

ANEXOS

ÍNDICE ANEXOS

Anexo I. Configuraciones de vehículos híbridos	28
Anexo II. Sistemas de almacenamiento y producción de energía	33
Anexo III. Estudios previos relacionados	64
Anexo IV. Ciclos de funcionamiento	71
Anexo V. Análisis de modelos eléctricos e híbridos actuales	73
Anexo VI. Procedimiento para las simulaciones. Aplicación informática “Advisor”	91
Anexo VII. Ampliación de resultados de las simulaciones	96
Anexo VIII. Ahorro de emisiones y consumos	113

ANEXO I. CONFIGURACIONES DE VEHÍCULOS HÍBRIDOS

Tal y como se anunciaba en el documento principal, se va a proceder a completar la explicación de las diferentes configuraciones de vehículos híbridos.

I.1. CONFIGURACIÓN SERIE

Los vehículos con configuración serie se consideran, a partir de la definición dada en la memoria y atendiendo a la clasificación establecida anteriormente, *híbridos según sistema energético* cuando usan una célula de combustible como sistema de generación de energía (en serie con un sistema de almacenamiento de energía) e *híbridos según motorización* cuando utilizan un motor térmico como generador de energía.

Su implementación más habitual es la de un motor térmico acoplado a un generador, el cual recarga las baterías de tracción que alimentan al motor eléctrico de tracción. En el caso de las células de combustible, la implementación es similar a la anterior, pero sin necesidad de generador, ya que la célula proporciona directamente energía eléctrica. Nótese que en los casos en los que se utiliza un motor térmico, no existe conexión directa entre éste y las ruedas. Por lo tanto, la energía mecánica del motor térmico se convierte en eléctrica en el generador, la cual se convierte de nuevo en mecánica en el motor eléctrico. Para el caso de vehículos con célula de combustible, el primer cambio de energía mecánica a eléctrica no tiene lugar, puesto que dicha célula, como ya se ha comentado, proporciona directamente energía eléctrica.

A continuación, un esquema explicativo de la configuración serie (figura I.1):

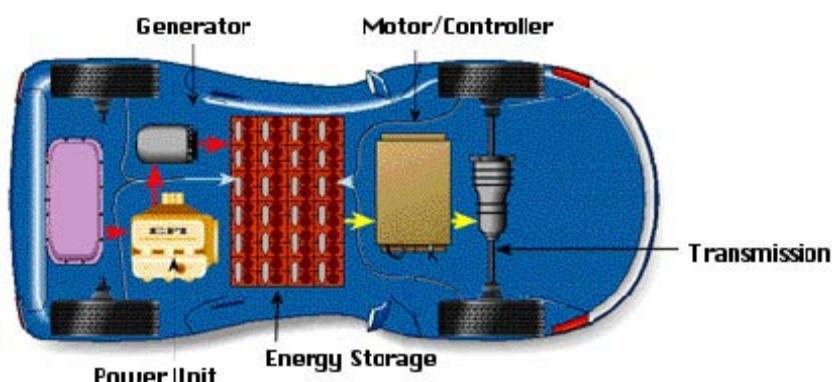


Figura I.1. Vehículo con configuración híbrida serie.

I.2. CONFIGURACIÓN PARALELO

Los vehículos cuya configuración es en paralelo se consideran, a partir de la definición propuesta en el documento principal y atendiendo a la clasificación establecida previamente, vehículos híbridos según motorización, aunque algunos de ellos pueden

ser también al mismo tiempo vehículos híbridos según sistema energético, en caso de utilizar más de un tipo de sistema de almacenamiento de energía.

A continuación un esquema general de la configuración paralelo (figura I.2):

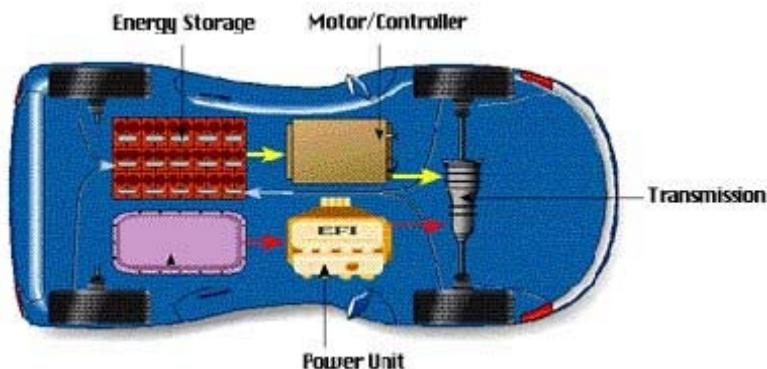


Figura I.2. Vehículo con configuración híbrida paralelo.

La manera más habitual de llevarse a cabo es la de utilizar un motor térmico, un motor eléctrico y un sistema de almacenamiento de energía consistente en baterías, si bien la manera en que se organicen conduce a diferentes tipos de configuraciones en paralelo, las cuales se describen a continuación:

- Motor térmico y eléctrico con acoplamiento pilotado:

La unión se realiza mediante un sumador de velocidades o un combinador de pares. Es la configuración que permite mayores posibilidades en cuanto a modos de operación (permite los seis descritos anteriormente). Incluye normalmente un generador, cuyo rendimiento siempre es mayor que el de un motor funcionando como generador.

Es habitual aprovechar esta unión de tres ejes (motor térmico, motor eléctrico o generador y eje de tracción) para obtener una transmisión de variación continua mediante un sistema reductor planetario. Esta configuración posibilita una gran libertad de operación, pudiéndose casi considerar como un nuevo tipo de configuración híbrida: el híbrido en serie – paralelo.

Su ventaja es la libertad en cuanto a modos de funcionamiento, lo que conseguirá, por lo general, un funcionamiento con más alto rendimiento.

Su inconveniente es que debe existir acoplamiento mecánico entre las partes y el diseño se vuelve más complejo, más aún si se incluye generador.

- Motor térmico y eléctrico en el mismo eje:

Se trata de acoplar un motor eléctrico al eje de tracción de un vehículo convencional, dotándole de un sistema de almacenamiento de energía. Es una solución muy compacta.

Su ventaja es precisamente su sencillez y compacidad, lo cual hace que las exigencias en cuanto a diseño del conjunto sean bajas. El aumento de peso y precio respecto a un modelo no híbrido serán bajos por tanto.

Su inconveniente es que, al no existir la posibilidad de desacoplar motor térmico y eléctrico, no se puede operar en las seis condiciones descritas anteriormente, con la correspondiente pérdida de rendimiento. A este hecho contribuye el no contar con un generador y tener que utilizar un motor como sustituto.

- Motor térmico y eléctrico en diferentes ejes del vehículo:

Configuración en la que el acoplamiento entre motores se realiza en la carretera, es decir, cada motor está montado en un eje distinto, sin conexión mecánica alguna. La configuración más habitual es la de contar en el eje delantero con un sistema similar al de un vehículo convencional, mientras que en el trasero se monta un motor – generador, eléctrico junto con un sistema de almacenamiento de energía.

Su ventaja es la libertad de diseño que conlleva. Es una configuración que se presta a la conversión de un vehículo convencional en híbrido, puesto que no requiere modificación en la parte de vehículo convencional. Además, con este sistema conseguimos un vehículo de tracción integral, con las ventajas que ello conlleva, según sean las exigencias de funcionamiento.

Su inconveniente es que, a diferencia del primer tipo expuesto, no permite operar en los seis modos de funcionamiento posibles. En concreto es imposible la recarga de los sistemas de energía con el vehículo detenido, puesto que no existe unión directa entre motor térmico y motor – generador. Asimismo, el hecho de utilizar un motor – generador en lugar de un generador le hace disminuir su eficiencia.

I.3. MODOS DE FUNCIONAMIENTO

Aunque los modos de funcionamiento de los vehículos híbridos ya han sido presentados en el documento principal, se procede ahora a comentarlos más en profundidad con el apoyo de un dibujo esquemático. Se utilizará el esquema del sistema de energía de un vehículo híbrido paralelo que monte motor térmico y eléctrico con acoplamiento pilotado y batería, ya que esta configuración permite todos los modos de operación posibles en cualquier vehículo híbrido.

- *Modo sólo eléctrico*: se utiliza cuando las exigencias son bajas, por ejemplo en circulación urbana, con bajas velocidades. Operando en este modo, el vehículo es similar a un vehículo eléctrico puro, ya que consume la energía almacenada mientras

que el motor térmico permanece desconectado. A continuación un esquema explicativo (figura I.3):

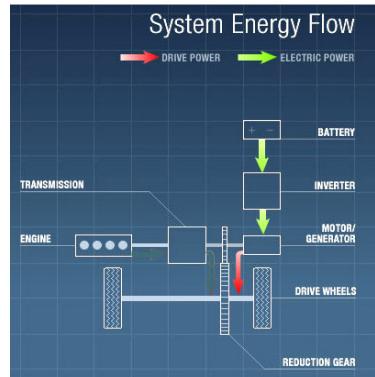


Figura I.3. Esquema del funcionamiento en modo sólo eléctrico. Fuente: [1].

- *Modo sólo motor térmico*: operando en este modo, el vehículo actúa de la misma manera que un vehículo convencional de motor de combustión. Se utiliza para altas velocidades, por ejemplo, conducción en carretera. A continuación un esquema explicativo (figura I.4):

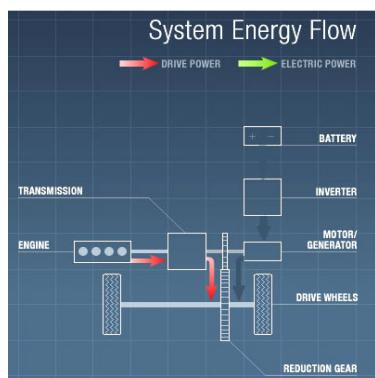


Figura I.4. Esquema del funcionamiento en modo sólo térmico. Fuente: [1].

- *Modo motor térmico más recarga del sistema de almacenamiento*: cuando en el modo anterior (sólo motor térmico) se produce un excedente de energía, dicha cantidad de energía se destina al sistema de almacenamiento. A continuación un esquema explicativo (figura I.5):

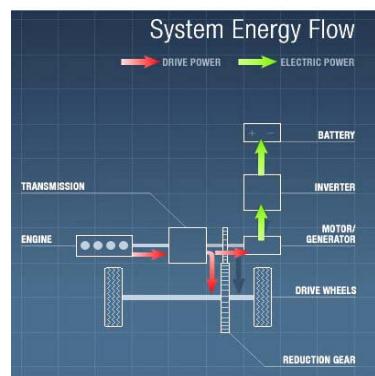


Figura I.5. Esquema del funcionamiento en modo térmico más recarga. Fuente: [1].

- *Modo motor térmico más motor eléctrico*: se opera en este modo cuando los requerimientos de potencia son máximos, por ejemplo en pendientes o aceleraciones. Ambos motores operan al mismo tiempo, sumándose su contribución para obtener las máximas prestaciones. A continuación, un esquema explicativo (figura I.6):

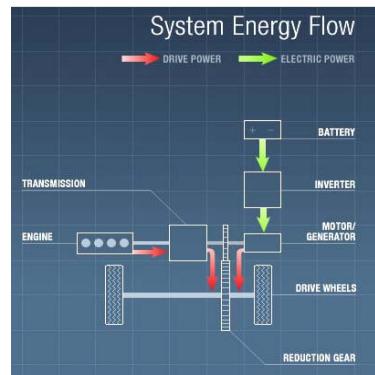


Figura I.6. Esquema del funcionamiento en modo térmico más eléctrico. Fuente: [1].

- *Modo frenado regenerativo*: durante frenadas o deceleraciones se opera en este modo, en el cual, el motor o un generador – en caso de contar con él – aprovecha la energía cinética o gravitatoria del vehículo para recargar los sistemas de almacenamiento de energía. A continuación, un esquema explicativo (figura I.7):

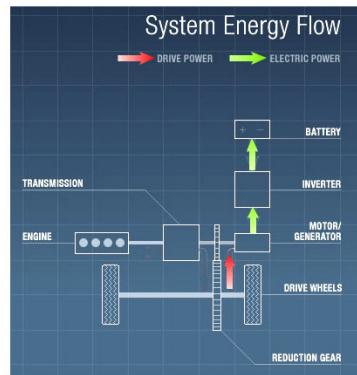


Figura I.7. Esquema del funcionamiento en modo freno regenerativo. Fuente: [1].

- *Modo recarga estacionaria*: en este estado, el vehículo no se mueve y la energía generada por el motor térmico se usa exclusivamente para recargar los sistemas de almacenamiento de energía. A continuación un esquema explicativo (figura I.8):

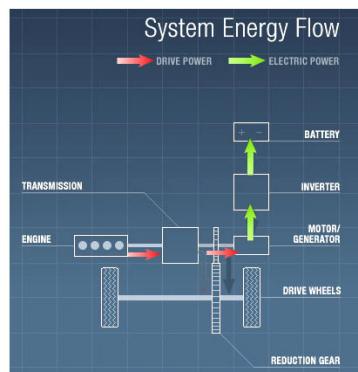


Figura I.8 Esquema del funcionamiento en modo recarga estacionaria. Fuente: [1].

ANEXO II. SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO Y PRODUCCIÓN DE ENERGÍA

A continuación se incluye, tal y como se indicaba en la memoria, un estudio en profundidad de cada uno de los sistemas de almacenamiento y producción susceptibles de ser utilizados en vehículos híbridos.

A partir de la clasificación de sistemas de energía propuesta en el documento principal, primarios y secundarios, se pasará a analizar cada uno de los sistemas de almacenamiento y producción de energía en cuestión.

Puesto que la selección de estos sistemas es una parte importante de este proyecto, se dedica una especial atención a este apartado, desarrollándose cada sistema en los siguientes apartados:

- “Descripción”, donde se define y explica el sistema.
- “Integración en el vehículo y funciones”, donde se hace referencia a su integración en el vehículo y a su función habitual en un vehículo.
- “Valoraciones económicas”, donde se analiza al sistema desde el punto de vista económico.

II.1. SISTEMAS PRIMARIOS O ACTIVOS

II.1.1. Pilas de combustible

Descripción

-Definición: es un sistema primario de energía en el cual se produce energía eléctrica en forma de corriente continua a partir de la reacción del hidrógeno y el oxígeno, siendo esta la reacción química inversa a la electrólisis.

Se trata de dispositivos de un alto rendimiento, pudiendo superar el 60%, en contraste con el otro modo también utilizado para obtener energía a partir de hidrógeno; usar un motor de combustión interna, el cual tiene el rendimiento limitado por el ciclo de Carnot y alcanza valores muy inferiores.

Tradicionalmente han existido varios tipos de pilas de combustible; las de alta temperatura (entre 600°C y 1000°C) suelen utilizar electrolito de óxido sólido y son adecuadas para grandes plantas estacionarias. Las de temperatura intermedia (200°C), que normalmente utilizan electrolito de ácido fosfórico son apropiadas para plantas estacionarias de pequeño tamaño. Y las de baja temperatura (entre 60°C y -230°C), que

utilizan un electrolito de hidróxido de potasio alcalino, utilizadas en aplicaciones especiales.

Avances más recientes han conseguido desarrollar una membrana de mejores características que ha propiciado la utilización de este tipo de dispositivos en vehículos. Se trata de una membrana más pequeña y ligera llamada PEM (Proton Exchange Membrane, membrana de intercambio de protones). Opera a unos 60°C – 100°C y por sus dimensiones y peso es apropiada para su uso en automoción.

Una pila de membrana de intercambio de protones combina ánodo, cátodo y electrolito en una sola unidad conocida como MEA (Membrane Electrode Assembly). El funcionamiento y la descripción son los siguientes: (se utilizará figura II.1 como referencia).

En los extremos izquierdo y derecho se observan las láminas que conducen hidrógeno y aire (u oxígeno). Avanzando hacia el centro (según la imagen) aparecen el cátodo en lado aire (derecha) y ánodo en el lado hidrógeno (izquierda). Ambos electrodos son porosos y permiten el paso de aire e hidrógeno hacia la capa de catalizador que hay entre electrodos y membrana. Dicho catalizador propicia que se produzca la reacción química que genera la corriente eléctrica: el hidrógeno pierde su electrón, que recorre el circuito externo, creando así la corriente externa, y el protón resultante atraviesa la membrana para combinarse con el oxígeno del lado derecho y formar agua.

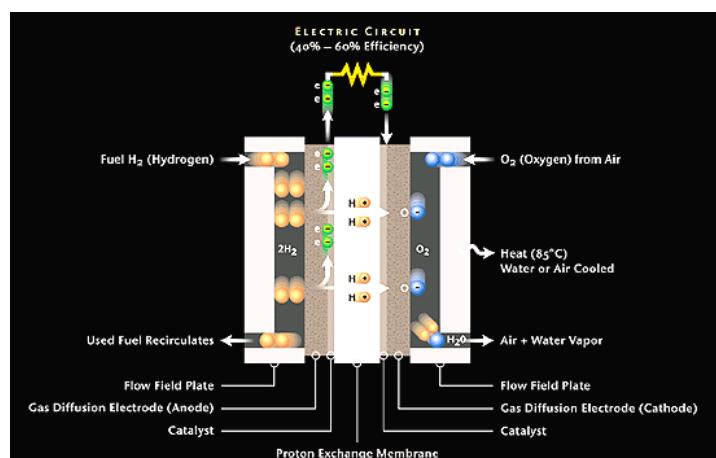


Figura II.1. Esquema de funcionamiento de una pila de combustible.

Hasta ahora se ha explicado el funcionamiento de una sola célula; puesto que cada una de ellas produce una tensión que se sitúa en torno a los 0,7 V, se deben agregar varias de ellas, formando lo que se conoce como pila o “stack”.



Figura II.2. Exterior de una pila de combustible.

Las características principales de una pila de combustible son las siguientes:

CARACTERÍSTICAS	VALORES HABITUALES
Densidad de energía	La limitación depende del depósito de H ₂
Densidad de potencia	1.4 KW/litro
Tensión de salida	0.7V / célula (aprox)
Coste aproximado	60 €/kW
Rendimiento	60% (aprox)
Tiempo de funcionamiento	> 2000 horas
T ^ª de operación	60°C -100°C
T ^ª min de arranque	-25°C (aprox)

Tabla II.1. Características principales de la pila de combustible. Fuente: [1].

Integración en el vehículo y funciones

Se trata de un dispositivo que puede alcanzar cierto peso y volumen, por lo que es preciso tener en cuenta su ubicación a la hora del diseño del vehículo, ya que puede afectar a su reparto de pesos. No obstante, los avances que se producen en el apartado de la potencia específica propician que un vehículo medio - grande pueda impulsarse con apenas 100kg de células de combustible. No hay que olvidar, aunque no sea el objeto principal de este estudio, que un sistema de pila de combustible siempre va ligado a un sistema de almacenamiento de hidrógeno (o de producción, en algunos casos), por lo que la exigencia total de espacio será mayor que la que plantee únicamente la pila en sí. De hecho, el suministro de hidrógeno es el aspecto que más restricciones plantea, lo que nos lleva a la obligación de considerar conjuntamente pila de combustible y sistema de abastecimiento de hidrógeno a la hora de plantear su

integración en el vehículo. A este respecto, la pila de combustible suele ubicarse en el vano motor, mientras que los depósitos de hidrógeno (o el sistema para producirlo) ocupan posiciones más variadas: bajo el piso, en la zona del maletero, o en el techo, cuando el tipo de vehículo lo permita.

La unión con el resto de componentes será sólo eléctrica, lo que supone que no hay necesidad de uniones mecánicas, circunstancia que genera una libertad adicional a la hora de posicionar la pila de combustible en el vehículo.

Por otro lado, cabe destacar que es un dispositivo del que todavía se esperan mejoras importantes, esperándose alcanzar en un plazo de sólo unos años los 2kW/litro de potencia específica, así como temperaturas de arranque inferiores a los -25°C.

Valoraciones económicas

El coste de estos componentes se reduce continuamente, debido sobre todo al aumento en la demanda que están experimentando. En la actualidad, un valor aproximado pueden ser unos 60€, aunque se espera que dicha cifra siga reduciéndose, puesto que se espera un muy notable aumento de demanda en los próximos años.

No obstante, hay que tener presente, que una pila de combustible por sí misma no es suficiente; siempre debe ir acompañada por su sistema de aprovisionamiento de hidrógeno. Al comparar, por ejemplo, una batería convencional con una pila de combustible, se tiene que, por un lado, la batería en sí misma es independiente y no necesita dispositivos externos para proporcionar energía (mientras permanezca cargada). Para que dicha comparación fuese seria deberíamos sumar, para el caso de la pila de combustible, peso volumen y coste, tanto de la pila como de su sistema de aprovisionamiento de hidrógeno.

II.1.2. Baterías máquina

Descripción

-Definición: Sistema de almacenamiento de energía basado en reacciones químicas de oxidación – reducción entre electrodos que necesitan un sistema auxiliar que los mantenga en condiciones adecuadas para su operación. Se consideran por lo tanto, sistemas primarios de energía, ya que necesitan un aporte externo para funcionar, a diferencia de los sistemas secundarios, que una vez han sido cargados, pueden proporcionar energía sin aporte externo.

Se trata, al igual que una batería convencional, de acumuladores colocados en serie para conseguir el voltaje deseado. Dichos acumuladores están formados por cátodo y ánodo, normalmente inmersos en un baño electrolítico, según el tipo, donde tienen lugar las

reacciones químicas de oxidación y reducción que se producen en la carga y descarga del sistema.

Todos los tipos necesitan sistemas auxiliares que mantengan las condiciones de operación dentro de unos valores predeterminados.

Existen varios tipos de baterías máquina en función de los pares que las conforman:

Baterías Na-S:

Está formada por electrodo de azufre líquido y un electrolito de sodio, separados por una lámina de “beta – alúmina”. Para su correcto funcionamiento debe encontrarse a unos 350 °C y nunca caer por debajo de 200°C por lo que necesita un sistema auxiliar de calentamiento, de ahí que sea considerada una batería máquina.

CARACTERÍSTICAS	VALORES HABITUALES
Densidad de energía	110Wh/kg
Densidad de potencia	150W/kg
Nº ciclos al 80% de descarga	1000 ciclos
Tensión de salida	2.1V / acumulador
Coste mínimo	125€ /kWh
T ^º a de operación	350°C

Tabla II.2. Características principales de la batería Na-S. Fuente: [1].

Baterías Na - NiCl:

Se trata de una evolución del tipo anterior, ya que deriva de éste, sustituyendo el electrodo positivo de la anterior por otro de Ni-Cl; la constitución de la batería es muy similar, pero sus condiciones de operación son más favorables, ya que puede operar correctamente a partir de 300°C.

Potencialmente es menos peligrosa en caso de accidente, debido a la naturaleza menos dañina de sus componentes. Necesita, aunque en menor medida que la anterior, un sistema auxiliar que mantenga las condiciones óptimas de operación.

CARACTERÍSTICAS	VALORES HABITUALES
Densidad de energía	100Wh/kg
Densidad de potencia	150W/kg
Nº ciclos al 80% de descarga	1000 ciclos
Tensión de salida	2.1 V / acumulador
Coste mínimo	200 € /kWh
T ^a de operación	300°C

Tabla II.3. Características principales de la batería Na-NiCl. Fuente: [1].

Baterías Li-FeS:

Se trata de una batería con alto potencial para la acumulación de energía, ya que utiliza litio. Para evitar el peligro potencial que conlleva la utilización de este elemento a temperaturas superiores a 400° C se han llevado a cabo numerosos estudios. Como resultado, estas baterías provocan elevados gastos en seguridad y en conservación de la temperatura adecuada. No obstante, sus elevadas prestaciones contrarrestan los citados inconvenientes.

Su electrodo positivo está formado por Fe-S, el negativo por Al-Li, y utiliza una como electrolito una sal no inflamable.

CARACTERÍSTICAS	VALORES HABITUALES
Densidad de energía	150Wh/kg
Densidad de potencia	300W/kg
Nº ciclos al 80% de descarga	1000 ciclos
Tensión de salida	1.75-2.1 V / acumulador
Coste mínimo	160 € /kWh
T ^a de operación	450°C

Tabla II.4. Características principales de la batería Li-FeS. Fuente: [1].

Baterías Li-polímero sólido:

Utiliza polímeros conductores, lo que hace posible la fabricación baterías en estado sólido o de construcción flexible. Están compuestas de un electrodo positivo formado por una lámina de aluminio cubierta con óxido de vanadio, un polímero electrolito separando ambos electrodos, y un electrodo de litio. Son robustas y pueden operar, aunque con menor efectividad, a temperatura ambiente, lo cual disminuye los costes ocasionados por el sistema auxiliar de calentamiento, ya que este será mucho menor que en los anteriores casos.

CARACTERÍSTICAS	VALORES HABITUALES
Densidad de energía	200Wh/kg
Densidad de potencia	350W/kg
Nº ciclos al 80% de descarga	1000 ciclos
Tensión de salida	1.75-2.1 V / acumulador
Coste mínimo	125 € /kWh
T ^a de operación	80-120°C

Tabla II.5. Características principales de la batería Li-polímero sólido. Fuente: [1].

Baterías Zn-Br:

Se trata de montajes relativamente complicados, donde aparecen diversos depósitos que confluyen en otro dividido por una membrana y un sistema de bombas que desplazan los fluidos (ver imagen al final). Su eficiencia energética es del 75%.

CARACTERÍSTICAS	VALORES HABITUALES
Densidad de energía	80Wh/kg
Densidad de potencia	150W/kg
Nº ciclos al 80% de descarga	3000 ciclos
Tensión de salida	1.8 V / acumulador
Coste mínimo	elevado
T ^a de operación	15-45°C

Tabla II.6. Características principales de la batería Zn-Br. Fuente: [1].

A continuación se muestra una imagen del esquema de una de estas baterías (figura II.3):

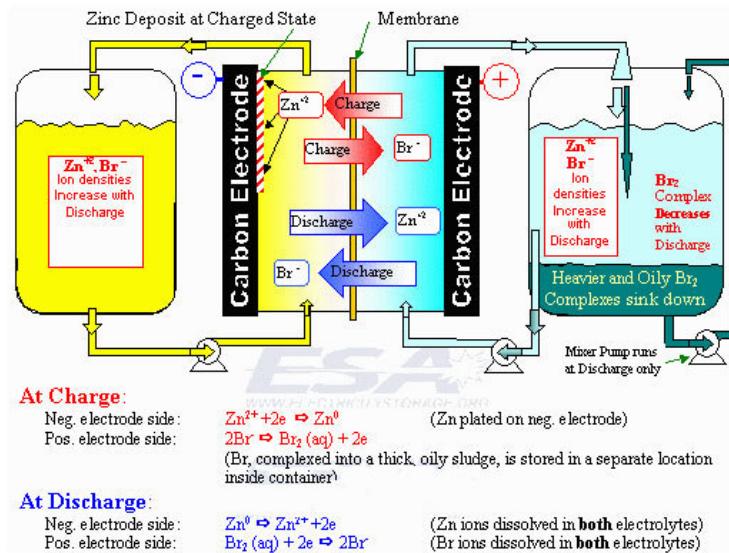


Figura II.3. Batería de Cinc – Bromo.

Integración en el vehículo y funciones

Para garantizar unas prestaciones mínimas, el número de baterías a incluir es elevado, lo que plantea unas importantes exigencias en cuanto a volumen y peso.

Debido a las recientes normativas de seguridad, no es posible situar las baterías en el vano motor frontal, por lo que una de las soluciones más habitual es situar el grupo de baterías bajo el piso del vehículo.

Dicha posición es beneficiosa desde el punto de vista dinámico, ya que el conjunto de baterías puede llegar a suponer una importante parte de la masa total del vehículo, por lo que situarla en una baja cota ayuda a bajar el centro de gravedad.

Además, es preciso que su ubicación sea de fácil acceso, para posibilitar reparaciones o cambios, ya que en el mejor de los casos, son componentes cuya vida útil rara vez excede los 5 años.

Por otra parte, este tipo particular de baterías presenta unas necesidades especiales de temperatura o de movimiento de fluidos, lo cual puede limitar su ubicación. Ésta deberá tener en cuenta la facilidad para conservar altas temperaturas o la disponibilidad de espacio para ubicar los sistemas auxiliares.

Su función principal es la de fuente de energía principal para la tracción del vehículo.

Algunos tipos, gracias a su elevada densidad de potencia, pueden ser utilizados también como sistemas de apoyo al principal, para momentos de elevada demanda, tales como arranques.

La batería de Na-S, aunque puede montarse en vehículos, está más ampliamente extendida para aplicaciones estáticas.

Valoraciones económicas

En general, los costes de estos tipos de batería son elevados, ya que al precio propio de la batería se le debe añadir el de los sistemas auxiliares, lo cual eleva aún más los costes.

Sin embargo, sus elevadas prestaciones hacen que su coste total no sea tan alto.

En el caso concreto de la batería de litio – polímero sólido, la temperatura de operación es cercana a la ambiente, por lo que el coste de dichos sistemas auxiliares será menos influyente.

En general, las baterías tipo máquina ofrecen altas prestaciones pero también a un alto coste. Este coste se debe, en parte, a los sistemas auxiliares necesarios para su correcto funcionamiento. Uno de los aspectos que se intentan mejorar es el de las condiciones de operación. Se trata de que éstas se acerquen lo más posible a la temperatura ambiente, con la consiguiente disminución en auxiliares.

Como ya se ha comentado antes, una de estas baterías (la de litio – polímero sólido) no necesita apenas equipos auxiliares. Si además tenemos en cuenta su reducido coste, unos 125€/kWh, podemos esperar un elevado desarrollo de esta batería a medio plazo.

II.1.2. Motor térmico

Descripción

-Definición: se trata de un sistema primario de energía en el cual se genera energía mecánica, el giro del eje de salida, a partir de la reacción química de un combustible. Son dispositivos con unos rendimientos muy bajos, en torno al 15%, y variables, en función del régimen de giro y la carga del motor.

Es el sistema más ampliamente utilizado en automoción en su versión de cuatro tiempos y también aparece en la mayoría de vehículos híbridos lanzados recientemente. Existen dos tipos principales, en función de su ciclo: los de ciclo Otto utilizan gasolina y su rendimiento suele ser algo inferior a los de ciclo Diesel, cuyo combustible es el gasoil. El funcionamiento consiste en la repetición cíclica de los cuatro tiempos (el motor de

dos tiempos no se analiza debido a que su aplicación en automoción es, en este momento, poco relevante). A continuación se describe el funcionamiento de un motor atmosférico de cuatro tiempos de gasolina de inyección indirecta, por ser este tipo el de mayor aplicación en vehículos híbridos:

-Admisión: desciende el pistón con la válvula de admisión abierta para llenar el cilindro de mezcla gasolina-aire.

-Compresión: el pistón sube con todas válvulas cerradas, produciéndose así la compresión de la mezcla.

-Explosión: Unos grados de cigüeñal antes de alcanzarse el punto muerto superior se produce el encendido de la mezcla gracias a la bujía. La mezcla aire-combustible se quema y aumenta de temperatura y volumen, desplazando el pistón hacia abajo, siendo este el único tiempo del motor en el que se genera potencia.

-Escape: el pistón asciende con la válvula de escape abierta y se expulsan los gases de la combustión.



Figura II.4. Motor térmico.

Características	Valores habituales
Densidad de potencia	1kW/kg (según tipo)
Densidad de energía	Depende del combustible almacenado
Rendimiento	20% (según tipo y punto de funcionamiento)
Velocidad giro eje de salida	800-6000rpm
Coste	40€/kW (aprox)
Emisiones CO ₂	>100gr CO ₂ /km

Tabla II.7. Características principales del motor térmico. Fuente: [1].

Integración en el vehículo y funciones

Se trata de un componente de peso y volumen elevados, por lo que es preciso tener en cuenta su ubicación a la hora del diseño del vehículo, ya que afecta en gran medida al reparto de pesos. Hay que tener en cuenta que, además del bloque motor en sí, también forman parte de él gran cantidad de sistemas auxiliares cuyo volumen total es importante.

Además de las consideraciones del reparto de pesos a la hora de posicionar el motor, también se deben tener en cuenta los aspectos relacionados con la seguridad en caso de accidente, ya que el motor en un bloque muy consistente susceptible de entrar en el habitáculo de seguridad del vehículo.

Otra limitación para su integración en el vehículo está motivada por el hecho de que existe la necesidad de contar con una transmisión mecánica que lo una con el eje motriz, circunstancia que reduce las posibilidades de diseño.

Su función en el vehículo es la de proporcionar la energía suficiente para propulsarlo, así como para alimentar sus sistemas auxiliares.

Valoraciones económicas

Se trata de un componente fabricado en la actualidad a gran escala, por lo que los costes de fabricación de un motor convencional son aceptables. No obstante, su coste depende del modelo y de la calidad de materiales que éste utilice así como el nivel de complejidad tecnológica del mismo.

El argumento anterior se puede interpretar también de forma negativa; así como otros sistemas de producción de energía aún en desarrollo pueden disminuir significativamente sus costes y aumentar sus prestaciones, no se espera un gran avance en costes o en prestaciones en los motores térmicos, puesto que es un componente muy estudiado y desarrollado en el que sólo pueden aparecer mejoras de relativa relevancia.

No obstante, aunque el motor térmico no pueda dar un salto cualitativo como lo puede hacer la pila de combustible en futuras versiones, sí que existen algunos nuevos conceptos que pueden aumentar su competitividad. Algunos de estos avances son la inyección directa a muy alta presión en diesel, la inyección directa con mezcla empobrecida en gasolina, motores cerámicos, turbo y compresor con by-pass pilotado, etc.

II.2.1. Discos de inercia

Descripción

-Definición: Sistema secundario de almacenamiento de energía en forma de energía cinética, también conocidos como “flywheel”.

Está formado por discos de carbono girando a alta velocidad en el interior de una carcasa. Tanto rotor como estator montan imanes que sirven de rodamientos magnéticos al tiempo que funcionan como medio de carga y descarga del sistema. En el interior se realiza un elevado vacío, que unido a los rodamientos magnéticos reducen la fricción hasta valores muy bajos.

La energía almacenada es proporcional al radio del disco y al cuadrado de la velocidad angular, tal y como se aprecia en la fórmula:

$$Energía \text{ cinética} = \frac{1}{2} * I * \omega^2$$

Por lo tanto se buscan pequeños radios y altas velocidades angulares, ya que el aumento del radio somete a más tensión al material del disco y crea mayores efectos giroscópicos. La forma ideal de dicho disco es la de sección troncocónica, que iguala la tensión generada por el giro para cualquier radio.

El material más extendido para la fabricación del disco es la fibra de carbono, ya que la relación entre resistencia a tracción y densidad está directamente relacionada con la cantidad de energía acumulable. Por otro lado, esta elección de material también es adecuada desde el punto de vista de la seguridad, ya que en caso de accidente, el composite se desintegra, comportándose como un fluido, en lugar de como fragmentos de sólido. Con esto se consigue disipar mejor la energía.

Para lograr una mayor densidad energética, en ocasiones se procede al pretensado del disco, de forma que soporte mayores velocidades de giro.

Se prefiere utilizar grupos de dos discos girando en sentido contrario para cancelar los citados efectos giroscópicos.

CARACTERÍSTICAS	VALORES HABITUALES
Velocidad de giro	>100.000rpm
Densidad de energía	<150 Wh/kg
Densidad de potencia	2kW/kg
Numero de ciclos	Ilimitado
Durabilidad	30 años (aprox)

Tabla II.8. Características principales de los discos de inercia. Fuente: [1].

A continuación, algunas imágenes del sistema (figuras II.5 y II.6):

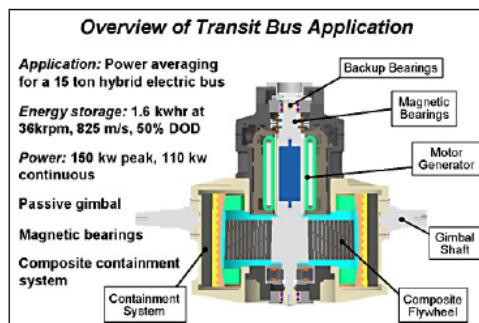


Figura II.5. Disco de inercia.

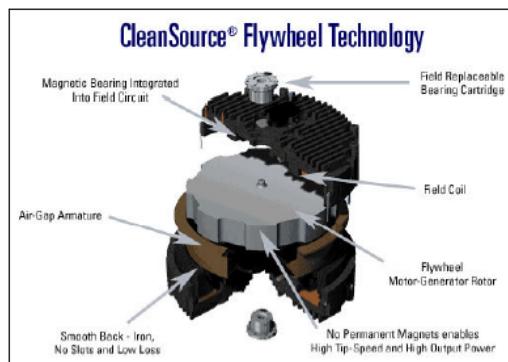


Figura II.6. Disco de inercia.

Integración en el vehículo y funciones

La integración en el vehículo de un flywheel no debe plantear excesivos problemas, ya que existe cierta libertad por el hecho de que su conexión con el resto del sistema de tracción se limita al cableado. Por otra parte, su contenido peso y tamaño tampoco crean limitaciones de posición en el vehículo.

Un aspecto que sí que puede influir es el de la seguridad en caso de accidente y liberación incontrolada de toda su energía cinética; en este aspecto, para los sistemas cuyas carcasa no sean capaces de retener en su interior toda la energía, conviene posicionarlos en los lugares que puedan resultar menos dañinos en el vehículo.

Con relación a este aspecto, se trabaja en sistemas que dirijan los fragmentos del disco en todas direcciones, para aumentar el área de impacto en la carcasa y así reducir su intensidad, así como carcassas interiores con capacidad de rotación para absorber energía en caso de accidente.

La función principal de este sistema en un vehículo es la de generar o absorber grandes cantidades de potencia en cortos periodos de tiempo, ya que para periodos largos de utilización, las pérdidas son apreciables.

Debido a su elevada velocidad de carga y descarga, puede utilizarse conjuntamente con una célula de combustible, supliendo las carencias de ésta en momentos de elevada demanda. También es muy útil para recuperar la energía proveniente del frenado regenerativo. Otra alternativa, ya usada en tranvías híbridos, es la de recargas rápidas en estaciones.

El modo de operación de este tipo de sistemas es el siguiente: para su carga absorbe energía y actúa como motor, incrementando su velocidad angular. Cuando genera energía actúa como alternador, disminuyendo su velocidad angular.

Se concibe principalmente como medio auxiliar de almacenamiento de energía, aunque cabe la posibilidad de hacerlo funcionar como sistema principal de almacenamiento, utilizando versiones avanzadas con una velocidad de rotación de 200.000rpm que proporcionarían autonomías cercanas a 500km.

Valoraciones económicas

El coste de estos sistemas es muy alto en la actualidad, lo que le impide ser una alternativa real. Esto se debe a que se trata de una tecnología menos madura que la de las baterías, por ejemplo, y que el hecho de tratar con velocidades angulares tan elevadas exige gran calidad y cuidado, tanto en materiales como en diseños y a la hora de practicar experimentos.

Por otro lado, cuenta con la ventaja de un mantenimiento casi nulo, así como una casi total independencia de su rendimiento respecto de las condiciones ambientales. Además, el número de cargas y descargas, incluso en el caso de que éstas sean totales, es casi ilimitado.

A diferencia de los sistemas de baterías, su coste de final de vida es despreciable, por no contar en su constitución con elementos que deban ser objeto de tratamientos especiales.

Se llega pues a la conclusión de que, aun partiendo de un coste inicial muy elevado, su durabilidad y robustez le confieren un coste de operación tan bajo que hace que la diferencia de costes en términos totales no sea tan alta.

En la actualidad, gracias a programas subvencionados, se están montando en algunas unidades de vehículos de transporte urbano, cuyos ciclos incluyen gran cantidad de arranques y paradas.

II.2.2. Supercondensadores

Descripción

-Definición: Sistema auxiliar de energía basado en condensadores de altas prestaciones.

Los supercapacitores o ultracapacitores (también conocidos como “electrochemical double layer capacitors”, EDLC, condensadores electroquímicos de doble capa) son condensadores en los que los electrodos están fabricados en materiales basados en carbono poroso, de alta densidad de superficie, el cual forma una fina capa de frontera con el electrolito, generando así un condensador de bajo voltaje pero de alta capacidad. Los prefijos “ultra” y “super” responden a la elevada superficie conseguida, normalmente por encima de los $2000\text{m}^2/\text{g}$.

El electrolito puede ser orgánico o una solución de sales, el cual proporciona alta densidad de energía, o ser un ácido acuoso, el cual proporciona elevada capacidad y potencia.

Los electrodos pueden estar hechos de carbono o de óxido de metal, siendo la fibra de carbono activada el material preferido en un 85% de los casos.

Habitualmente se asocian varias células en serie o en paralelo creando un módulo con el fin de conseguir el voltaje o la capacidad deseados, ya que todavía no se pueden conseguir altas tensiones por célula. Esta circunstancia hace disminuir la eficiencia volumétrica.

Su funcionamiento se basa, como cualquier condensador, en mantener dos electrodos cargados con polaridades opuestas, creando así un campo eléctrico que almacena la energía. En el momento de su carga toma energía del exterior en forma de corriente eléctrica y se genera el campo eléctrico que almacena la energía. Cuando se descarga, genera corriente eléctrica que proporciona al exterior y dicho campo eléctrico desaparece.

CARACTERÍSTICAS	VALORES HABITUALES
Capacidad	1-1000F (previsión)
Densidad energética	1-10Wh/kg
Densidad de potencia	10Kw/kg (aprox.)
Intensidad máxima	<500 A
Tiempo carga o descarga	0.3 – 30 s
Eficiencia carga o descarga	85 - 95 %
Número de ciclos	>500000
Durabilidad	>10 años

Tabla II.9. Características principales del supercondensador. Fuente: [1].

A continuación, imágenes de supercondensadores (figura II.7) y de un módulo de supercondensadores (figura II.8):



Figura II.7. Supercondensadores.



Figura II.8. Módulo de supercondensadores.

Integración en el vehículo y funciones

Debido a su pequeño tamaño y a la ausencia de conexiones mecánicas, no plantea grandes exigencias en cuanto a su integración en el vehículo. Además, debido a su casi nulo mantenimiento no tiene la necesidad de ser colocado en lugares accesibles, tal y como sucede con las baterías, por lo que existe casi total libertad a la hora de ubicarlo en el vehículo.

Algunos fabricantes lo han colocado tras los respaldos de los asientos traseros, aprovechando su reducido tamaño y peso.

Su función principal es la de satisfacer demandas puntuales y elevadas de potencia, ya que su limitada densidad de energía los hace inviables, al menos a corto plazo, como dispositivos de almacenamiento para todas las necesidades del vehículo.

Este tipo demandas son las siguientes:

-Freno regenerativo: es capaz de absorber toda la energía generada, debido a su alta densidad de potencia, a su alta eficiencia de carga y descarga y a que puede soportar intensidades del orden de cientos de amperios.

-Aceleraciones puntuales: por ser capaz de liberar su energía en periodos de tiempo muy cortos y con alta eficiencia.

-Ciclos con gran número de paradas y arranques: ya que combinando los dos tipos anteriores de utilización, unido a su gran vida útil, consiguen eficiencias energéticas totales cercanas al 50% en caso de estar asociados con pila de combustible como fuente principal.

-Asociado con una célula de combustible: se puede conectar directamente a la célula de combustible, ya que su tensión es proporcional al estado de carga. Da respuesta a las fluctuaciones de tensión de la célula, haciendo a su vez que ésta trabaje de una manera más regular y eficiente.

Su papel, salvo en excepciones, es el funcionar como sistema de almacenamiento auxiliar.

Valoraciones económicas

En la actualidad el coste se sitúa por encima de las baterías convencionales de ácido y plomo, aunque por debajo de otro tipo de baterías como, por ejemplo, las de Ni-MH.

Sin embargo, su eficiencia en carga y descarga, su casi nulo mantenimiento y su mejor operación en frío hace que pueda resultar mejor que las baterías Ni- MH.

En cualquier caso, su elección depende de los requerimientos, ya que en cuanto a densidad de potencia supera a todos los tipos de batería.

Su coste de mantenimiento es muy reducido, casi nulo, y su coste de fin de uso es menor que el de las baterías. Por lo tanto, su valoración económica puede ser positiva en casos en los que la inversión inicial es superior a otras alternativas.

II.2.3. Sistema neumático (aire comprimido)

Descripción

-Definición: Sistema que acumula energía en forma de aire a alta presión.

Consiste básicamente en un depósito destinado a contener el aire a alta presión. Para poder funcionar debe estar asociado con un compresor, capaz de introducir el aire a presión, y con un motor de aire comprimido o con una máquina reversible capaz de sustituir a las dos anteriores.

Su modo de funcionamiento es el siguiente: en momentos de carga, el compresor debe ser accionado externamente para conseguir introducir aire a presión en el depósito o bien el aire presurizado es introducido directamente; en momentos de descarga, el aire a presión liberado acciona el motor de aire comprimido, proporcionando así energía al exterior.

CARACTERÍSTICAS	VALORES HABITUALES
Densidad de energía tanques	60Wh/kg
Presiones tanques	300 bar
Peso tanques vacíos	0.4kg / litro de capacidad
Volumen aire	100 litros / tanque
Peso motor de aire	40 kg (según tamaño)

Tabla II.10. Características principales del sistema neumático. Fuente: [1].

La densidad de potencia de los tanques se sabe que es elevada, por lo que la limitación en una demanda elevada y puntual la imponen otros elementos del sistema, normalmente el motor de aire.

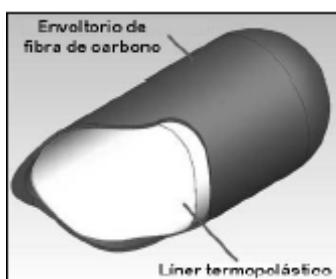


Figura II.9. Depósito de aire comprimido.



Figura II.10. Depósito de aire comprimido.

Integración en el vehículo y funciones

Para lograr una buena integración del sistema en el vehículo se debe tener en cuenta de qué tipo de vehículo se trata, ya que la ubicación del sistema condicionará la estabilidad y el reparto de pesos.

Puesto que se trata normalmente de sistemas alargados, su disposición habitual es horizontal y transversal, normalmente en la parte trasera del vehículo, o en el techo, en caso de que sea posible.

Debido a tratarse de un sistema que opera en condiciones de alta presión, contará con los pertinentes sistemas de seguridad. Sin embargo, en este caso, al tratarse de aire comprimido, gas no explosivo, las normativas de seguridad no suponen un inconveniente de importancia.

Su función podría ser similar a la de un acumulador hidráulico, es decir, absorbiendo o generando grandes cantidades de potencia en cortos periodos de tiempo;

Sin embargo, a diferencia de los acumuladores hidráulicos, este sistema también se muestra capaz de proporcionar energía suficiente como para impulsar un vehículo durante una distancia significativa.

De hecho, se han desarrollado ya vehículos urbanos donde la tecnología queda probada, alcanzándose autonomías de 200km con repostajes de apenas 3 minutos.

Su modo de operación es el que sigue: en los momentos de carga del sistema, un compresor es accionado gracias a la energía aportada de manera externa al sistema, el cual introduce el aire a alta presión en el depósito; en momentos de descarga el depósito se vacía y el motor de aire a presión lo aprovecha para proporcionar energía al exterior.

Su función principal será, por tanto, la de sistema de almacenamiento de energía auxiliar, aunque también existen en la actualidad proyectos completamente desarrollados de vehículos que lo utilizan como fuente principal de energía.

Valoraciones económicas

El sistema está formado por elementos neumáticos, cuyo mercado está ampliamente desarrollado por su utilización en múltiples campos, por lo que el coste de los elementos es aceptable.

Además, dichos componentes, que no son muy complejos, gozan de bastante robustez, lo que posibilita que el coste de mantenimiento sea bajo.

Su economía de utilización es reseñable, ya que el consumo de aire en ciclo urbano durante 100 km es de 1€ aproximadamente (para el caso de vehículos experimentales ligeros)

Como inconvenientes aparecen la necesidad de sistemas auxiliares para la producción de calor, con su coste y consumo correspondientes.

Por otro lado, el hecho de que el escape de aire se produzca a temperaturas cercanas a 0 °C elimina la necesidad de un sistema de aire acondicionado.

Esta tecnología aparece como prometedora para solucionar los problemas de movilidad en un ámbito urbano; sin embargo, no ha experimentado el desarrollo esperado.

II.2.4. Sistema hidráulico

Descripción

-Definición: Sistema que acumula energía en forma de aceite a alta presión.

Cosiste en un sistema con un depósito capaz de operar a altas presiones dentro del cual una membrana altamente deformable separa el aceite de un gas, normalmente nitrógeno, que es el que se comprime al llenarse el depósito.

Conjuntamente se monta una bomba / motor hidráulico, que permite almacenar y generar energía según sea la situación de excedencia o de necesidad de energía. También debe existir otro depósito de baja presión, del cual se toma el aceite cuando el sistema se carga y al cual se devuelve el aceite cuando el sistema se descarga.

CARACTERÍSTICAS	VALORES HABITUALES
Presión del depósito	350bar
Capacidad de energía	>160 Wh/unidad completa (aprox)
Capacidad de potencia	280KW /unidad completa (aprox)
Peso del conjunto	180 kg/unidad completa (aprox)

Tabla II.11. Características principales del sistema hidráulico. Fuente: [1].

Los datos de densidad de potencia son elevados, de manera que una unidad tipo como a la que se hace referencia en la anterior tabla es capaz de impulsar un vehículo de unos 4500kg desde 0 hasta unos 45km/h sin necesidad de aporte externo de energía.

El tamaño varía según los casos, pero en general suele ser demasiado voluminoso para ser montado en vehículos turismos o urbanos convencionales.

A continuación, una imagen de un sistema de acumulación de energía hidráulica (figura II.11):



Figura II.11. Sistema de acumulación de energía hidráulica.

Integración en el vehículo y funciones

Para conseguir una integración correcta del sistema en el vehículo se debe tener en cuenta el tipo de vehículo en cuestión, ya que su ubicación condicionará la estabilidad y el reparto de pesos.

El tamaño y peso de estos sistemas, como ya se ha comentado, es excesivo para vehículos urbanos o de turismo, por lo que su aplicación más adecuada es en pequeños camiones, tales como flotas de reparto, cuyo ciclo de funcionamiento es propicio, con gran número de arranques y paradas.

Puesto que se trata normalmente de sistemas alargados, su disposición habitual es horizontal y transversal o longitudinal, según cada caso. De cualquier manera, siempre están sujetos a la restricción de estar acoplados mecánicamente, por lo que su posición más habitual es cerca de la transmisión.

Debido a tratarse de un sistema que opera en condiciones de alta presión, contará con los pertinentes sistemas de seguridad.

Su función principal es similar a la de un flywheel o a la de una batería de alta descarga, es decir, la de proporcionar o absorber altas cantidades de potencia en periodos cortos de tiempo, ya que es incapaz de impulsar el vehículo durante largas distancias.

Una diferencia importante entre este sistema y un flywheel o una batería, es la existencia de conexión mecánica entre el sistema hidráulico y el tren de rodadura. Normalmente, la conexión se realiza mediante un embrague, el cual acopla el sistema hidráulico en momentos de carga y descarga y lo desacopla el resto del tiempo.

Su modo de operación es en paralelo y, debido a sus características, se utiliza siempre como acumulador de la energía obtenida en frenado regenerativo. Dicha energía es utilizada para la siguiente aceleración, sustituyendo al sistema principal durante el arranque hasta una velocidad aproximada de unos 45km/h. El sistema es capaz de ofrecer un alto par desde muy bajas velocidades de giro (a veces superiores a los 1000Nm).

El sistema suele conseguir unos ahorros de energía del 30%, una reducción de emisiones del 30% y una disminución del desgaste del sistema de frenado de un 50%, cuando es utilizado en ciclos con elevado número de paradas y arranques.

Su modo de operación es el siguiente: en los momentos de carga del sistema, durante el frenado, la bomba hidráulica es accionada gracias a la energía aportada de manera externa al sistema, la cual introduce el aceite a alta presión en el depósito de alta presión; en momentos de descarga el proceso es el inverso; el depósito de alta presión se vacía, el de baja presión se llena y la bomba actúa como motor, liberando así al exterior la energía acumulada.

Por lo tanto, su papel en el vehículo será el de sistema auxiliar de almacenamiento de energía.

Valoraciones económicas

Este sistema está formado por componentes hidráulicos cuyo mercado está suficientemente extendido debido a sus múltiples aplicaciones en otros campos, lo cual propicia que el coste de dichos componentes sea aceptable.

Además, al tratarse de dispositivos robustos, el mantenimiento es mínimo, lo cual contribuye a que su coste de operación sea muy contenido.

Si a todo esto le añadimos los beneficios antes comentados en cuanto a ahorro de combustible, reducción de emisiones contaminantes y reducción de desgaste del sistema de frenos, el periodo normal de recuperación de la inversión (en comparación con la situación de no montar este sistema) suele ser menor de 3 años.

II.2.5. Baterías tipo plomo-ácido

Descripción

-Definición: Sistema de almacenamiento de energía basado en reacciones químicas de oxidación – reducción con electrodos de plomo y electrolito ácido.

Se trata de acumuladores colocados en serie para conseguir el voltaje deseado. Dichos acumuladores están formados por cátodo y ánodo inmersos en un baño electrolítico donde tienen lugar las reacciones químicas de oxidación y reducción que se producen en la carga y descarga del sistema. Para evitar el contacto directo entre los dos electrodos se utilizan separadores.

Existen varios tipos de baterías de plomo – ácido en función de los avances que hayan sido llevados a cabo en cada uno de ellos:

Baterías de plomo – ácido convencionales:

Son baterías similares a las que se comenzaron a fabricar a principios del siglo pasado, en las que sus mayores avances se limitan a la reducción de peso en componentes como la carcasa. Sus electrodos son láminas planas, aunque existen versiones de electrodos tubulares que, aunque aprovechan peor el espacio, aumentan su ciclo de vida respecto a las anteriores de 3 a 5 años.

Necesitan sistemas de venteo para evacuar el hidrógeno producido en momentos de altas exigencias.

CARACTERÍSTICAS	VALORES HABITUALES
Densidad de energía	35Wh/kg
Densidad de potencia	150W/kg
Nº ciclos al 80% de descarga	1000 ciclos
Tensión de salida	2.1 V / acumulador
Coste mínimo	50 € /kWh

Tabla II.12. Características principales de la batería de plomo-ácido convencional. Fuente: [1].

Baterías de plomo – ácido avanzadas:

Son una versión mejorada de las anteriores, en las que se han optimizado peso y volumen en las partes inactivas. Se incluyen reactivos sólidos que optimizan la estructura del óxido de plomo, así como reducciones en el grosor de dichos electrodos, aunque sin disminuir su resistencia mecánica. Además se favorece la agitación del electrolito evitando la estratificación de éste.

Estas mejoras favorecen la retención del material del electrodo positivo en descargas rápidas, por lo que mejoran las características generales de la batería.

CARACTERÍSTICAS	VALORES HABITUALES
Densidad de energía	45Wh/kg
Densidad de potencia	250W/kg
Nº ciclos al 80% de descarga	1500 ciclos
Tensión de salida	2.1 V / acumulador
Coste mínimo	170 € /kWh

Tabla II.13. Características principales de la batería de plomo-ácido avanzada. Fuente: [1].

Baterías de plomo – ácido reguladas por válvula:

También conocidas como “valve regulated lead acid, VRLA”, basan su mejora respecto a las convencionales en el uso de una válvula que sólo permite el venteo de gases producidos en situaciones de alta exigencia cuando la situación es extrema. Además tienen un diseño de electrolito en el que se busca reducir la expulsión de gases mediante la utilización de catalizadores que recombinan oxígeno e hidrógeno en agua.

Esto las hace más seguras, ya que sus explosiones de hidrógeno son poco habituales, al tiempo que mejora alguna de sus características, las cuales se muestran en la tabla de la tabla II.14 de la siguiente página:

CARACTERÍSTICAS	VALORES HABITUALES
Densidad de energía	50Wh/kg
Densidad de potencia	>150W/kg
Nº ciclos al 80% de descarga	>700 ciclos
Tensión de salida	2.1 V / acumulador
Coste mínimo	130 € /kWh

Tabla II.14. Características de la batería de plomo-ácido regulada por válvula. Fuente: [1].

Baterías de plomo – ácido de lámina de metal:

Esta versión utiliza como electrodo unas láminas de un grosor muy bajo dispone en forma de espiral. Separadores y electrolito se disponen de igual forma, entre electrodos positivo y negativo, los cuales están separados por distancias inferiores a 1mm. La superficie de electrodos es muy alta, al tiempo que el aprovechamiento del espacio es elevado. Además, su resistencia interna se consigue reducir hasta valores del orden de 0,5 mΩ.

Todo esto le confiere unas características diferentes a otras baterías con el mismo par tal y como se aprecia en la tabla II.15.

CARACTERÍSTICAS	VALORES HABITUALES
Densidad de energía	30Wh/kg
Densidad de potencia	900W/kg
Nº ciclos al 80% de descarga	>500 ciclos
Tensión de salida	2.1 V / acumulador

Tabla II.15. Características de la batería de plomo-ácido de lámina de metal. Fuente: [1].

A continuación, algunas imágenes (figuras II.12 y II.13) de baterías de tracción de plomo – ácido:



Figura II.12. Batería de plomo-ácido.

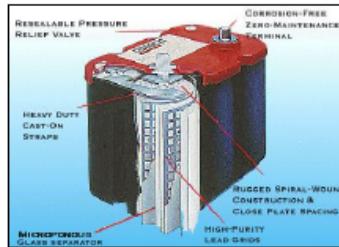


Figura II.13. Batería de plomo-ácido.

Integración en el vehículo y funciones

Para garantizar unas prestaciones mínimas, el número de baterías a incluir es elevado, lo que plantea unas importantes exigencias en cuanto a volumen y peso.

Debido a las recientes normativas de seguridad, no es posible situar las baterías en el vano motor frontal, por lo que una de las soluciones más habitual es situar el grupo de baterías bajo el piso del vehículo.

Dicha posición es beneficiosa desde el punto de vista dinámico, ya que el conjunto de baterías puede llegar a suponer una importante parte de la masa total del vehículo, por lo que situarla en una baja cota ayuda a bajar el centro de gravedad.

Además, es preciso que su ubicación sea de fácil acceso, para posibilitar reparaciones o cambios, ya que en el mejor de los casos, son componentes cuya vida útil rara vez excede los 5 años.

Su función principal es la de fuente de energía principal para la tracción del vehículo en los tres primeros casos.

Sin embargo, el último tipo analizado, las de tipo lámina en espiral, debido a su muy elevada densidad de potencia y baja densidad de energía son más adecuadas para su utilización como batería auxiliar en momentos de alta demanda, como por ejemplo, arranques.

En general, la mejora del tipo convencional desde sus primeras versiones, a principios del siglo pasado, no ha sido muy amplia; sin embargo, por seguir siendo la opción de

menor coste, continúa apareciendo como batería de tracción en algunos vehículos actuales.

Valoraciones económicas

La industria de la batería de plomo – ácido cuenta ya con una vida que ronda el siglo, por lo que se posee un alto conocimiento al respecto, lo cual conlleva que los problemas que pueden aparecer en su uso se saben tratar adecuadamente, consiguiéndose así unos costes de mantenimiento aceptables.

No obstante, en el aspecto económico es clave la vida útil de la batería, ya que su sustitución conlleva unos costes muy elevados. Este es el aspecto por el cual otros sistemas de almacenamiento de energía alternativos, de mayor coste inicial pero menor mantenimiento y mayor vida útil están convirtiéndose en alternativas reales a las baterías.

Debido a que la industria de la batería de plomo es considerablemente madura, tal y como se ha comentado ya, su coste es el más bajo de todas las opciones existentes en la actualidad, con unos 50€/kWh.

II.2.6. Baterías de otros pares

Descripción

-Definición: Sistema de almacenamiento de energía basado en reacciones químicas de oxidación – reducción con electrodos y electrolito diferentes de plomo y ácido y que pueden operar sin la necesidad de un sistema auxiliar.

Se trata, al igual que en las baterías de plomo, de acumuladores normalmente colocados en serie para conseguir el voltaje deseado. Dichos acumuladores están formados por cátodo, ánodo y electrolito donde tienen lugar las reacciones químicas de oxidación y reducción que se producen en la carga y descarga del sistema.

Existen múltiples tipos de baterías en función de los materiales que actúan como ánodo y cátodo. Algunos de ellos son los siguientes:

(Existen otros tipos que también presentan características interesantes, como por ejemplo las de Níquel – Cadmio, que no aparecen debido a estar su uso en retroceso debido a su alta toxicidad).

Baterías de Ión Litio:

Son de construcción muy similar a las del tipo Li – polímero sólido, con electrodos en forma de láminas que pueden estar enrolladas y con separadores entre las láminas. En el

caso de las de tipo ión-litio se sustituye el electrodo negativo de litio por otro de grafito u óxido de estaño.

CARACTERÍSTICAS	VALORES HABITUALES
Densidad de potencia	120-150 W/kg
Densidad de energía	50-150 Wh/kg
Nº ciclos al 80% de descarga	>1000 ciclos
Tensión de salida	3.6 V / acumulador
Coste aprox.	200 € /kWh

Tabla II.16. Características principales de la batería de ión-litio. Fuente: [1].

Su tensión de salida es muy elevada en comparación con otros pares, lo cual permite obtener voltajes elevados con números reducidos de unidades en serie.

Baterías de Níquel – metal hidruro:

Es el tipo de batería que está sustituyendo a las basadas en Níquel – Cadmio, por sus mejores prestaciones y por su ausencia de toxicidad. El electrodo negativo está compuesto de un complejo aleado de metal hidruro compactado en una sustancia conductora. El electrolito es de hidróxido de potasio y el electrodo positivo de hidróxido de níquel. Tolera cargas y descargas bruscas, lo que le confiere robustez de operación.

CARACTERÍSTICAS	VALORES HABITUALES
Densidad de potencia	200 W/kg
Densidad de energía	80 Wh/kg
Nº ciclos al 80% de descarga	>2000 ciclos
Tensión de salida	1.23 V / acumulador
Coste aprox.	150 € /kWh

Tabla II.17. Características principales de la batería de níquel-metal hidruro. Fuente: [1].

Baterías de metal - aire:

En primer lugar, se debe mencionar que aunque no se han incluido dentro de la calificación de “máquinas batería”, no son un tipo de batería similar a los anteriores; por un lado, según sea su modo de recarga, pueden incluso considerarse como

baterías de un solo uso. Por otro lado, debido a que el electrolito se deteriora en caso de exposición prolongada al aire y a que es sensible a los cambios en la humedad y concentración de CO₂, se hace necesario cierto tratamiento de limpieza en el aire que contienen dentro. Esta última circunstancia las aproxima más a las consideradas baterías máquina.

Existen diferentes tipos en función del metal usado como electrodo. Los más habituales son Cinc, Aluminio, Magnesio y Litio, aunque son sólo los dos primeros los que mejor se adaptan a su utilización en vehículos.

Están compuestas del ánodo de metal, un fino cátodo de aire y un electrolito alcalino de base agua, como por ejemplo, hidruro de potasio. Su recarga puede ser eléctrica o mecánica (sustitución de electrodos). En el caso del tipo de aluminio, el electrodo debe ser repuesto cada cortos periodos de tiempo y sus restos evacuados.

Durante su uso, el cátodo de aire absorbe oxígeno del aire mientras se descarga y lo libera durante la carga.

Por lo general sus potencias específicas son muy bajas y su carga difícil y poco eficiente, en contraste con sus elevadas energías específicas.

CARACTERÍSTICAS	VALORES HABITUALES
Densidad de potencia	30 W/kg
Densidad de energía	220 Wh/kg
Nº ciclos al 80% de descarga	200 ciclos (aprox)
Tensión de salida	1.5 V / acumulador
Coste mínimo	100 € /kWh (aprox)

Tabla II.18. Características principales de la batería de aluminio-aire. Fuente: [1].

CARACTERÍSTICAS	VALORES HABITUALES
Densidad de potencia	80-140 W/kg
Densidad de energía	200 Wh/kg
Nº ciclos al 80% de descarga	200 ciclos (aprox)
Tensión de salida	1.65 V / acumulador
Coste mínimo	90 € /kWh (aprox)

Tabla II.19. Características principales de la batería de cinc-aire. Fuente: [1].

A continuación imágenes de baterías de estos pares (figuras II.14, II.15 y II.16):



Figura II.14. Batería de ión – litio.



Figura II.15. Batería de cinc – aire.



Figura II.16. Batería de níquel – metal hidruro.

Integración en el vehículo y funciones

Para garantizar unas prestaciones mínimas, el número de baterías a incluir es elevado, lo que plantea unas importantes exigencias en cuanto a volumen y peso.

Debido a las recientes normativas de seguridad, no es posible situar las baterías en el vano motor frontal, por lo que una de las soluciones más habitual es situar el grupo de

baterías bajo el piso del vehículo. Dicha posición es beneficiosa desde el punto de vista dinámico, ya que el conjunto de baterías puede llegar a suponer una importante parte de la masa total del vehículo, por lo que situarla en una baja cota ayuda a bajar el centro de gravedad.

Además, es preciso que su ubicación sea de fácil acceso, para posibilitar reparaciones o cambios, ya que baterías como las de metal aire necesitaran ser repuestas a lo largo de la vida útil del vehículo, ya que sus ciclos de vida son muy cortos, en comparación con otras baterías. Además, en caso de realizar recargas mecánicas, es decir, sustitución de electrodos, y a veces electrolito, el vehículo debe estar concebido para tal efecto, de manera que facilite dicha operación situando sus baterías en el lugar más propicio.

Su función principal es la de fuente de energía principal para la tracción del vehículo, en el caso de las baterías de aire, debido a su elevada energía específica.

Sin embargo, su reducida densidad de potencia hace que necesiten trabajar en paralelo con otra batería (o dispositivo) que genere la potencia necesaria en momentos de alta demanda, así como para aprovechar la energía obtenida mediante frenado regenerativo.

Por otro lado, tanto las baterías de ión – litio como las de Níquel – metal hidruro, puesto que ofrecen elevados valores en ambas características, pueden ser utilizadas sin otros dispositivos auxiliares.

Valoraciones económicas

Los costes de estos tipos de baterías son relativamente bajos, aunque en el caso de las baterías de aire, sus bajos número de ciclos hacen que su coste total aumente.

No obstante, hay que tener en cuenta que el coste de fin de uso de estas baterías es muy bajo, ya que sus componentes no son de difícil tratamiento.

Por otro lado, las baterías de ión – litio, a pesar de no contar con densidades de energía tan elevadas, su densidad de potencia las hace muy interesantes.

Además, con un número de ciclos superior a 1000, y en algunos casos muy superior, no cuentan la desventaja de corta vida, por lo que el coste total las posiciona en un lugar próximo a otras baterías más utilizadas, como por ejemplo las de plomo ácido. Al igual que las baterías de aire, no plantean problemas en cuanto a su reciclado.

Las del tipo Ni – metal hidruro presentan costes comparables a las de ión litio, si bien sus características, a excepción de potencia específica, son algo inferiores.

ANEXO III. ESTUDIOS PREVIOS RELACIONADOS

Tal y como se anticipaba en el documento principal, a continuación se puede encontrar información ampliada acerca de los artículos presentados anteriormente. La estructura que se sigue para cada artículo es la siguiente: datos principales, comentario general y una conclusión final.

- Artículo 1

TÍTULO:

“Hybridization of energy sources in electric vehicles”

FUENTE:

“Energy: Conversion and management” journal

AUTORES:

K.T. Chau; Y.S. Wong;

DATOS GENERALES:

Department of Electrical and Electronic Engineering

The University of Hong Kong

Pokfulam road, Hong Kong, China

Año 2000

COMENTARIO:

Se trata de un estudio realizado en el campo de la automoción de carácter general. El punto de partida es el reconocimiento de la imposibilidad de competir con los vehículos convencionales con una sola fuente de energía. La única alternativa es, por lo tanto, utilizar varios tipos de fuente de energía, intentando aprovechar las mejores características de cada una.

En este estudio se propone un esquema consistente en la utilización de dos tipos de fuentes de energía: una de alta densidad de energía (llamada HSE) y otra de alta densidad de potencia (HSP), tal y como aparece en la siguiente imagen (figura III.1):

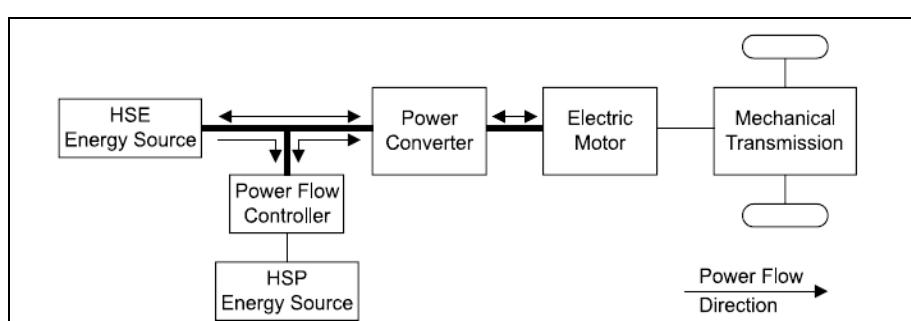


Figura III.1. Esquema de las fuentes de energía empleadas en el estudio. Fuente: [5].

El modo de coordinación entre los dos sistemas queda representado por el siguiente gráfico (figura III.2):

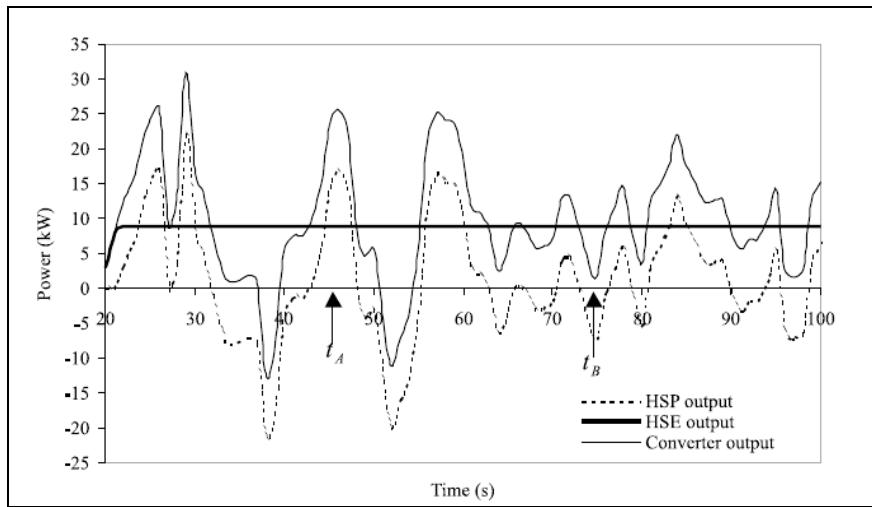


Figura III.2. Fuente: [5].

Se observa en línea gruesa la fuente de alta densidad de energía, que opera continuamente, independientemente de la demanda. En línea de puntos está representada la fuente de alta densidad de potencia, cuya función es proporcionar energía en los picos de demanda y almacenarla en los momentos de superávit de energía.

Las variables que se estudian son las llamadas ratios de masa y de hibridación, que se explican a continuación:

-Ratio de masa: cociente entre la masa de los sistemas de energía y la total.

Cuanto mayor sea, mayor autonomía se consigue, a cambio de un peor consumo provocado por el aumento de peso.

-Ratio de hibridación: porcentaje de sistema de almacenamiento de alta densidad de potencia sobre el total.

Las influencias de estos dos parámetros sobre el consumo y la autonomía se aprecian en las siguientes gráficas (figuras III.3 y III.4):

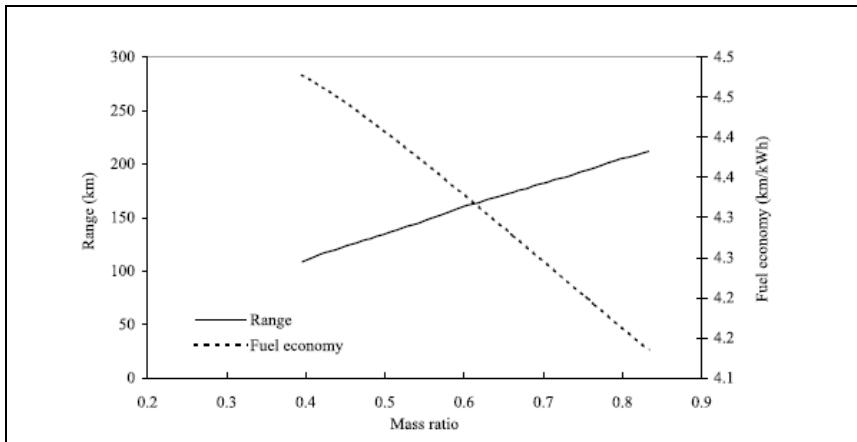


Figura III.3. Autonomía y consumo vs ratio de masa. Fuente: [5].

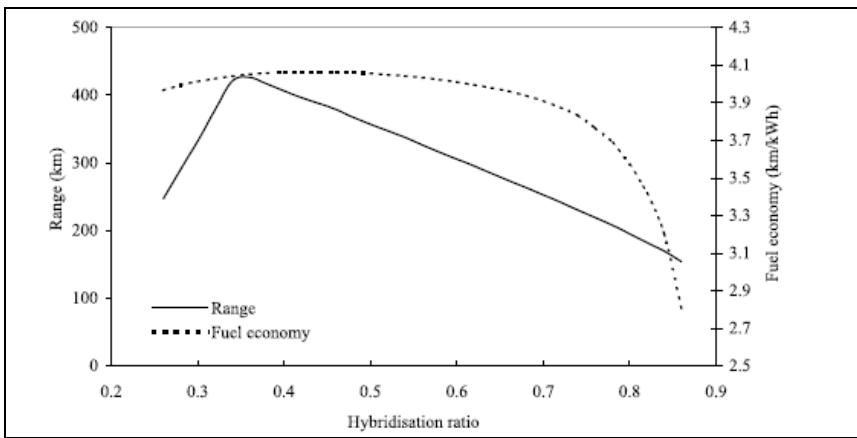


Figura III.4. Autonomía y consumo vs ratio de hibridación. Fuente: [5].

En el caso del ratio de masa no existen puntos óptimos; se deberá encontrar pues un compromiso entre autonomía y consumo. En la segunda gráfica sí que se observan óptimos, tanto para autonomía como para consumo. Para ratios de hibridación superiores al óptimo, se sacrifica excesiva fuente de energía de alta densidad, lo que disminuye la autonomía y reduce la eficacia total, empeorando también los consumos. Para ratios de hibridación menores al óptimo, la fuente de alta densidad de potencia no es capaz de cumplir su cometido, conduciendo al sistema a ineficiencias que provocan empeoramientos en autonomía y en consumo.

Conclusión:

La principal idea que aporta este estudio es la de la necesidad de utilizar diferentes tipos de sistemas de almacenamiento de energía simultáneamente. Una vez seleccionados los sistemas de energía a utilizar, se debe estudiar cuál es su proporción óptima tal que satisfaga los requisitos planteados y consiga mejores consumos.

- Artículo 2

TÍTULO:

“Optimum Design of Hybrid Powertrain Systems for Non Emission Vehicles”

FUENTE:

“SAE International”

AUTORES:

F. Cebrián; E. Larrodé; J. Gallego;

DATOS GENERALES:

Department of Mechanical Engineering

University of Zaragoza, España

Año 2007

COMENTARIO:

Se trata de un estudio en el que se ha utilizado una herramienta informática de simulación de vehículos para ensayar diferentes tipos de configuraciones en diferentes escenarios. Se busca obtener la proporción óptima, desde el punto de vista de la eficiencia energética, entre sistema de energía principal y auxiliar según el ciclo de funcionamiento. En primer lugar se justifica el proceso de evolución desde el vehículo convencional hasta el vehículo basado en pila de combustible, pasando por el vehículo híbrido con motor de combustión y por el vehículo eléctrico puro. Tras simular todas las opciones, se obtiene el vehículo de pila de combustible como opción óptima. En la siguiente tabla se puede observar los principales resultados de la primera fase de simulaciones:

Vehículo	Emisiones (gCO ₂ /km)	η %	Consumo (l eq/100km)
convencional	206	9,8	8,6
híbrido	146	13,8	6,1
eléctrico ión-Li	0	42,1	2
eléctrico Ni-mh	0	30,1	2,8
pila combustible	0	20	4,2

Tabla III.1. Resultados de las primeras simulaciones. Fuente: [4].

En la siguiente fase se simulan vehículos de pila de combustible que utilizan diferentes sistemas auxiliares de energía para seleccionar finalmente la batería de ión-litio como opción óptima. Este vehículo se simula en escenarios cuyo carácter va desde fuertemente urbano hasta completamente suburbano, pasando por varios de tipo intermedio. Se varía la potencia de los sistemas energéticos primario y auxiliar del vehículo en cada ciclo de cara a obtener la máxima eficiencia energética.

Con el resultado obtenido para cada ciclo se representa la evolución de la proporción entre potencia del sistema auxiliar y potencia total del vehículo según el tipo de ciclo en el que se simula. En la figura III.5 se observa dicha evolución:

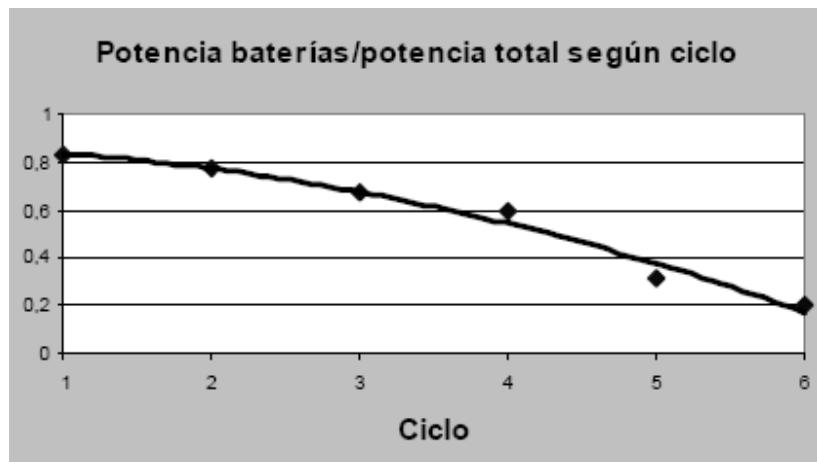


Figura III.5. Evolución del reparto de la aportación de potencia para cada ciclo. Fuente: [4].

Los valores obtenidos varían aproximadamente desde un 80% para el ciclo más urbano hasta un 5% conforme los ciclos adquieren un carácter más suburbano. Se concluye que la importancia relativa del sistema auxiliar de energía frente al primario es muy alta en ciclos urbanos debido a la variabilidad de la demanda energética para descender hasta valores bajos en ciclos de carretera en los que dicha demanda es casi constante. La importancia de realizar un dimensionamiento óptimo acorde con el ciclo de utilización del vehículo es elevada, observándose unas diferencias de consumos de hasta 2,75 veces al comparar, en un ciclo en concreto, un vehículo optimizado para ese ciclo con otro dimensionado para un ciclo distinto, teniendo en cuenta que ambos vehículos cuentan con el mismo tipo de sistema energético y que sólo varía el tamaño de los componentes.

Conclusión:

La principal idea que aporta este estudio es la importancia de realizar un correcto dimensionamiento energético de los vehículos, ya que se pueden obtener diferencias de consumo con la opción óptima de hasta 2,75 veces, así mismo destacar también que los rendimientos de los vehículos de pila de combustible son superiores a los convencionales comercializados actualmente.

- Artículo 3

TÍTULO:

“Super-capacitor Integration into Hybrid Vehicle Power Source”

FUENTE:

“Renewable Energy and Power Quality Journal”

AUTORES:

V. Bršlica;

DATOS GENERALES:

Department of Electrical Engineering
University of Defence in Brno
Kounicova 65, 612 00 Brno (Czech Republic)
Año 2008

COMENTARIO:

Se trata de un estudio sobre la integración de supercondensadores en los vehículos híbridos enchufables para mejorar su rendimiento en diferentes ciclos de funcionamiento. El vehículo híbrido enchufable está basado en el concepto de pilas con un motor eléctrico y las baterías electroquímicas son para el confort térmico de la tripulación y para alargar la autonomía de viajes ocasionales completado por el generador, el cual está diseñado sobre la potencia de tracción y durante el recorrido se utiliza principalmente en ejecutar la función co-generadora para la calefacción de la cabina. Tal eficiencia de los vehículos puede ser mejorada por la fuente de alimentación en tercer lugar, sólo se utilizan específicamente para la aceleración y para la recuperación de energía en las frenadas. Ese rol es óptimo para supercondensadores, que tienen muy buena eficiencia de carga y pueden almacenar la energía de frenado para futuras aceleraciones. Ambas acciones son por lo general muy rápidas y con alta demanda de potencia en muy poco tiempo. Su tamaño y el control de voltaje se investigan en este trabajo.

En la siguiente figura se muestra el esquema de las fuentes de energía dispuestas en este estudio para el vehículo híbrido con supercondensadores.

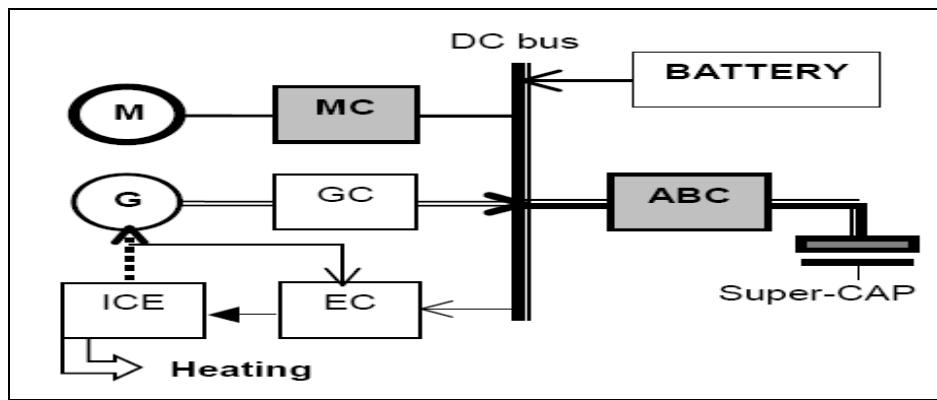


Figura III.6. Fuentes de energía dispuestas en este estudio. Fuente: [7].

La reserva de toda la energía durante la aceleración del vehículo y la recuperación de energía en las frenadas dejan un único parámetro para el control de voltaje, la velocidad del vehículo. La dependencia del voltaje frente a la velocidad (km/h) está trazada en la figura III.7. El condensador se puede reducir más de tres veces, si soporta la aceleración dinámica la velocidad límite en la ciudad (50 km / h), pero todos estos cálculos no tienen en cuenta el grado de la fuerza resistente, por lo tanto la primera versión simulada es mejor.

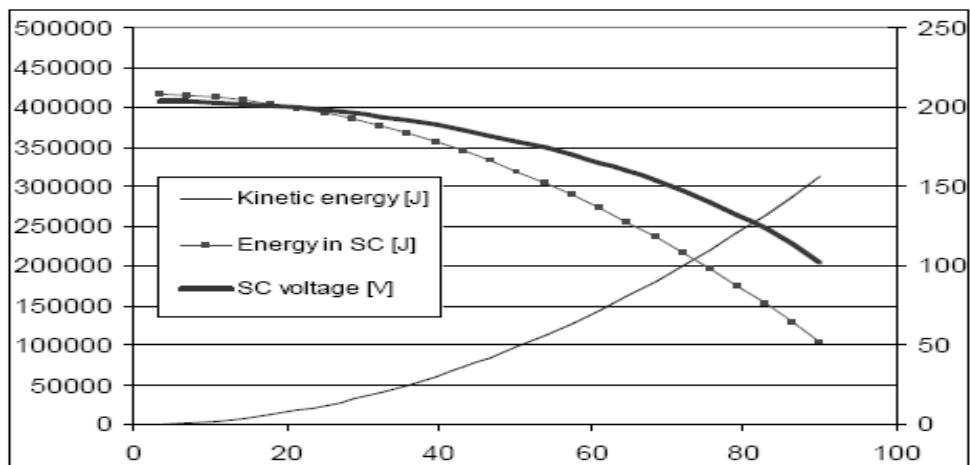


Figura III.7. Dependencia del voltaje frente a la velocidad. Fuente: [7].

Conclusión:

La principal idea que aporta este estudio es que la integración de la tercera fuente de alimentación, en este caso supercondensadores, en diseño moderno con la transmisión eléctrica no cambia considerablemente los parámetros de los componentes principales. Todos los análisis presentados se basan en el estado actual de la técnica y todo indica que en un futuro muy cercano las propiedades de los sistemas de almacenamiento de energía analizados aquí mejorarán mucho, ya que no sólo el precio da la opción para cada tipo de vehículo.

ANEXO IV. CICLOS DE FUNCIONAMIENTO

Tal y como se ha explicado en el documento principal, los ciclos de funcionamiento son los diferentes entornos en los que se simula cada una de las opciones propuestas. Su gráfica más representativa es la de velocidad/tiempo, incluida ya en la memoria; sin embargo, existen otras gráficas, como por ejemplo la de velocidad / espacio, que pueden resultar interesantes. En las siguientes páginas se comentan las características de cada ciclo y se muestran algunos gráficos de interés:

-Ciclo 1. El ciclo analizado inicialmente será el ciclo ECE_EUDC_LOW, que es la resultante de combinar el ciclo urbano ECE y el ciclo suburbano o de carretera EUDC, pero a velocidades más bajas. Como se puede observar en la figura IV.1 se aplica el ciclo urbano 4 veces y por último se aplica el ciclo suburbano 1 vez para completar el ciclo mixto.

A lo largo del ciclo el vehículo no tendrá que superar ninguna pendiente. *La distancia recorrida en un ciclo es de casi 11 km, por lo que se va a aplicar el ciclo 48 veces para obtener una distancia total para el análisis de aproximadamente 500 km.*

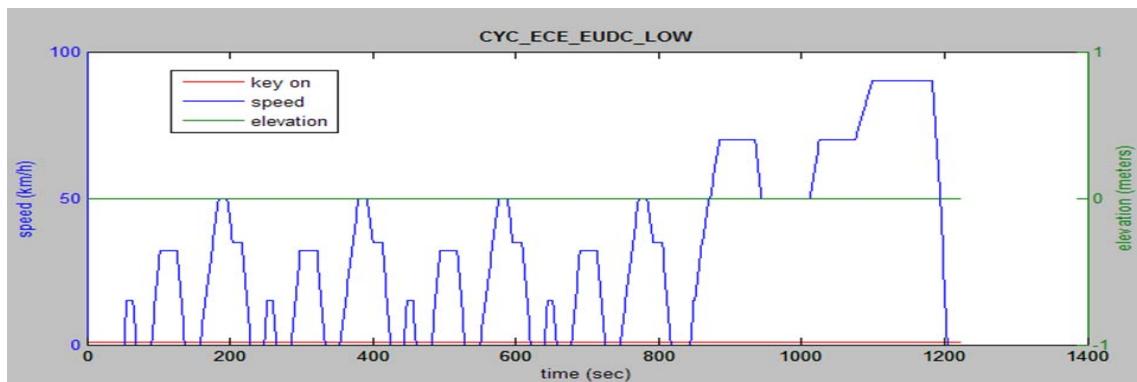


Figura IV.1. Gráfica tiempo-velocidad del ciclo combinado. Fuente: Advisor.

Por último la figura IV.2 muestra las características principales del ciclo combinado o mixto. El tiempo empleado en recorrer un ciclo será de 1224 segundos, la máxima velocidad alcanzada será de 90 km/h y la velocidad media del ciclo será 31,11 km/h.

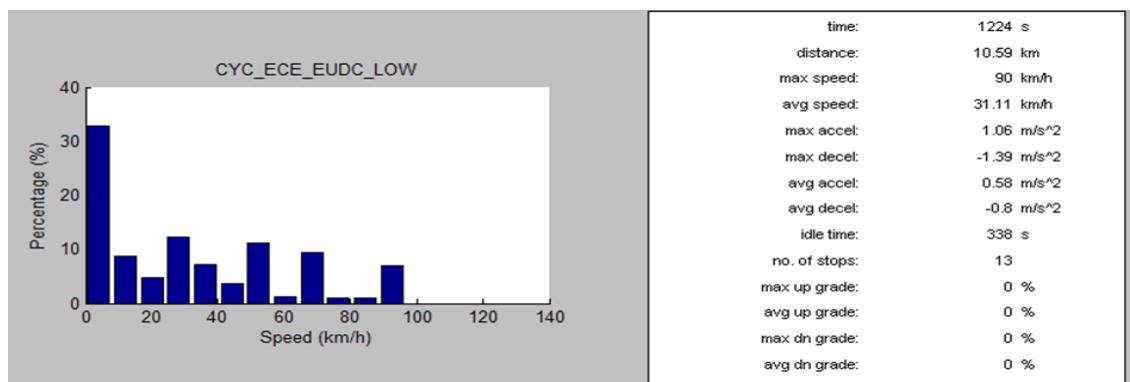


Figura IV.2. Características del ciclo mixto ECE_EUDC. Fuente: Advisor.

-Ciclo 2. Una vez seleccionada la arquitectura óptima, se analizará diferentes modificaciones simulándolas en el ciclo urbano ECE, que se corresponde con el comportamiento que tendrá un vehículo por el interior de una ciudad.

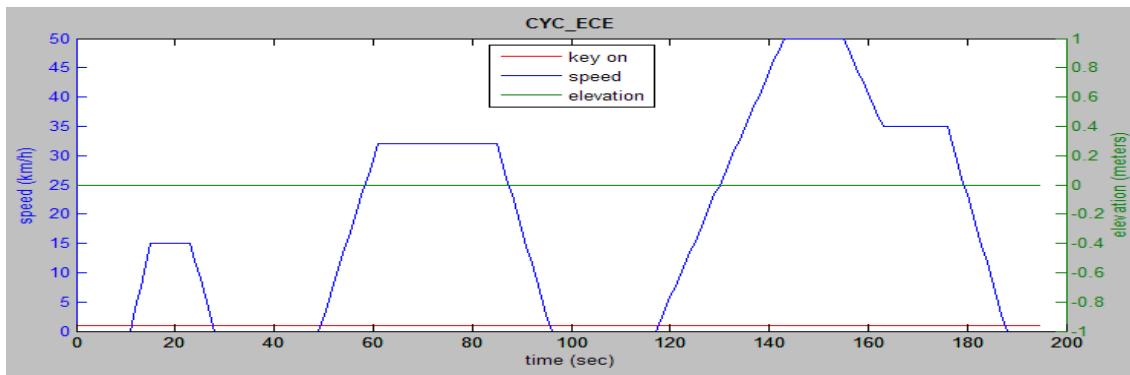


Figura IV.3. Gráfica tiempo-velocidad del ciclo urbano. Fuente: Advisor.

Como se puede observar en la figura IV.3 el ciclo urbano tiene tres tramos bien diferenciados, el primero de ellos es una aceleración constante hasta 15 km/h, se mantiene esa velocidad durante unos 5 segundos y después se decelera de forma constante hasta detener el vehículo. El vehículo permanece unos 20 segundos detenido para después comenzar a acelerar linealmente hasta una velocidad de 32 km/h que se mantiene durante 25 segundos aproximadamente y decelerando después hasta detener el vehículo de nuevo durante 20 segundos. Por último se vuelve a acelerar el vehículo hasta los 50 km/h, se mantiene durante 15 segundos y se decelera en dos pasos, el primero hasta los 35 km/h manteniendo el vehículo 10 segundos y después decelerando hasta detener el vehículo completamente, terminando así un ciclo completo.

Este ciclo urbano transcurre por terreno sin inclinación y tiene una longitud total de casi 1 km. *Para las mediciones energéticas de los vehículos se realizará un ciclo total de 500 km, es decir, se aplicará este ciclo 507 veces.*

Otras características de este ciclo se pueden observar en la figura IV.4. El tiempo total de ciclo son 195 segundos, la media de velocidad son 18,26 km/h. En la gráfica de la izquierda muestra el porcentaje de tiempo del ciclo para una velocidad, y se puede ver que durante más de la mitad del ciclo la velocidad del vehículo es inferior a 20 km/h.

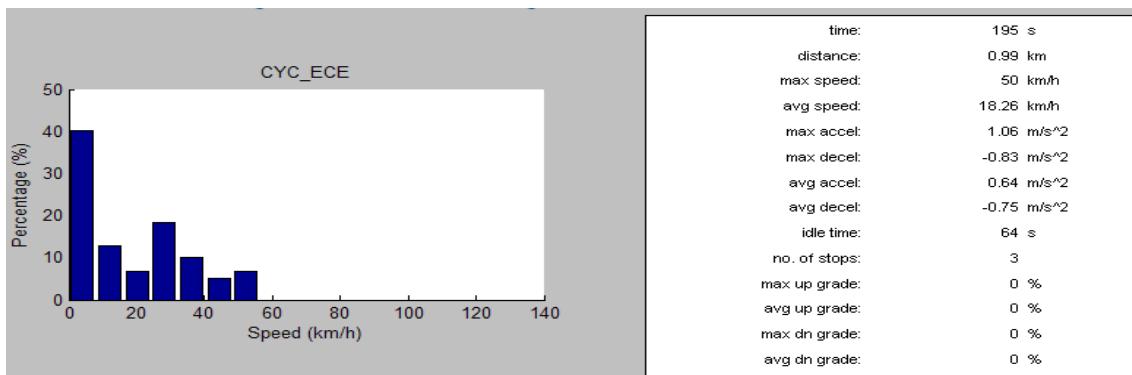


Figura IV.4. Características del ciclo urbano ECE. Fuente: Advisor.

ANEXO V. ANÁLISIS DE MODELOS ELÉCTRICOS E HÍBRIDOS ACTUALES

A continuación se completa la información del análisis de modelos eléctricos e híbridos actuales que aparece en el documento principal. Se sigue el mismo orden que en dicho documento, pero los análisis se realizan individualmente para cada modelo:

- V.1. VEHÍCULOS ELÉCTRICOS CON BATERÍAS

DAILY 35S Chasis Cabina Eléctrica (IVECO)

Imagen (figura V.1):



Figura V.1.

- Información general:

Tamaño:	pequeño (2065kg)
Tipo de vehículo:	híbrido según motorización: motor eléctrico +batería
Dispositivos:	motor eléctrico: Potencia máxima: 60kW
	batería: tipo NaNi/Cl ₂
	Tensión nominal: 278V
	Capacidad: 228Ah
	Tiempo de recarga al 100%: 8h

- Prestaciones:

Consumo: (Wh/km)	350
Autonomía	120km
Velocidad máx	70km/h
Capacidad útil de carga	1435kg

- Precio de venta:	90.000€ (aprox)
---------------------------	-----------------

DAILY 65C Chasis Cabina Eléctrica (IVECO)

Imagen (figura V.2):



Figura V.2.

- Información general:

Tamaño: pequeño (2900kg)

Tipo de vehículo: híbrido según motorización: motor eléctrico +batería

Dispositivos: motor eléctrico:
Potencia máxima: 60kW

batería: tipo NaNi/Cl,

Tensión nominal: 278V

Capacidad: 304Ah

Tiempo de recarga al 100%: 8h

- Prestaciones:

Consumo (Wh/km) ---

Autonomía 130km

Velocidad máx 70km/h

Capacidad útil de carga

- Precio de venta:

102 000€ (approx)

MODEC Chasis Cabina

Imagen (figura V.3):



Figura V.3.

- Información general:

Tamaño:	pequeño (3000kg)
Tipo de vehículo:	híbrido según motorización: motor eléctrico +batería
Dispositivos:	motor eléctrico: Potencia máxima: 77kW
	batería: tipo LiFePo4
	Tensión nominal: 265V
	Capacidad: 200Ah
	Tiempo de recarga al 100%: 6h

- Prestaciones:

Consumo: (Wh/km)	520
Autonomía	100km
Velocidad máx	80km/h
Capacidad útil de carga	2500kg

- Precio de venta: 80.000€ (aprox)

Tata ACE

Imagen (figura V.4):



Figura V.4.

- Información general:

Tamaño: pequeño (863kg)
 Tipo de vehículo: híbrido según motorización: motor eléctrico +batería

Dispositivos: motor eléctrico:
 Potencia máxima: 10kW

batería: tipo Pb ácido (gel)
 Tensión nominal: 80V
 Capacidad: 85Ah
 Tiempo de recarga al 100%: 7h

- Prestaciones:

Consumo: (Wh/km)	---
Autonomía	50km
Velocidad máx	40km/h
Capacidad útil de carga	700kg

- Precio de venta: 17.241€ (aprox)

Ducato Chassis Cabina (MICRO-VETT)

Imagen (figura V.5):



Figura V.5.

- Información general:

Tamaño:	pequeño (1900kg)
Tipo de vehículo:	híbrido según motorización: motor eléctrico +batería
Dispositivos:	motor eléctrico: Potencia máxima: 60kW
	batería: tipo Ión Litio
	Tensión nominal: 260V
	Capacidad: 160Ah
	Tiempo de recarga al 100%: 6h

- Prestaciones:

Consumo: (Wh/km)	---
Autonomía	95km
Velocidad máx	90km/h
Capacidad útil de carga	1588kg

- Precio de venta: 90.341€ (aprox)

Electric Power Top-Deck (PIAGGIO)

Imagen (figura V.6):



Figura V.6.

- Información general:

Tamaño: pequeño (1285kg)

Tipo de vehículo: híbrido según motorización: motor eléctrico +batería

Dispositivos: motor eléctrico:
Potencia máxima: 16kW

batería: tipo GEL Dryfit-Gel

Tensión nominal: 96V

Capacidad: 180Ah

Tiempo de recarga al 100%: 8h

- Prestaciones:

Consumo: (Wh/km) ---

Autonomía 90km

Velocidad máx 57km/h

Capacidad útil de carga 650kg

- Precio de venta: 20.417€ (aprox)

Electric Power Pick-Up/Roll Bar (PIAGGIO)

Imagen (figura V.7):



Figura V.7.

- Información general:

Tamaño: pequeño (1310kg)

Tipo de vehículo: híbrido según motorización: motor eléctrico +batería

Dispositivos: motor eléctrico:
Potencia máxima: 16kW

batería: tipo GEL Dryfit-Gel
Tensión nominal: 96V
Capacidad: 180Ah
Tiempo de recarga al 100%: 8h

- Prestaciones:

Consumo: (Wh/km)	---
Autonomía	90km
Velocidad máx	57km/h
Capacidad útil de carga	550kg

- Precio de venta: 24.420€ (aprox)

Electric Power Pick-Up (PIAGGIO)

Imagen (figura V.8):



Figura V.8.

- Información general:

Tamaño: pequeño (1285kg)

Tipo de vehículo: híbrido según motorización: motor eléctrico +batería

Dispositivos: motor eléctrico:
Potencia máxima: 16kW

batería: tipo GEL Dryfit-Gel

Tensión nominal: 96V

Capacidad: 180Ah

Tiempo de recarga al 100%: 8h

- Prestaciones:

Consumo: (Wh/km) ---

Autonomía 90km

Velocidad máx 57km/h

Capacidad útil de carga 650kg

- Precio de venta:

19.689€ (aprox)

Electric Power Pick-Up (PIAGGIO)

Imagen (figura V.9):



Figura V.9.

- Información general:

Tamaño:	pequeño (1185kg)
Tipo de vehículo:	híbrido según motorización: motor eléctrico +batería
Dispositivos:	motor eléctrico: Potencia máxima: 16kW
	batería: tipo GEL Dryfit-Gel
	Tensión nominal: 96V
	Capacidad: 180Ah
	Tiempo de recarga al 100%: 8h

- Prestaciones:

Consumo: (Wh/km)	270
Autonomía	90km
Velocidad máx	57km/h
Capacidad útil de carga	615kg

- Precio de venta: 20.140€ (aprox)

Electric Power Big-Deck (PIAGGIO)

Imagen (figura V.10):



Figura V.10.

- Información general:

Tamaño:	pequeño (1205kg)
Tipo de vehículo:	híbrido según motorización: motor eléctrico +batería
Dispositivos:	motor eléctrico: Potencia máxima: 16kW batería: tipo GEL Dryfit-Gel Tensión nominal: 96V Capacidad: 180Ah Tiempo de recarga al 100%: 8h

- Prestaciones:

Consumo: (Wh/km)	270
Autonomía	90km
Velocidad máx	57km/h
Capacidad útil de carga	595kg

- Precio de venta: 20.646€ (aprox)

Electric Power Chasis Carrozable (PIAGGIO)

Imagen (figura V.11):



Figura V.11.

- Información general:

Tamaño: pequeño (1230kg)

Tipo de vehículo: híbrido según motorización: motor eléctrico +batería

Dispositivos: motor eléctrico:
Potencia máxima: 16kW

batería: tipo GEL Dryfit-Gel

Tensión nominal: 96V

Capacidad: 180Ah

Tiempo de recarga al 100%: 8h

- Prestaciones:

Consumo: (Wh/km) ---

Autonomía 90km

Velocidad máx 57km/h

Capacidad útil de carga 670kg

- Precio de venta:

19.622€ (aprox)

Electric Power Chasis Cabina Carrozable (PIAGGIO)

Imagen (figura V.12):



Figura V.12.

- Información general:

Tamaño: pequeño (1260kg)
 Tipo de vehículo: híbrido según motorización: motor eléctrico
 +batería
 Dispositivos: motor eléctrico:
 Potencia máxima: 16kW

batería: tipo GEL Dryfit-Gel
 Tensión nominal: 96V
 Capacidad: 180Ah
 Tiempo de recarga al 100%: 8h

- Prestaciones:

Consumo: (Wh/km)	270
Autonomía	90km
Velocidad máx	57km/h
Capacidad útil de carga	540kg

- Precio de venta: 20.076€ (aprox)

Electric Power Basculante Tipper (PIAGGIO)

Imagen (figura V.13):



Figura V.13.

- Información general:

Tamaño: pequeño (1315kg)

Tipo de vehículo: híbrido según motorización: motor eléctrico +batería

Dispositivos: motor eléctrico:
Potencia máxima: 16kW

batería: tipo GEL Dryfit-Gel

Tensión nominal: 96V

Capacidad: 180Ah

Tiempo de recarga al 100%: 8h

- Prestaciones:

Consumo: (Wh/km) ---

Autonomía 90km

Velocidad máx 57km/h

Capacidad útil de carga 650kg

- Precio de venta: 21.062€ (aprox)

Electric Power Tipper Deck XL (PIAGGIO)

Imagen (figura V.14):



Figura V.14.

- Información general:

Tamaño: pequeño (1275kg)
 Tipo de vehículo: híbrido según motorización: motor eléctrico +batería

Dispositivos: motor eléctrico:
 Potencia máxima: 16kW

batería: tipo GEL Dryfit-Gel
 Tensión nominal: 96V
 Capacidad: 180Ah
 Tiempo de recarga al 100%: 8h

- Prestaciones:

Consumo: (Wh/km)	270
Autonomía	90km
Velocidad máx	57km/h
Capacidad útil de carga	525kg

- Precio de venta: 21.750€ (aprox)

Electric Power Tipper Caja Basculante (PIAGGIO)

Imagen (figura V.15):



Figura V.15.

- Información general:

Tamaño:	pequeño (1275kg)
Tipo de vehículo:	híbrido según motorización: motor eléctrico +batería
Dispositivos:	motor eléctrico: Potencia máxima: 16kW
	batería: tipo GEL Dryfit-Gel
	Tensión nominal: 96V
	Capacidad: 180Ah
	Tiempo de recarga al 100%: 8h

- Prestaciones:

Consumo: (Wh/km)	270
Autonomía	90km
Velocidad máx	57km/h
Capacidad útil de carga	525kg

- Precio de venta:	21.516€ (aprox)
---------------------------	-----------------

- V.2. VEHÍCULOS HÍBRIDOS

Hybrid 714 – Serie 300 (HINO)

Imagen (figura V.16):



Figura V.16.

- Información general:

Tamaño:	grande (2400kg)
Tipo de vehículo:	híbrido según motorización:
	motor térmico
	+motor eléctrico
	+batería
Dispositivos:	motor térmico: diesel
	Potencia: 100kW a 3000rpm
	Par: 353Nm a 1600rpm
	motor eléctrico: Corriente continua, sin escobillas.
	Potencia: 36kW a 1000rpm
	Par: 350Nm a 1000rpm
	Batería: tipo Ni-MH
	Tensión nominal: 288V
	Capacidad: 6,5Ah
	Tiempo de recarga al 100%: ---

- Prestaciones:

Consumo: (Wh/km)	---
Autonomía	---
Velocidad máx	116km/h
Capacidad útil de carga	6500kg

- Precio de venta:

Elf Diesel Hybrid (ISUZU)

Imagen (figura V.17):



Figura V.17.

- Información general:

Tamaño:	mediano (--- kg)
Tipo de vehículo:	híbrido según motorización: motor térmico +motor eléctrico +batería
Dispositivos:	motor térmico: 4HL1 diesel Potencia: 95kW a 300rpm Par: 333Nm a 1500rpm motor eléctrico: --- Potencia: 25,5kW Par: --- Batería: tipo ion Litio Tensión nominal: 346V Capacidad: --- Tiempo de recarga al 100%: ---

- Prestaciones:

Consumo: (Wh/km)	---
Autonomía	---
Velocidad máx	---
Capacidad útil de carga	---

- Precio de venta: ---

Fuso Canter Eco Hybrid (MITSUBISHI)

Imagen (figura V.18):



Figura V.18.

- Información general:

Tamaño:	mediano (2610-3190kg)
Tipo de vehículo:	híbrido según motorización:
	motor térmico +motor eléctrico +batería
Dispositivos:	motor térmico: 3 litros diesel Potencia: 92kW Par: ---
	motor eléctrico: Magnético Potencia: 35kW Par: 200Nm
Batería:	tipo ion Litio Tensión nominal: 346V Capacidad: --- Tiempo de recarga al 100%: ---

- Prestaciones:

Consumo	
Autonomía	
Velocidad máx	
Capacidad útil de carga	2000/3000kg

- Precio de venta:

ANEXO VI. PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LAS SIMULACIONES. APLICACIÓN INFORMÁTICA “ADVISOR”

A continuación se procede a describir con mayor profundidad, tal y como se anticipaba en el apartado 8 de la memoria, el proceso que se sigue cada vez que se prueba una determinada configuración.

1. Se selecciona el tipo de vehículo en la pantalla de introducción de datos del vehículo de la aplicación informática Advisor (figura VI.1):



Figura VI.1. Pantalla inicial del programa. Fuente: Advisor.

2. Introducción de las especificaciones técnicas (algunas de ellas aparecen en la figura VI.2):

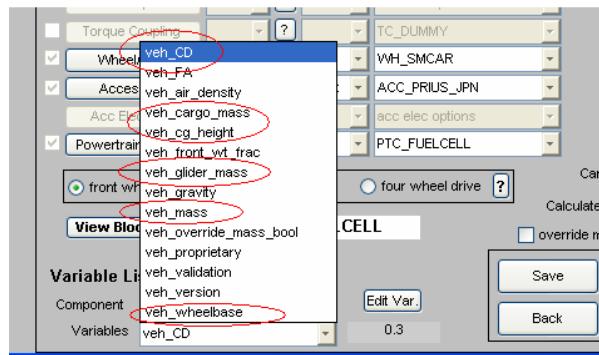


Figura VI.2. Pantalla del programa. Fuente: Advisor.

3. Selección en la pantalla siguiente de la aplicación informática Advisor el ciclo en el que se va a simular los vehículos (figura VI.3):

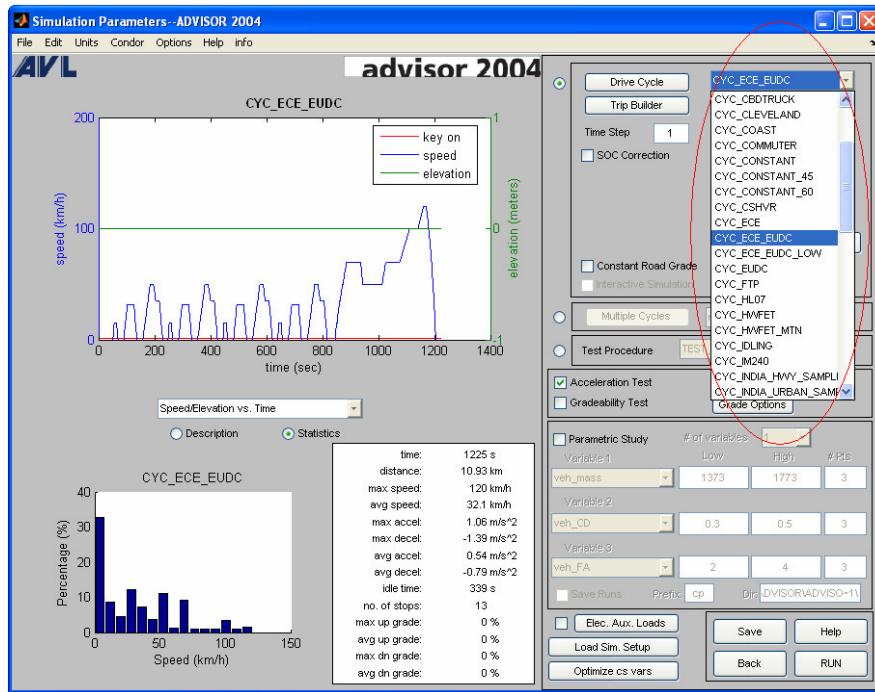


Figura VI.3. Pantalla de selección de ciclos del programa. Fuente: Advisor.

4. Selección de las pruebas adicionales a simular en el vehículo para comprobar si cumple las especificaciones técnicas relativas a prestaciones, donde se especifica el retardo en aceleración por el cambio de marcha, los sistemas que intervienen en la prueba y el estado inicial de carga de los sistemas de almacenamiento entre otros (figura VI.4):

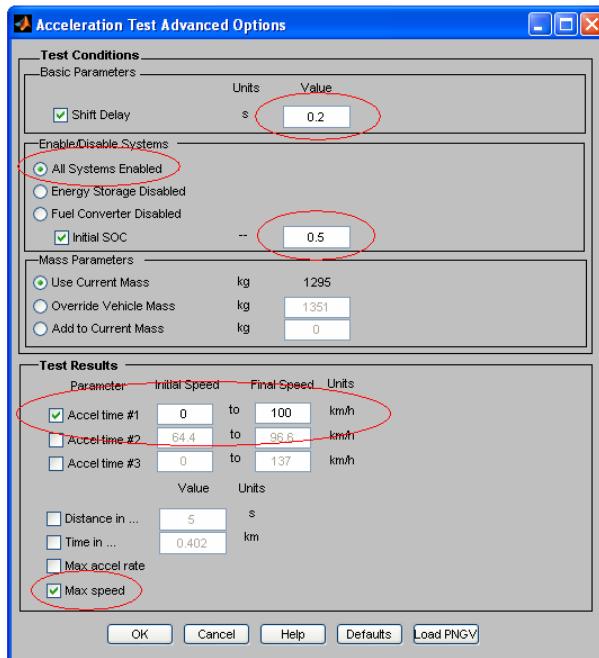


Figura VI.4. Pantalla del programa. Fuente: Advisor.

5. Simulación inicial. Se observan los resultados y se comparan con las especificaciones técnicas de prestaciones. Además se comprueba que el vehículo ha sido capaz de recorrer el ciclo adquiriendo las velocidades requeridas en todo momento (figura VI.5):

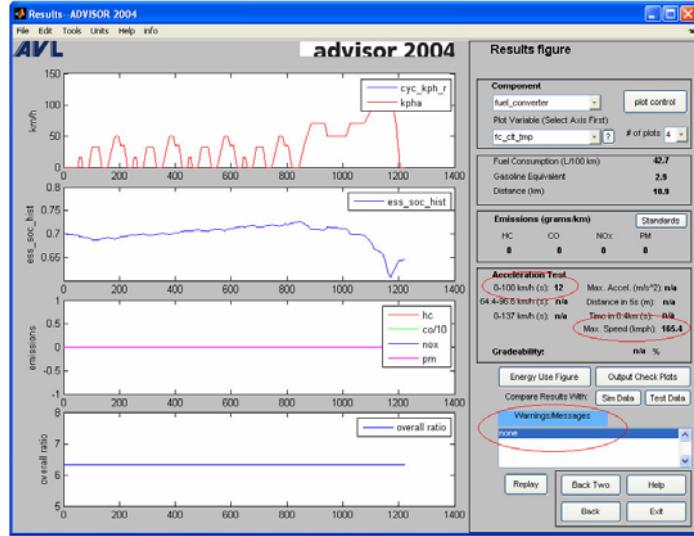


Figura VI.5. Pantalla de resultados del programa. Fuente: Advisor.

6. Se realizan varias simulaciones iniciales ajustando los tamaños de los elementos de los sistemas energéticos (pila de combustible, motor térmico, baterías, supercondensadores, etc) para cumplir las especificaciones: (figura VI.6):

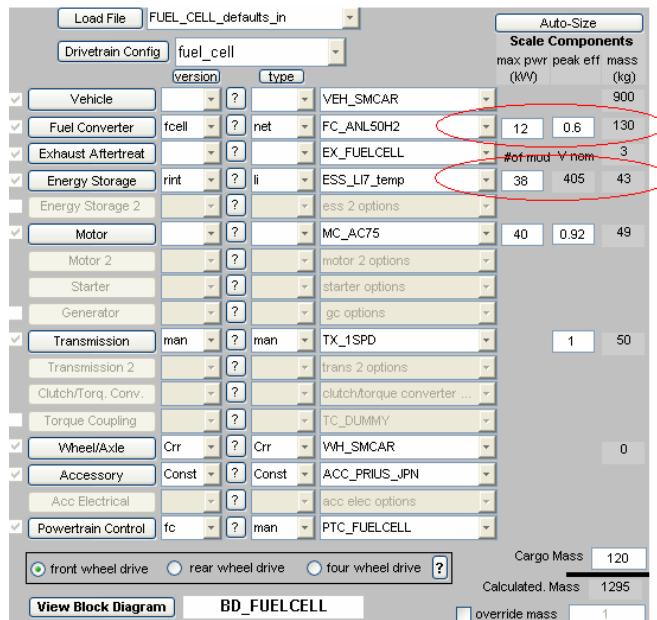


Figura VI.6. Pantalla inicial del programa. Fuente: Advisor.

7. (Sólo para vehículos eléctricos o de pila de combustible) Una vez que ya se tiene un modelo cuyas prestaciones son similares a las deseadas, y por tanto se conoce la masa aproximada que tendrá el vehículo final, se selecciona un tamaño de motor. Para ello se utiliza una gráfica elaborada a partir de múltiples simulaciones, en la que se relaciona peso total del vehículo con potencia del motor eléctrico necesaria para cumplir los requerimientos relativos a prestaciones (figura VI.7):

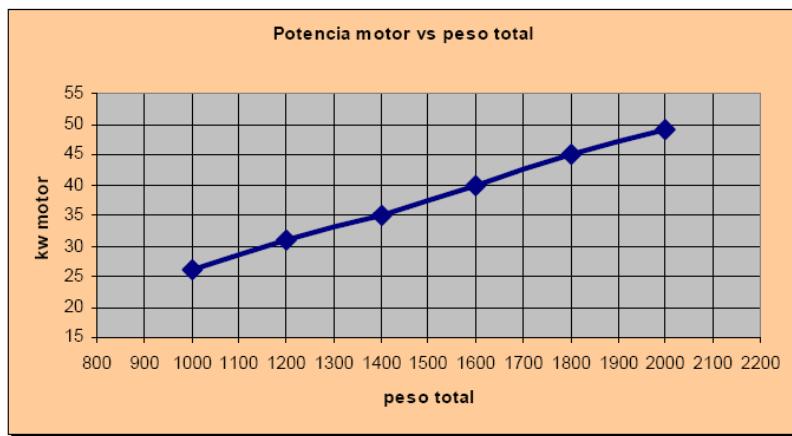


Figura VI.7. Gráfica potencia-peso. Fuente: Advisor.

8. Se ajustan los tamaños de los sistemas energéticos, del mismo modo que en el punto 6, pero esta vez iterando hasta minimizar el consumo energético. Se deberá tener en cuenta, no obstante, que al cambiar el tamaño de los componentes, el vehículo siga cumpliendo las especificaciones necesarias (figura VI.8):

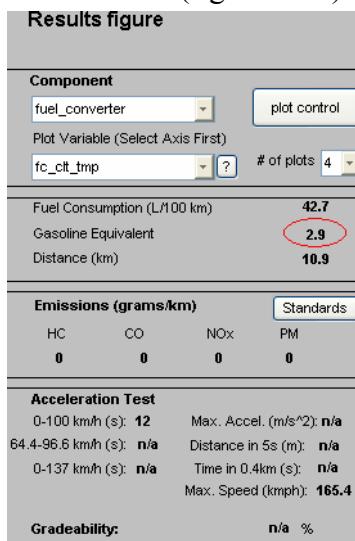


Figura VI.8. Pantalla de resultados del programa. Fuente: Advisor.

9. El ajuste principal ya está realizado. Sin embargo puede ocurrir que el vehículo cumpla uno de los dos requerimientos, por ejemplo, el de velocidad pero no el otro de aceleración. En ese caso se puede realizar un ajuste “fino” variando la relación de transmisión final, como en cualquier vehículo actual (figura VI.9):

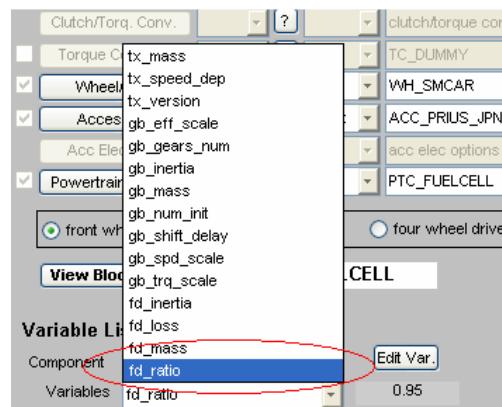


Figura VI.9. Pantalla del programa. Fuente: Advisor.

10. Se ajusta la masa del sistema de almacenamiento de combustible (para vehículos con motor convencional o de pila de combustible) en función del consumo para que la autonomía sea la deseada, en torno a 500km. En los vehículos de gasolina o gasoil, se toma como peso del depósito un 10% del peso del combustible. En el caso del hidrógeno, se toma un peso de depósito del 90% del hidrógeno almacenado. Se simula de nuevo y si la situación ha cambiado, se vuelve al punto 8.

Una vez finalizado este proceso, se obtienen los tamaños óptimos de los sistemas de combustible para el vehículo simulado en el ciclo simulado.

ANEXO VII. AMPLIACIÓN DE RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES

En las siguientes páginas se ofrecen los resultados ampliados de las simulaciones llevadas a cabo en este proyecto. Aparecen siguiendo el mismo orden que en el documento principal.

VII.1. AMPLIACIÓN DE RESULTADOS DE LA FASE “EVOLUCIÓN DE ALTERNATIVAS”

- Caso a) → Ciclo combinado (urbano-suburbano)

VII.1.1. Vehículo convencional ciclo Otto

Sistema energético: Motor ciclo Otto 150kW

Peso total: 3204kg

Aceleración (0-100km/h): 19,5s

Velocidad máxima: 168,3km/h

Autonomía: 504,7km

Consumo (l/100km): 21,7l (litros equivalentes de gasolina)

Consumo energético (Wh/km): 1923,9Wh/km

Eficiencia: 10,2%

Emisiones (gHC/km): 2,751g

Emisiones (gCO/km): 2,191g

Emisiones (gNOx/km): 1,057g

Emisiones (gPM/km): 0g

Pérdidas aerodinámicas (kJ/km): 327,08

Pérdidas por rodadura (kJ/km): 378,41

Detalle otras emisiones (figura VII.1):

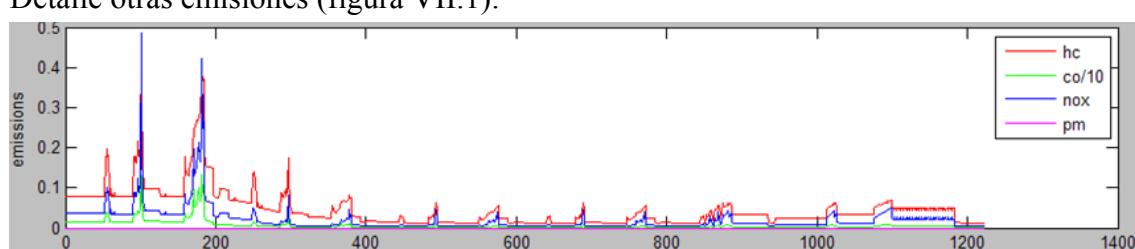


Figura VII.1. Emisiones en el primer ciclo de funcionamiento. Fuente: Advisor.

VII.1.2. Vehículo convencional ciclo Diesel

Sistema energético: Motor ciclo diesel 150kW

Peso total: 3431kg

Aceleración (0-100km/h): 15,8s

Velocidad máxima: 134,7km/h

Autonomía: 505,9km

Consumo (l /100km): 16,9l (litros equivalentes de gasolina)

Consumo energético (Wh/km): 1497,7Wh/km

Eficiencia: 13,6%

Emisiones (gHC/km): 0g

Emisiones (gCO/km): 0g

Emisiones (gNOx/km): 3,056g

Emisiones (gPM/km): 0,185g

Pérdidas aerodinámicas (kJ/km): 326,57

Pérdidas por rodadura (kJ/km): 404,74

Detalle otras emisiones (figura VII.2):

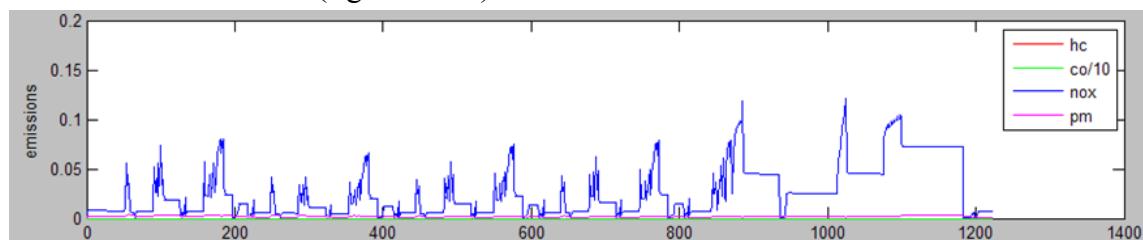


Figura VII.2. Emisiones en el primer ciclo de funcionamiento. Fuente: Advisor.

VII.1.3. Vehículo híbrido según motorización en paralelo con baterías de Pb

Sistema energético: Motor ciclo Otto 38kW
 Motor eléctrico 50kW
 Potencia de las baterías 39kW
 Densidad energética de las baterías 28Wh/kg
 Peso total: 3195kg
 Aceleración (0-100km/h): 28,3s
 Velocidad máxima: 127,3km/h
 Autonomía: 505,9km
 Consumo (l /100km): 14l (litros equivalentes de gasolina)
 Consumo energético (Wh/km): 1240,7Wh/km
 Eficiencia: 15,7%
 Emisiones (gHC/km): 0,933g
 Emisiones (gCO/km): 1,107g
 Emisiones (gNOx/km): 0,286g
 Emisiones (gPM/km): 0g
 Pérdidas aerodinámicas (kJ/km): 326,53
 Pérdidas por rodadura (kJ/km): 376,89

Detalle otras emisiones (figura VII.3):

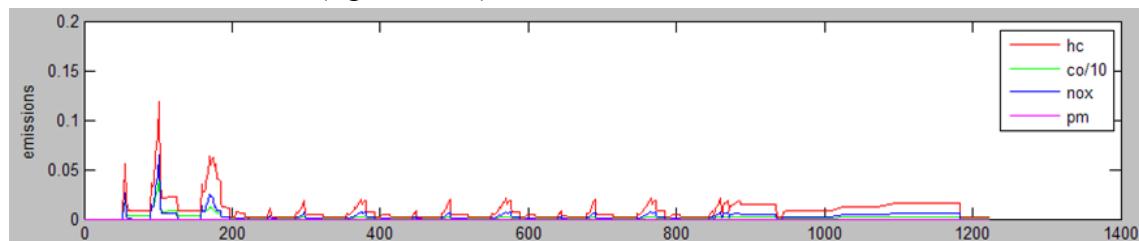


Figura VII.3. Emisiones en el primer ciclo de funcionamiento. Fuente: Advisor.

VII.1.4. Vehículo híbrido según motorización en paralelo con baterías de Li

Sistema energético: Motor ciclo Otto 37kW

Motor eléctrico 50kW

Baterías 60kW

Densidad energética de las baterías 57,2Wh/kg

Peso total: 2946kg

Aceleración (0-100km/h): 29,5s

Velocidad máxima: 124,5km/h

Autonomía: 505,8km

Consumo (l/100km): 13,3l (litros equivalentes de gasolina)

Consumo energético (Wh/km): 1178,6Wh/km

Eficiencia: 15,9%

Emisiones (gHC/km): 0,892g

Emisiones (gCO/km): 1,058g

Emisiones (gNOx/km): 0,272g

Emisiones (gPM/km): 0g

Pérdidas aerodinámicas (kJ/km): 326,55

Pérdidas por rodadura (kJ/km): 347,57

Detalle otras emisiones (figura VII.4):

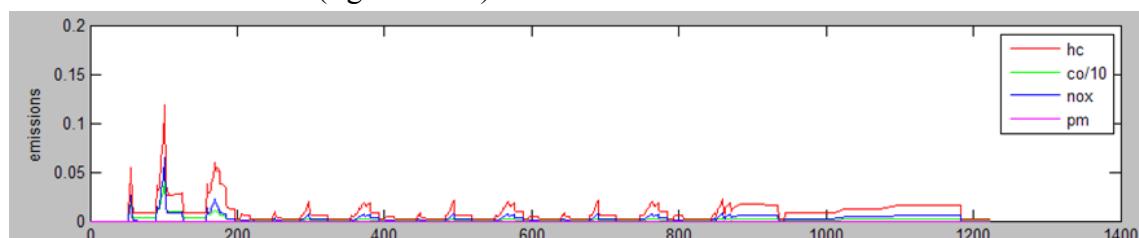


Figura VII.4. Emisiones en el primer ciclo de funcionamiento. Fuente: Advisor.

VII.1.5. Vehículo híbrido según motorización en serie con baterías de Pb

Sistema energético: Motor ciclo Otto 50kW
 Motor eléctrico 75kW
 Generador 63kW
 Baterías 68kW
 Densidad energética de las baterías 25,15Wh/kg

Peso total: 3262kg
 Aceleración (0-100km/h): 17,6s
 Velocidad máxima: 139,8km/h
 Autonomía: 505,9km
 Consumo (l/100km): 15,9l (litros equivalentes de gasolina)
 Consumo energético (Wh/km): 1409,1Wh/km
 Eficiencia: 14%
 Emisiones (gHC/km): 1,118g
 Emisiones (gCO/km): 1,343g
 Emisiones (gNOx/km): 0,376g
 Emisiones (gPM/km): 0g
 Pérdidas aerodinámicas (kJ/km): 326,54
 Pérdidas por rodadura (kJ/km): 384,79

Detalle otras emisiones (figura VII.5):

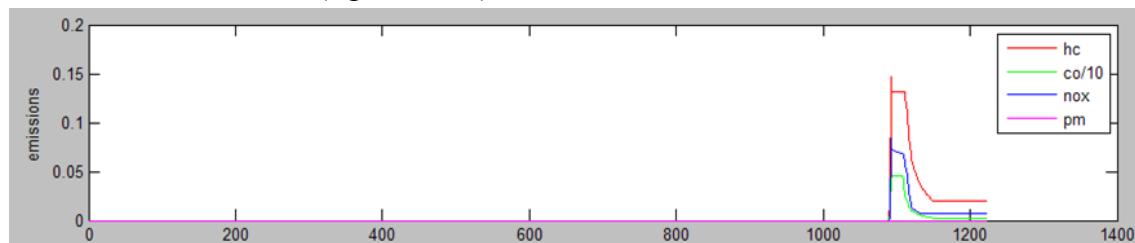


Figura VII.5. Emisiones en el primer ciclo de funcionamiento. Fuente: Advisor.

VII.1.6. Vehículo híbrido según motorización en serie con baterías de Li

Sistema energético: Motor ciclo Otto 50kW
 Motor eléctrico 62kW
 Generador 63kW
 Baterías 60kW
 Densidad energética de las baterías 56,89Wh/kg

Peso total: 3000kg
 Aceleración (0-100km/h): 38,4s
 Velocidad máxima: 122,6km/h
 Autonomía: 505,8km
 Consumo (l /100km): 17,4l (litros equivalentes de gasolina)
 Consumo energético (Wh/km): 1542Wh/km
 Eficiencia: 12,2%
 Emisiones (gHC/km): 1,195g
 Emisiones (gCO/km): 1,417g
 Emisiones (gNOx/km): 0,406g
 Emisiones (gPM/km): 0g
 Pérdidas aerodinámicas (kJ/km): 326,56
 Pérdidas por rodadura (kJ/km): 353,95

Detalle otras emisiones (figura VII.6):

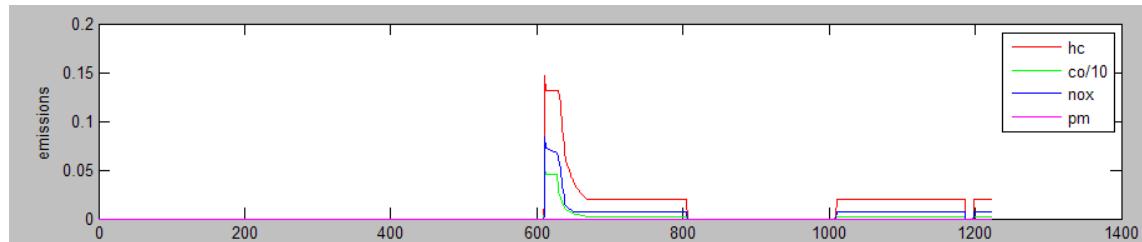


Figura VII.6. Emisiones en el primer ciclo de funcionamiento. Fuente: Advisor.

VII.1.7. Vehículo híbrido según motorización en paralelo-serie con baterías de Pb

Sistema energético: Motor ciclo Otto 43kW
 Motor eléctrico 59kW
 Baterías 74kW
 Densidad energética de las baterías 25,09Wh/kg

Peso total: 3204kg

Aceleración (0-100km/h): 23,6s

Velocidad máxima: 130,2km/h

Autonomía: 505,9km

Consumo (l /100km): 15l (litros equivalentes de gasolina)

Consumo energético (Wh/km): 1329,3Wh/km

Eficiencia: 14,7%

Emisiones (gHC/km): 1,018g

Emisiones (gCO/km): 1,209g

Emisiones (gNOx/km): 0,309g

Emisiones (gPM/km): 0g

Pérdidas aerodinámicas (kJ/km): 326,53

Pérdidas por rodadura (kJ/km): 376,89

Detalle otras emisiones (figura VII.7):

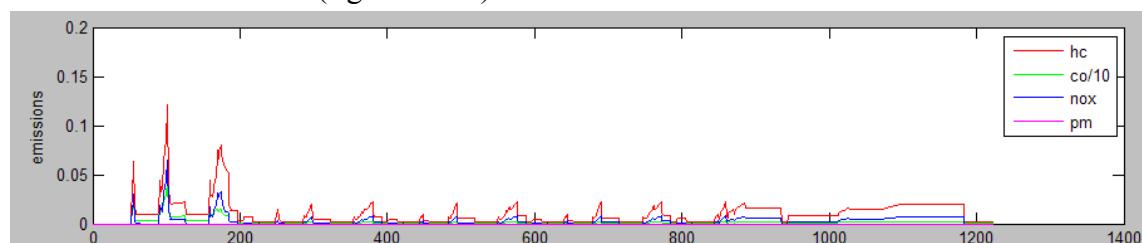


Figura VII.7. Emisiones en el primer ciclo de funcionamiento. Fuente: Advisor.

VII.1.8. Vehículo híbrido según motorización en paralelo-serie con baterías de Li

Sistema energético: Motor ciclo Otto 39kW
 Motor eléctrico 59kW
 Baterías 29kW
 Densidad energética de las baterías 56,54Wh/kg
 Peso total: 2959kg
 Aceleración (0-100km/h): 30,1s
 Velocidad máxima: 125,7km/h
 Autonomía: 505,8km
 Consumo (l/100km): 14,4l (litros equivalentes de gasolina)
 Consumo energético (Wh/km): 1276Wh/km
 Eficiencia: 14,7%
 Emisiones (gHC/km): 0,961g
 Emisiones (gCO/km): 0,139g
 Emisiones (gNOx/km): 0,295g
 Emisiones (gPM/km): 0g
 Pérdidas aerodinámicas (kJ/km): 326,55
 Pérdidas por rodadura (kJ/km): 349,11

Detalle otras emisiones (figura VII.8):

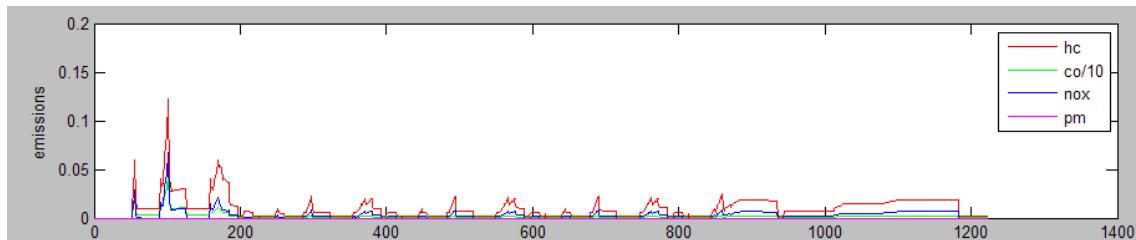


Figura VII.8. Emisiones en el primer ciclo de funcionamiento. Fuente: Advisor.

VII.1.9. Vehículo híbrido según motorización eléctrica pura con baterías de Pb

Sistema energético: Motor eléctrico 62kW

Baterías 410kW

Densidad energética de las baterías 45,03Wh/kg

Peso total: 3492kg

Aceleración (0-100km/h): 46,1s

Velocidad máxima: 119,5km/h

Autonomía: 91,6 km

Consumo (l/100km): 5l (litros equivalentes de gasolina)

Consumo energético (Wh/km): 443Wh/km

Eficiencia: 54,3%

Emisiones (gHC/km): 0 g

Emisiones (gCO/km): 0g

Emisiones (gNOx/km): 0g

Emisiones (gPM/km): 0g

Pérdidas aerodinámicas (kJ/km): 326,63

Pérdidas por rodadura (kJ/km): 411,95

A continuación se muestra el resultado de la simulación en la que se observa que este vehículo no alcanza el requerimiento de 500km de autonomía. En la figura VII.9 se aprecia como el sistema de almacenamiento de energía (segunda gráfica) llega a su 0% de carga, así como el mensaje de atención (abajo a la derecha) por no haber superado el vehículo la distancia (unos 90km) de la simulación:

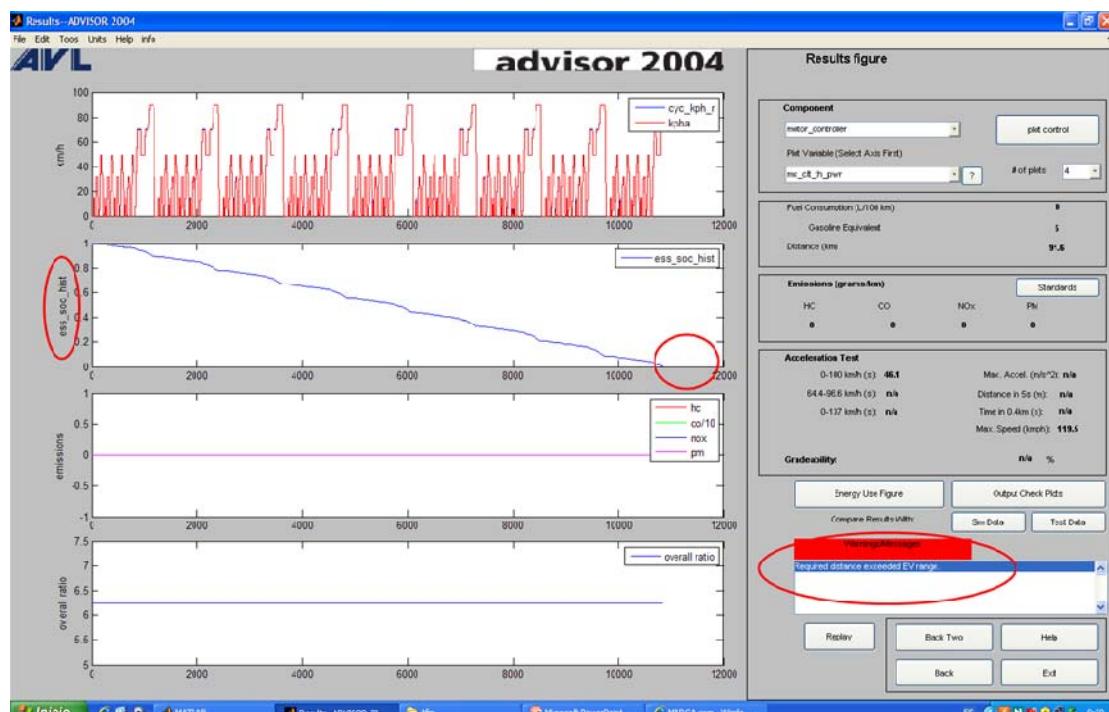


Figura VII.9. Resultado de simulación con fallo. Fuente: Advisor.

VII.1.10. Vehículo híbrido según motorización eléctrica pura con baterías de Li

Sistema energético: Motor eléctrico 62kW

Baterías 900kW

Densidad energética de las baterías 56,41Wh/kg

Peso total: 3485kg

Aceleración (0-100km/h): 46s

Velocidad máxima: 119,6km/h

Autonomía: 132,9km

Consumo (l/100km): 4,5l (litros equivalentes de gasolina)

Consumo energético (Wh/km): 399Wh/km

Eficiencia: 54,6%

Emisiones (gHC/km): 0 g

Emisiones (gCO/km): 0g

Emisiones (gNOx/km): 0g

Emisiones (gPM/km): 0g

Pérdidas aerodinámicas (kJ/km): 326,76

Pérdidas por rodadura (kJ/km): 411,28

Se muestra a continuación el resultado de la simulación en la que se observa que este vehículo no alcanza tampoco el requerimiento de 500km de autonomía.

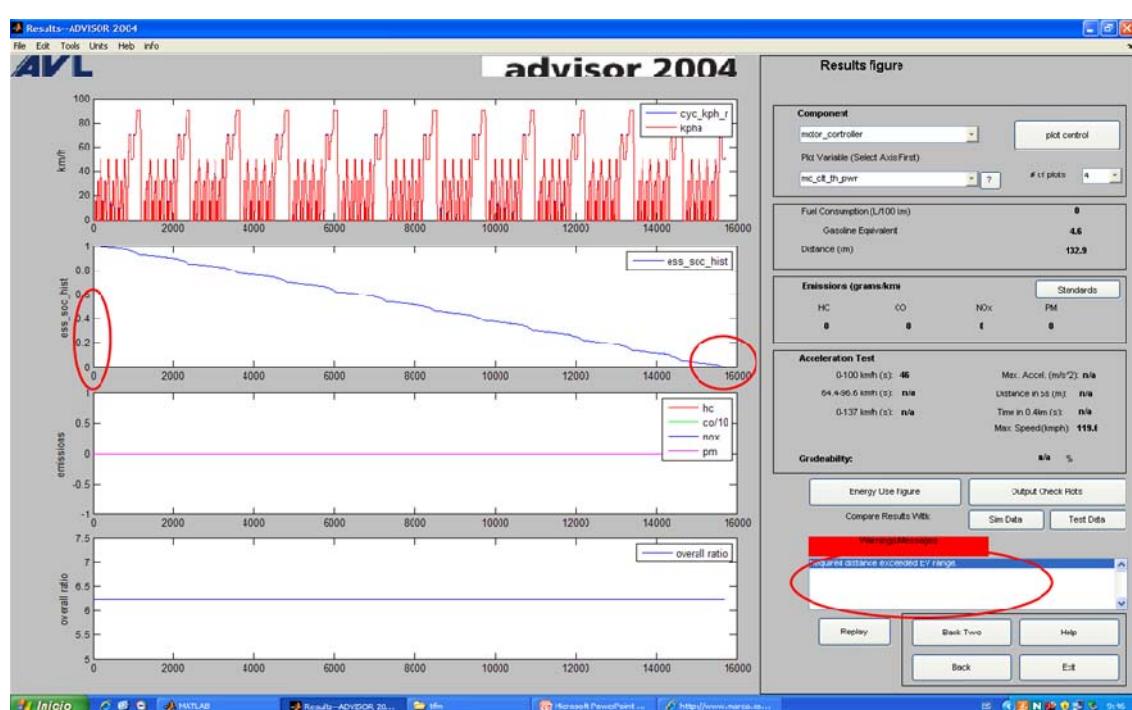


Figura VII.10. Resultado de simulación con fallo. Fuente: Advisor.

VII.1.11. Vehículo híbrido según motorización eléctrica pura con baterías de NiMH

Sistema energético: Motor eléctrico 62kW

Baterías 300kW

Densidad energética de las baterías 69,34Wh/kg

Peso total: 3497kg

Aceleración (0-100km/h): 46,2s

Velocidad máxima: 119,5km/h

Autonomía: 188,2km

Consumo (l/100km): 4,6l (litros equivalentes de gasolina)

Consumo energético (Wh/km): 408Wh/km

Eficiencia: 54%

Emisiones (gHC/km): 0 g

Emisiones (gCO/km): 0g

Emisiones (gNOx/km): 0g

Emisiones (gPM/km): 0g

Pérdidas aerodinámicas (kJ/km): 326,7

Pérdidas por rodadura (kJ/km): 411,62

Se muestra a continuación el resultado de la simulación en la que se observa que este vehículo no alcanza tampoco el requerimiento de 500km de autonomía.

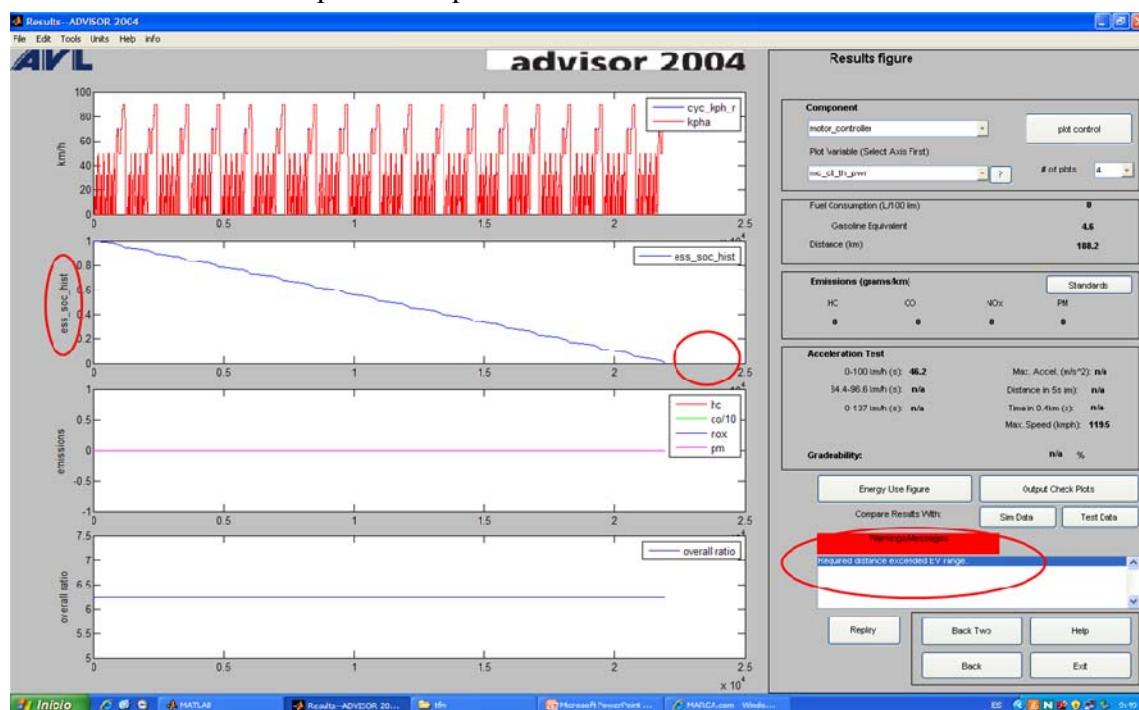


Figura VII.11. Resultado de simulación con fallo. Fuente: Advisor.

VII.1.12. *Vehículo híbrido según motorización con pila de combustible y baterías de Pb*

Sistema energético: Pila de hidrógeno 50kW
 Motor eléctrico 62kW
 Baterías 37kW
 Densidad energética de las baterías 28,06Wh/kg
 Peso total: 3209kg
 Aceleración (0-100km/h): 41,6s
 Velocidad máxima: 121,6km/h
 Autonomía: 505,9km
 Consumo (l /100km): 8,21 (litros equivalentes de gasolina)
 Consumo energético (Wh/km): 727Wh/km
 Eficiencia: 27,2%
 Emisiones (gHC/km): 0 g
 Emisiones (gCO/km): 0g
 Emisiones (gNOx/km): 0g
 Emisiones (gPM/km): 0g
 Pérdidas aerodinámicas (kJ/km): 326,53
 Pérdidas por rodadura (kJ/km): 378,52
 Coste estimado baterías: 355€ (calculado a partir de los datos del Anexo II)

VII.1.13. *Vehículo híbrido según motorización con pila de combustible y baterías de Li*

Sistema energético: Pila de hidrógeno 50kW
 Motor eléctrico 62kW
 Baterías 30kW
 Densidad energética de las baterías 55,57Wh/kg
 Peso total: 2979kg
 Aceleración (0-100km/h): 38s
 Velocidad máxima: 122,5km/h
 Autonomía: 505,9km
 Consumo (l /100km): 7,81 (litros equivalentes de gasolina)
 Consumo energético (Wh/km): 691Wh/km
 Eficiencia: 27,2%
 Sin emisiones
 Pérdidas aerodinámicas (kJ/km): 326,54
 Pérdidas por rodadura (kJ/km): 351,42
 Coste estimado baterías: 256€ (calculado a partir de los datos del Anexo II)

VII.1.14. *Vehículo híbrido según motorización con pila de comb. y baterías de Nimh*

Sistema energético: Pila de hidrógeno 50kW

Motor eléctrico 62kW

Baterías 73kW

Densidad energética de las baterías 52,04Wh/kg

Peso total: 3140kg

Aceleración (0-100km/h): 40,5s

Velocidad máxima: 122km/h

Autonomía: 505,8km

Consumo (l /100km): 7,91 (litros equivalentes de gasolina)

Consumo energético (Wh/km): 700,1Wh/km

Eficiencia: 27,8%

Sin emisiones

Pérdidas aerodinámicas (kJ/km): 326,58

Pérdidas por rodadura (kJ/km): 370,46

Coste estimado baterías: 1436€ (calculado a partir de los datos del Anexo II)

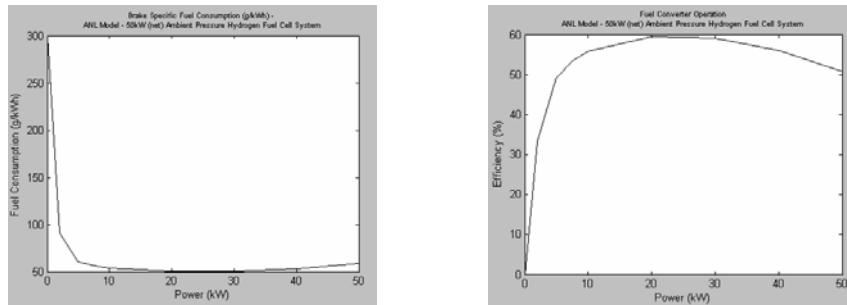
- Caso b) → Ciclo urbano

Modelo	Pot. Motor térmico (kW)	Pot. Motor eléctrico (kW)	Pot. Pila Combustible (kW)	Pot. Generador (kW)	Pot. Baterías (kW)	Densidad energética (Wh/kg)	Pérdidas aerodinámicas (kJ/km)	Pérdidas de rodadura (kJ/km)
gasolina	55						108,85	343,71
diesel	55						108,96	344,02
paralelo Pb	35	35		64	28	108,87	386,39	
paralelo Li	35	35		32	57,2	108,86	337,69	
serie Pb	35	55	33	64	28	108,99	393,95	
serie Li	35	55	33	32	57,2	108,85	344,95	
mixto Pb	35	35		16	28	108,60	354,98	
mixto Li	35	35		18,5	56,5	108,86	343,96	
eléctrico Pb		75		1000	45	108,83	550,06	
eléctrico Li		75		850	56,4	108,81	413,37	
eléctr. Nimh		75		500	52	108,81	472,47	
eléctr. disco		75		300	154,3	108,86	339,94	
pila Pb		75	35-H ₂	15,5	28	108,82	358,88	
pila Li		75	35-H ₂	17	56	108,87	347,67	
pila Nimh		75	35-H ₂	29	52	108,87	354,47	
pila disco		75	35-H ₂	17	154,3	108,86	347,03	

Tabla VII.1. Resultados más destacados vehículos en ciclo urbano. Fuente propia.

VII.2. AMPLIACIÓN DE RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN DE LAS DIFERENTES ALTERNATIVAS DE VEHÍCULOS BASADOS EN PILA DE COMBUSTIBLE

La pila de combustible es un componente común a todas las propuestas, sólo varía su tamaño. Se muestran a continuación las gráficas de eficiencia según potencia de salida (kW) (figura VII.13) y de consumo de combustible por energía producida (g/kWh) según potencia de salida (kW) (figura VII.12) para una pila de combustible de tamaño medio (50kW):



Figuras VII.12. y 13. Curvas consumo-potencia y eficiencia-potencia de la pila de H_2 . Fuente: Advisor.

Seguidamente se profundiza en los sistemas de almacenamiento de energía que caracterizan a cada una de las opciones:

VII.2.1. Vehículo de pila de combustible con batería de plomo-ácido

Se trata de la configuración de pila de combustible analizada en el apartado anterior. Las baterías de plomo-ácido se caracterizan por una baja densidad de energía (28Wh/kg en este caso), una densidad de potencia media (varía según el tipo) y un coste asequible. A continuación se muestra la curva de potencia (kW) vs estado de carga para la batería de esta configuración (figura VII.14):

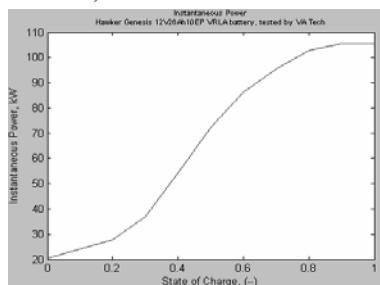


Figura VII.14. Curva potencia-estado de carga de la batería de Pb-ácido. Fuente: Advisor.

VII.2.2. Vehículo de pila de combustible con batería de ión-litio

La batería utilizada en esta opción, de ión-litio, se caracteriza por una elevada densidad de potencia, así como por un valor también bueno de densidad de energía (55,6Wh/kg en este caso). Su coste unitario es algo superior al de las baterías de tipo níquel-metal hidruro. Seguidamente se muestra su gráfica de potencia (kW) vs estado de carga en la que aparecen varias curvas en función de la temperatura.

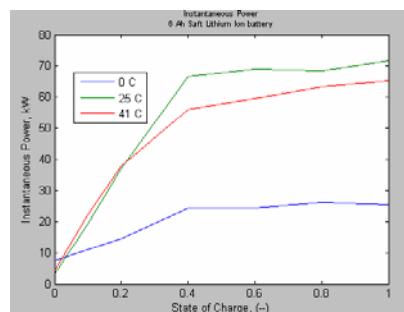


Figura VII.15. Curva potencia-estado de carga de la batería de ión-Li. Fuente: Advisor.

VII.2.3. Vehículo de pila de combustible con batería de níquel metal hidruro

Esta opción se caracteriza por montar una batería de níquel-metal hidruro, cuya densidad de potencia es relativamente elevada, y su densidad energética tiene valores claramente superiores a las baterías convencionales de plomo ácido (52Wh/kg en este caso). Su coste es superior al de estas últimas, aunque no es demasiado elevado. A continuación se muestra su curva de potencia (kW) vs nivel de carga para dicha batería.

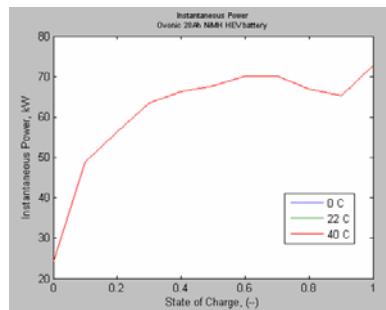


Figura VII.16. Curva potencia-estado de carga de la batería de Nimh. Fuente: Advisor.

VII.2.4. Vehículo híbrido según motorización con pila de comb. y supercondensador

Se muestran a continuación las características del vehículo con pila de H₂, con supercondensador, que mejores resultados mostraban.

Sistema energético: Pila de hidrógeno 50kW
 Motor eléctrico 62kW
 Supercondensador 5000kW
 Densidad energética del supercondensador 9Wh/kg

Peso total: 3364kg

Aceleración (0-100km/h): 44s

Velocidad máxima: 120,5km/h

Autonomía: 505,8km

Consumo (l /100km): 8l (litros equivalentes de gasolina)

Consumo energético (Wh/km): 708,96Wh/km

Eficiencia: 28,3%

Sin emisiones

Pérdidas aerodinámicas (kJ/km): 326,62

Pérdidas por rodadura (kJ/km): 396,86

Coste estimado supercondensador: 30000€-50000€

VII.2.5. Vehículo híbrido según motorización con pila de comb. y disco de inercia

Como ya se ha comentado en el capítulo 9 de la memoria, este componente no se encontraba disponible en la aplicación informática utilizada. Para suplir esta carencia se utilizaron baterías de plomo ácido a las que se les modificaron los parámetros “peso por módulo” y “proporción entre densidad de potencia y de energía” para conseguir los siguientes valores:

- Densidad energética: 2kW/kg
- Densidad de potencia: 150Wh/kg

La gráfica de funcionamiento (potencia en función del estado de carga) utilizada es la misma que la de la batería de plomo-ácido. Para que la simulación fuera más exacta, se debería haber contado con la gráfica de funcionamiento del disco de inercia. Como ya se ha comentado, el programa no permitía esa opción.

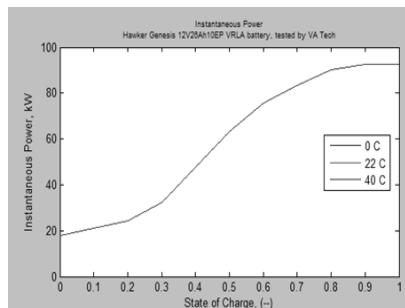


Figura VII.17. Gráfica potencia-nivel de carga del disco de inercia empleado. Fuente: Advisor.

Se muestran a continuación las características del vehículo con pila de H₂, con disco de inercia, que mejores resultados mostraban.

Sistema energético: Pila de hidrógeno 50kW
 Motor eléctrico 62kW
 Disco de inercia 56kW
 Densidad energética del disco de inercia 154,3Wh/kg

Peso total: 2984kg

Aceleración (0-100km/h): 37,1s

Velocidad máxima: 123km/h

Autonomía: 505,8km

Consumo (l /100km): 7,8l (litros equivalentes de gasolina)

Consumo energético (Wh/km): 691,2Wh/km

Eficiencia: 27,2%

Sin emisiones

Pérdidas aerodinámicas (kJ/km): 326,56

Pérdidas por rodadura (kJ/km): 352,06

Coste estimado del disco de inercia: muy alto

Como conclusión de este apartado, se ha realizado un cálculo del “porcentaje de potencia de salida de las baterías frente al total” (baterías y pila de combustible), para aportar otro dato significativo que ayude a la hora de la elección final.

	Plomo-ácido	Ión-Litio	Nimh	Supercondensador	Disco Inercia
Pot. Baterías	37	30	73	5000	56
Pot. Pila	50	50	50	50	50
Pot. total	87	80	123	5050	106
%	0,43	0,38	0,59	0,99	0,53

Tabla VII.2. Análisis del reparto de potencia (kW) aportada por cada sistema. Fuente propia.

ANEXO VIII. AHORRO DE EMISIONES Y CONSUMOS

Como ya se ha comentado en el documento principal el estudio comparativo trata de ver las diferencias entre una empresa que usa actualmente vehículos con motor de gasolina y que en su vez podría usar vehículos no contaminantes. Para ellos se supone una empresa con distribución a nivel nacional, la cual dispone de 10 camiones, que trabajará 250 días al año durante 10 años. Para la comparativa se han seleccionado los vehículos con las arquitecturas energéticas óptimas, tanto para el ciclo urbano como para el ciclo combinado, obtenidas en este trabajo.

Vehículo	Ciclo	Motor
1	urbano	gasolina
2	urbano	eléctrico - Li
3	combinado	gasolina
4	combinado	pila H ₂ - Li

Tabla VIII.1. Tipología de vehículos usados para las comparativas. Fuente propia.

A continuación, se muestra una tabla de los kilómetros que recorrerían en el periodo de 10 años cada vehículo.

Vehículo	Años	días/año	Días	Camiones	km al día/camión	total km al día	total km
1	10	250	2500	10	150	1500	3750000
2	10	250	2500	10	150	1500	3750000
3	10	250	2500	10	500	5000	12500000
4	10	250	2500	10	500	5000	12500000

Tabla VIII.2. Tabla de los kilómetros recorridos por cada vehículo. Fuente propia.

En el análisis de emisiones, como se ha comentado en la memoria y se puede observar en la gráfica siguiente, los vehículos de gasolina generan muchas emisiones.

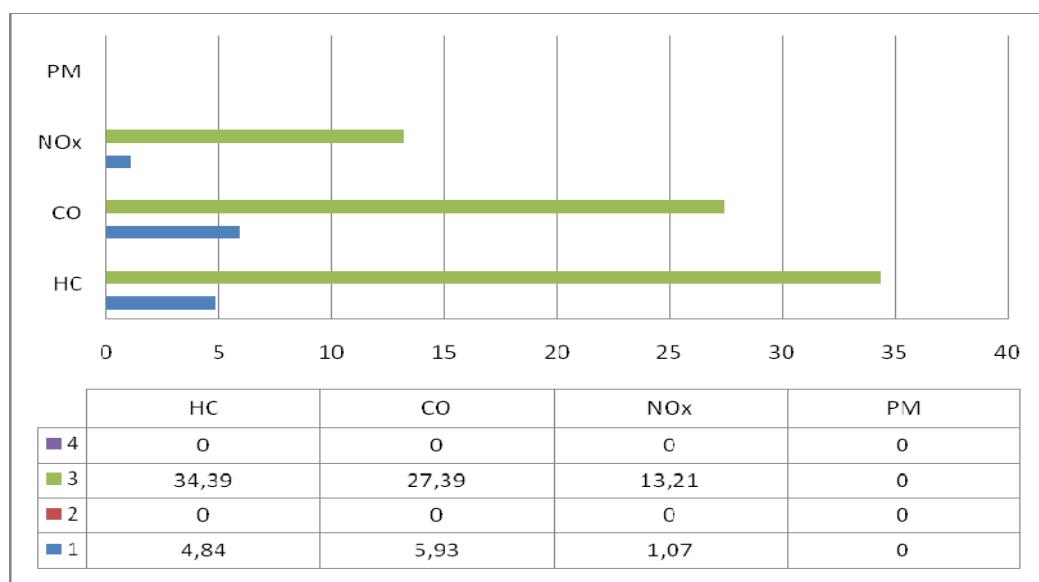


Figura VIII.1. Gráfica toneladas emitidas por cada vehículo. Fuente propia.

Sin embargo, no sólo se contamina cuando circulan los vehículos, sino también cuando se generan los distintos “combustible”, ya sea gasolina, electricidad o hidrógeno. Para un análisis más exhaustivo de las emisiones que se producen en la generación de la electricidad, se parte del reparto de energías de las que se produce toda la electricidad en España. En la tabla siguiente se observa cómo un 68,91% proviene de energías no renovables, de las cuales un 30,44% genera gases de efecto invernadero.

Tipo de tecnología	kWh Producidos	Rendimientos tecnología	kWh Extraídos del medio	% Energías extraídas
carbón/fuel/gas/ciclo comb.	24,40	28,90	84,43	30,44
nuclear	23,80	22,30	106,73	38,47
hidráulica	20,20	71,20	28,37	10,23
resto renovables	31,60	54,60	57,88	20,86
	100,00		277,40	100,00

Tabla VIII.3. Tabla del mix de producción de electricidad en España en 2010. Fuente: [25].

Para el cálculo de las emisiones generadas al producir la electricidad necesaria para recorrer los 3.750.000 km que recorrerá el vehículo 2, se tienen en cuenta la emisiones por kWh que estima la REE en Abril de 2010, que para las energía no renovables es de 0,67 kg CO₂/kWh, con lo que si son 30,44% las energía que generan este tipo de gases, se toman 0,20 kg CO₂/kWh como medida de referencia.

consumo a los 100 km	consumo en kWh	kg CO ₂ /kWh	kg CO ₂ /100km	toneladas de CO ₂
4,4	42,51	0,20	8,71	326,68

Tabla VIII.4. Cálculo de las toneladas de CO₂. Fuente propia.

Lo mismo ocurre con la producción de hidrógeno, para estimar las toneladas de CO₂ que se emiten en su generación, se toma como referencia la siguiente gráfica. Destacar que el 96% del hidrógeno procede de energías no renovables.

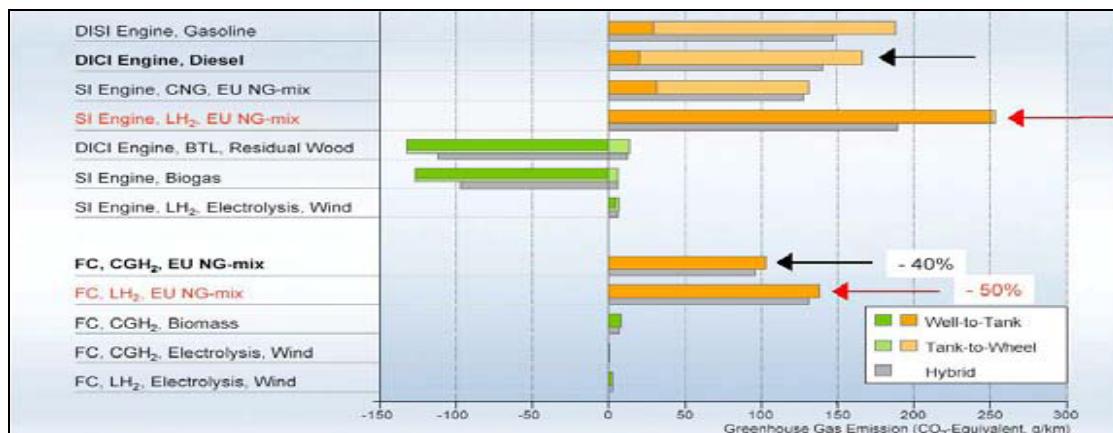


Figura VIII.2. Emisiones generadas en la producción de hidrógeno. Fuente: GM-Opel, octubre 2005.

gr CO ₂ /km	toneladas de CO ₂
120	1.500.000

Tabla VIII.5. Cálculo de las toneladas de CO₂. Fuente propia.

Por lo tanto, se concluye que los vehículos que no contaminan, ya sean eléctricos o con pila de hidrógeno, durante su circulación no generan contaminación, pero dependiendo de donde procedan la electricidad y el hidrógeno se generan gran cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero.

Para el cálculo de gastos económicos lo primero que se hizo fue obtener el precio de los distintos “combustibles”. Para la gasolina se ha seguido la tendencia de los últimos diez años, para la electricidad se estima un aumento constante de un 1% cada año, y en cambio, para el hidrógeno se estima una bajada constante de un 1% al año, ya que se espera que el aumento de su uso haga que disminuya su precio. En la tabla VIII.6 se ve la evolución de los precios planteada.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
gasolina (c€/l)	109,78	108,58	111,89	115,20	118,51	121,82	125,13	128,44	131,75	135,06	138,37
electricidad (c€/kWh)	11,50	11,62	11,73	11,85	11,97	12,09	12,21	12,33	12,45	12,58	12,70
hidrógeno (c€/km)	10,00	9,90	9,80	9,70	9,61	9,51	9,41	9,32	9,23	9,14	9,04

Tabla VIII.6. Tabla de la estimación de precios de los diferentes “combustibles”. Fuente propia.

A la hora de poner un precio inicial de compra de cada vehículo se toma como referencia vehículos con similares características en el mercado actual. Para el vehículo con pila de H₂ como existen escasísimos modelos se ha estimado un poco su precio.

Vehículo	Precio de compra (€)	Vehículo equivalente
1	25.000	Fiat Ducato Chasis Cabina 100CV
2	90.000	Ducato Chassis Cabina (Micro-Vett)
3	30.000	Ford Transit Chasis Cabina 200CV
4	250.000	Honda fcx

Tabla VIII.7. Estimación del precio inicial del vehículo. Fuente: Sus fabricantes.

En la siguiente gráfica se ven los gastos totales de los cuatro vehículos al final de los 10 años, teniendo en cuenta que se compran 10 vehículos de cada tipo en el primer año.

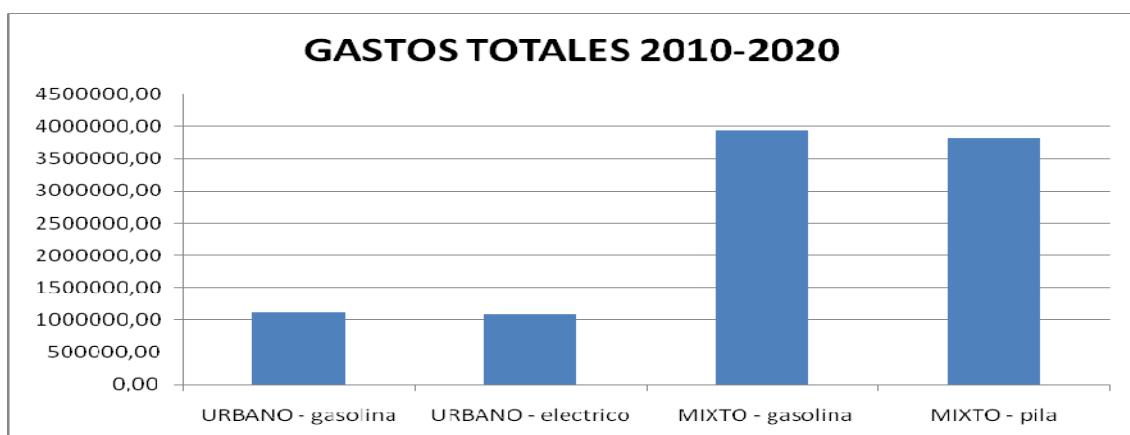


Figura VIII.3. Gastos durante los 10 años. Fuente propia.

