

# En Profundidad

## Desarrollo de un vehículo militar de transporte operativo propulsado por un sistema de tracción eléctrico con extensión de autonomía

**Autores:** José María López, Víctor del Pozo, Nuria Flores, Otón Ignacio Peñuelas, Javier Muñoz, Daniel Resino, David Marcos, INSIÁ.

**Palabras clave:** Simulación, *Hardware-in-the-Loop*, Vehículo híbrido, Extensor de autonomía.

**Metas tecnológicas relacionadas:** MT 3.3.2.

### Introducción

En los últimos años, la electrificación de los vehículos terrestres se ha convertido en la tónica habitual, debido fundamentalmente a la necesidad de reducir el consumo y las emisiones contaminantes del transporte rodado en las sociedades del siglo XXI. En el ámbito de la defensa, la electrificación de los sistemas de propulsión de los vehículos terrestres cuenta con algunas ventajas adicionales, como son fundamentalmente sus menores huellas térmica y sonora así como la posibilidad de contar con suministro de energía eléctrica para todos los equipos auxiliares embarcados, cada vez más demandantes. Es por ello que en la ETID 2015 se especifica como objetivo concreto «incrementar el grado de electrificación de plataformas a través del desarrollo tecnologías de propulsión híbrida y eléctrica».

Como respuesta a esta necesidad, la Universidad Politécnica de Madrid, y concretamente el INSIÁ, presenta en el marco del programa COINCIDENTE 2015 una propuesta junto con UROVESA para la implementación de un prototipo de vehículo de transporte operativo con tracción puramente eléctrica y extensión de rango sobre la base de un URO VAMTAC (Proyecto ATHEMTO). El objetivo principal del proyecto presentado es la construcción de un vehículo URO VAMTAC

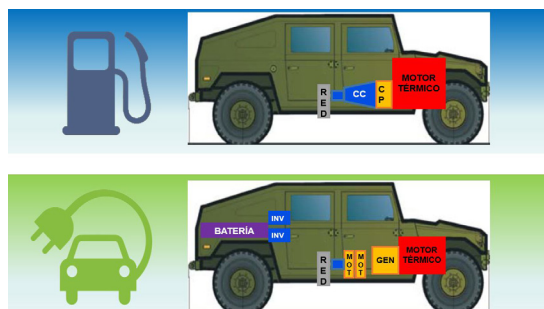


Fig. 1. Esquema de sistema de tracción convencional frente al desarrollado. (Fuente: INSIÁ).

completamente funcional, movido exclusivamente por motor eléctrico, alimentado por baterías y equipado con un grupo generador que permita una autonomía extendida. Como objetivos específicos se plantea que las prestaciones principales del vehículo no se vean modificadas.

### Descripción del proyecto

El objetivo principal del proyecto ATHEMTO ha sido desarrollar un prototipo demostrador de vehículo de transporte militar operativo, con tracción totalmente eléctrica y rango extendido basado en el URO VAMTAC. Para ellos, se ha eliminado la caja de cambios con convertidor de par presentes en el sistema de tracción del vehículo convencional, desacoplándose por completo el motor de combustión de la cadena cinemática que lo une con las ruedas (figura 1). En su lugar

se han instalado dos motores eléctricos responsables del movimiento del vehículo y un tercero a modo de generador conectado al motor de combustión (que ha sido reducido en tamaño) que suministra energía eléctrica de forma controlada para asegurar el funcionamiento requerido, dependiendo del modo de operación seleccionado por el conductor.

### Desarrollo

Desde el comienzo del proyecto se definieron los **requisitos funcionales** que debía cumplir el tren propulsor del vehículo de tal forma que las prestaciones principales del vehículo no se vieran modificadas. Estos requisitos se resumen en las siguientes prestaciones objetivo, que se aplican al modelo de simulación con el que se definen las características del tren propulsor:

- Pendiente máxima superable: 60% a 10 km/h.
- Pendiente mantenida: 5% a 60 km/h.
- Velocidad máxima en llano: de 110 km/h.

Asimismo, para este proyecto se ha desarrollado un **modelo de simulación** de vehículo de tracción a las 4 ruedas (4WD) empleando una herramienta *software* comercial (figura 2).

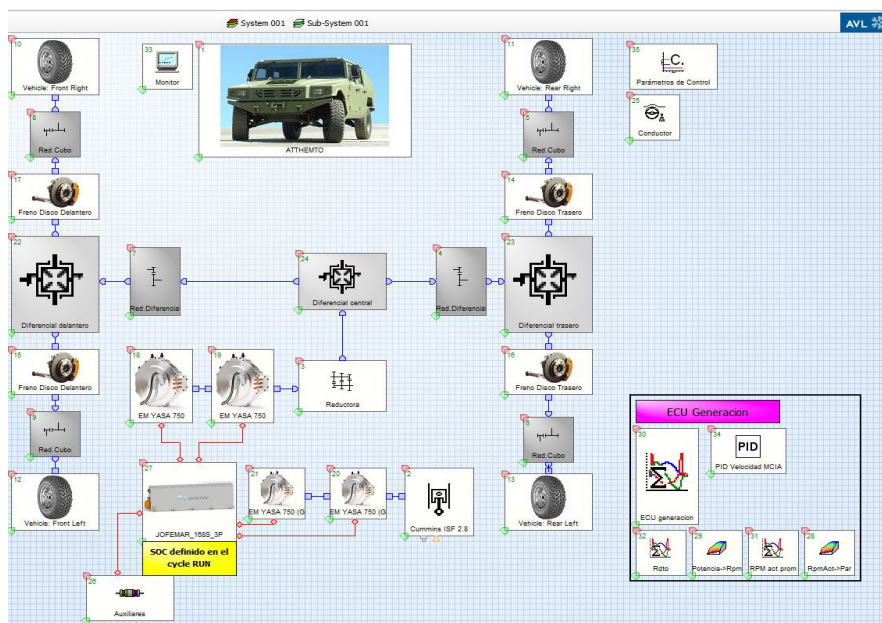


Fig. 2. Modelo de simulación de la planta de vehículo. (Fuente: INSIÁ).

Dicho modelo incluye todas las conexiones mecánicas, eléctricas y buses de comunicación entre componentes electrónicos, de tal forma que se simula el comportamiento completo y detallado del sistema de propulsión.

Durante este trabajo, el modelo se usa para calcular la respuesta del vehículo ante una señal de control de solicitud de par a los motores eléctricos, bajo unas condiciones determinadas (pendientes, peso total del vehículo, etc.) y así obtener la velocidad alcanzada con un error mínimo.

El **dimensionado de componentes** se lleva a cabo mediante el modelo de simulación, con el cual se determinan las características requeridas para los mismos de cara a poder realizar una labor de búsqueda de componentes en el mercado. Las prestaciones objetivo de los componentes a seleccionar han sido las siguientes:

- Motor eléctrico: régimen de giro superior a 3000 rpm y potencia superior a 200kW.
- Batería de HV: tensión nominal por encima de 600Vdc y capacidad superior a 35Ah.
- Motor térmico: potencia nominal superior a 120kW.

Por su parte, los **algoritmos de control** se han desarrollado en forma de máquina de estados mediante un *software* comercial, por medio del cual se definen varios estados finitos. El concepto se basa en determinar en qué estado se encuentra el vehículo y, en definitiva, el tren de propulsión, dependiendo de varias variables. El

algoritmo a su vez supervisa los posibles errores y alarmas de los diferentes sistemas y, dependiendo de la severidad de los mismos, gestiona sus propios estados y los de los demás componentes garantizando en todo momento la seguridad de operación del vehículo.

Una vez se ha validado el algoritmo de control, este está listo para ser testeado en el controlador *hardware* real (ECU). El código resultante se compila y programa en la memoria del controlador, el cual en ese momento está preparado para las pruebas *Hardware-in-the-Loop*, en las que se hará comunicar el controlador con el modelo de simulación corriendo en el PC a través de interfaces de comunicación CAN; de esta manera es posible hacer funcionar la centralita real exactamente del mismo modo que lo hace el propio vehículo, pues tanto las redes de comunicación como las señales analógicas y digitales están simuladas.

Dentro del algoritmo de control, se han establecido 3 modos de conducción, los cuales son seleccionables por el piloto:

- **Modo eléctrico puro:** el vehículo funciona sólo con las baterías.
- **Modo híbrido ECO:** el vehículo funciona en híbrido serie recargando las baterías con la potencia justa para mantener el estado de carga de las mismas.
- **Modo híbrido POWER:** el vehículo funciona en híbrido serie recargando las baterías con la máxima potencia disponible en ese momento en el grupo generador.

Por otro lado, los trabajos de **integración** de los distintos componentes han sido realizados por el propio fabricante del vehículo (UROVESA), y han consistido tanto en un estudio de la distribución de componentes en el vehículo como el diseño y cálculo de aquellas piezas nuevas necesarias para su montaje. El resultado ha sido un vehículo con la misma habitabilidad interior en lo que a pasajeros se refiere; la zona de carga por el contrario se ha visto prácticamente inutilizada por tratarse de un prototipo (figura 3).

En cuanto a la **validación y pruebas sobre el prototipo**, los resultados más relevantes del presente proyecto se han valorado mediante el testeo del prototipo en pista. Con este fin se ha instrumentado el vehículo con el objetivo de registrar las variables analógicas de tensión y corriente del bus DC del vehículo, temperaturas de los sistemas de refrigeración y todas la redes CAN del mismo (figura 4).

Las pruebas se han realizado teniendo en cuenta los requisitos funcionales del vehículo, los cuales son:

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

Para la realización del ensayo de **rampa máxima**, se utilizaron pistas de pruebas con rampas normalizadas longitudinales del 30%, 40% y 60%. Se realizaron los ensayos tanto



Fig. 3. Integración de los componentes en el vehículo. (Fuente: INSIA).



Fig. 4. Prototipo instrumentado durante las pruebas. (Fuente: INSIA).



## En profundidad

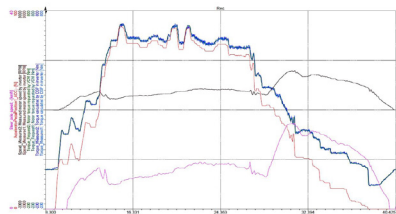


Fig. 5. Señales de velocidad, pedal de acelerador, régimen de giro y par motor durante maniobra de subida de pendiente del 60%. Posición reductora: cortas. (Fuente: INSIA).

en subida directa como con parada y arranque en medio de la rampa. A excepción de la pendiente del 30% en subida directa, se emplearon las marchas cortas para el desarrollo de estas pruebas. Para el caso de la prueba del 60% de pendiente, se logró superar con éxito con un pedal del 90% de acelerador y una velocidad de 10 km/h (figura 5).

De igual modo se registró una **velocidad máxima** de 95 km/h (figura 6). Se puede observar también como en ningún caso la velocidad de giro de los motores supera su valor máximo recomendado de 3.500 rpm. Además, la batería también respeta su límite de consumo, contando aún con un margen superior a 100 A de descarga.

Con el fin de calcular la **autonomía** del vehículo en modo eléctrico puro, se circuló por el anillo de velocidad manteniendo la velocidad máxima constante, con un estado de carga inicial del 97%. La prueba terminó cuando el SOC de la batería disminuyó por debajo del 20%, momento en el que el vehículo pasa automáticamente a modo híbrido para mantener el estado de carga. El vehículo estaba ocupado por el conductor y tres ingenieros y el depósito de combustible lleno. Los resultados de la prueba (figura 7) fueron la de una autonomía en eléctrico de 50 km.

A partir del momento que se activa el modo híbrido, se recorren otros

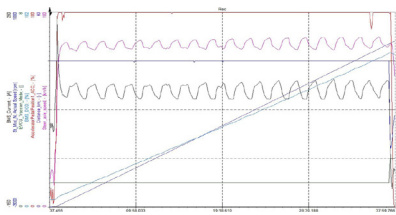


Fig. 7. Autonomía en modo eléctrico. (Fuente: INSIA).

100 km para determinar la autonomía en esas condiciones. Teniendo en cuenta una capacidad de 110 litros de combustible, los resultados obtenidos en función de la distancia recorrida han sido de una autonomía máxima de 622 km (figura 8).

### Conclusiones

El proyecto ATHEMTO ha dado como resultado el primer vehículo prototipo de transporte operativo militar realizado en España. Como principales conclusiones cabría destacar:

- El vehículo es capaz de superar la pendiente del 60% sin necesidad de emplear todo el par disponible por los motores de tracción, por lo que sería posible subir una pista con una inclinación mayor.
- La autonomía en modo eléctrico a velocidad máxima mantenida es de 50 km. En otras circunstancias representativas de otro tipo de conducción, como podría ser un ciclo de menor velocidad y con frenadas, esta autonomía sería superior ya que la frenada regenerativa permitiría recuperar parte de la energía en frenadas y deceleraciones.
- El consumo a velocidad máxima mantenida oscila entre 12,8 y 17,7 l/100km, en función de la distancia recorrida, y por tanto del porcentaje que supongan los 50km en eléctrico puro. Al no haber podido contar con una unidad de pruebas equivalente en diésel, no ha sido posible valorar comparativamente este punto, si bien el orden de magnitud está en valores similares. Este resultado era el esperado teniendo en cuenta que el ensayo seleccionado (velocidad máxima constante) ha sido el de «peor caso» y no da lugar a recuperación de energía alguna.
- La velocidad máxima del vehículo con la configuración del prototipo resulta algo escasa, algo ya previsto y conocido y que no se considera un grave problema desde el punto de vista de diseño, pues está previsto dotar a futuras unidades con cajas de reducción cuya relación en largas sea algo superior.
- El funcionamiento silencioso de la unidad ha sido muy bien valorado para la aplicación. Debido a los

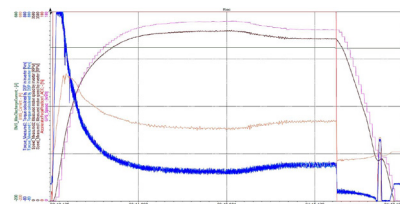


Fig. 6. Velocidad máxima prototipo. (Fuente: INSIA).

materiales utilizados, su ubicación y sus características técnicas, las ventajas que presenta resultan adecuadas para un cierto tipo de misiones (puestos de control, vigilancia, etc.) en las que las bajas huellas térmicas y sonoras supongan una ventaja táctica.

Debido a la multitud de componentes necesarios para el sistema de tracción, el vehículo prototipo ha visto reducida su capacidad de carga, no tanto por peso sino por volumen ocupado. Muchas de las soluciones seleccionadas en su construcción se han visto condicionadas tanto por el hecho de ser un prototipo (es necesario contar con puntos de medida para realizar ensayos) como por plazos de entrega y por tratarse de una única unidad. El equipo técnico considera que una vez demostrada su viabilidad, es posible mejorar en gran medida el empaquetamiento de los componentes y su distribución para recuperar capacidad de carga.

En cuanto a la capacidad de vadeo del vehículo, la existencia de máquinas eléctricas como los motores de tracción y el generador eléctrico que están en parcialmente por debajo de la cota de vadeo estándar de 750 mm hacen que el cumplimiento de esta capacidad se vea limitado. En futuros desarrollos se propone realizar mejoras en las prestaciones de vadeo.

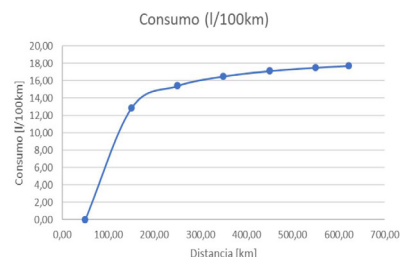


Fig. 8. Consumo de combustible en función de la distancia recorrida. (Fuente: INSIA).