

# Diseño y desarrollo de un vehículo híbrido multipropósito y ligero para servicios urbanos

F. J. Sánchez Alejo, J. M. López Martínez, F. Jiménez Alonso,  
T. Vicente Corral, M.A. Álvarez Borea, J. Vila Vilariño

*Universidad Politécnica de Madrid*

*INSIA. Campus Sur UPM. Carretera de Valencia km 7, 28031 Madrid*

*Teléfono: 91 336 53 16/00. Correo electrónico: [javsanchez@etsii.upm.es](mailto:javsanchez@etsii.upm.es)*

Área Temática: Vehículos y Transportes

## Resumen

La necesidad de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> ha obligado a los fabricantes de automóviles a mejorar el consumo de combustible de sus vehículos y a desarrollar arquitecturas híbridas de propulsión, tanto gasolina – eléctrico como con pila de combustible. Aunque la configuración de este tipo de vehículos híbridos puede ser similar a la de los tradicionales de motor térmico, nuevos componentes implican nuevas posibilidades de reconfigurar el sistema de propulsión, diferentes distribuciones de volúmenes y pesos, de manera que se puede mejorar su dinámica y sus prestaciones. El origen del proyecto presentado es la respuesta del INSIA a las necesidades de una empresa de equipamiento urbano de tener un vehículo híbrido para aplicaciones ligeras. Está diseñado para equipar diferentes configuraciones híbridas, tanto de gasolina como de pila de combustible y, por petición del cliente, dispone de paneles solares en el techo de la cabina y de la caja de carga.

**Palabras Clave:** vehículo híbrido, ergonomía, dinámica vehicular, análisis estructural

## Abstract

The need of reducing the volume of CO<sub>2</sub> emissions has oblige the automotive industry to improve fuel consumption and develop hybrid power train, both with gasoline – electric engines and fuel cell. Although these kind of hybrid vehicle's configuration can be quite similar to traditional gasoline engine ones, new components means new ways of re-configure the lay out of the power train, with different distribution of volumes and weights and, indeed, to improve vehicle dynamics and performance. The origin of this project is the response of INSIA to the needs of a Spanish company focused on urban services to the availability of having special light hybrid vehicles for their light local works. The vehicle is prepared to be installed different hybrid power train configuration both with gasoline engine and fuel cell, and, as a customer request, solar panels are also included on the roof of cabin a load box.

**Keywords:** hybrid vehicle, ergonomoy, vehicle dynamic, structural analysis

## 1. Introducción

Tanto la presión social como unas normas anticontaminantes cada vez más estrictas están obligando a los fabricantes de vehículos a desarrollar nuevas arquitecturas híbridas para vehículos propulsados total o parcialmente por motores eléctricos. Sin

embargo, aunque en la actualidad su tecnología no está lo suficientemente desarrollada como para convertirse en una alternativa real, todos los indicios vaticinan que será el hidrógeno el que ostentará en un futuro no muy lejano el protagonismo de la movilidad por carretera [1, 2]. En este contexto, la necesidad de desarrollar vehículos híbridos especiales y ligeros para aplicaciones urbanas está bien justificada, más incluso cuando las empresas de automoción están centradas en producciones de gran escala de vehículos de uso general.

El diseño de un nuevo vehículo preparado para ser dotado de propulsión tanto híbrida gasolina-eléctrico como por pila de combustible ofrece nuevas posibilidades de configuración, ya que entran en juego nuevos componentes que admiten cierta libertad de ubicación jugando con la distribución de volúmenes y pesos [3, 4]. Así, la disposición final puede ser establecida utilizando criterios volumétricos, ergonómicos, de comportamiento dinámico y de resistencia estructural en caso de colisión.

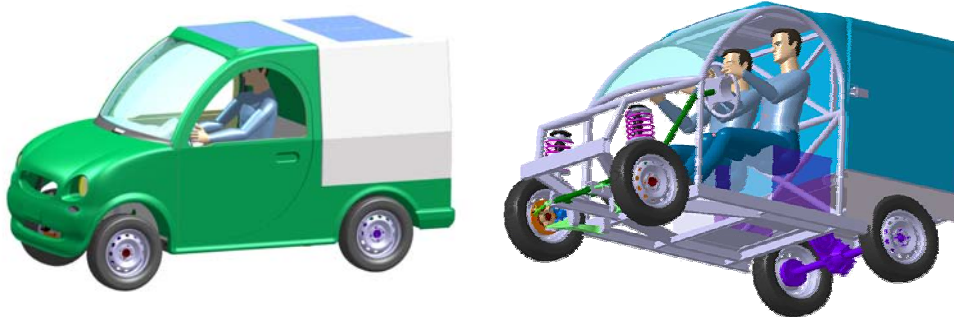
Con el vehículo aquí presentado, denominado EPISOL, el INSIA ha tratado de satisfacer las necesidades de una importante empresa de equipamiento urbano de tener un vehículo híbrido para aplicaciones ligeras, como es la recogida de baterías usadas de las marquesinas de los autobuses.

Debido a las especiales características del servicio a que está destinado, en que realizará numerosas y prolongadas paradas frente a distintos elementos de mobiliario urbano, el cliente solicitó la disposición de paneles solares en el techo de la cabina y de la caja de carga, de manera que las baterías puedan ser recargadas, aunque en baja proporción, durante dichas paradas.

## **2. Especificaciones del vehículo**

El vehículo está preparado para transportar dos personas en la cabina, y tiene una caja de carga en la parte trasera. El chasis es de acero y la carrocería de poliéster reforzado con fibra de vidrio. Por sencillez de construcción dispone de un eje rígido trasero con propulsión, y suspensión tipo McPherson delantera. Tanto la suspensión como otros muchos componentes han sido tomados de vehículos automóviles convencionales. El peso en orden de marcha es de 680 Kg., siendo el peso en Kg. de sus principales

componentes los siguientes: chasis (120), carrocería (45), caja de carga (60), interior (100), motor eléctrico (70), eje trasero (50), eje delantero (40).



*Figuras 1 y 2. Imágenes del vehículo*

Además de estos componentes, cuya elección y posición está prefijada por el diseño del vehículo, tenemos la pila de combustible (30), la bombona de hidrógeno (18), las baterías (120) y un conjunto de componentes menores (32 Kg. en total) como son el compresor de aire, el radiador o la electrónica de control. Son todos estos los componentes cuya ubicación no está necesariamente prefijada de antemano, y que nos permitirán aplicar criterios geométricos o ergonómicos por un lado, de dinámica vehicular por otro y, por último, de resistencia estructural.

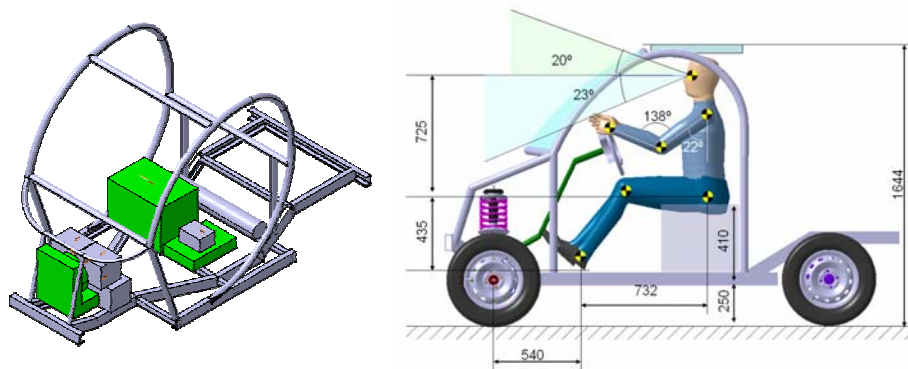
### **3. Análisis realizados**

Como se ha indicado anteriormente, para poder elegir la configuración de propulsión más adecuada se han realizado tres tipos de análisis teniendo en cuenta otros tantos aspectos fundamentales del vehículo:

#### **3.1.- Geometría y ergonomía**

La primera acción llevada a cabo después de seleccionar los componentes más adecuados para la propulsión del vehículo, esto es, pila de combustible, bombona – depósito de hidrógeno, baterías, radiador y electrónica, fue modelizarlos en 3D utilizando el programa CATIA, con el que previamente se había diseñado el resto del vehículo. Los espacios destinados a estos componentes son el vano motor, una caja disponible bajo los asientos del conductor y pasajero, y la zona inmediatamente

posterior a dichos asientos, bajo la caja de carga. Este tipo de análisis permite comprobar la factibilidad de las distintas configuraciones inicialmente posibles, estudiando sus posibilidades geométricas, de montaje, de compatibilidad físico – eléctrica, de mantenimiento a lo largo de su ciclo de vida, etc. Dado que se disponía de un espacio limitado, un aspecto especialmente importante a tener en cuenta ha sido la ergonomía del puesto de conductor. El hecho de que el conductor realizará en su trabajo constantes subidas y bajadas para realizar los servicios encomendados, recomendaba posicionarlo a una altura considerable, de manera que el esfuerzo al entrar y salir del vehículo resultase mínimo, lo cual permitía tener un amplio espacio bajo el asiento. Por otra parte, al intentar colocar más componentes en la parte delantera provocaba la necesidad de retrasar los pedales, y con ello los ángulos de accionamiento de las piernas, lo que influiría en la comodidad y seguridad.



*Figuras 3 y 4. Análisis geométrico y ergonómico de las posibles configuraciones*

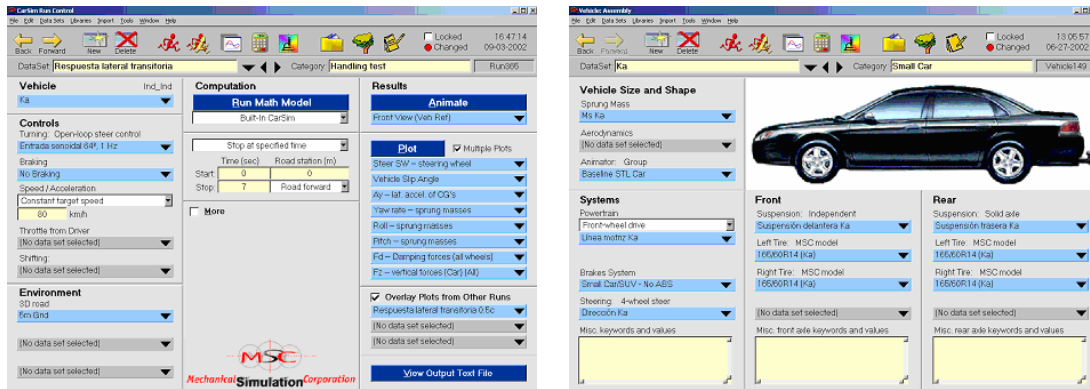
Como resultado se determinó que las que mejores opciones eran dos, y que serían éstas las que pasarían a ser analizadas desde los otros análisis:

- En la primera, la pila de combustible y la electrónica se situarían bajo el asiento, las baterías y el radiador en el vano motor (configuración 1).
- En la segunda, la pila de combustible, la electrónica y el radiador irían situadas en el vano motor, las baterías bajo el asiento (configuración 2).

En ambos casos la bombona de hidrógeno se situaría en la zona más protegida, es decir, en la parte inferior tras el asiento.

### 3.2. Dinámica vehicular.

La posibilidad de distribución de pesos en el vehículo tiene una influencia directa sobre la dinámica vehicular global, así como en la selección concreta de los componentes. Con el fin evaluar este comportamiento dinámico ante maniobras, se ha recurrido al programa de simulación Carsim de Mechanical Simulation Corporation [5]. En este programa, la interacción vehículo-conductor-carretera viene traducida en tres modelos (Fig. 5 y 6): el modelo de vehículo, el modelo de carretera y el modelo de conductor.



*Figuras 5 y 6. Pantallas principal y de definición del vehículo del programa Carsim*

Los análisis más interesantes para este vehículo son las maniobras de frenado y giro estacionario de volante, las cuales se realizaron para cada una de las configuraciones a considerar, obteniendo unos resultados comparativos que figuran en la tabla 1.

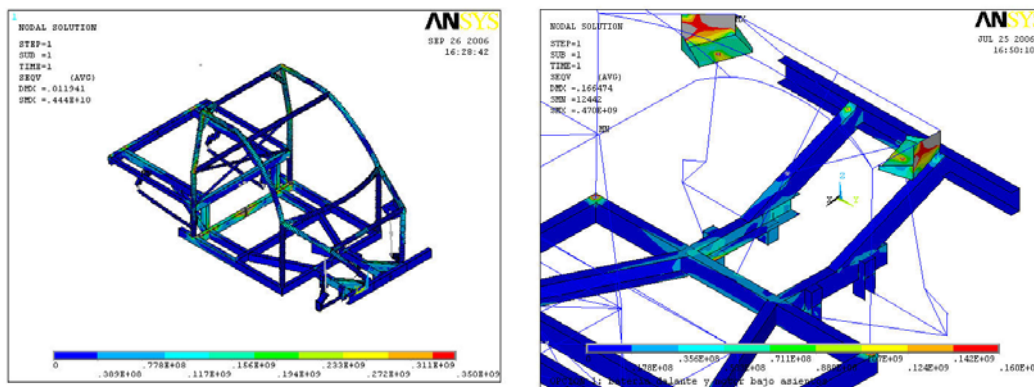
**Tabla 1:** Comparación de resultados de las simulaciones dinámicas (variaciones de la configuración 2 respecto de la 1)

Maniobra	Ángulo carrocería		Fuerza en neumáticos		Transferencia de carga vertical
	Cabeceo	Balaneo	Fx	Fy	Fz
Frenado	+40.3 %	-	-5.2 %	-	-7.0 %
Giro estacionario	-	-8.4 %	-	-19.6 %	-6.5 %

### 3.3.- Resistencia estructural

Desde el punto de vista estructural interesa estudiar, para cada posible configuración de componentes, las solicitaciones ejercidas sobre el chasis, de manera que éste se

comporte de manera adecuada ante maniobras como aceleraciones y frenazos bruscos, baches (aceleración vertical), pasos por badén (elevación de uno de los ejes), curvas, torsión una de las ruedas (subida a un bordillo de 10 cm. de altura), etc. Pero por otra parte interesaba estudiar en cada caso cómo se comportaría el vehículo ante un eventual choque frontal y ante un vuelco, de manera que se garantizara la protección de los usuarios. Para realizar dichos cálculos se ha utilizado el programa ANSYS de análisis por elementos finitos, modelizando el chasis y sus componentes, y sometiéndole a las solicitaciones exigibles en el proceso de homologación de este tipo de vehículos.



*Figuras 7 y 8. Imágenes del análisis por elementos finitos en ANSYS*

#### 4. Conclusiones

En el presente artículo se han analizado los distintos criterios utilizados para la ubicación definitiva de los componentes motrices de un vehículo propulsado por pila de combustible. De las múltiples posibilidades teóricas iniciales, el análisis geométrico y ergonómico ofreció sólo dos como factibles, aunque por mantenimiento de la pila de combustible parecía más conveniente situarla en el vano motor (opción 2). De igual forma, desde el punto de vista de la dinámica vehicular parecía más conveniente esta opción, ya que situaba el componente más pesado, las baterías, en la parte central del vehículo. Sin embargo, la resistencia frente al choque aconsejaba situar las baterías en la zona frontal (opción 1). Reunidos los responsables de cada tipo de análisis se eligió finalmente la opción 2 como la definitiva, ya que el ensayo a choque frontal cobra menos fuerza en un vehículo urbano la baja velocidad, siempre que se garanticen unos mínimos que quedaban perfectamente cubiertos en esta configuración. Con los análisis realizados se ha obtenido una amplia e interesante información que ha permitido tomar las decisiones de diseño de una manera rigurosa y soportada técnicamente.

## 5. Referencias

- [1]. P. Gott, J.-R. Linna y J. P. Mello. “The evolution of powertrain technology 2008 and beyond: engines, hybrids, battery electric, fuel cells and transmissions”. Proceedings of FISITA 2004 Congress. Barcelona, (2004).
- [2]. L. E. Unnerwehr, J. E. Auiler, L. R. Foote, D. F. Moyer y H. L. Stadler. “Hybrid vehicle for fuel economy”. SAE paper n° 760121. (1976)
- [3]. Z. Filipi, L. Louca, B. Daran, C.-C. Lin, U. Yildir, B. Wu, M. Kokkolaras, D. Assanis, H. Peng, P. Papalambros, J. Stein, D. Szkubiel y R. Chapp. “Combined optimisation of design and power management of the hydraulic hybrid propulsion system for the 6 × 6 medium truck”. Int. J. of Heavy Vehicle Systems, Vol. 11, n° 3/4, (2004)
- [4]. C. Lin, Z. Filipi, Y. Wang, L. Louca, H. Peng, D. Assanis y J. Stein. “Integrated, feed-forward hybrid electric vehicle simulation in SIMULINK and its use for power management studies”, SAE Paper 2001-01-1334, (2001)
- [5]. Mechanical Simulation Corporation. *CARSIM 5: Math models manual*. Mechanical Simulation Corporation, Michigan, (2001)

## 6. Agradecimientos

El diseño y construcción del vehículo híbrido objeto del presente artículo ha sido parcialmente financiado por CEMUSA y el Ministerio de Medio Ambiente, a quienes los autores quieren manifestar su agradecimiento, y en especial a Juan Norberto Morñigo, Director de Ingeniería e Investigación de CEMUSA, de quien surgió la idea inicial y quien lo ha apoyado durante todo el proceso de desarrollo. Los autores quieren también agradecer la participación en el proyecto del Instituto de Automática Industrial del CSIC, especialmente al Dr. Domingo Guinea y a su equipo.