: <https://es.mathworks.com/products/simulink.html>. [Último acceso: 14 03 2017].
- [30] «Camiones eléctricos equipados con Allison reducen las emisiones de Múnich,» [En línea]. Available: <http://www.interempresas.net/Automocion/Articulos/156034-Camiones-electricos-equipados-con-Allison-reducen-las-emisiones-de-Munich.html>. [Último acceso: 14 03 2017].

- [31] J. Martínez-Lao, «Renewable and Sustainable Energy Reviews,» *Elsevier*, p. 3, 21 Noviembre 2016.
- [32] «Tipos de conectores para vehículos eléctricos,» [En línea]. Available: <http://www.recargacocheselectricos.com/tipos-conectores-vehiculos-electricos/>. [Último acceso: 14 03 2017].
- [33] C. C. Placer, *Apuntes Asignatura Automóviles curso 2016-2017*, Marín, 2017.
- [34] «Remy HVH250 Series Electric Motors - Remy Inc,» [En línea]. Available: https://www.remyinc.com/docs/HVH250_r3_Sept_2010.pdf. [Último acceso: 17 03 2017].
- [35] «Wikipedia-Batería litio ferrofosfato,» [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa_de_litio-ferrofosfato. [Último acceso: 17 03 2017].
- [36] «EV-Power | WB-LYP100AHA LiFeYPO4 (3.2V/100Ah TALL),» [En línea]. Available: <https://www.ev-power.eu/Winston-40Ah-200Ah/WB-LYP100AHA-LiFeYPO4-3-2V-100Ah.html>. [Último acceso: 17 03 2017].
- [37] «Wikipedia-Variador de frecuencia,» [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Variador_de_frecuencia. [Último acceso: 19 03 2017].
- [38] A. M. Cózar, *Simulación y validación de un modelo de vehículo eléctrico para futuras aplicaciones en el ámbito militar*, Marín, 2016.

ANEXO I: HOJA DE CARACTERÍSTICAS URO VAMTAC S3



www.UROVESA.com

VAMTAC S3

MOTOR

Cilindrada	3.200 cm ³
Potencia	188 CV (DIN) - 138 Kw (opcional: 218 CV - 160 Kw)
Par máximo	410 Nm (opcional: 500 Nm)
Nº cilindros	6 en línea
Combustible	Gasoiil (diesel)

CAJA DE CAMBIOS

Tipo	Automática
Velocidades	5 adelante + 1 atrás

CAJA REDUCTORA / TRANSFER

Velocidades	2 (carretera + todo terreno)
Tracción	4x4 Permanente
Diferencial	Bloqueable 100%

EJES

Delantero	Directriz y motriz, doble reducción, con bloqueo 100%
Trasero	Motriz, doble reducción, con bloqueo 100%

SUSPENSIÓN

Tipo	Independiente en las 4 ruedas Muelles helicoidales y amortiguadores Trapecios dobles de alta resistencia
------	--

FRENOS

Accionamiento	Hidráulico, doble circuito Sobre discos ventilados en las 4 ruedas
---------------	---

RUEDAS

Tipo de neumáticos	37 X 12.5 / R17
--------------------	-----------------

EQUIPO ELÉCTRICO

Tensión nominal	12 V / 24 V
Baterías	2 unidades de 12V - 110 a/h
Alternador	28 V /100 A (opcional: 180A)



PESOS

En orden de marcha	3.000 - 3.500 Kg. (según versiones)
Masa máx. admisible	5.300 - 6.300 Kg. (según versiones)
Carga máxima	1.500 - 2.500 Kg.(según versiones)
Máximo remolcable	hasta 3.500 Kg (según versiones)

CARACTERÍSTICAS T.T.

Altura al suelo (bajo eje)	440 mm
Altura al suelo (ventral)	490 mm
Ángulo de ataque	74°
Ángulo de salida	54°
Pendiente frontal	100% (según adherencia)
Pendiente lateral	50% (según adherencia)
Profundidad vadeo	750 mm (con kit de vadeo profundo: 1.500 mm)

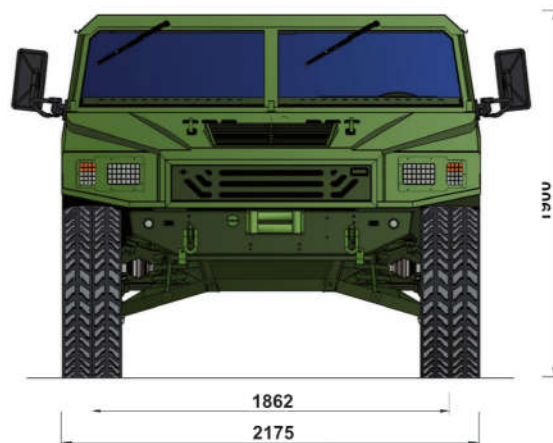
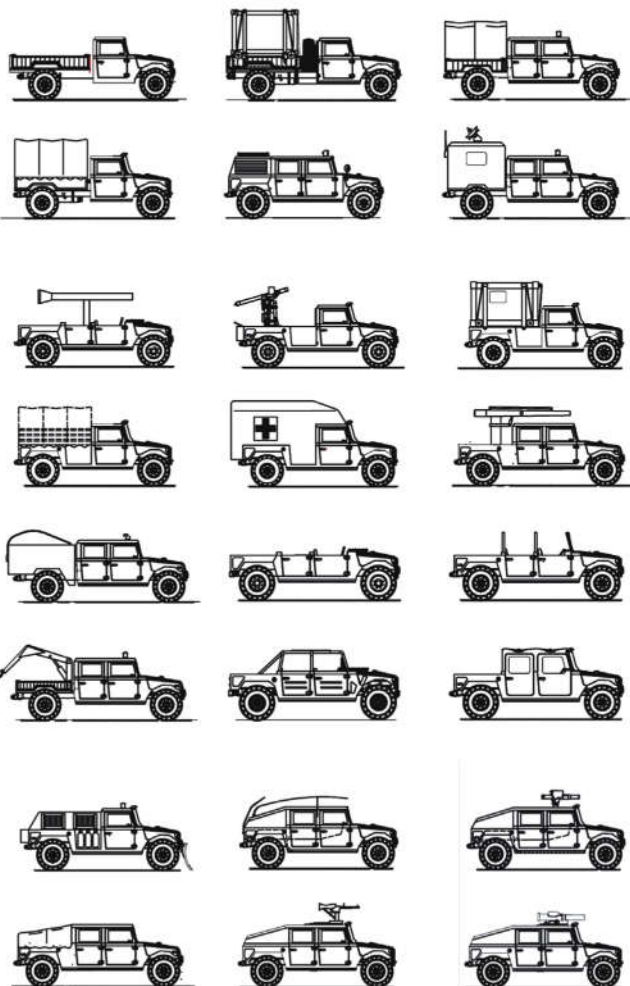
PRESTACIONES

Capacidad de depósito	110 Litros
Consumo	17 litros/100Km
Autonomía	> 600 km
Velocidad máxima	135 Km/h

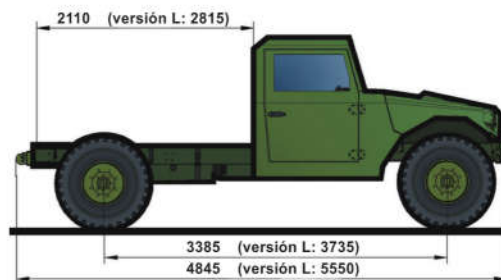


VAMTAC S3

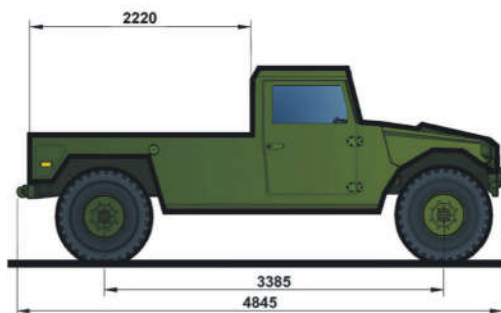
Aplicaciones



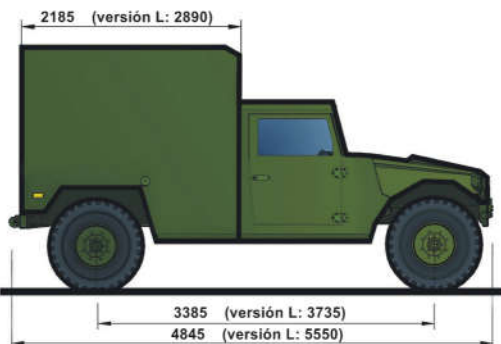
2PH



2PK

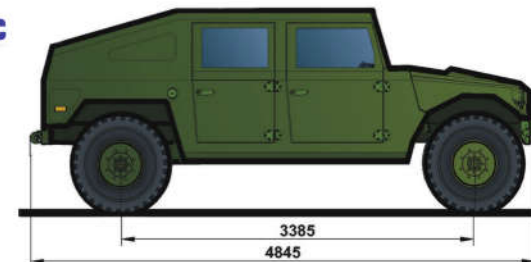


2PF

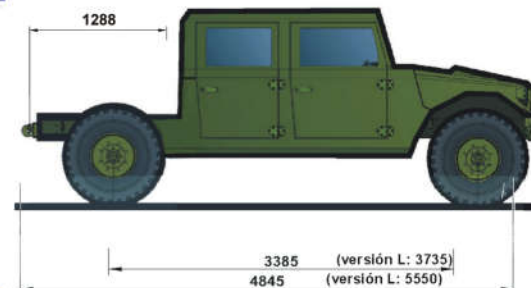


Configuraciones

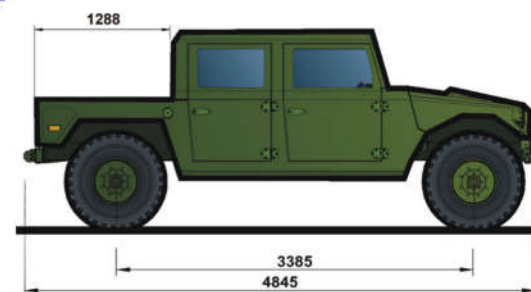
4PC



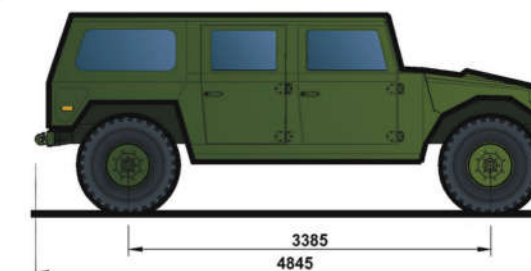
4PH



4PK



4PW



ANEXO II: HOJAS DE EXCEL DE PRESTACIONES DE VEHÍCULO

Primer Vehículo

Marca y Modelo

URO VAMTAC S3 (400 VDC) LLENO CON REDUCTORA

Dimensiones y Pesos

Peso en orden de marcha (kg)	6300
Superficie frontal (m ²)	2,460
CX	0,57

Motor (curvas de motor)

(Max. 25 puntos, recomendado más de 10)

r.p.m.	C.V.	Nm
0	0	0,000
500	23	323,012
1000	40	280,880
1500	67	313,649
2000	87	305,457
2500	109	306,159
3000	130	304,287
3500	131	262,823
4000	122	214,171
4500	117	182,572
5000	111	155,888
5500	109	139,163
6000	107	125,226
6500	104	112,352
7000	102	102,321
7500	100	93,627
8000	97	85,142
		0,000
		0,000
		0,000
		0,000
		0,000
		0,000
		0,000
		0,000

Condiciones ambientales

Presión (mb)	940
Temperatura (°C)	15

Condiciones Especiales

Velocidad del viento (km/h)	0
Pendiente de la carretera (%)	0

(signo positivo: condiciones favorables)

Prestaciones

(Calculadas con los datos indicados)

Aceleraciones

0-100Km/h (s)	93,853
0-200Km/h (s)	infinito
De 0 a 213 Km/h	469,78
0-400m (s)	30,092
0-1000m (s)	56,133

0- x Km/h

x (Km/h)	t (s)
161	Infinito

0- x metros

x (m)	t (s)
350	27,609

Velocidad máxima

106 Km/h en V	velocidad a 7534 rpm
---------------	----------------------

Adelantamientos

80-120 Km/h	t (s)
IV	infinito
V	infinito
VI	no disponible
De 60 a 100 Km/h	
en 5 ^a velocidad :	81,964

Cambio de marcha óptimo(rpm-Km/h)

1°-2°	2°-3°	3°-4°	4°-5°	5°-6°
3100	4600	4500	4500	21400
5,456	13,616	22,41	37,665	301,098

Transmisión

Velocidad	I	II	III	IV	V	VI
Relación de Cambio(km/h*1000rpm)	1,76	2,96	4,98	8,37	14,07	
Rendimiento	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900
Energía cinética rotación/traslación	0,070	0,070	0,070	0,060	0,060	0,060
tiempo de un cambio de marcha	0,65			rpm de arranque		0

Primer Vehículo

Marca y Modelo

URO VAMTAC S3 (400 VDC) LLENO SIN REDUCTORA

Dimensiones y Pesos

Peso en orden de marcha (kg)	6300
Superficie frontal (m ²)	2,460
CX	0,57

Motor (curvas de motor)

(Max. 25 puntos, recomendado más de 10)

r.p.m.	C.V.	Nm
0	0	0,000
500	23	323,012
1000	40	280,880
1500	67	313,649
2000	87	305,457
2500	109	306,159
3000	130	304,287
3500	131	262,823
4000	122	214,171
4500	117	182,572
5000	111	155,888
5500	109	139,163
6000	107	125,226
6500	104	112,352
7000	102	102,321
7500	100	93,627
8000	97	85,142
		0,000
		0,000
		0,000
		0,000
		0,000
		0,000
		0,000
		0,000

Condiciones ambientales

Presión (mb)	940
Temperatura (°C)	15

Condiciones Especiales

Velocidad del viento (km/h)	0
Pendiente de la carretera (%)	0

(signo positivo: condiciones favorables)

Prestaciones

(Calculadas con los datos indicados)

Aceleraciones

0-100Km/h (s)	63,497
0-200Km/h (s)	infinito
De 0 a 213 Km/h	817,07
0-400m (s)	29,620
0-1000m (s)	54,639

0- x Km/h

x (Km/h)	t (s)
161	Infinito

0- x metros

x (m)	t (s)
350	27,141

Velocidad máxima

120 Km/h en V	velocidad a	2842 rpm
---------------	-------------	----------

Adelantamientos

80-120 Km/h	t (s)
IV	infinito
V	infinito
VI	no disponible
De 60 a 100 Km/h	
en 5 ^a velocidad :	137,665

Cambio de marcha óptimo(rpm-Km/h)

1°-2°	2°-3°	3°-4°	4°-5°	5°-6°
4400	4600	4500	4500	7100
23,32	40,94	67,275	113,085	299,762

Transmisión

Velocidad

	I	II	III	IV	V	VI
Relación de Cambio(km/h*1000rpm)	5,3	8,9	14,95	25,13	42,22	
Rendimiento	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900
Energía cinética rotación/traslación	0,070	0,070	0,070	0,060	0,060	0,060
tiempo de un cambio de marcha	0,65			rpm de arranque		0

Primer Vehículo

Marca y Modelo

URO VAMTAC S3 (400 VDC) VACÍO CON REDUCTORA

Dimensiones y Pesos

Peso en orden de marcha (kg)	3500
Superficie frontal (m ²)	2,460
CX	0,57

Motor (curvas de motor)

(Max. 25 puntos, recomendado más de 10)

r.p.m.	C.V.	Nm
0	0	0,000
500	23	323,012
1000	40	280,880
1500	67	313,649
2000	87	305,457
2500	109	306,159
3000	130	304,287
3500	131	262,823
4000	122	214,171
4500	117	182,572
5000	111	155,888
5500	109	139,163
6000	107	125,226
6500	104	112,352
7000	102	102,321
7500	100	93,627
8000	97	85,142
		0,000
		0,000
		0,000
		0,000
		0,000
		0,000
		0,000
		0,000

Condiciones ambientales

Presión (mb)	940
Temperatura (°C)	15

Condiciones Especiales

Velocidad del viento (km/h)	0
Pendiente de la carretera (%)	0

(signo positivo: condiciones favorables)

Prestaciones

(Calculadas con los datos indicados)

Aceleraciones

0-100Km/h (s)	34,646
0-200Km/h (s)	infinito
De 0 a 213 Km/h	246,87
0-400m (s)	25,021
0-1000m (s)	46,559

0- x Km/h

x (Km/h)	t (s)
161	Infinito

0- x metros

x (m)	t (s)
350	22,976

Velocidad máxima

112 Km/h en V	velocidad a	7960 rpm
---------------	-------------	----------

Adelantamientos

80-120 Km/h	t (s)
IV	infinito
V	infinito
VI	no disponible
De 60 a 100 Km/h	
en 5 ^a velocidad :	24,905

Cambio de marcha óptimo(rpm-Km/h)

1°-2°	2°-3°	3°-4°	4°-5°	5°-6°
3100	4600	4500	4500	21400
5,456	13,616	22,41	37,665	301,098

Transmisión

Velocidad

	I	II	III	IV	V	VI
Relación de Cambio(km/h*1000rpm)	1,76	2,96	4,98	8,37	14,07	
Rendimiento	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900
Energía cinética rotación/traslación	0,070	0,070	0,070	0,060	0,060	0,060
tiempo de un cambio de marcha	0,65			rpm de arranque		0

Primer Vehículo

Marca y Modelo **URO VAMTAC S3 (400 VDC) VACÍO SIN REDUCTORA**

Dimensiones y Pesos

Peso en orden de marcha	(kg)	3500
Superficie frontal	(m ²)	2,460
CX		0,57

Motor (curvas de motor)

(Max. 25 puntos, recomendado más de 10)

r.p.m.	C.V.	Nm
0	0	0,000
500	23	323,012
1000	40	280,880
1500	67	313,649
2000	87	305,457
2500	109	306,159
3000	130	304,287
3500	131	262,823
4000	122	214,171
4500	117	182,572
5000	111	155,888
5500	109	139,163
6000	107	125,226
6500	104	112,352
7000	102	102,321
7500	100	93,627
8000	97	85,142
		0,000
		0,000
		0,000
		0,000
		0,000
		0,000
		0,000
		0,000

Condiciones ambientales

Presión	(mb)	940
Temperatura	(°C)	15

Condiciones Especiales

Velocidad del viento	(km/h)	0
Pendiente de la carretera	(%)	0

(signo positivo: condiciones favorables)

Prestaciones

(Calculadas con los datos indicados)

Aceleraciones

0-100Km/h (s)	28,513
0-200Km/h (s)	infinito
De 0 a 213 Km/h	970,76
0-400m (s)	24,021
0-1000m (s)	44,429

0- x Km/h

x (Km/h)	t (s)
161	Infinito

0- x metros

x (m)	t (s)
350	22,050

Velocidad máxima

142 Km/h en V velocidad a 3363 rpm

Adelantamientos

80-120 Km/h	t (s)
IV	38,373
V	47,332
VI	no disponible
De 60 a 100 Km/h	
en 5 ^a velocidad :	36,078

Cambio de marcha óptimo(rpm-Km/h)

1º-2º	2º-3º	3º-4º	4º-5º	5º-6º
4400	4600	4500	4500	7100
23,32	40,94	67,275	113,085	299,762

Transmisión

Velocidad

	I	II	III	IV	V	VI
Relación de Cambio(km/h*1000rpm)	5,3	8,9	14,95	25,13	42,22	
Rendimiento	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900
Energía cinética rotación/traslación	0,070	0,070	0,070	0,060	0,060	0,060

tiempo de un cambio de marcha 0,65

rpm de arranque

0