



.....

Green-Car Eco-Design The Book





Green-Car Eco-Design
The Book



Green-Car Eco-Design The Book

Coordinación:

CARTIF: Nuria García, Laura Pablos, Alberto Moral, Javier Bécares.

Autores:

CARTIF: Nuria García, Laura Pablos, Alberto Moral, Javier Bécares.

CTM; Mireia Mesas, Laia Puigmal, Xavier Font.

MGEP; Itsaso González, David Garrido, Daniel Justel.

IAT; Rosario Camacho, Juan María Campos, Luis Carlos González.

ITA; Jesús Alfonso de la Riva, Fernando Arteché, Oscar Pascual, Álvaro Pradas.

ESTIA Cherche; Amélie Hacala, Octavian Curea.

IPS; José Maia, Aldina Soares, Fernando Camilo.

Maquetación:

Rafael Peña.

Impresión:

Vistalegre Impresores S.L.

Proyecto financiado por:

Programa INTERREG IV B SUDOE a través de Fondos FEDER.

Depósito Legal:





Presentación

En la actualidad, el diseño de cualquier producto ya no puede estar desvinculado de su análisis ambiental, ya que los impactos que se producen a lo largo de la vida útil deben estar controlados y minimizados desde la misma fase de diseño y concepción.

A través de esta publicación se pretende, además de divulgar los resultados técnicos específicos alcanzados en el proyecto "Green-Car Eco-Design", mostrar la capacidad de la metodología de ecodiseño para conseguir productos innovadores, que aunque en este caso, se ha aplicado al sector de la automoción por encontrarse en un momento crítico, también es válida para productos de cualquier otro sector.

La participación de IAT en el proyecto "Green-Car Eco-Design" ha supuesto la oportunidad de investigar y cooperar estrechamente con seis Centros de Investigación pertenecientes a Portugal, Francia y España, que han trabajado conjuntamente en este proyecto internacional. Gracias al alto grado de conocimiento y experiencia del consorcio que integra este proyecto, tanto en la participación en proyectos internacionales como en la aplicación técnica de la metodología de ecodiseño, se ha conseguido aumentar el conocimiento del impacto ambiental de los principales sistemas de un vehículo eléctrico a lo largo de su ciclo de vida, aumentando así el valor añadido a los mismos. Además, se han conseguido diseños y prototipos fabricados con un menor impacto ambiental, garantizando que éstos resultan menos dañinos para el entorno, por lo que, en definitiva, se han obtenido productos más competitivos y con una mayor adecuación a los requisitos de los mercados actuales.

IAT ha aportado al proyecto Green-Car Eco-Design su "know how" referente a la metodología de Análisis de Ciclo de Vida y a las estrategias de Ecodiseño para optimizar el comportamiento ambiental de productos, además de su experiencia en ejecución y desarrollo de proyectos de I+D+I.

En este libro se presentan de forma resumida la metodología utilizada en el desarrollo del proyecto y los resultados alcanzados en la investigación.

Miguel Ángel Luque
Director General de IAT



Prólogo

Este libro es un resumen de los resultados obtenidos con el desarrollo del proyecto “Eco-Design for Eco-Innovation: the Green-Car case (Green-Car Eco-Design)”, que ha contado con la cofinanciación del programa INTERREG IV B SUDOE a través de Fondos FEDER.

El proyecto fue concebido en 2009 en un contexto de incipiente introducción en el mercado del vehículo eléctrico. La industria automovilística se enfrentaba a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y mejorar la calidad del aire [Directiva 2009/33/CE]. En el caso del parque de vehículos de pasajeros nuevos, el objetivo se concretó en conseguir un promedio de 130 g de CO₂/km antes de 2015 [Reglamento (CE) n°443/2009]. Estas cada vez más exigentes regulaciones ambientales, junto con la creciente demanda de la sociedad de productos ecológicos, hizo que una de las apuestas de los constructores fuera fabricar una nueva generación de VE.

No hay que olvidar que los primeros automóviles fueron eléctricos aunque llevaran casi un siglo completamente relegados por los motores de combustión interna. También hay que tener presente que el transporte por carretera es uno de los máximos responsables del cambio climático pero el sector de automoción siempre ha respondido al reto de búsqueda y cambio hacia tecnologías más eficientes y limpias.

La perspectiva del peak oil, la inseguridad en el abastecimiento del petróleo, los altos precios y sus consecuencias sobre el déficit comercial, la inflación y la actividad económica en general, llaman a convertir en una realidad la sustitución progresiva de los combustibles fósiles. En materia de movilidad, la política de transporte sostenible promueve la reducción de la demanda, los transportes no motorizados y el transporte público y por ferrocarril, tanto de pasajeros como mercancías así como el coche compartido. Sin embargo, la aspiración a la movilidad personal motorizada está tan establecida en la sociedad, que disminuir su dependencia resulta muy complicado. Por otra parte, un gran porcentaje de los desplazamientos diarios se realizan en tramos cortos, lo que lleva a concluir que los vehículos eléctricos pueden satisfacer la mayoría de los requisitos de movilidad individual que hoy cubren los coches de gasolina y diesel.

En el ámbito de la investigación, la presente coyuntura de crisis motivó que en el Plan Europeo de Recuperación Económica [COM(2008) 800] se lanzara la Iniciativa Europea por unos Coches Verdes, Green Cars, para incentivar la I+D de colaboración público-privada. Promover los vehículos eléctricos mediante el fomento de la investigación

en aras del desarrollo de una economía basada en el conocimiento y la innovación, más eficiente en el uso de los recursos y más competitiva, es una de las prioridades de Europa 2020 [COM(2010) 2020].

A escala del territorio sudoeste europeo, en el proyecto Green-Car Eco-Design siete centros de investigación cooperamos para innovar sobre coches verdes: Fundación CARTIF, Fundació CTM Centre Tecnològic, Mondragon Goi Eskola Politeknikoa S.Coop., Fundación Instituto Andaluz de Tecnología, Instituto Tecnológico de Aragón, École Supérieure des Technologies Industrielles Avancées e Instituto Politécnico de Setúbal. El proyecto dirigió su principal objetivo a una acción específica contemplada en la Estrategia Europea sobre vehículos limpios y energéticamente eficientes [COM(2010) 186 final]: evaluar el impacto de dichos vehículos según un planteamiento basado en el ciclo de vida útil.

El enfoque ha consistido en aplicar la metodología de Ecodiseño a diversos componentes del sistema de producto "vehículo eléctrico": batería, convertidor, puntos de recarga, frenos, climatización y sistemas auxiliares alimentados por energías renovables. Gracias a incorporar eco-innovaciones se ha conseguido una mejora del comportamiento ambiental de los componentes de partida. Para cuantificar el grado de mejora ambiental alcanzado con respecto a las tecnologías existentes se han utilizado dos metodologías de evaluación de impacto: Eco-indicador'99 H/A y CML Baseline 2000 West Europe 1995.

En este libro se pueden encontrar los resultados de las simulaciones ambientales que se han llevado a cabo teniendo en cuenta que la función del sistema considerada es recorrer 100.000 km a lo largo de 10 años de vida útil transportando solo al conductor, de 70 kg. La topología del coche es la equivalente a un 5 plazas, con una masa de 1200 kg, capaz de alcanzar los 120 km/h, aunque la velocidad media es de 35 km/h, y dispone de una autonomía de 140 km. Por una parte se recoge el análisis de los diseños de referencia de cada componente y por otra, el análisis de los prototipos realizados. Merece especial atención la modelización virtual del vehículo completo incorporando los componentes eco-rediseñados, que arroja interesantes conclusiones sobre el estudio.

Finalmente quiero agradecer desde estas líneas a las empresas del Comité Asesor del proyecto que nos han confiado datos para el estudio ambiental o con las que hemos tenido otras colaboraciones, sin las cuales no podríamos haber llevado a cabo con éxito este trabajo. Entre ellas cabe mencionar a EMERIX IBERINNOVA S.L., HONEYWELL FRICCIÓN ESPAÑA S.L.U., FUNDERÍA CONDALS, S.A., J.JUAN, S.A., FAGOR AUTOMATION S.COOP., COCHELE S.L. CENTRO ANDALUZ DE METROLOGÍA (CAM), CLUSTER DE AUTOMOCIÓN DE ARAGÓN, TATA HISPANO MOTORS CARROCERA, S.A., SOBEN S.A.S y TECNITROM - SISTEMAS DE ENERGIA.



Índice

1. Estado del Arte General Sobre Vehículos Eléctricos	13
1.1 Retrospectiva de la historia del Vehículo Eléctrico	13
1.2 Baterías para Vehículos Eléctricos	14
1.3 Inversores para Vehículos Eléctricos	16
1.4 Puntos de Recarga para Vehículos Eléctricos	20
1.5 Sistemas de Frenado en Vehículos Eléctricos	23
1.6 Sistemas de Climatización de Vehículos Eléctricos	26
1.7 Equipos Auxiliares de un Vehículo Eléctrico	29
1.8 Identificación de la Topología de Vehículo Seleccionada	31
1.9 Bibliografía	34
2. Análisis de Ciclo de Vida de los Principales Componentes de un Vehículo Eléctrico	17
2.1 Baterías.....	17
2.2 Convertidor	40
2.3 Punto de Recarga	44
2.4 Sistema de Frenos	49
2.5 Sistema de Climatización	51
2.6 Paneles Fotovoltaicos	55
3. Prototipos Eco-Innovados. Qué ha “Construido” Cada Grupo	61
3.1 El Instituto Politécnico de Setúbal y la BATERÍA	61
3.2 La Universidad Politécnica de Mondragón y el CONVERTIDOR	61
3.3 CARTIF y el PUNTO DE RECARGA	62
3.4 El Centro Tecnológico de Manresa y el SISTEMA DE FRENOS	64
3.5 El Instituto Andaluz de Tecnología y los SISTEMAS AUXILIARES DE CLIMATIZACIÓN	65
3.6 ESTIA y la recuperación de energía en EQUIPOS AUXILIARES	66
4. Análisis de Ciclo de Vida de los Prototipos. Mejora Ambiental Conseguida	67
4.1 Batería	67
4.2 Convertidor	68
4.3 Punto de Recarga	70
4.4 Sistema de Frenos	72
4.5 Sistemas Auxiliares de Climatización	74
4.6 Recuperación de Energía en Equipos Auxiliares	76
5. Conclusiones más Importantes Sobre El Ecodiseño de Los Principales Componentes de un VE.....	79
6. Modelización Virtual	81

01

Estado del Arte General Sobre Vehículos Eléctricos

1.1. Retrospectiva de la historia del vehículo eléctrico.

Los primeros vehículos eléctricos, trenes y automóviles, hacen su aparición hacia 1830. Hay que esperar a 1859 y a la invención de la batería recargable de plomo ácido, por el francés Gastón Planté, para que el coche eléctrico experimente un verdadero auge.

El 15 de agosto de 1881, en París, la primera Exposición Internacional de Electricidad pone de relieve los avances electrotécnicos de la época. Allí, el público puede admirar un coche eléctrico desarrollado por Gustave Trouvé, ingeniero y diseñador de aparatos eléctricos y particularmente, en 1887, del primer helicóptero eléctrico, equipado de un motor alimentado mediante cables conectados a acumuladores instalados en tierra.

La exposición, que presenta las primeras bombillas eléctricas de Thomas Edison e incluso la dinamo de Zénobe Gramme, tiene un inmenso éxito y da lugar a numerosas publicaciones técnicas y científicas.

Los primeros coches eléctricos individuales son rápidamente puestos en circulación y, en 1897, los primeros taxis eléctricos, equipados con baterías de plomo de varios cientos de kilogramos, circulan por las calles de Nueva York.

Así, al inicio del siglo XX, casi un tercio de los vehículos en circulación están propulsados por baterías. La producción de vehículos eléctricos alcanza su apogeo en 1910 gracias al rápido desarrollo de sus prestaciones: el Phaeton de Wood, uno de los mejores, alcanza una velocidad de 22,5 km/h sobre una distancia de 30 km. Además, estos vehículos tienen la ventaja de ser fáciles de arrancar y sin emitir ninguna nube de humo, al contrario que sus competidores equipados con motores térmicos.

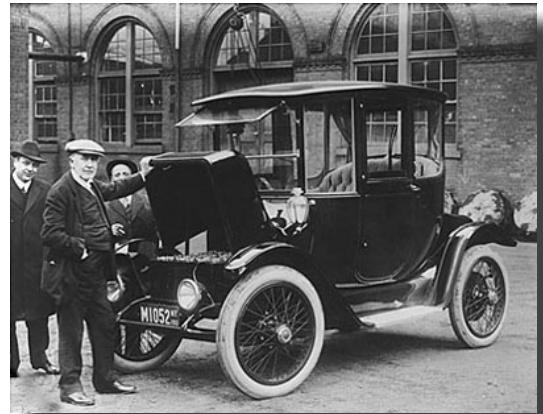


Figura 1. Thomas Edison inspeccionando un vehículo eléctrico en 1913.

Sin embargo, durante los 20 años siguientes, el coche eléctrico va a experimentar un rápido declive y será reemplazado por el coche de gasolina. Las principales razones son la falta de innovación en las baterías eléctricas frente al rápido desarrollo de las prestaciones del motor de explosión así como la disponibilidad de grandes cantidades de petróleo a bajo precio. El golpe de gracia lo da en 1908 el constructor Ford, que lanza al mercado un modelo de vehículo personal producido en cadena, dos veces menos caro que los vehículos eléctricos: el Ford T. Este es el inicio de la era moderna del automóvil.

Más adelante, las fluctuaciones en la cotización del petróleo, y en particular la crisis petrolera de 1973, son quienes vuelven a poner de moda los viejos conceptos de los transportes verdes. En los años 90, se lanzan numerosas iniciativas a través del mundo por los constructores, pero muy pocos proyectos son desarrollados industrialmente. Es posible citar, entre otros, el EV1, desarrollado por General Motors (producción de 1000 coches entre 1996 y 1998) o también el Zoom, de Renault, en 1992. El objetivo de los fabricantes consistía en lanzar algunas flotas “de prueba” de vehículos ecológicos en cooperación con las administraciones o clientes piloto. Sin embargo, el mercado tardó en despegar y los coches eléctricos, perjudicados por su baja autonomía y un precio del petróleo todavía bajo, no lograron encontrar clientes.



Figura 2. El Jamais Contente.

1.2. Baterías para Vehículos Eléctricos.

1.2.1. Introducción.

La cadena de valor de las baterías de tracción para vehículos eléctricos, VE, consiste en un conjunto de pasos que se citan a continuación: la producción de los componentes o materias primas, las células de producción, la producción de módulos, el montaje de los diferentes módulos en el pack final (en esta etapa incluye la unidad de gestión electrónica y la unidad de refrigeración de la batería), la integración de la batería en el vehículo a utilizar durante su vida y en última instancia, su reutilización y / o reciclaje.

1.2.2. Funciones y requisitos de baterías de tracción en VE.

1.2.2.1. Principales ventajas y limitaciones del VE.

Algunas de las principales ventajas de un vehículo eléctrico, así como sus principales inconvenientes están relacionados con el uso de baterías. A continuación se citan las características más importantes asociadas a esta forma de almacenamiento de energía.

Desventajas de los vehículos eléctricos.

La primera desventaja de los vehículos eléctricos, y la más importante, es su limitada autonomía. Las baterías de tracción, incluso las más modernas, presentan una baja densidad de energía en comparación con los combustibles fósiles. Los vehículos eléctricos necesitan de recargas frecuentes, con tiempos de recarga relativamente elevados (en función de la fuente de alimentación, unos 30 minutos de carga rápida o más de seis horas para la carga lenta).

Ventajas de los vehículos eléctricos y las baterías.

Los motores eléctricos son mecánicamente sencillos en comparación con los vehículos de combustión interna, con una eficiencia de la conversión de energía, normalmente superior al 90% en toda la gama de velocidades y la potencia de salida. Los motores eléctricos tienen un elevado par en el arranque, que está disponible hasta que su potencia nominal se alcanza, a diferencia de los motores de combustión interna.

En los países europeos donde la mezcla de generación de energía se basa en las energías renovables o energía nuclear, un vehículo eléctrico genera aproximadamente la mitad del CO₂ generado por un ICEV convencionales.

1.2.2.2. Tiempo de recarga.

El largo tiempo de recarga de baterías de tracción representa una de las principales barreras técnicas y comerciales. El objetivo será que el tiempo de carga sea semejante al que se necesita para abastecer un ICE - unos minutos para una autonomía de 500 km. La carga de una batería de 15 kWh, en un enchufe vulgar monofásico de 230V/16A tardará más de 4 horas. También será posible utilizar un cargador trifásico, con corrientes más altas con el fin de recargar la batería en 20 a 30 minutos. Esta solución implica sin embargo, algunos inconvenientes, tales como la necesidad de un cargador más potente, pero más caros, pesados y voluminosos, y de la disponibilidad de puntos de recarga con esta capacidad.

1.2.3. VE-Baterías en la actualidad.

Las baterías de hidruro metálico de níquel, NiMH, fueron las que siguieron a la tecnología, después de haber sido adoptadas por los fabricantes como Toyota, Ford, GM, Honda y Daimler Chrysler, especialmente con sus vehículos híbridos.

Recientemente, debido al alto costo de la tecnología asociada a la fabricación de baterías de NiMH, los fabricantes han centrado su atención en la tecnología de iones de litio (baterías de ion-litio), que se presentan con una energía específica mucho más alta. Normalmente, las baterías de NiMH presentan el doble de la energía específica de las baterías de plomo-ácido y las baterías de Li-ion el doble de la energía específica de las baterías NiMH.

La ligereza y la abundancia de litio asociadas con el hecho de que las baterías de Li-ion tienen una alta densidad energética, hacen que el desarrollo de vehículos eléctricos de batería sea posible. Con el fin de hacer prácticas las baterías de ion-litio, que se aplicarán en el EV producido en serie, la tecnología debe seguir desarrollándose a fin de aumentar aún más su energía específica y su potencia específica, tanto en carga y descarga, manteniendo un funcionamiento en seguridad y con una vida útil similar al del vehículo automóvil.

1.3. Inversores para Vehículos Eléctricos.

Invertir es convertir potencia de corriente continua a potencia de corriente alterna obteniendo el voltaje y/o la corriente y la frecuencia deseadas.

En la aplicación que nos ocupa, la tracción de un vehículo eléctrico, la tensión continua de una batería es convertida en una señal trifásica para accionar la máquina de tracción. La tensión en bornes de la máquina se desea senoidal, ajustable en magnitud y frecuencia. Esto se consigue utilizando los mencionados inversores DC/AC.

Para ser más exactos, el inversor DC/AC es un equipo reversible que permite que el flujo de la potencia sea bidireccional. En el caso de un vehículo eléctrico, el inversor cede energía de las baterías hacia la máquina cuando ésta se comporta como motor, para traccionar el vehículo y revierte el flujo de la potencia hacia las baterías cuando la máquina se comporta como generador, cuando el vehículo se encuentra frenando.

1.3.1. Inversores resonantes.

Una de las tendencias de topología en los inversores eléctricos embarcados en los vehículos eléctricos son los llamados inversores resonantes. Estos inversores reducen considerablemente las pérdidas de conmutación utilizando una conmutación suave (conmutación

al paso por cero de la corriente o de la tensión). Esta reducción en las pérdidas de conmutación permite trabajar con unos valores de frecuencia mayores reduciendo así las inductancias y los condensadores (en peso, tamaño y valor). Además, el ruido electromagnético radiado se reduce significativamente, lo cual es muy importante.

En los inversores resonantes se pueden utilizar dos técnicas para alcanzar el objetivo de cero pérdidas en conmutación:

- La carga provee pasos naturales por cero de corriente y tensión para la conmutación suave.
- Un circuito resonante, a través del interruptor, que suministra energía a la carga introduciendo pasos por cero de corriente o tensión para realizar la conmutación.

En el caso concreto de los vehículos eléctricos el inversor trabaja con una máquina eléctrica como carga, que no provee pasos naturales por cero y hace necesario un circuito resonante a través de los interruptores que proveen de energía a la máquina.

1.3.2. Inversores para aplicación de VE en el mercado.

EVO Electric.

El inversor BEK-250 de EVO Electric está orientado al control de la máquina. Está dimensionado para poder ofrecer los 167 kW de pico que puede suministrar el motor. Su tensión nominal de entrada es de 600 voltios, aunque puede trabajar en un amplio rango de tensiones (300 V-720 V). Está refrigerado por agua y glicol al igual que casi todos los inversores comerciales utilizados en vehículos eléctricos. De esta manera se consigue reducir su peso y volumen.

Utiliza control vectorial para controlar la máquina y comunicación CAN con el resto del vehículo.

Evolve IT.

El inversor trifásico C-EVE – evolve IT de 100 kW tiene una de las mayores densidades de potencia, tanto volumétrica como gravimétrica (Tabla 1). Trabaja con una tensión de entrada de 100 a 360 V.

Tabla 1. Comparación entre evolveIT, UQM y BRUSA.

	evolveIT (100 kW)	UQM (100 kW)	BRUSA (80 kW)
Peso (kg)	7,7	15,9	9,1
Largo (cm)	31	37,25	35,5
Ancho (cm)	19,75	36	23,5
Alto (cm)	8,25	11,75	8,75

El inversor tiene la posibilidad de utilizar diferentes controles con tacómetro o sensorless o en base a la máquina. Utiliza comunicaciones CAN y RS-232.

UQM.

La compañía UQM dispone inversores en un rango que va desde los 25 kW (Figura 3) a los 100 kW nominales.



Figura 3. Inversor DD40-100L (25 kW nominal) de UQM.

Utilizan un rango de tensión de bus que va de los 240 a 420 V, aunque puede configurarse hasta 800 VDC (utilizando IGBTs de 1200V/150A). La conmutación de los IGBTs se realiza a 12'5 kHz, y dado que su tensión de BUS máxima permitida es entorno al 66% de la tensión máxima que soportan los IGBTs, se presupone que se realiza una configuración convencional (Hard Switching). Todos los inversores de la gama están refrigerados por agua para reducir su peso y volumen.

Utilizan un control de campo orientado (FOC) programado sobre una DSP (Digital Signal Processor) de coma fija TI2812 de Texas Instruments que dispone de periféricos para poder realizar la comunicación, vía CAN o serie, con el resto del vehículo. Todos los inversores están diseñados siguiendo los estándares de la automoción y disponen de sistema de diagnóstico.

Magnet-Motor.

La compañía alemana Magnet-Motor dispone del inversor comercial S30-6. Al estar diseñado para uso militar cumple con las máximas exigencias de fiabilidad. Ofrece una potencia nominal de 50 kW (90 kW máx.) a una tensión de bus nominal de 750 V. trabaja a una frecuencia de conmutación de 16 kHz.

Mediante la reconfiguración de su firmware es capaz de controlar máquinas brushless dc, brushless ac y asíncronas. Dispone a su vez de comunicaciones vía CAN y reconfiguración del firmware y diagnóstico vía línea serie (RS-232), ambas comunicaciones aisladas.

Zytek.

El inversor Zytek IDT 120-55 está acoplado a la máquina de la misma compañía. Trabaja a una tensión de bus nominal de 350 V, con comunicaciones Dual CAN y dispone de un convertidor DC/DC para proveer de los 12 V necesarios para los sistemas auxiliares del vehículo.

Zytek fabrica estos sistemas exclusivamente para el Smart ED, por lo que no se dispone de mucha información sobre su configuración.

Curtis.

Este inversor de 20 kW estaba destinado primeramente para su uso en vehículos industriales (carretillas elevadoras) y vehículos GSE (Ground Support Equipment) que se utilizan para mover el material en los aeropuertos. Sin embargo su potencia es suficiente para traccionar vehículos pequeños de pasajeros, como el Reva-i.

Su tensión de bus, 48 voltios, es muy baja comparada con el resto de los modelos descritos en este documento. Ello hace que trabaje con tecnología de semiconductor MOSFET en vez de IGBT, si bien utiliza varios en paralelo para poder suministrar las grandes corrientes a las que trabaja (~300 amperios).

Realiza un control vectorial de campo indirecto orientado para poder ofrecer el máximo rendimiento de la máquina AC con la que trabaje. Dispone de una función Auto-Tune para caracterizar de manera rápida dicha máquina. De igual manera dispone de una opción para poder configurarlo como Dual-Drive para sistemas distribuidos de tracción. En cuanto al sistema de comunicaciones, utiliza CANopen.

Dado que Curtis Instruments es una empresa de EEUU se especifica que está producido cumpliendo los estándares internacionales:

EN12895, EN1175 y IP65.

Brusa.

La compañía suiza Brusa posee la patente de un inversor para uso en tracción de vehículos eléctricos con una topología resonante llamada SoftSwing.

La estructura de la rama la forman dos IGBTs principales conectados a una circuitería adicional consistente en dos condensadores y un semipunte con IGBTs de menor potencia con inductancias acopladas a sus drenadores.

Mediante el control de los disparos, esta topología ofrece la ventaja de operar a conmutaciones de paso por cero en corriente y tensión. Los condensadores protegen de sobretensiones a los IGBTs durante su apagado. Esto hace que los IGBTs puedan dimensionarse a su valor nominal. Las cargas de recubrimiento inverso no son absorbidas (disipadas en forma de calor) cuando la corriente de la carga conmuta desde los diodos volantes hacia los IGBTs. Según su fabricante, operando a 24kHz sus pérdidas son la mitad de un inversor de conmutación dura. Debido a la ausencia de picos de corriente el circuito emite muy bajas emisiones electromagnéticas.

1.4. Puntos de Recarga para Vehículos Eléctricos.

1.4.1. Definición y Tipología de un Punto de Recarga para un VE.

Los vehículos eléctricos o híbridos recargables se han convertido ya en una realidad presente en el mercado. Se apuesta como medio de transporte debido a las ventajas que puede aportar a las diferentes economías:

- Adaptar un sector difuso como es el del transporte a las nuevas tendencias medioambientales.
- Colaborar a equilibrar la curva de demanda eléctrica entre horas punta y valle.
- Permitir una integración más amplia de las energías renovables.

Ante los rápidos avances, del sector es importante adaptar las infraestructuras de nuestras ciudades, centros de trabajo y ocio para la recarga de los vehículos mientras éstos se encuentren estacionados. Para ello, diversas empresas están trabajando en diferentes soluciones adaptadas a los distintos tipos de aparcamiento.

Los vehículos eléctricos puede configurarse en diferentes tipos y tamaños, pero cualesquiera que sea su configuración necesitan ser recargados. Dicha recarga se produce típicamente en un punto de recarga donde la energía eléctrica de servicios auxiliares se transforma apropiadamente para la recarga de sus baterías.

Desde el punto de vista tecnológico, las principales dificultades en la implantación del vehículo eléctrico se identifican en dos ámbitos fundamentalmente: el desarrollo de sistemas de almacenamiento de energía y la infraestructura de recarga, y su integración con el sistema eléctrico.

Se denomina estación de recarga al conjunto de equipos destinados a suministrar corriente alterna a vehículos eléctricos. En la actualidad, se pueden encontrar tres tipos distintos de sistemas de recarga de vehículo eléctrico:

- Carga lenta: es la más estandarizada y todos los fabricantes de vehículos eléctricos la aceptan. Se realiza con corriente alterna monofásica a una tensión de 220 voltios (V) y una intensidad de hasta 15 amperios (A). El tiempo para una recarga ronda las 6 horas.
- Carga semi-rápida: La carga se realiza con corriente alterna trifásica, con una tensión de 400 V y una intensidad de hasta 63 A. El tiempo de recarga se reduce a 50 minutos.
- Carga rápida: Consiste en alimentar al vehículo con corriente continua a 400 V y hasta 600 A. El tiempo de recarga se reduce a unos diez minutos.

1.4.2. Entorno tecnológico. Principales fabricantes.

Para dar respuesta a los retos planteados por la introducción del vehículo eléctrico, muchas empresas han desarrollado una importante labor de I+D+i para estudiar y desarrollar sistemas inteligentes de recarga de vehículos eléctricos, capaces de cargar las baterías cuando la energía esté disponible y sea más económica, capaces de identificar la disponibilidad de crédito de carga en cualquier punto, capaces de discriminar diversos puntos de recarga en un mismo aparcamiento y de recargar en tiempo reducido o estándar.

En Mayo de 2010 es Endesa quien trae a España por primera vez sistemas que recargan los vehículos eléctricos en 5 minutos. Estos dispositivos se presentan en la I Feria del Vehículo Ecológico y la Movilidad Sostenible de Madrid gracias al acuerdo alcanzado con SGTE Power, único proveedor en Europa de cargadores rápidos para vehículos eléctricos desde 1995.

Se trata de una solución tecnológica cuyo sistema recarga de manera parcial los coches en 5 minutos, lo que permite una autonomía de entre 30-50 km. Para una recarga completa se necesita media hora. En esta mismo acto, Endesa presenta sus puntos de recarga lenta (entre 6-8h) que además, en esas fechas, ya había facilitado a diferentes compañías para comenzar a realizar pruebas.

Cataluña es la región elegida por Endesa para disponer los dos primeros puntos de recarga en una estación de servicio de España.

En noviembre de 2010 Schneider Electric presentó sus sistemas de recarga para el vehículo eléctrico en el Circuito catalán de Montmeló. Esta compañía, en su gran apuesta por la movilidad sostenible, se ha dotado de un amplio portafolio de soluciones de recarga que dan respuesta a las necesidades concretas de cada tipo de aplicación: estaciones de recarga rápida, aparcamientos de centros comerciales, aparcamientos para flotas de vehículos, garajes residenciales, lugares públicos o aparcamientos de carretera.

Además, la gama de productos de Schneider Electric se basa en la seguridad de bienes y personas, uno de los grandes problemas a los que se enfrenta el vehículo eléctrico. Ofrecen también también una recarga verde y maximizan la disponibilidad del vehículo.

Por un lado, evita que la recarga del coche se realice en horas de máxima demanda, las más contaminantes, y se realice de manera optimizada cuando los costes de la energía son menores. No obstante, en caso de necesidad se puede forzar una carga inmediata para no limitar la movilidad del usuario.

Se trata de un punto de recarga sostenible y seguro al 100% que permitirá, en un futuro, devolver la energía a la red durante los momentos de mayor consumo de electricidad.

También en este mes otra importante empresa en el sector de principales fabricantes mundiales de conectores y cables, Sintorsa, anuncia el lanzamiento de una solución de interconexión para los vehículos eléctricos, denominada CAR.

BlueMobility es una empresa de base tecnológica que ofrece distintas soluciones para la recarga inteligente de todo tipo de vehículos eléctricos. Su actividad se centra en investigar, fabricar, vender, instalar, dar asistencia y operar redes inteligentes de recarga (RIR), para los vehículos tipo Plug-In (PHEV) y los vehículos eléctricos (BEV). Entre sus productos comerciales se encuentra la Red de Recarga Inteligente que está formada por una Central de control y por varias redes, desplegadas por diferentes lugares denominadas Redes Locales de Recarga (RLRIR). El sistema propuesto por esta empresa se basa en el desarrollo de redes en las que se separa por un lado la inteligencia (funciones basadas en electrónica y software: comunicación con el usuario, autorización de carga, recopilación de datos de consumo...) y, por otro, la transferencia de energía (conexión física segura, protección ante descargas...). Este método permite un despliegue de redes fácilmente "escalables" y con un coste reducido.

Emerix, empresa involucrada en movilidad eléctrica desde 2008, también desarrolla y fabrica en España estaciones de recarga, utilizando componentes de marcas reconocidas. Tiene ya en marcha una red de electrolineras dispuestas para su venta y utilización (Merlyn electrolineras). Sus productos están sujetos a la futura adaptación a normativas y estándares de la industria de la movilidad eléctrica, y ofrecen gama de productos preparados para la carga con energías renovables. Funcionan con tarjeta inteligente de identificación, utilizando tecnología RFID para su uso fácil y recarga. Disponen de control centralizado vía web y de sistemas de seguridad eléctrica. Cuentan con pantalla de información para poder leer y mostrar información de la batería en la pantalla del punto de carga. Lo más destacable es que el software y el hardware de los puntos de recarga eléctrica Merlyn pueden fácilmente sustituirse de manera parcial para abaratar costes y asegurar que se seguirán cumpliendo los distintos cambios en el desarrollo de los coches eléctricos.

En el campo de la tecnología de la eficiencia energética destaca la empresa CIRCUTOR. Dispone también de una amplia gama de postes de recarga para vehículos eléctricos. Están diseñados para cubrir las necesidades de recarga en la vía pública, cumpliendo con todas las normativas de seguridad eléctrica así como seguridad en el acceso y la medida y gestión del consumo.

Están enfocados para dar al usuario del vehículo eléctrico un método sencillo para recargar su vehículo allí donde lo estacione. Los postes de recarga disponen de un fácil sistema de acceso y pago de energía mediante tarjetas sin contacto, así como un práctico sistema de apertura y cierre. De esta forma, todo el proceso de recarga puede realizarse con tan solo unos pocos pasos por cualquier usuario sin necesidad de conocimientos técnicos.

1.5. Sistemas de Frenado en Vehículos Eléctricos.

1.5.1. Introducción.

Los frenos, junto con la dirección y los neumáticos constituyen los sistemas más importantes que dispone un vehículo para evitar los riesgos presentes en la conducción en cualquier condición adversa.

En la circulación, una cantidad significativa de energía se consume durante el proceso de frenado. En los últimos años y en la actualidad, se están dedicando grandes esfuerzos en introducir la tracción eléctrica en los vehículos llegando ya a comercializarse los primeros vehículos eléctricos e híbridos. Esta electrificación hace posible poder recuperar parte de la energía que se pierde durante el frenado. Esta tecnología recibe el nombre de **frenada regenerativa**. Un buen diseño no sólo mejorará la ejecución del frenado sino, en última instancia, la eficiencia energética del vehículo.

El freno regenerativo no puede proporcionar toda la energía de frenado, por lo que en un vehículo eléctrico se mantienen los frenos de fricción hidráulicos. Aunque se establecen estrategias para recuperar en mayor o menor grado la energía así como las condiciones de uso de la regeneración, para las frenadas que sobrepasen la potencia del motor eléctrico deben añadirse las fuerzas que proporciona la aplicación de los frenos de fricción.

También, siguiendo con la electrificación del vehículo, los frenos principales pueden activarse mediante el uso de electricidad en vez de hacerlo mediante señales mecánicas. La incursión del freno por cable eléctrico, **brake by wire** introduce ventajas que repercuten en una mejora ambiental tales como la ausencia de circuito hidráulico, que evita la posibilidad de fugas, y un aumento en el nivel de seguridad por el hecho, de que el control electrónico del frenado permite modular a voluntad la señal emitida por el conductor, con el fin de facilitar y estabilizar su funcionamiento. El principal problema en su implantación sería a nivel de homologación. Deben estandarizarse diseños con circuitos seguros y redundantes capaces de responder a cualquier incidencia que se pueda dar sin mibar la capacidad de frenado.

1.5.2. Estado del arte del sistema de frenado en vehículos eléctricos.

1.5.2.1. Consideraciones generales del sistema de frenos.

El sistema de frenos en un vehículo (cualquier vehículo motor destinado a circular por carretera) es un conjunto de mecanismos y componentes que se encargan de:

- Disminuir progresivamente la velocidad del vehículo en marcha.
- Permitir mantener una velocidad constante en conducciones con pendiente.
- Permitir la detención total del vehículo.
- Mantener el vehículo inmóvil si se encuentra detenido.

1.5.2.2. Características de la distribución de energía de frenado.

Durante el frenado una cantidad significativa de energía se consume y se pierde en forma de calor. Con la irrupción de la tracción eléctrica en los vehículos, parte de esta energía se podrá recuperar aprovechando la capacidad de los motores eléctricos de actuar como generador.

1.5.3. Sistema de frenos electrodinámico regenerativo.

En la conducción de un vehículo y principalmente en entornos urbanos, una porción significativa de energía se consume en las frenadas. Una de las características más importantes del vehículo eléctrico es la capacidad de recuperar parte de la energía del frenado que en otro caso se pierde en calor. El sistema de frenado regenerativo en el VE tiene su origen en la capacidad de los motores eléctricos de operar como generadores y así convertir la energía cinética de la desaceleración en energía eléctrica para almacenarla y volverla a usar. Por esta razón se denomina frenada regenerativa.

Como se observa en la Figura 4, durante el proceso de aceleración, es el motor quien consume energía y mueve las ruedas motrices, mientras que en la desaceleración o frenada, serán las ruedas quienes hacen girar al motor haciéndolo actuar como generador eléctrico. De la resistencia que oponga el

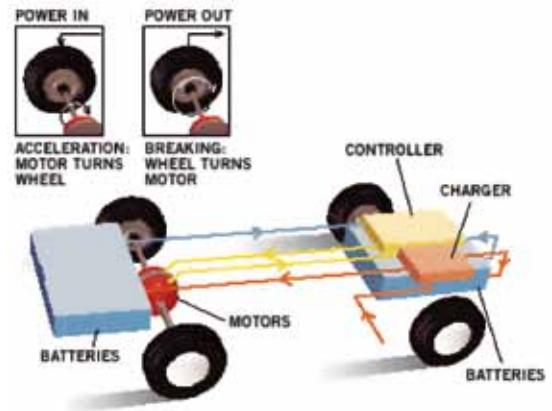


Figura 4. Freno regenerativo.

motor (par motor) al giro de las ruedas saldrá la cantidad de fuerza que aplica en oposición al giro u por tanto en el freno.

En un sistema de frenado regenerativo, el inversor debe de poder actuar como rectificador y transformar la energía eléctrica de alterna recuperada en la frenada a continua para poderse almacenar. Esta bidireccionalidad en corriente y en tensión se consigue con un motor y un inversor que funcionen en los cuatro cuadrantes que significa que en los dos sentidos de giro se puede comportar como motor o como generador.

Pueden introducirse elementos auxiliares de almacenaje de energía como ultracapacitores (ultracapacitors) o volantes de inercia (flywheels) capaces de absorber intensidades elevadas de potencia obtenidas de frenadas bruscas o almacenar energía que la batería no puede. Los ultracapacitores son unos condensadores electroquímicos capaces de almacenar una densidad de energía mucho mayor que la de los condensadores comunes. Tienen una capacidad de unidades o decenas de Faradio, frente a los milifaradios de los condensadores convencionales. En comparación con las baterías, son capaces de descargar y cargar la energía de forma más rápida y tienen una mayor vida útil. Por el contrario en la actualidad pueden almacenar menos cantidad de carga y durante menos tiempo.

En vehículos equipados con freno regenerativo, generalmente la fuerza de frenado necesaria no se puede conseguir solamente con el motor eléctrico, por lo que el vehículo debe de estar equipado también con un sistema de frenos de fricción que añade fuerza de frenado.

Por esta necesidad de convivencia de los dos sistemas, la frenada regenerativa añade algo de complejidad al diseño del sistema. Se debe satisfacer:

- Cómo distribuir la fuerza total de frenado requerida entre la que puede proporcionar la regenerativa y la convencional hidráulica de fricción en compromiso de conseguir la máxima recuperación de energía y cumplir con las exigencias de seguridad.
- Cómo distribuir la fuerza total de frenado entre el eje delantero y el trasero para encontrar el punto de frenado de equilibrio.

Tal y como se describe en el punto 2.2, las ruedas delanteras consumen alrededor del 65% de la potencia total de frenado, por lo que la recuperación de energía será más efectiva en las ruedas delanteras que en las traseras. Desde este punto de vista, tener un vehículo con las cuatro ruedas motrices no representa una mejora a tener sólo las dos delanteras.

Según cómo o cuándo se complementa la frenada regenerativa con la frenada del sistema convencional hidráulico de fricción se pueden establecer distintas estrategias de funcionamiento:

- Serie: la frenada regenerativa y la convencional de fricción se complementan para conseguir la fuerza de frenado conveniente en cada momento y la recuperación de energía óptima. Exige un control exhaustivo de las fuerzas que se aplican a cada rueda.
- Paralelo: la frenada regenerativa y la convencional de fricción actúan de manera simultánea y en paralelo.

1.6. Sistemas de Climatización de Vehículos Eléctricos.

1.6.1. Introducción.

El sistema de climatización de un vehículo puede afectar significativamente al consumo combustible y a las emisiones de gases de efecto invernadero y de partículas. Para un vehículo de tamaño medio, el consumo de combustible del sistema de climatización puede llegar a ser hasta del 20% y las emisiones aumentan según: NOx en casi un 80% y CO2 en un 70%.

La energía necesaria para operar un compresor de aire acondicionado es significativa, siendo superior a la necesaria para mover un vehículo de tamaño medio a una velocidad constante de 56 km/h.

Un automóvil es usado, de media, 41 minutos al día y el aire acondicionado permanece encendido entre el 43% y el 49% del tiempo. Dichos datos depende, por supuesto, de multitud de variables: condiciones climatológicas, hora del día, época del año, tipo de vehículo, color del vehículo, parking interior / exterior, ropa de los ocupantes, longitud del viaje, velocidad del vehículo, etc.

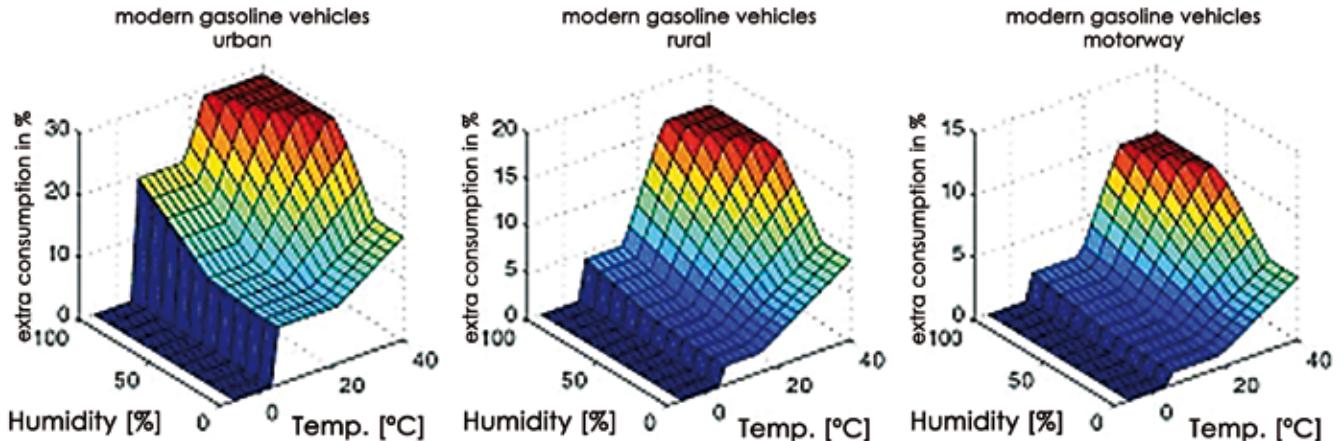


Figura 5. Aumento del consumo debido al aire acondicionado.

Estamos asistiendo a una avalancha de nuevos proyectos de vehículos híbridos y eléctricos que están llegando al mercado. Los sistemas de aire acondicionado por los que los fabricantes están optando para dichos vehículos, de primera generación, se dividen en las siguientes categorías:

- no instalar sistema de aire acondicionado: dependiendo del uso del vehículo y del clima / horario / época durante la cual va a ser utilizado, determinados fabricantes deciden que es suficiente con el uso de un ventilador.
- Motor de doble eje: esta es la opción más parecida a la empleada en vehículos con motores de combustión interna. Las ventajas son simplicidad y similitud con vehículos estándar. El problema es que el A/C sólo funcionará cuando el motor esté girando, es decir, cuando el vehículo esté en movimiento.
- Motor accesorio: otra opción es colocar un motor auxiliar que mueva al compresor. Este sistema permite que el A/C sea utilizado aún cuando el motor eléctrico principal esté parado. El problema es que añade peso y complica el sistema.
- Compresor con motor eléctrico integrado: sistema parecido a las unidades de A/C domésticas. Es la opción más empleada en los primeros vehículos híbridos de grandes series como la primera generación de el superventas, Toyota Prius.
- Sistemas de pre-enfriamiento asistidos por energías renovables, como en la 3ª generación del Prius.

1.6.2. Sistemas de aire acondicionado para vehículos eléctricos.

Un aspecto importante a tener en cuenta es que los requisitos de refrigeración, en vehículos eléctricos, se ve bastante reducido, debido a que la principal fuente de calor, el motor de explosión interna es sustituido por un generador eléctrico. En un motor movido por la quema de combustibles fósiles, tanto el motor, como la transmisión, el sistema de refrigeración del motor y el sistema de escape irradian cantidades enormes de calor.

En climas muy fríos, donde la calefacción de la cabina es fundamental, el vehículo eléctrico posee varias fuentes de calor. Un vehículo de esta clase tiene una eficiencia energética aproximada del 80%, siendo el 20% restante calor disipado por la electrónica de potencia, el generador y las baterías. Dichos elementos, actualmente poseen sistemas de refrigeración líquida, por lo que el calor disipado puede ser aprovechado de igual manera a como lo hacen los sistemas de vehículos convencionales.

La carga térmica recibida por el habitáculo de un vehículo es debida a los siguientes factores:

- Carga térmica por radiación solar a través de las superficies acristaladas: parabrisas y ventanas (26-44%).
- Calor conducido mediante las superficies metálicas externas del vehículo incluyendo techo y motor (12-18%),
- Calor por conducción desde el suelo (6-11%),
- Carga térmica transmitida por los ocupantes del vehículo (16-27%),
- Pérdidas de temperatura debidas a la entrada de aire del exterior (9-17%),
- Carga térmica debida al condensador del sistema de aire acondicionado (4-7%).

Para mejorar el confort de los ocupantes del vehículo y reducir el consumo energético de los sistemas de climatización, fijándonos únicamente en los tres primeros aspectos, se está trabajando en las siguientes direcciones:

- Reducción de la carga térmica debida a la radiación solar: empleo de cristales tintados progresivos en parabrisas y ventanillas así como de eficaces cristales reflectantes.
- Empleo de aislantes más efectivos y ligeros para todas las superficies metálicas que rodean la cabina.
- Empleo de pinturas reflectantes más efectivas en el exterior del vehículo para reducir la entrada de calor.
- Reducción de la carga térmica procedente del motor mejorando el aislamiento y estudiando la distribución de componentes bajo el capot y posibilitar el flujo de aire debajo del vehículo.
- Calentando, mediante resistencias eléctricas, los asientos en invierno o refrigerando, mediante módulos termoelectricos, los asientos en verano y controlados por un sistema de pre-calentamiento / enfriamiento para que dichos sistemas entren en funcionamiento antes de que los ocupantes del vehículo entren en él, alrededor de 20 minutos de antelación.

1.6.2.1. Sistemas Termoeléctricos.

Basado en el efecto Peltier, el sistema termoelectrico de control de la temperatura (TETC) tiene como ventajas ser un sistema de control directo, y no necesita de ningún refrigerante. Todo ello hace que sea un sistema muy eficiente y que aumenta la eficiencia del vehículo.

Los módulos termoelectricos de efecto Peltier tienen numerosas ventajas:

- pequeño tamaño y peso;
- capacidad para enfriar por debajo de 0 °C;
- capacidad de producir frío y calor con el mismo dispositivo;
- control preciso de la temperatura;
- alta fiabilidad;
- funcionamiento silencioso;

1.6.2.2. Enfriamiento / Calentamiento Localizado.

Los sistemas de aire acondicionado actuales enfrían y calientan toda la estructura interna del habitáculo: parabrisas, ventanas, suelo y parte trasera de los asientos, además de a los ocupantes.

Estos sistemas consumen entre 3,500 y 5,000 W. Para reducir dicho consumo, dicha carga térmica puede ser aplicada directamente en los asientos. Dichos asientos son llamados Climate Controlled Seats (CCS) y poseen conductos internos, su propios calentadores y una tapicería perforada.

Como los asientos se encuentran en contacto directo con los ocupantes, tenemos una conductividad térmica muy alta, en comparación

con el aire que es pésimo conductor térmico. De esta manera pasaríamos a necesitar del orden de 700 W, en lugar de 5.000 W para calentar / enfriar todo el habitáculo.

1.7. Equipos Auxiliares de un Vehículo Eléctrico.

La mayor parte de los elementos auxiliares, tales como la iluminación, por ejemplo, se encuentran tanto en el coche de gasolina clásico como en el vehículo eléctrico.

La utilización de las energías renovables supone una apuesta importante para el desarrollo de vehículos más limpios. Este capítulo presenta algunos ejemplos existentes.

1.7.1. El Coche Solar.

Por definición, un coche solar es un coche eléctrico que recarga sus baterías parcial o totalmente gracias a la energía solar. Tiene las ventajas de no emitir ningún gas ni partículas nocivas y de tener un bajo coste de funcionamiento ya que no necesita ningún carburante. Hay que destacar también que los paneles solares presentan la ventaja de ser utilizables ininterrumpidamente, esté el coche parado o en funcionamiento. Por el contrario, los vehículos solares están en general limitados por su baja autonomía y su elevado precio.

Desde hace casi 30 años, los inventores rivalizan en ingenio para diseñar vehículos solares con mejores prestaciones. Algunos vehículos experimentales que emplean únicamente la energía del sol se enfrentan todos los años en carreras de automóviles como la World Solar Challenge, prueba de 3021 km a través de Australia central, entre las ciudades de Darwin y Adelaide, figura 6.

A largo plazo, la idea buscada es incitar a los participantes a diseñar coches solares que se parezcan cada vez más a los vehículos tradicionales en cuanto a prestaciones, seguridad y comodidad. Por el momento, estos vehículos se aproximan más a la ciencia ficción que a un coche familiar.



Figura 6. Coche solar Nuna 3 participando en el World Solar Challenge (velocidad media 90 km/h, 6m² de células solares).

Sin embargo, el coche eléctrico podría hacer aparición en nuestras carreteras un día no muy lejano tanto en forma de prototipo como en series muy limitadas. A modo de ejemplo, el fabricante Venturi, ubicado en Mónaco, propone uno de los primeros vehículos comerciales con energías renovables: el Eclectic. Este vehículo está equipado con baterías que se recargan de forma autónoma gracias a las energías renovables (solar o eólica) o, en caso de necesidad, gracias a la electricidad proporcionada por la red.

A pesar del importante esfuerzo de innovación realizado, el vehículo propuesto por Venturi queda muy alejado de los vehículos actuales en términos de prestaciones y comodidad como para conocer un éxito comercial inmediato.

La tendencia actual consiste en la incorporación de paneles fotovoltaicos a los vehículos híbridos. Sirvan como ejemplo las versiones del Toyota Prius entre 2004 y 2009, vehículo híbrido equipado opcionalmente con un techo solar. Ese techo de 2,5 m², fabricado por la empresa americana SEV (Solar Electrical Vehicles, especializada en la instalación de techos solares en vehículos híbridos), es de silicio monocristalino y permite, según el fabricante, generar una potencia del orden de 215 Wp. La electricidad producida por el techo se almacena en una batería suplementaria de 3 kW y permite, dependiendo de las condiciones climatológicas y de conducción, un ahorro de combustible de hasta un 29 %. Según el fabricante, los techos solares, cuyo precio oscila entre los 1500 € y los 2000 €, se amortizarían en 3 años.

Así pues, la tecnología solar interesa cada vez más a los fabricantes, aunque todavía sea de forma puntual. El aumento de las prestaciones de las células unido a la disminución de su precio llevará, probablemente, a su uso generalizado en el futuro.

1.7.2. Integración de Aerogeneradores en los Vehículos.

Un coche con aerogenerador es un vehículo eléctrico que emplea la energía del viento para recargar parcial o totalmente sus baterías. El aerogenerador sólo puede ser usado con el vehículo parado, ya que su utilización con el vehículo en marcha originaría un sobreconsumo.

Los principales frenos al empleo de los aerogeneradores son la dificultad de integración en los vehículos así como las restricciones asociadas a su uso. Aunque ciertas empresas como Venturi intentan usar aerogeneradores, su empleo es anecdótico y los aerogeneradores sólo se emplean en vehículos prototipo. Es posible citar, por ejemplo, el proyecto Icare, cuyo objetivo es dar la vuelta al mundo (40 000 km) con un coche "aero-solar". Esta vuelta al mundo, iniciada en mayo de 2010, tiene como objetivo presentar y popularizar iniciativas interesantes en materia de desarrollo sostenible, e insistir más particularmente en los mecanismos de reducción del CO₂. Sin embargo, la producción eléctrica solar en este vehículo es 20 veces superior a la producción del aerogenerador.

1.7.3. Empleo de Otras Fuentes de Energía.

El aumento del precio del petróleo y la necesidad de desarrollar tecnologías más respetuosas con el medio ambiente están llevando a los fabricantes a identificar todas las pérdidas de energía de un vehículo y a encontrar soluciones para recuperar la energía perdida.

1.7.3.1. Amortiguadores con Recuperación de Energía.

La recuperación de energía cinética en las fases de frenado y la recuperación de energía potencial en las bajadas, difícilmente realizable en vehículos de gasolina, se puede lograr de forma natural en el vehículo eléctrico mediante el uso de convertidores bidireccionales. Otra tecnología prometedora es la relativa a la recuperación de energía a partir de la absorción de las irregularidades de la carretera. A modo de ejemplo, investigadores de la Universidad de Nueva York han puesto a punto un amortiguador capaz de recuperar la energía, formado por un tubo magnético que se desliza por el interior de una bobina de cobre. La variación del campo magnético permite convertir las vibraciones del amortiguador en corriente eléctrica para recargar la batería. Un prototipo realizado a escala 0,5 ha permitido demostrar que, en el caso de un vehículo real, la potencia recuperable sería del orden de 250 W para una velocidad de 70 km/h. Este valor, por supuesto, depende mucho del trayecto recorrido.

1.8. Identificación de la Topología de Vehículo Seleccionada.

En este capítulo, se describen las características principales y una propuesta de topología del sistema eléctrico del vehículo.

1.8.1. Especificaciones Funcionales.

Uso: El vehículo se usará para un recorrido de 100.000km en un entorno relativamente llano, 1 solo pasajero de 70 kg, masa del vehículo de 1.200 kg y vida útil 10 años.

Autonomía: Se establece una autonomía de 140 km en recorrido urbano y velocidad promedio de 35 km/h. Esta autonomía es suficiente para satisfacer el 80% de los recorridos.

Velocidad y pendiente máxima: Velocidad máxima 120 km/h, con capacidad de superar pendientes del 20%.

Recarga: El vehículo se recarga por la noche en con sistema de recarga residencial. Puede contemplarse una recarga rápida, aunque la recarga habitual será la recarga lenta.

1.8.2. Topología del Vehículo.

1.8.2.1. Sistema de Tracción.

El sistema de tracción consiste en un motor eléctrico unido a una caja diferencial reductora unida al tren delantero. Se prefiere la

tracción delantera porque permite una mayor recuperación de la energía cinética durante la frenada.

El motor y inversor pueden funcionar como freno regenerativo. El motor permite una potencia de pico del orden de 60kW.

El inversor obtiene la potencia del bus de continua.

1.8.2.2. Sistema de Acumulación de Energía.

Hay dos elementos que acumulan energía:

- Batería principal. Guarda la energía dedicada a la tracción. Se carga mediante un cargador al enchufar el coche en un puesto de recarga. También se carga con la energía del frenado regenerativo. Suministra potencia al motor de tracción, al compresor del aire acondicionado y a un convertor DC/DC que alimenta a la batería secundaria. La batería principal dispone de un sistema de gestión de batería, que controla la carga de ésta, así como el voltaje en el bus de continua.

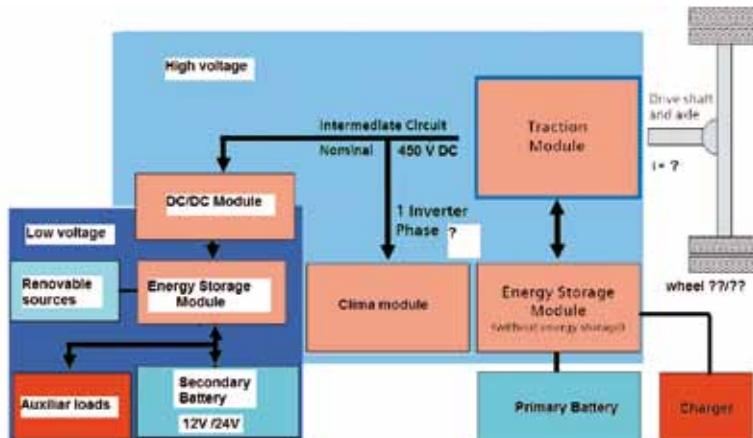


Figura 7. Sistema de acumulación de Energía.

- Batería secundaria. Se carga mediante elementos renovables, o a partir de energía de la batería principal. Su objetivo es suministrar alimentación a dispositivos que requieren una alimentación con voltaje constante y de poca potencia.

La topología de batería elegida es de LiFePO₄, con capacidad energética 50Ah, tensión 330V, energía 16,5kWh, tiempo de vida útil (80%) 10 años, 2.000 número de ciclos completos y masa total 200kg.

1.8.2.3. Elementos Auxiliares.

Los auxiliares incluyen:

- Luces.
- Ejevalunas.
- Movimiento y calefacción de retrovisores.
- Calefacción de luneta trasera.
- Indicadores del panel de mandos.
- Radio / Sistema de navegación / Comunicaciones.
- ECUs que necesiten alimentación a baja tensión.
- Otros.

1.8.2.4. Sistema de Frenos.

Los frenos delanteros son de disco y los traseros de tambor. Una HECU (Hydraulic Electronic Control Unit) gestiona el freno.

La HECU gestiona con el módulo de tracción el frenado del vehículo. Este puede ser puramente eléctrico, solo por fricción o una mezcla de fricción y eléctrico.

1.8.2.5. Sistema de Aire Acondicionado.

El sistema de aire acondicionado es, con la tracción, uno de los grandes consumidores de energía. Por esto se conecta directamente al bus de continua de alta tensión, evitando tener que sobredimensionar el convertidor DC/DC y las pérdidas de eficiencia asociadas al convertidor.

1.8.2.6. Sistema de Recarga.

El sistema de recarga lenta permite una duración mayor de las baterías y es el que se utilizará habitualmente para un coche de uso particular.

1.8.2.7. Chasis y carrocería.

El chasis y carrocería no serán objeto del eco-rediseño. Por ello, se elige utilizar datos de un vehículo real con prestaciones similares. Para los cálculos de prestaciones con el modelo virtual, se utilizarán los valores correspondientes a un chasis y carrocería del Toyota Prius.

1.8.2.8. Sistema de transmisión y dirección.

Inicialmente se considera un reductor con diferencial y sin cambio de marchas. Se estudiará con la simulación la necesidad de utilizar un cambio de marchas de dos velocidades para mantener las prestaciones de velocidad máxima y máxima pendiente cuando se seleccione el motor de tracción. La asistencia a la dirección es eléctrica. La ECU de la dirección asistida se conecta como una carga auxiliar a la batería secundaria.

1.9. Bibliografía.

- Claudia P. Arenas Guerrero, Jingshan Li, Stephan Biller and Guoxian Xiao. Hybrid/Electric Vehicle Battery Manufacturing: The State-of-the-Art. 6th annual IEEE Conference on Automation Science and Engineering, Toronto, Ontario, Canada, August 21-24, 2010, pp 281-286.
- The Hybrid Car Battery: A Definitive Guide. <http://www.hybridcars.com/hybrid-car-battery> , Nov. 6, 2008.
- BCG, 2009. The Comeback of the Electric Car? The Boston Consulting Group.
- The Boston Consulting Group, 2010. Batteries for Electric Cars - Challenges, Opportunities, and the Outlook to 2020. The Boston Consulting Group.
- Rodrigues T. Modelação e Simulação de um Formula Student Eléctrico. Tese de mestrado, 2009, Instituto Superior Técnico, Lisboa Portugal.
- Directiva 71/320/CEE
- Crolla D. Automotive Engineering. Powertrain, chassys system and vehicle body. Butterworth-Heinemann. Elsevier. 2009. Section 12: 362-364.
- Ehsani M, Gao Y, Gay S, Emadi A. Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles. Chapter 11.

- H. Gao, Y. Gao, and M. Ehsani, Design issues of the switched reluctance motor drive for propulsion and regenerative braking in EV and HEV, in Proceedings of the SAE 2001 Future Transportation Technology Conference, Paper No. 2001-01-2526, Costa Mesa, CA. 2001.
- Sand, J. R.; Fischer, S. K. Total Environmental Warming Impact (TEWI) Calculations for Alternative Automotive Air-Conditioning Systems. SAE International Congress, Detroit, Michigan.
- Martin F. Weilenmann *, Robert Alvarez and Mario Keller, Fuel Consumption and CO2/Pollutant Emissions of Mobile Air Conditioning at Fleet Level - New Data and Model Comparison, Environ. Sci. Technol., 2010, 44 (13), pp 5277–5282
- R. Farrington and J. Rugh, Impact of Vehicle Air-Conditioning on Fuel Economy, Tailpipe Emissions, and Electric Vehicle Range, Earth Technologies Forum Washington, D.C. October 31, 2000
- Air Conditioning and Hybrid Mileage. Idaho National Laboratory, 2006.
- Fernando Moreno. Diario motor. 2010
- Hohm DP, Popp ME. Comparative study of maximum power tracking algorithms. Prog Photovolt: Res Appl 2003:47–62.
- Chuang Yu *, K.T. Chau. Thermoelectric automotive waste heat energy recovery using maximum power point tracking. Energy Conversion and Management 50 (2009) 1506–1512.
- H. Braess and U. Seiffert, Handbook of Automotive Engineering. Warrendale, Pa.: SAE, 2005.
- R. H. Staunton, T. A. Burress and L. D. Marlino, "Evaluation of 2005 honda accord hybrid electric drive system," 2006.
- J. S. Hsu, C. W. Ayers, S. L. Campbell, C. L. Coomer, K. T. Lowe, R. T. Michelhaugh and R. H. Wiles, "Report on Toyota/Prius motor torque-capability, torque-property, no-load back EMF, and mechanical losses," 2004.
- J. S. Hsu, C. W. Ayers and C. L. Coomer, "Report on Toyota/Prius motor design and manufacturing assessment," 2004.
- T. A. Burress, C. L. Coomer, L. D. Marlino, R. H. Staunton, J. P. Cunningham, L. E. Seiber and S. L. Campbell, "Evaluation of the 2007 toyota camry hybrid synergy drive system," 2008. 2008.
- T. A. Burress, C. L. Coomer, S. L. Campbell, A. A. Wereszczak, J. P. Cunningham, L. D. Marlino, L. E. Seiber and H. T. Lin, "Evaluation of the 2008 lexus LS 600h hybrid synergy drive system," USA, 01/2009. 2009.
- Zytec Automotive. (2010), Electric engines.
- TM4 Electrodynamic Systems. (2011), TM4 MOTIVE™ - electric powertrain.
- B. W. Williams, Power Electronics: Devices, Drivers and Applications. Basingstoke: Macmillan, 1987.
- UQM Technologies. (2011), Vehicle propulsion systems.
- UQM Technologies. (2011), Power electronics.
- Brusa. (2011). Drive: Efficient AC drives.
- Brusa. (2011), Brusa: Motors.
- Remy International Inc. (2010), Remy electric motors brochure.
- EVO Electric Ltd. (2011), Electric motors.
- EVO Electric Ltd., "EDS-14042 Electric Drive System," 2011.
- EvolveIT Inc. (2010), Evolveit motors.
- Evolveit Inc. (2010), Electric vehicle inverter controller driver.
- Magnet-Motor GmbH. (2009), Power electronics: Lightweight electronic components.
- Curtis Instruments. AC motor controllers.

- M. Frisch, "Resonant Motor Drive Topology with Standard Modules for Electric Vehicles," Power Electronics Europe, vol. 5, pp. 31-34, 2008.
- Agencia Europea de Medio Ambiente. (2004, 2004). Transporte y medio ambiente en europa.
- European Commission. (2007, 2007). Regiones europeas competitivas gracias a la investigación y la innovación. Bruselas.
- M. Johnson and M. Wang, "Evaluation policies and automotive recovery options according to the European Union Directive on end-of-life vehicles (ELV)," Proc. Inst. Mech. Eng. Pt. D: J. Automobile Eng., vol. 216, pp. 723-739, 01/01, 2002.
- C. Collins, A. Fanning, M. Crowe and B. Meaney. (2002, 2002). End of life vehicles in Ireland. A sectorial report.
- European Commission. (2007, 17/10/2007). Informe de la comisión al consejo, al parlamento europeo, al comité económico y social europeo y al comité de las regiones sobre la aplicación de la directiva 2000/53/CE relativa a los vehículos al final de su vida útil durante el periodo 2002-2005. Bruselas.
- Dirección General de Tráfico, "Anuario estadístico general 2007," Madrid, 2008.
- SIGRAUTO. (2010), Memoria anual 2009.
- European Union. (6/07/2005). DIRECTIVE 2005/32/EC of the european parliament of the council 2005 establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for energy-using products and amending council directive 92/42/EEC and directives 96/57/EC and 2000/55/EC of the european parliament and of the council.
- M. Charter, D. Trillosand and T. Marcos. (2010), ISO 14006 will provide guidance on ecodesign. ISO Focus.
- Cámara Oficial de Comercio e Industria de Zaragoza. Ecoetiquetas.
- Cámara Oficial de Comercio e Industria de Zaragoza. ¿Por qué eléctricos?
- Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) and International Energy Agency (IEA). (24/06/2010). Technology roadmap:electric and plug-in hybrid electric vehicles.
- Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (Gobierno de España). (2010), Estrategia integral para el impulso del vehículo eléctrico en España.
- R. Aláez, M. Barneto, C. L. Gil Juan-Carlos and J. Lucea. (3º trimestre, año 2010). Del motor de combustión interna al vehículo eléctrico cuatro alternativas técnicas (*). Revista Economía Industrial Núm. 377 Presidencia Española De La Unión Europea.
- Observatorio industrial FEDIT (15/01/2010). Tendencias tecnológicas del sector de automoción. repercusión de las líneas de innovación sobre las empresas en España.

 **02**

Análisis de Ciclo de Vida de los Principales Componentes de un Vehículo Eléctrico

2.1. BATERÍAS.

2.1.1. Objetivo, alcance y etapas consideradas.

El objetivo principal es conocer el impacto medioambiental de la batería de Li-Ion seleccionada, a lo largo de su ciclo de vida, para después, con los resultados obtenidos, poder proponer mejoras en el diseño que den lugar al mejor desempeño ambiental de la batería.

El ciclo de vida de la batería comienza con la extracción de la materia prima, la cual es transportada y tratada para la obtención de materiales y componentes que sirven para la fabricación de las células. Estas células se unen en la batería con otros componentes. Una vez que se tienen todas las piezas, se realiza el montaje de las mismas, obteniendo así el conjunto de la batería. Ésta es transportada a la planta de montaje de vehículos donde se coloca dentro del vehículo eléctrico. Las siguientes etapas de la vida de la batería corresponden al uso y fin de vida.

2.1.2. Metodología y resultados.

Antes de comenzar el ACV, se realizó un estudio bibliográfico sobre cuestiones ambientales clave identificadas en otros estudios ACV de baterías de iones de litio. Algunos puntos críticos han sido objeto de investigación, es el caso de:

- a) Disponibilidad de recursos: litio;

- b) Toxicidad e impacto medioambiental de los materiales usados: composición química, tipo de materiales de los cátodos y ánodos y el tipo de electrolito;
- c) Eficiencia energética de la batería en la fase de uso;
- d) Final de vida de la batería: la influencia de no realizar reciclaje, tecnologías de reciclaje, materiales recuperados.

Se ha seguido la metodología propuesta, según los pasos definidos en la norma ISO 14040: definición de la finalidad, alcance y límites del sistema, definición de la unidad funcional, inventario y cuantificación de los impactos ambientales y por último, interpretación de resultados. Para el penúltimo paso se utilizó el software SimaPro®.

No fue posible confirmar con los productores los datos sobre los materiales y los procesos de fabricación de la batería seleccionada ni obtener datos con confianza. Por lo tanto, se ha utilizado, en gran medida, los datos proporcionados por la base de datos Ecoinvent, con todos los procesos y subprocesos de fabricación de una batería de composición similar y presuponiendo que los impactos ambientales también serían similares, validando algunos datos en la literatura y con los ensambladores de baterías instalados en Portugal.

Debido a las dificultades de acceso a los datos de las etapas de diseño y producción de baterías, se le dio especial énfasis a la etapa de "Uso", donde la eficiencia energética de la batería es el factor más importante. La eficiencia de una batería depende de sus características técnicas que pueden ser objeto de ecodiseño. La masa total de la batería de litio es una de las características técnicas que influye directamente en el consumo del VE.

En la etapa de uso deben tenerse en cuenta las pérdidas de energía derivadas de la batería que son: las pérdidas por ineficiencia y las pérdidas en el VE por el transporte de la batería de litio.

Potencialmente, los diferentes valores de consumo de energía asociable directamente a la batería pueden dar indicaciones de ecodiseño en la fase de uso, debido a los diferentes valores correspondientes a las diferentes formas de uso de un VE, por ejemplo, mayor o menor velocidad en el movimiento o grado de utilización del AC y otros equipos consumidores de electricidad. Como el comportamiento ambiental de la batería en la fase de uso depende de muchos factores y hay una gran incertidumbre en los datos utilizados para calcular el impacto ambiental, se han probado varios escenarios en función de un escenario base, a fin de evaluar el efecto sobre los resultados.

Para la etapa de fin de vida se considera que la batería después de 100.000 km y 10 años de vida se recicla por la tecnología pulverometalúrgica.

La figura 7 muestra los impactos ambientales para varias categorías de impacto, de acuerdo con el método Eco-indicador 99 H/A, en todas las etapas de ciclo de vida consideradas para el escenario base.

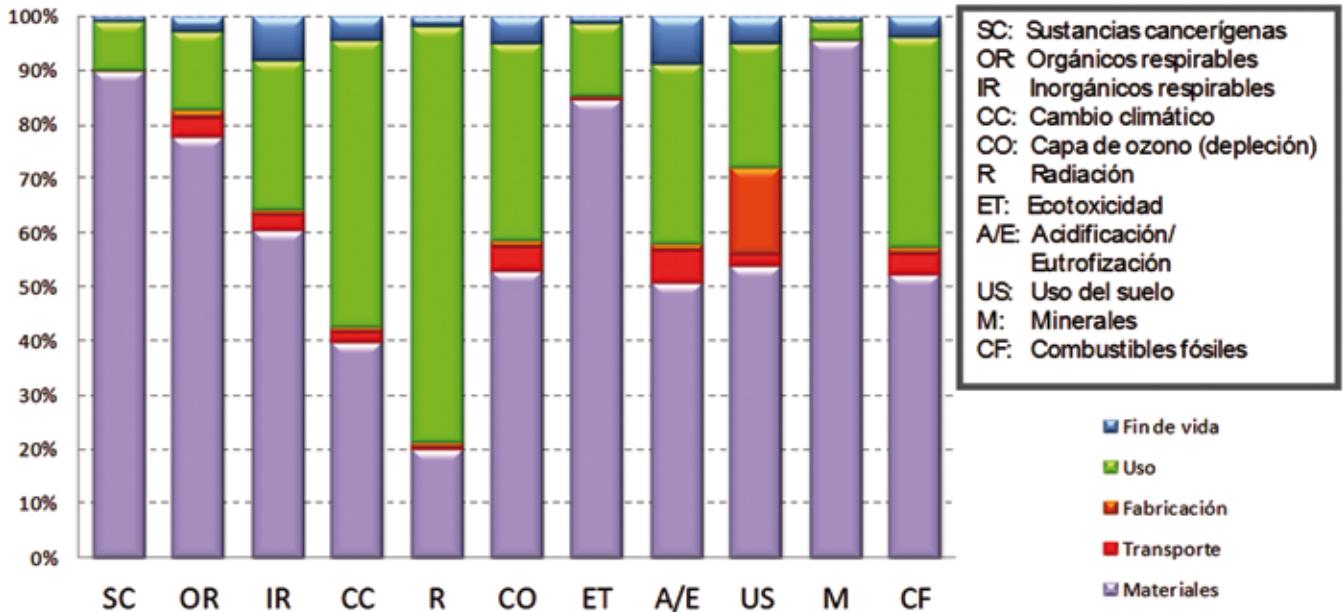


Figura 8. Caracterización del impacto asociado al ciclo de vida de una Batería de Litio. Metodología Eco-indicador 99 H/A, escenario base.

Del análisis del gráfico en la figura 8 se constata que la etapa "Materiales" tiene un impacto más significativo en casi todas las categorías de impacto menos en la "Radiación Ionizante" derivada de la electricidad en la fase de "Uso". Le sigue la fase de "Uso" donde el consumo de electricidad asociado origina impactos también significativos en muchas categorías de impacto.

Los resultados muestran que la fase de "Materiales" es responsable de los principales impactos ambientales de las baterías. No fue posible, en esta fase del proyecto, llegar ya a conclusiones sobre la concepción de baterías, mejores tecnologías o mejores soluciones de fabricación y uso que se tradujesen en menor impacto medioambiental. Aun así, los resultados indican que es necesario conocer mejor la fase "Materiales".

Los resultados muestran que incluso con una mayor eficiencia en la fase de uso, los principales impactos ambientales son todavía elevadas, debido a que los materiales de las baterías tienen una gran influencia en el resultado final. El hecho de que la batería sea muy pesada contribuye a aumentar el consumo de electricidad en la fase de uso. Al final de la vida de la batería, el elevado peso del material a tratar provoca impactos ambientales también importantes.

Se concluyó que la mejor manera de reducir el impacto ambiental de la batería sería reducir su tamaño. Sin embargo, esta solución tiene consecuencias en el plano de la autonomía del vehículo, es decir, disminuye la autonomía por debajo de los valores que se han establecido para este proyecto. Se buscó entonces otra solución que es nuestra propuesta de ecodiseño.

2.1.3. Propuesta de Ecodiseño.

El problema que hemos querido superar es el siguiente, la batería de Li-Ion usada en este estudio es muy pesada (aproximadamente 200 kg) y tiene una autonomía de 140 km, que sólo es utilizada parcialmente la mayor parte del tiempo (40 km es el promedio diario). Así, se propone reducir la batería a la mitad del tamaño y agregar un extensor de autonomía que consta de un grupo motor-generator. Para el uso diario (más frecuente) la energía proporcionada por la batería de litio es suficiente, pero para viajes más largos, el extensor de autonomía proporciona la energía eléctrica necesaria, manteniendo el vehículo trabajando como eléctrico. El objetivo es aumentar la autonomía del vehículo eléctrico sólo cuando es necesario.

El extensor de autonomía propuesto se construye basado en las siguientes características:

- Un grupo motor-generator de 5kW de gasolina con 80 kg de masa, en el que el motor tiene sólo un cilindro.
- Este grupo alimenta la batería de litio para largas distancias.
- La batería de litio tendrá una masa de aproximadamente 100 kg.
- En principio, la batería tendrá una autonomía de unos 70 km.

Se estima que el grupo formado por batería de litio más el extensor de autonomía, dará una autonomía total de 250 km, suponiendo un depósito de 12 litros de gasolina.

2.2. CONVERTIDOR.

2.2.1. Objetivo, alcance y etapas consideradas.

El objetivo principal es conocer el impacto ambiental de dos tecnologías de convertidor a lo largo de todo su ciclo de vida y definir mejoras que optimicen el producto desde un punto de vista ambiental y tecnológico.

Para el análisis del ciclo de vida, es importante la definición de la unidad funcional. Esta es la medida de la función del sistema estudiado y da una referencia de cuáles son las entradas y salidas relacionadas. Esto permite la comparación de dos sistemas diferentes. En este proyecto se ha tomado como unidad 100.000 km, los cuales equivalen a un único convertidor. Se ha analizado uno de la marca FAGOR y otro de tecnología americana.

A continuación se define los elementos de entrada y salida de cada etapa:

Materiales.

En esta etapa se han introducido todas las piezas que componen el convertidor y sus procesos de producción asociados, en los casos en los que se conozca. También se han tenido en cuenta los materiales auxiliares como son el estaño, barniz, adhesivo, líquidos, lámparas y disolventes.

Las salidas de esta etapa están relacionadas con las emisiones CO₂ que se genera en los procesos de producción de las piezas mencionadas.

Transporte.

Las entradas de la fase de transporte contemplan, por una parte, el gasóleo necesario para transportar todo el material desde la planta distribuidora hasta la planta de producción del convertidor y por otra parte, el gasóleo necesario para el transporte de los residuos generados durante el proceso de fabricación hasta el gestor correspondiente.

Las salidas generadas durante esta fase son las emisiones CO₂.

Fabricación del convertidor.

Las entradas que se han contemplado en esta fase son las correspondientes al consumo energético de la maquinaria requerida para la fabricación del convertidor.

Las salidas corresponden a los residuos generados durante esta etapa. También se ha contemplado el propio producto, el convertidor, aunque éste siga dentro del sistema.

Uso.

La entrada de esta fase está asociada al consumo energético, más concretamente al consumo eléctrico necesario para su correcto funcionamiento. Las salidas asociadas son las emisiones CO₂.

Fin de vida.

Como entrada se contemplan los residuos generados durante la fase de uso: escoria, lámparas y aguas contaminadas y la gestión de las mismas. Además del propio convertidor y el consumo energético que supone el tratamiento fin de vida de

los materiales y pieza del convertidor.

2.2.2. Metodología y resultados.

Tal como se muestra en la figura 9, los resultados de impacto ambiental del convertidor FAGOR obtenidos con la metodología Eco-indicador'99 H/A nos indica que la etapa de uso es con gran diferencia la que mayor carga ambiental supone en casi todas las categorías de impacto, seguida por la etapa de materiales, la fabricación, el transporte y el fin de vida apenas repercuten en el impacto medioambiental.

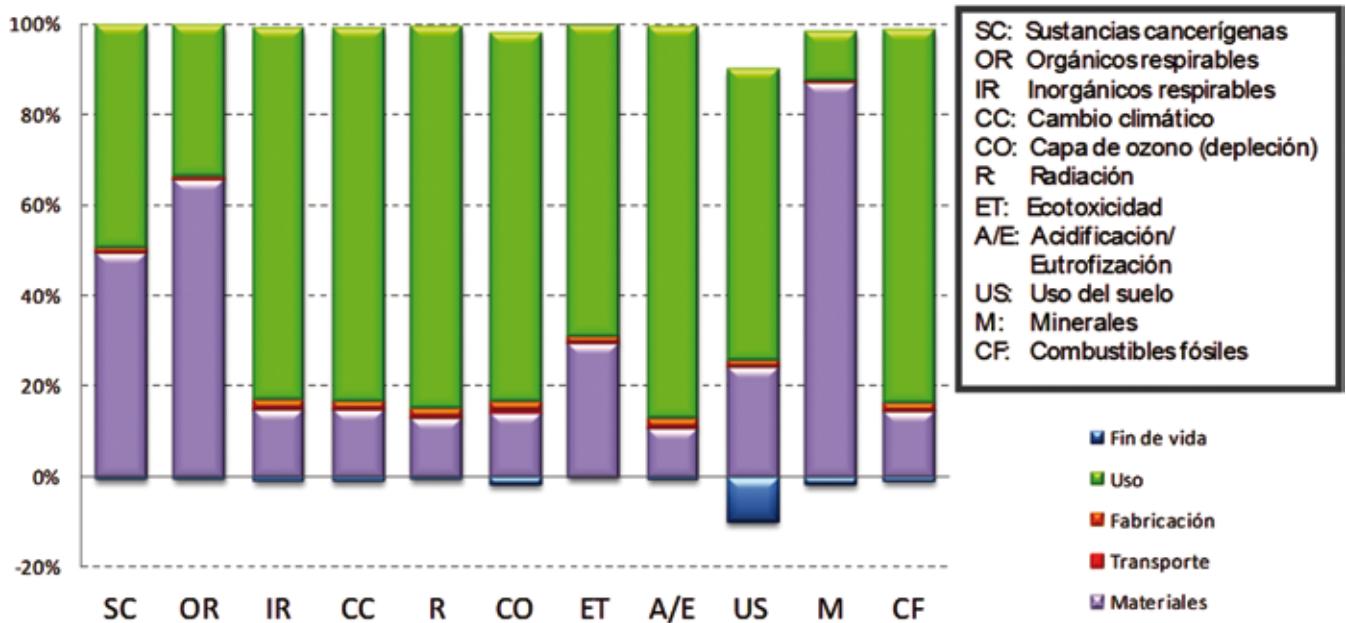


Figura 9. Caracterización del impacto asociado al ciclo de vida de 1 convertidor FAGOR. Metodología Eco-indicador'99 H/A.

La categoría de impacto más afectada por el consumo eléctrico que se da en la etapa de uso con un porcentaje del 86% es la acidificación/eutrofización, seguida por la radiación ionizante, resp. Inorgánicos, cambio climático, reducción de la capa de ozono y combustibles fósiles con porcentajes que alcanzan el 83%, y uso del suelo y ecotoxicidad con el 80% y 70% respectivamente. Muy por debajo se encuentran las categorías de sustancias cancerígenas, Resp. Orgánicos y minerales con 49%, 33% y 11% respectivamente.

Los resultados obtenidos con la metodología CML Baseline 2000 que aparecen en la figura 10 muestran que el uso del convertidor es la etapa del ciclo de vida que mayor impacto genera en todas las categorías, esto se debe al gran consumo energético que se da en ella, seguida por la etapa de materiales y fabricación. El transporte apenas repercute en las distintas categorías de impacto y el fin de vida tiene una ligera carga negativa en todas las categorías de impacto excepto en ecotoxicidad en aguas dulces.

A continuación se analiza la carga ambiental de la etapa de uso, etapa que mayor impacto supone. La categorías toxicidad terrestre es la más afectada con un porcentaje de más de un 90% seguida por la acidificación con casi un 87%, el agotamiento abiótico, la reducción de la capa de ozono y el calentamiento global con alrededor de un 83%, la oxidación fotoquímica con más de 76%, la eutrofización con 72,5%, la ecotoxicidad acuática marina y la ecotoxicidad en aguas dulces con alrededor del 65%. Por último, la toxicidad humana con casi el 54%.

Los resultados obtenidos del análisis nos indican que la etapa de uso es con gran diferencia la etapa que mayor impacto medioambiental genera en el convertidor FAGOR.

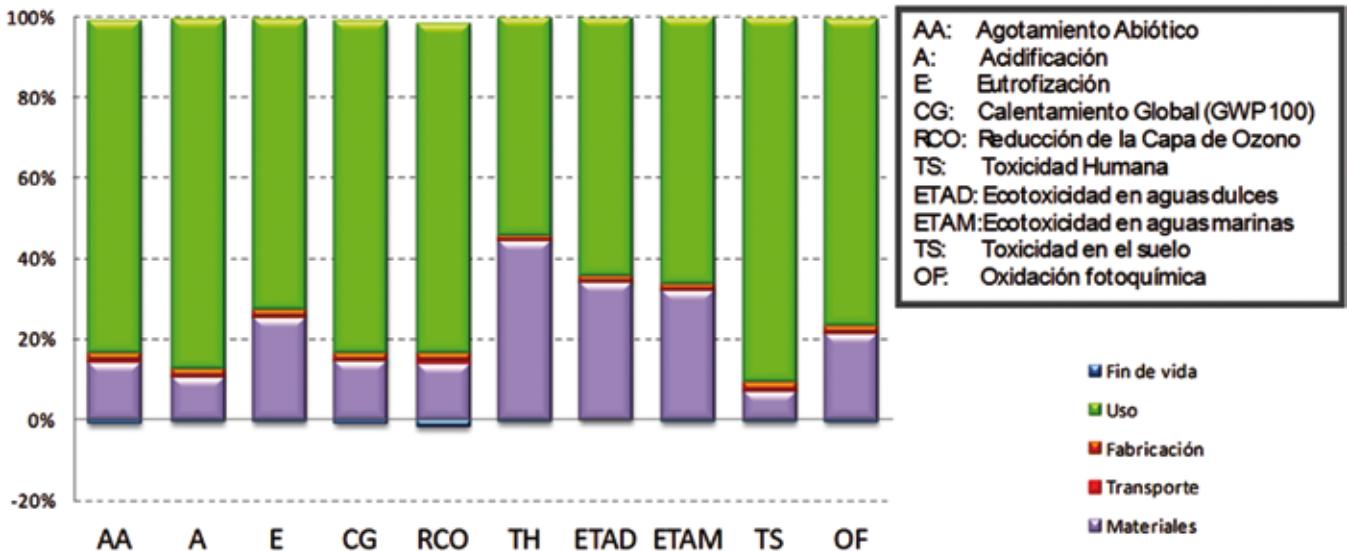


Figura 10. Caracterización del impacto asociado al ciclo de vida de 1 convertidor FAGOR. Metodología CML 2 Baseline 2000 V2.05 / West Europe, 1995.

Todos los estudios realizados indican que uno de los factores que mayor impacto medioambiental genera es el consumo eléctrico en la etapa de uso. Por ello las acciones de eco innovación deberán de enfocarse en la mejora de la eficiencia y en la reducción de consumo energético.

2.2.3. Propuesta de Ecodiseño.

Siguiendo las recomendaciones obtenidas en el apartado anterior, los esfuerzos se dirigirán a la mejora de la eficiencia del convertidor, para así conseguir una reducción de consumo eléctrico en la etapa de uso.

La mejora propuesta en este proyecto nace de la octava estrategia de ecodiseño. Esta mejora se basa la inclusión de la funcionalidad de cargador de baterías en el propio inversor. Utilizando dos de las tres ramas de IGBTs que componen el inversor, se ha diseñado un circuito de adaptación para poder cargar las baterías con este mismo dispositivo, figura 11. Para tal efecto se ha diseñado una etapa de adaptación, y posteriormente se analizará si el nuevo inversor junto con su nueva funcionalidad ofrece mejoras respecto a los dos dispositivos por separado, inversor y cargador, en términos de reducción de materiales y elementos utilizados en su construcción, eficiencia en su etapa de uso y facilidad de integración en un vehículo eléctrico (volumen y peso).

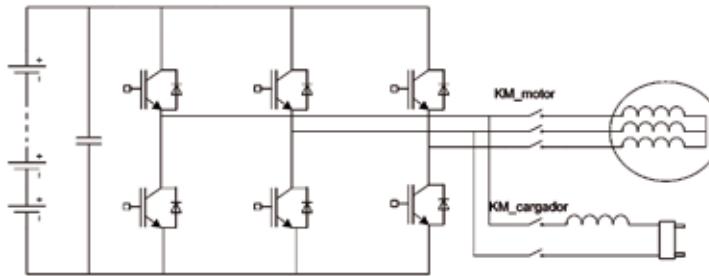


Figura 11. Topología de inversor+cargador utilizando relés y una inductancia.

2.3. PUNTO DE RECARGA.

2.3.1. Objetivo, alcance y etapas consideradas.

El objetivo de la Fundación CARTIF en esta parte del este estudio ha sido averiguar el perfil ambiental de los puntos de recarga actuales

para identificar y proponer alternativas de mejora basadas en estrategias de ecodiseño.

En el marco de este proyecto han estudiado las estaciones de recarga lenta de vehículos eléctricos Merlyn® modelo EVO4-8 del fabricante EMERIX (figuras 12) de un solo conector, es decir, una única toma de corriente o punto de alimentación para vehículos eléctricos. En este libro se recogen únicamente los resultados de la estación tipo poste.



Figura 12. Estación de recarga para un aparcamiento cerrado (izqda) y para vía pública (dcha).

La función del sistema será recargar vehículos eléctricos 20,4 horas al día durante 10 años (85% del tiempo de funcionamiento en carga, 15% en reposo) y la unidad funcional 1 punto de recarga lenta con una vida útil de 10 años.

El diagrama de flujo del ciclo de vida de las estaciones de recarga se representa en la figura 13. Las etapas agrupadas mediante una llave son las fases de las que el fabricante EMERIX ha proporcionado datos reales para completar el inventario, suministrando también algunas potencias teóricas de la etapa de uso.

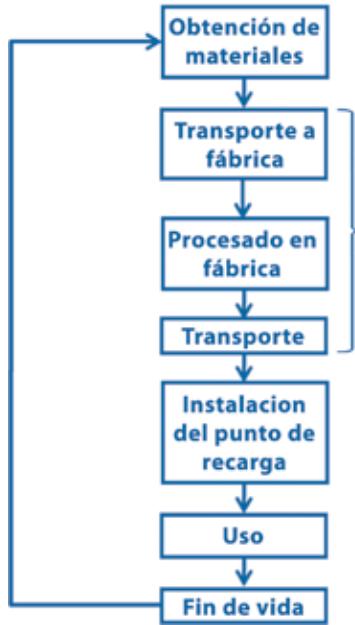


Figura 13. Diagrama de flujo del ciclo de vida de una estación de recarga.

Para realizar el desglose de los componentes en los distintos módulos de los postes, se procedió a realizar el despiece de la estación de recarga y a pesar cada uno de ellos, además de utilizar datos procedentes de fichas del tipo “Environmental Product Profile” donde determinados fabricantes, como Schneider Electric, publican sus datos ambientales. También se supusieron los procesos típicos para su fabricación. Para la etapa de transportes, el lugar desde donde se adquieren las materias primas ha sido facilitado por EMERIX. También, basado en sus mediciones diarias, ha suministrado los inputs para la etapa de fabricación. La etapa de instalación se ha definido a partir de datos de obra civil, el uso se ha estudiado desde dos puntos de vista, teórico y validación experimental y la etapa de fin de vida ha sido construida a partir de consideraciones generales para la gestión de los diferentes tipos de residuos que se generarían, así como el probable destino de los mismos.

2.3.2. Metodología y resultados.

Los resultados que a continuación se van a exponer se han obtenido con la simulación de ambos productos mediante el programa SimaPro® que permite realizar Análisis de Ciclo de Vida (ACV) a través del uso de bases de datos de inventario propias (creadas por

el usuario) y bibliográficas.

Los resultados de caracterización son los que se consideran más fiables en un ACV, debido a que el resto de etapas de la evaluación de impacto, opcionales, tienen menor base científica, aunque ofrezcan resultados del indicador con una magnitud relativa más fácilmente entendible. Serán los que aquí se representen.

En la figura 14, se presentan los resultados de caracterización correspondientes a la evaluación de impacto mediante la metodología Eco-Indicador'99 H/A para una estación de recarga tipo poste.

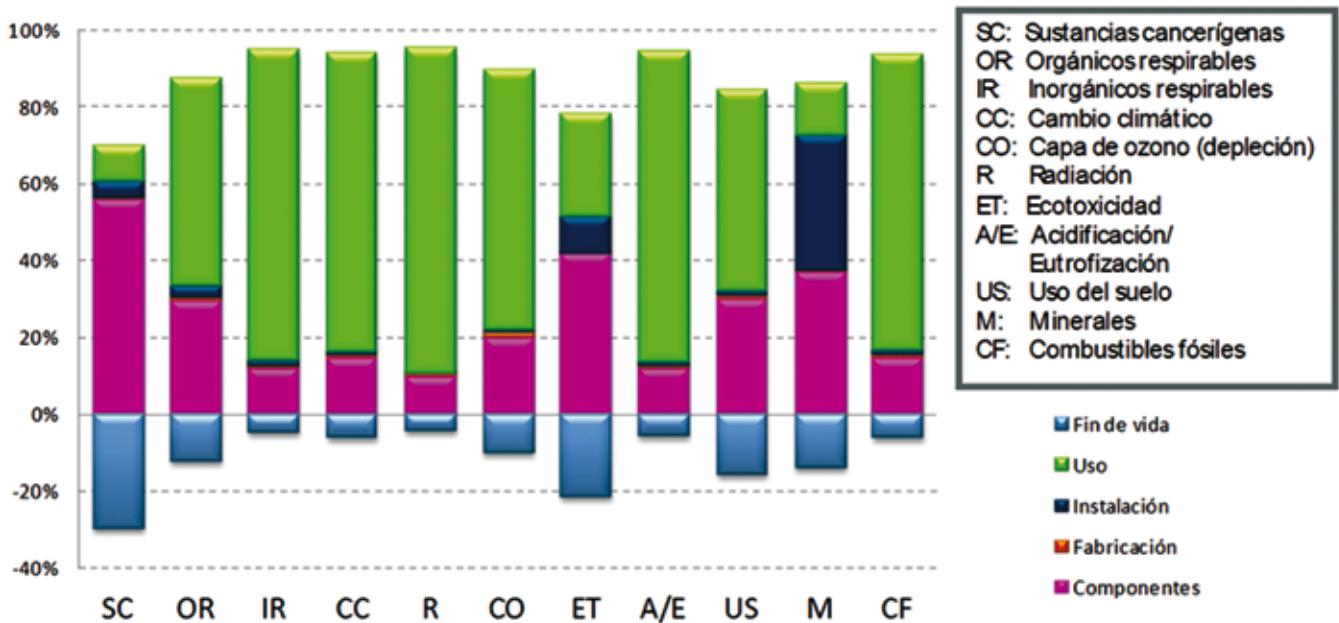


Figura 14. Caracterización del impacto asociado al ciclo de vida de una estación de recarga tipo poste. Metodología Eco-Indicador'99 (H/A).

En 2 de las 11 categorías (SC y ET) el impacto predominante es debido a los componentes del Módulo Electrónica. Dentro de éstos, destaca la contribución del controlador, de casi el 50% del impacto, seguido por el contador, superior al 30% y la fuente de alimentación (14%), que son los elementos más pesados de este módulo. Por contra, en las categorías OR, IR, CC, CO, R, A/E y CF: las pérdidas del

circuito de potencia de la etapa de Uso son las que más contribuyen al impacto en estas categorías. También se puede observar que la etapa de Fabricación no tiene una incidencia significativa al impacto en ninguna de las categorías. Algo parecido ocurre con la etapa de Instalación, que solo tiene una contribución a destacar en SC, ET, y es la principal responsable del impacto en la categoría de Minerales, a consecuencia del cable.

En la figura 15 se puede observar los resultados de caracterización que corresponden a la evaluación de impacto mediante la metodología CML 2 Baseline 2000 WE.

La etapa de Materiales genera más impacto en 4 de las 10 categorías: Eutrofización, Toxicidad Humana y Ecotoxicidad en aguas dulces y en aguas marinas, a causa fundamentalmente del módulo Electrónica. En el resto, las pérdidas en el circuito de potencia ocasionadas en la etapa de uso son las principales causantes del impacto.

La etapa de Instalación no tiene una incidencia significativa en el impacto global. Tampoco se aprecia apenas la contribución de la etapa de Fabricación.

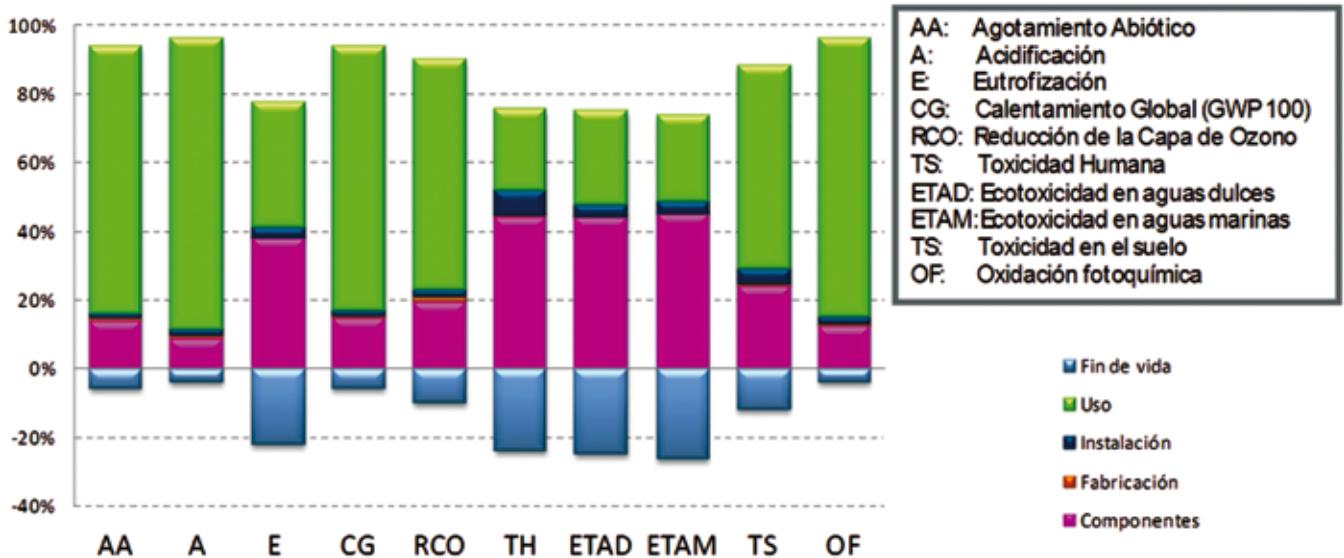


Figura 15. Caracterización del impacto asociado al ciclo de vida de una estación de recarga tipo poste. Metodología CML 2 Baseline 2000 West Europe 1995.

La huella de carbono de la estación de recarga de tipo poste es de 3.887,95 kg CO2 eq.

2.3.3. Propuesta de Ecodiseño.

De las ocho estrategias de ecodiseño se detectó que en dos de ellas había posibilidad de actuación:

- La número 2: Reducción de material. Se basa en la idea de reducción tanto de peso como de volumen de producto.
- La número 5: Reducción en la etapa de uso. Se basa en asegurar un bajo consumo energético, utilizando fuentes de energías limpias, reduciendo desechables y aumentando la eficiencia de los productos.

La medida que ha sido seleccionada para implementarla en la fase de prototipado es la de integración de componentes en un formato "todo en uno" que va a sustituir al controlador actual. Esta medida implica la evidente reducción de material de envoltentes (estrategia nº 2) y la reducción de cableado e incluso de conectores, donde se producen pérdidas en la fase de uso (estrategia nº 5). Ambas dos afectarían a la fase de uso, sobre la que los cambios tienen mayor incidencia en el resultado de impacto global, aunque también a la fase de materiales (y por consiguiente a la de fin de vida), que junto con la anterior constituye el principal valor del inventario de datos ambientales conseguido en este estudio.

2.4. SISTEMA DE FRENOS.

2.4.1. Objetivo, alcance y etapas consideradas.

El objetivo principal del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) aquí propuesto es servir de apoyo para llevar a cabo la mejora ambiental de la pinza y la pastilla. Para ello el ACV se utiliza como herramienta para evaluar el impacto ambiental asociado a un producto a lo largo de todo su ciclo de vida.

Las etapas consideradas son: la extracción y primera transformación de materias primas; la fabricación de la pinza en la fundición comprendiendo requerimientos de agua y energía y procesos auxiliares (fabricación de moldes y acabado final de la pieza mediante granallado); la fabricación de la pastilla de freno, comprendiendo energía de fabricación, consumo y vertido de aguas así como la gestión de los residuos de proceso; el transporte desde los proveedores de materias primas a las plantas de fabricación, de los subproductos generados y de los residuos de fabricación a los diferentes gestores autorizados; el uso de los componentes en el propio vehículo; y la gestión final de los componentes analizados. Las entradas y salidas relacionadas con la etapa del montaje del VE no se contemplan dentro del presente estudio.

2.4.2. Metodología y resultados.

Análogamente al resto de componentes, para el análisis del impacto asociado a la pastilla se han utilizado dos metodologías de

evaluación diferentes: CML 2 Baseline 2000 v 2.05 / West Europe 1995 y Eco-indicador 99 (H) V.2.08/ Europe EI 99/HA. Las figuras que muestran los resultados de la ACV inicial realizado para la pinza y la pastilla se ofrecen a continuación (16 y 17):

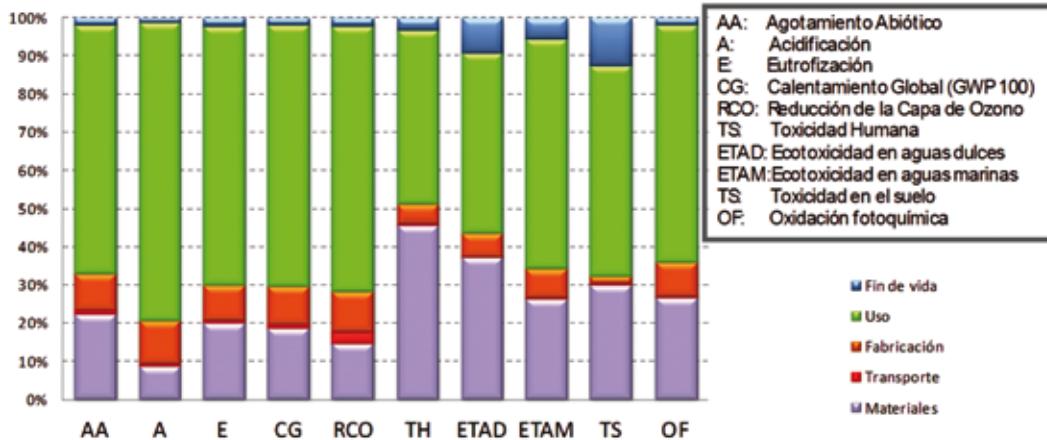


Figura 16. Resultados obtenidos del análisis de impacto por km recorrido (% relativo). Sistema de Frenos (pinza y pastilla). CML 2 Baseline 2000 v 2.05 / West Europe 1995. Caracterización.

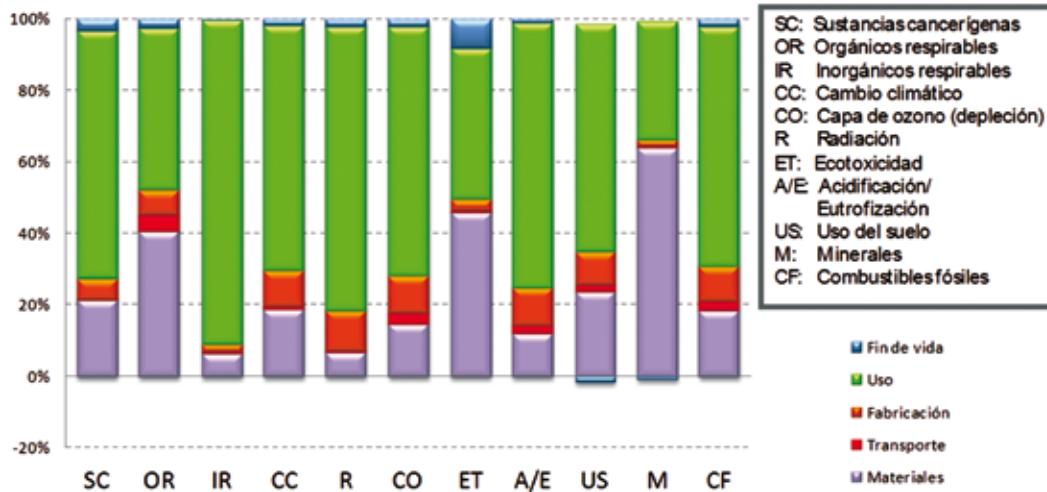


Figura 17. Resultados obtenidos del análisis de impacto por km recorrido. Sistema de Frenos (pinza y pastilla). Eco-indicador 99 (H) V.2.08 / Europe EI 99/HA. Caracterización.

Como conclusión de los resultados obtenidos en el análisis anterior se puede considerar que las etapas con mayor contribución al impacto ambiental son la etapa de uso y la referida a la extracción y primera transformación de materiales que conforman el sistema de frenos.

Respecto de la pinza, el material con mayor contribución es el lingote de fundición nodular. La base metálica para el material de fricción de la pastilla es el componente con mayor impacto ambiental en todas las categorías estudiadas. Por lo que respeta al material de fricción, destaca por su contribución al impacto ambiental el uso del hierro.

La etapa del transporte tiene una contribución poco significativa.

2.4.3. Propuesta de Ecodiseño.

Las estrategias de ecodiseño a aplicar para la mejora ambiental del sistema de frenos fueron las siguientes:

- Pinza: la estrategia de mejora consiste en seleccionar materiales que cumplan con las exigencias ambientales actuales pero que sean más ligeros para contribuir a la disminución global de peso y ver si esta selección reduce el impacto ambiental.
- Pastilla: la estrategia de mejora consiste en seleccionar materiales que disminuyan el impacto ambiental sin disminuir las prestaciones de la pastilla actual. Se analiza la incorporación de fibras naturales en el material de fricción (como la fibra de celulosa) y la eliminación de algunos de los metales pesados. De recientes estudios se observa que las fibras naturales no son tóxicas por lo que podrían contribuir a la mejora ambiental de la pastilla siempre y cuando aporten su correcta función.

2.5. SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN.

2.5.1. Objetivo, alcance y etapas consideradas.

El objetivo del trabajo es diseñar un sistema de climatización mejorado medioambientalmente respecto de los actuales. Para ello se analiza el impacto que produce a lo largo del ciclo de vida, el sistema de climatización de un vehículo eléctrico de fabricación seriada mediante metodología ACV. Una vez que se conozca este resultado se aplicarán técnicas de ecodiseño para mejorar dicho sistema de climatización y obtener uno nuevo mejorado medioambientalmente. Para certificar esta mejora se realizará un nuevo ACV del sistema de climatización mejorado y se compararán los resultados de ambos. Esta comparación será posible porque se empleará la misma unidad funcional para ambos ACV.

La unidad funcional se ha definido de la siguiente manera: Capacidad de climatización del sistema, entendiendo por ésta la adecuación de las condiciones del aire y otros componentes de la cabina del vehículo, a las condiciones de temperatura necesarias para el bienestar de las personas, medida en términos de producción de calor o frío, en el marco de utilización del vehículo eléctrico descrito anteriormente. Para ello se tomará como unidad de medida de calor la referida en el Sistema Internacional de Unidades, que es la misma que la de la energía y la de trabajo: la Kcal.

2.5.2. Metodología y resultados.

La conclusión más importante en la que las dos metodologías (CML 2001 y EI99) coinciden es que el impacto ambiental producido por la cantidad de energía eléctrica consumida durante la fase de utilización es mucho mayor (alrededor de un orden de magnitud) que el resto de los impactos de las etapas del ciclo de vida del sistema de climatización (figuras 18 y 19).

Este hecho, hace que los impactos de las otras etapas sean mínimos comparados con esta. Evidentemente se deben buscarse soluciones que disminuyan el consumo de energía manteniendo la capacidad de generar confort para el usuario del vehículo, y aumentar el rendimiento del sistema. Cualquier mejora en esta etapa supondrá grandes mejoras ambientales en comparación con mejoras en las demás etapas del ciclo de vida.

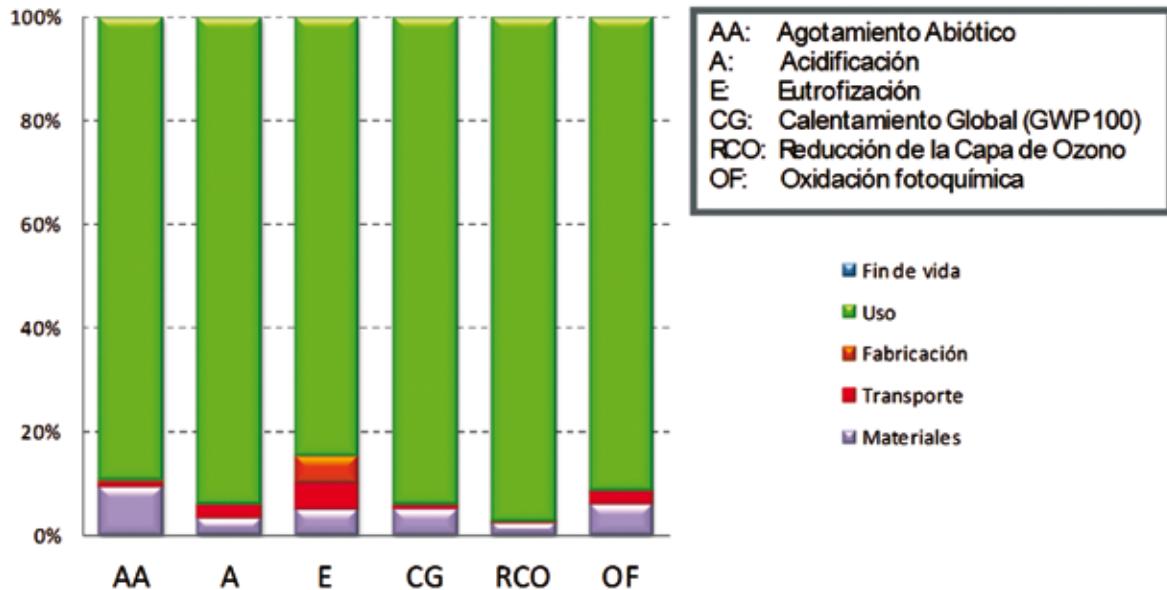


Figura 18. Caracterización del impacto asociado al ciclo de vida del sistema de climatización, por fases apiladas, metodología CML 2001 Dec07 Experts IKP / Southern Europe.

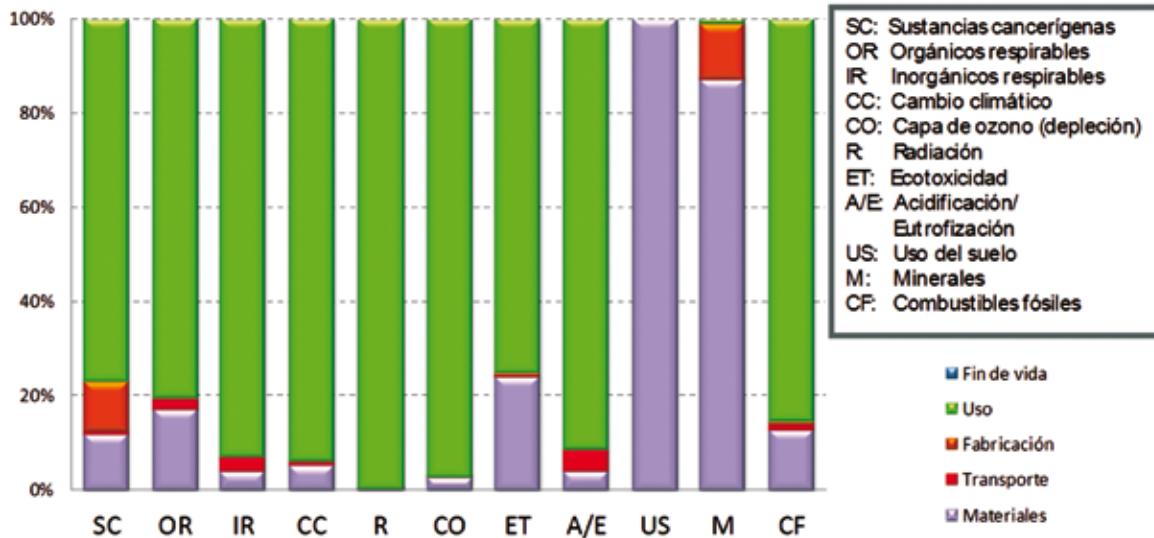


Figura 19. Caracterización del impacto asociado al ciclo de vida del sistema de climatización. Fases apiladas. Metodología Eco-indicador 99 H/A.

En lo que respecta a los materiales y fabricación de componentes, las líneas de actuación son diversas, como se indicó en la exposición de los resultados con la metodología CML 2001, el subsistema de generación de frío es el que mayor impacto provoca, y dentro de éste los componentes de conjunto de cabina y del compresor. Una pequeña mejora en ellos afectará significativamente al impacto global del sistema de climatización.

Las etapas de montaje y el transporte, aunque repercuten, lo hacen en menor manera pero no por ello hay que olvidarse de las mismas. Las mejoras en esta etapa pueden conseguirse mediante gestión de proveedores y cadena de suministro, y no necesitan en principio de rediseños del sistema o de materiales, aunque una reducción de peso afectaría sensiblemente.

En cuanto a las categorías de impacto el sistema de climatización hay cuatro que destacan, el consumo de los recursos combustibles fósiles, la categoría de cambio climático, la respiración de elementos inorgánicos, y el calentamiento global (según CML 2001). Todas ellas tienen un denominador u origen común, el consumo de energía eléctrica por parte del sistema de climatización. Por lo que se retorna a la misma conclusión que se expresaba cuando se exponían los impactos desde el punto de vista de las etapas de ciclo de vida, el factor más determinante es el consumo eléctrico.

2.5.3. Propuesta de Ecodiseño.

Los componentes del sistema de climatización mejorado son los mismos que el de partida excepto los siguientes:

- El conjunto de cabina
- La unidad PTC
- Asientos calefactados

El conjunto de cabina.

Este componente provoca tan alto impacto debido a la cantidad de polipropileno que lleva y a la baja tasa de plástico secundario que se utiliza para su elaboración. El sector de la automoción reconoce que tan sólo utiliza entre un 15 y un 20 % de termoplástico secundario. Se puede analizar un cambio de material y prever el impacto que pueda tener. La carcasa de este componente es de material plástico (polipropileno) debido a su complejidad geométrica se fabrica por moldeo, no tiene requerimientos especiales de carga ni está sometida a condiciones exigentes o desfavorables. Es un buen aislante. Se fabrica por moldeo en inyección de plástico lo que provoca un alto grado de producción, es decir muy bajo coste.

Un tipo de material de bajo impacto ambiental que pueda fabricarse por moldeo al igual que el plástico, adecuándose a formas geométricas más o menos complejas, con propiedades de aislante térmico son los materiales cerámicos. De hecho en el sector de la automoción ya se utiliza este material (luego se fabrica en cantidades que el sector necesita).

Asientos calefactados.

Aunque en la actualidad se utilizan como apoyo al sistema de climatización de calor convencional en climas fríos, en este caso se han buscado como solución al exceso de consumo de energía eléctrica del sistema. El uso de este sistema permitirá dimensionar el subsistema de generación de calor, el subsistema de calor mejorado consumirá el 50% del de partida.

Unidad PTC Nueva.

Con un consumo menor, los elementos PTC deben tener menor peso. En este caso se ha estimado que para un consumo del 50% comparado con la unidad PTC del sistema preliminar, el peso del Titanato de Bario deberá también reducirse al 50%, es decir unos 1000 g. Todos los demás componentes se modelan igual que en el sistema preliminar.

2.6. PANELES FOTOVOLTAICOS.

2.6.1. Objetivo, alcance y etapas consideradas.

Para este caso el objetivo del estudio es remplazar la electricidad de la red principal por la electricidad generada mediante fuentes de energía renovables (es decir paneles fotovoltaicos instalados en el techo del coche eléctrico). El primer paso es validar que el uso de la energía renovable es interesante desde el punto de vista medioambiental.

En este estudio, tres son las tecnologías fotovoltaicas de interés:

- Paneles de silicio monocristalino fabricados en Estados Unidos.
- Paneles de capa fina CIS (Cobre – Indio – Selenio) fabricados en Alemania.
- Paneles de silicio amorfo fabricados en Europa.

La elección de la tecnología se basa en la disponibilidad actual de las mismas en el mercado. Los países de fabricación han sido elegidos en función de los datos Ecoinvent disponibles. De acuerdo con el origen de los diferentes participantes en el proyecto Green-Car Eco-design, se ha decidido llevar a cabo el estudio apoyándose en tres redes de producción de electricidad diferentes, a saber, las redes francesa, española y portuguesa.

2.6.2. Metodología y resultados.

El presente estudio está basado esencialmente en comparaciones, bien entre tecnologías fotovoltaicas, bien entre la cantidad de electricidad proveniente de diferentes redes eléctricas nacionales, o bien entre la electricidad proveniente de un panel fotovoltaico y la proveniente de una red nacional.

El objetivo de esta parte del informe es comparar el impacto de la electricidad generada por un panel fotovoltaico (PV) con aquella obtenida directamente de la red. Ahora bien, la electricidad de la red no genera el mismo impacto dependiendo del país considerado. Además, según cada país, el potencial de energía solar disponible varía, por lo que un mismo panel solar no producirá la misma cantidad de energía en todos los países. Es por todo esto que se ha dividido el estudio en tres partes, una por cada país, Francia, España y Portugal.

En cada una de estas partes se contemplan tres escenarios:

1. **Escenario ideal (100%):** se considera que la totalidad de la radiación solar es captada por el panel y convertida en electricidad según el rendimiento de cada tecnología.
2. **Escenario 50%:** se considera que la electricidad obtenida del panel y que será almacenada para su posterior uso representa el 50% de la cantidad de electricidad estimada en el escenario ideal.

3. **Escenario 25%:** se considera que la electricidad generada por el panel y que será almacenada para su posterior uso representa el 25% de la cantidad de electricidad estimada en el escenario ideal.

Los escenarios 50% y 25% se han contemplado por numerosas razones. En primer lugar, porque el escenario ideal no tiene en cuenta las fluctuaciones de rendimiento de los paneles PV debidas a la variación de temperatura (cuando el panel se calienta, su rendimiento disminuye). En segundo lugar, tampoco tiene en cuenta la inevitable bajada de rendimiento debida al envejecimiento del panel. En tercer lugar, es difícil imaginar que el vehículo estará expuesto constantemente al sol, y sin perturbaciones (sombras, túneles, garajes...). Por lo tanto, nunca captará la totalidad de la radiación solar. Por último, incluso cuando el vehículo está expuesto a la radiación solar, momento en el que el panel produce el máximo de electricidad, es posible que la electricidad producida no pueda ser almacenada (ni posteriormente utilizada) porque la batería esté llena.

Con el fin de que cada una de las comparaciones efectuadas sea coherente, resulta necesario recurrir a una unidad funcional. En este estudio, se han utilizado dos tipos de unidades funcionales. Por un lado, la comparación puede basarse en una superficie idéntica de paneles fotovoltaicos. En ese caso, el interés reside en comparar el impacto de diferentes tecnologías en función de una superficie fija, que será determinada por la superficie del techo del vehículo eléctrico (VE). Por otra parte, las tecnologías no presentan el mismo rendimiento, no son capaces de suministrar la misma cantidad de electricidad para una misma superficie dada. Así, cuando la comparación debe hacerse con una cantidad de energía tomada de la red, se considera la superficie de paneles PV que es capaz de producir la misma cantidad de energía.

Tecnologías fotovoltaicas.

En un primer momento se ha deseado comparar estas tecnologías según el enfoque ciclo de vida, sobre la base de una unidad de referencia de 1 m² de paneles fotovoltaicos durante 10 años (duración del ciclo de vida del vehículo Green Car). Esta superficie se corresponde con la superficie media instalable en un vehículo.

Se constata que el panel de Silicio amorfo (Si-a) es aquel que de forma global presenta el impacto menor. El siguiente es el panel Cf-CIS, cuyo impacto puede ser considerado similar al del panel de Silicio monocristalino (Si-m) en las categorías de impacto en cuanto a Disminución de recursos, Eutrofización, Ecotoxicología de aguas dulce y marina.

Así, en el caso de desear reducir al máximo el impacto medioambiental ligado a un panel fotovoltaico (PV) de 1 m² instalado en el techo de un vehículo, es preferible inclinarse por un panel de tipo Si-a. No obstante, este panel presenta un rendimiento (transformación de radiación solar en electricidad) inferior a aquél del resto de tecnologías. A partir del momento en que se tiene en cuenta el rendimiento de cada tecnología, las conclusiones cambian. En efecto, para el mismo servicio prestado, los paneles Si-a y Cf-CIS tienen un impacto global cercano al del panel Si-m. Únicamente presentan una verdadera ventaja medioambiental en cuanto al impacto sobre la capa de ozono. El panel Si-a, por otra parte, tiene mayor impacto sobre la toxicidad humana que el resto de tecnologías.

A partir de esta primera parte del estudio, es posible afirmar que ninguna tecnología destaca por ofrecer un impacto ambiental verdaderamente reducido. A pesar de que para la misma superficie las tecnologías Cf-CIS y Si-a presentan menor impacto, su bajo rendimiento obliga a instalar mayores superficies para producir la misma cantidad de electricidad que el panel de Silicio monocristalino.

Importancia del lugar de fabricación.

Está demostrado que la fase de fabricación de los paneles es la más contaminante de su ciclo de vida. Además, esta fase de fabricación necesita grandes cantidades de electricidad. Así, en función del país de producción y del mix eléctrico particular de cada uno de ellos, el impacto puede variar.

El estudio pone en evidencia la variabilidad de los resultados según el país donde se fabrique el panel fotovoltaico. Así, la elección del lugar de origen del panel solar resulta determinante a la hora de evaluar su idoneidad medioambiental.

Comparación de los mix eléctricos nacionales.

Una rápida comparación de los diferentes mix eléctricos permite ver que la electricidad fotovoltaica será mucho más importante en España o en Portugal que en Francia. Aunque la fabricación de paneles fotovoltaicos resulta contaminante, la electricidad que producirán reducirá el consumo de una parte de la electricidad de la red. Por ello, cuanto mayor impacto genere la electricidad de la red, más pertinente será la generación fotovoltaica desde el punto de vista medioambiental.

2.6.3. Conclusiones.

Desde el punto de vista medioambiental, la electricidad generada por el panel, aunque sea en pequeñas cantidades, debe evitar el consumo de parte de la electricidad de la red. Referente al ciclo de vida del vehículo, el panel fotovoltaico debe reducir el impacto de la etapa de utilización (consumo de electricidad de la red para cargar la batería). Por el contrario, será necesario añadir a las etapas de fabricación y de fin de vida del vehículo el impacto relacionado con la producción del panel así como su eliminación al final de su vida útil.

Los resultados han mostrado una diferencia apreciable entre el caso de Francia por un lado, y los de España y Portugal por otro. Efectivamente, en Francia se mezclan dos efectos. El mix eléctrico genera menor impacto que en España o que en Portugal, y además, la radiación solar es ligeramente inferior, lo cual limita la producción de electricidad de los paneles fotovoltaicos. Este conjunto de circunstancias hace que el uso de la generación fotovoltaica por parte del vehículo eléctrico no sea oportuno en Francia. Como han demostrado los resultados, a no ser que se tenga una recuperación de radiación solar por parte del panel cercana al 100% (escenario 100%, no realista), es mejor utilizar la electricidad de la red, en lugar de instalar un panel fotovoltaico.

En España y en Portugal, los dos efectos que se entremezclan son los contrarios. Es decir, la radiación solar es más importante que en Francia, y los mix eléctricos generan un impacto superior al de Francia. Esta situación parece, a primera vista, más favorable para el uso de tecnologías fotovoltaicas. Sin embargo, los resultados del estudio no permiten justificar tan fácilmente su interés medioambiental. Es cierto que con un mínimo de 50% de radiación solar transformada electricidad (según el rendimiento de cada tecnología), el uso de paneles fotovoltaicos no sólo no provocará un aumento en el impacto, sino que permitirá reducir algunos (de manera más o menos significativa según la categoría de impacto y de la tecnología). Por el contrario, en un escenario más pesimista, se produce un aumento del impacto, lo cual hace que sea discutible la pertinencia medioambiental de la fotovoltaica para una aplicación española o

portuguesa. De esta forma, el interés de la fotovoltaica en estos países dependerá principalmente del modo de utilización del vehículo, según la producción de electricidad que permitirá.

Aunque no resulte tan claro como en el caso francés, la conclusión anterior demuestra una vez más la importante variabilidad de los resultados en función de los mix eléctricos considerados y del escenario establecido. Por otra parte, la vida útil del vehículo es asimismo un parámetro determinante, ya que alargándola, se consigue que el panel produzca más electricidad, lo cual permite compensar el impacto de su fabricación.

Así, el uso de paneles fotovoltaicos parece discutible desde un punto de vista medioambiental, principalmente causado por el hecho de que los resultados dependen mucho del modo de utilización del vehículo y de la región donde se usa.

En un escenario ideal, y con el mejor rendimiento (Silicio monocristalino del 15%), la producción de electricidad de un panel de 1 m² ubicado sobre un plano horizontal varía entre 198 kWh/año en Francia y 239 kWh/año en Portugal (hay que indicar que, de todos modos, los paneles fotovoltaicos instalados en el tejado de una casa son más o menos eficientes en función de su inclinación, la cual permite captar una radiación solar global mayor).

De esta manera, considerando un uso de 10 años, sería posible, según un escenario ideal, producir entre 1980 kWh en Francia y 2390 kWh en Portugal. Como ya se ha visto, la energía realmente producida por los paneles fotovoltaicos será menor en función de la utilización del vehículo (estacionamiento subterráneo, etc.), a la cual hay que añadir las pérdidas debidas al rendimiento del convertidor y del sistema de almacenamiento. El rendimiento global del convertidor y del sistema de almacenamiento puede estimarse en torno el 80%. Así, como mucho, solamente el 80% de la energía producida por los paneles será transmitida de forma efectiva a los equipos que hay que alimentar.

La tabla 2 permite ver las diferencias cuantitativas de energía realmente disponible para los equipos auxiliares en Francia y España para diferentes casos (variación de pérdidas). Esta tabla muestra la gran variabilidad de los resultados según las condiciones de utilización del vehículo.

En paralelo a la evaluación de la cantidad de energía producida, resulta conveniente interesarse por su uso potencial en el vehículo. Como ya se ha visto en los trabajos precedentes, el consumo de los equipos auxiliares de un vehículo no puede predecirse y depende fuertemente del modo de utilización del vehículo (trayectos nocturnos, empleo de un GPS...). Con el fin de tener una estimación de las posibilidades de uso de la energía generada por los paneles fotovoltaicos, se han establecido dos escenarios de utilización:

- **Escenario 1:**
 - Hipótesis:
 - Tiempo de uso: 10 años.
 - Distancia recorrida: 100 000 km.
 - Velocidad media: 50 km/h (ciclo mixto urbano + interurbano).
 - » Utilización del vehículo 0,54 h por día, alrededor de 30 minutos por día.

• **Escenario 2:**

- Hipótesis:
 - Tiempo de uso: 10 años.
 - Distancia recorrida: 100 000 km.
 - Velocidad media: 30 km/h.
- » Utilización del vehículo 0,91 h por día, alrededor de 1 hora par día.

De esta forma, conociendo el consumo de los equipos auxiliares, es posible completar la tabla 2 añadiendo la cantidad de energía generada por 1 m² de paneles disponibles cada día, de acuerdo con los escenarios 1 y 2.

	Francia			España		
Energía producida en 10 años (Si-m - rendimiento 15 %)	1.980 kWh/m ²			2.390 kWh/m ²		
Pérdidas debidas a la mala exposición (sombra, aparcamiento...)	0%	50%	75%	0%	50%	75%
Pérdidas debidas al convertidor y al almacenamiento	20%	20%	20%	20%	20%	20%
Energía disponible para los equipos auxiliares (para 10 años)	1.584 kWh/m ²	792 kWh/m ²	396 kWh/m ²	1.912 kWh/m ²	956 kWh/m ²	478 kWh/m ²
Energía disponible por día de utilización	434 kWh/m ²	217 kWh/m ²	108 kWh/m ²	524 kWh/m ²	262 kWh/m ²	131 kWh/m ²

Tabla 2. Variación de la energía disponible para los equipos auxiliares (producida a partir de un metro cuadrado de paneles fotovoltaicos, según el país y las condiciones de utilización del vehículo) – cálculo de la energía disponible por día según los escenarios de utilización.

Una vez que la energía disponible ha sido calculada, es necesario interesarse por la energía necesaria para hacer funcionar a los equipos auxiliares. La tabla 3 proporciona una estimación del consumo del GPS, del ordenador de a bordo, de los faros y de la climatización según los dos escenarios definidos.

	GPS (7W)	Ordenador de a bordo (30 W)	Faros delanteros + traseros (2*20W + 2*60W)	Climatización (3000 W)
Escenario 1 (0,54 h)	4 Wh	16 Wh	86 Wh	1.620 Wh
Escenario 2 (0,91 h)	6 Wh	27 Wh	146 Wh	2.730 Wh

Tabla 3. Consumo diario de diferentes equipos auxiliares según los dos escenarios de utilización definidos.

Comparando las tablas 2 y 3 se observa que, en todos los casos, será posible alimentar al menos al GPS y al ordenador de a bordo. La alimentación de los faros será parcial, y más difícil en invierno porque se usan durante más horas y es la estación menos soleada, en la que los paneles fotovoltaicos producirán menos energía. Por el contrario, la climatización consume demasiada energía como para considerar su alimentación mediante paneles fotovoltaicos.

Otro dato interesante es el consumo total del vehículo eléctrico, el cual puede ser estimado en torno a 11,6 kWh/100 km¹. El consumo total de energía en un recorrido de 100.000 km es por tanto igual a 11.600 kWh. Comparando este valor con la energía generada por los paneles fotovoltaicos se puede deducir que, en España, el uso de paneles fotovoltaicos podría aumentar la autonomía del vehículo ente un 4% y un 16% (del 3% al 14% en Francia).

¹ Consumo de un vehículo eléctrico de prueba de potencia máxima de 100 kW, calculado sobre la parte urbana del ciclo NEDC (ECE) – Elias Zgheib, Centre énergétique et procédés, Mines Paris Tech.

03

Prototipos Eco-Innovados. Qué ha “Construido” Cada Grupo

3.1. El Instituto Politécnico de Setúbal y la BATERÍA.

En la fase anterior IPS concluyó que el resultado que habían obtenido era importante porque dirigía la eco-innovación de la batería hacia el cambio de los materiales que constituyen las células, cambiando así su cantidad y la eficiencia de la batería. La propuesta innovadora hecha aquí es reducir la batería a la mitad y lograr la misma autonomía del vehículo a través de un range extender.

El problema que se pretendía investigar era el siguiente. La batería de Li-Ion usada inicialmente en este estudio era muy pesada (aproximadamente 200 kg) y tenía una autonomía de 140 km, que sólo se utiliza parcialmente la mayor parte del tiempo (40 km es el promedio diario).

Por lo tanto, **se propuso reducir la batería a la mitad del tamaño y agregar un extensor de autonomía que constaba de un grupo motor-generador.** El extensor de autonomía propuesto se construye basado en las siguientes características:

- Un grupo motor-generador de 5kW de gasolina con 80kg de masa, en el que el motor tiene sólo un cilindro.
- Este grupo alimenta la batería de litio para largas distancias.
- La batería de litio tendrá una masa de aproximadamente 100 kg.
- En principio, la batería por sí sola tendrá una autonomía de unos 70 km.
- Se estima que el grupo formado por batería de litio más el extensor de autonomía dará una autonomía total de 250 km, suponiendo un depósito de 12 litros de gasolina.

3.2. La Universidad Politécnica de Mondragón y el CONVERTIDOR.

El análisis del ciclo de vida que MGEP realizó en la fase anterior de los modelos de los inversos de partida muestra como elementos

clave para la mejora ambiental la eficiencia en la fase de uso y la reducción de los recursos materiales. Por ello, **se ha trabajado en el diseño de una nueva topología que aumente la eficiencia del producto y le ha incorporado una nueva función al cargador para reducir el tamaño del inversor.**

Diversos problemas con los suministradores han hecho que finalmente la parte hardware del inversor no esté del todo operativa, pero sí la parte de control, por lo que se ha trasladado la parte de control a un inversor comercial de similares características para verificar su funcionamiento correcto. Además se ha añadido la funcionalidad de cargador que solamente se ha podido verificar mediante simulación al no estar terminado el prototipo. Los resultados obtenidos se han comparado con un cargador comercial de vehículos eléctricos de la casa BRUSA.

3.3. CARTIF y el PUNTO DE RECARGA.

Debido a que, siendo similares las dos tecnologías de punto de recarga estudiadas, el poste es más completo en alguna de sus etapas del ciclo de vida (instalación) y su inventariado contiene menos hipótesis, CARTIF decidió implementar la eco-innovación teórica sobre este tipo de estación de recarga realizando un cambio en el controlador del poste.

Al estar ubicados en vía pública, el poste de recarga se instala en la acera con el fin de dar suministro a los vehículos eléctricos estacionados en las plazas de aparcamiento reservadas para esta actividad. El poste se fija a la acera y está situado lo más próximo posible al borde de la calzada (500 mm). Se ha considerado que se aprovecha una acometida y CPM existente (p.e. alumbrado, semáforos, etc.). Para ello la acometida debe estar dimensionada para el aumento de potencia solicitado y la CPM debe poder alojar elementos de protección para el nuevo suministro.

En una primera aproximación teórica se ha valorado la mejora energética de sustituir el controlador, integrado en el nuevo componente varios elementos independientes, debido a que se supriman las pérdidas de los cables de alimentación del controlador y las asociadas a los conectores. Debido a que el excedente de potencia, que se medía en la prueba experimental y que se asignó de forma proporcional a cada elemento, era por el conexionado de controlador y módem, la integración supone su eliminación.

Cabe destacar también que siendo similares las dos tecnologías estudiadas en la fase anterior (punto de recarga de pared y poste), el poste es más completo en alguna de sus etapas del ciclo de vida (instalación) y su inventariado contiene menos hipótesis, por ello se decide implementar la eco-innovación sobre este tipo de estación de recarga en el marco de este grupo de tareas.

En definitiva, la medida de eco-innovación propuesta es **la sustitución del controlador actual, la fuente de alimentación, el módem GPRS, la caja de interconexiones y el sistema RFID, por uno nuevo que reúna todos estos elementos denominado “Todo en uno”** (figura 20).

Este componente conjunto no existe en el mercado por lo que su diseño y construcción dentro de este grupo de tareas forma parte del know-how adquirido por Emerix como socio asociado del proyecto.

Para validar experimentalmente este nuevo prototipo, Emerix hizo una instalación piloto en la sede de CARTIF integrando el componente adquirido en una estructura de poste con la electrónica correspondiente.

Para la integración se estimó necesario también cambiar a mayores otros componentes, un nuevo conector que incluye el cerrojo y el sensor de puerta, y también se ha optimizado el cableado. Todo ello conforma el prototipo del nuevo poste eco-rediseñado. Este prototipo ha dado lugar a un nuevo inventario de ciclo de vida, base de cálculo para la evaluación ambiental del componente eco-rediseñado.

Los ensayos realizados para validar la simulación medioambiental de la etapa de uso han servido para analizar el comportamiento de los componentes de la nueva estación de recarga.

De nuevo se estudiaron dos períodos:

- Estado de reposo o de espera del poste.
- Estado de carga (la estación está a pleno rendimiento).



Figura 20. Prototipo del nuevo controlador.

Se realizaron pruebas de consumo sobre el poste inicial y el poste ecodiseñado a la entrada del poste, que dan una idea de las pérdidas imputables al circuito de potencia, únicamente cuando alimenta a la parte de control. Debido a que la carga exterior conectada puede ser variable en su comportamiento no se presentan aquí los resultados, comentando simplemente que se aprecia una disminución de consumo en el poste ecodiseñado, que atribuimos a algunas de las mejoras incorporadas. Por ejemplo, hay reducción de pérdidas por efecto Joule al integrar la maniobra de potencia en un solo relé. La fase y el neutro del circuito de potencia pasan por un solo elemento, cuando en el caso anterior empleábamos dos relés. Pasamos entonces de 10W de pérdidas en el poste inicial (5W por relé) a los 5W de pérdidas por trabajar con uno solo.

Se concluye de la experimentación que en los 10 años de vida útil del poste de recarga se consumen 1.234 kWh, lo que supone un ahorro de 78,5 kWh.

3.4. El Centro Tecnológico de Manresa y el SISTEMA DE FRENOS.

Uno de los aspectos de mejora en el estudio que CTM ha llevado a cabo del sistema de frenos es analizar la tendencia de disminución del porcentaje de los metales pesados (cobre, etc) en la composición del material de fricción de las pastillas de freno.

Su trabajo, por un lado, estudia las partículas de desgaste que se desprenden de la superficie de fricción en el proceso de frenada y su composición. Por otro lado, otro aspecto como es la influencia la frenada regenerativa en las pastillas de freno desde el punto de vista de la corrosión que sufre el material de fricción de la superficie de contacto con el disco.

Emisiones de partículas de desgaste de las pastillas.

- Los materiales de fricción (metales pesados, amianto y aramidas) generan un impacto ambiental negativo.
- Se está desarrollando un marco normativo regulador para la disminución/prohibición de su uso.
- Los fabricantes centran su esfuerzos en el diseño de pastillas Ecológicas: sin metales pesados (Cu, Pb, Sn...); sin aramidas; sin asbestos, pero mismas propiedades funcionales.

Frenada Regenerativa.

Los vehículos eléctricos se equipan con un sistema de frenos regenerativos que recupera la energía cinética del frenado para convertirla en energía eléctrica que se almacenará en las baterías. Además de este sistema de frenos, los VE también cuentan con el sistema de frenos convencional ya que el sistema regenerativo por sí mismo no es capaz de satisfacer los requisitos de seguridad activa del vehículo. De esta manera la inclusión de la frenada regenerativa en el vehículo conlleva que:

- Se provoca un menor desgaste del material de fricción, lo que conlleva a una reducción de las emisiones y un incremento de su vida útil.
- Las pastillas podrán tener menor cantidad de material aunque manteniendo la misma superficie de frenado.
- Aumenta la corrosión en la superficie de la pastilla y del disco debido a la disminución de su uso. La tendencia es la investigación en materiales anticorrosivos.

Para comprobar los efectos descritos anteriormente sobre las pastillas de freno, se han realizado una serie de ensayos comparativos entre una pastilla de referencia con una pastilla nueva mejorada desde el punto de vista del impacto ambiental (menor presencia de metales pesados).

El principal objetivo de estos ensayos ha consistido en observar y documentar el comportamiento de ambas muestras, determinando el Coeficiente de Fricción (COF), el desgaste a partir de la caracterización de las partículas que desprenden las pastillas de freno y la corrosión, midiendo los efectos de ambientes corrosivos sobre los materiales de fricción.

Se realizan los siguientes ensayos:

Ensayo de Desgaste: Se caracterizaron las partículas que se desprenden de las pastillas de freno tras someterlas a una fuerza de fricción superficial, mediante un **ensayo de configuración pin-on-disc**.

Ensayo de Corrosión: Se observó de qué manera las nuevas pastillas se comportan ante la corrosión, estudiando el efecto de aplicar un ambiente corrosivo sobre los materiales de fricción. Ensayo niebla salina NSS (Neutral Salt Spray Test) y **Ensayo en cámara humidostática**.

3.5. El Instituto Andaluz de Tecnología y el SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN.

Para IAT esta fase de trabajo ha consistido en la evaluación del resultado del análisis de ciclo de vida y la propuesta de soluciones para la construcción del prototipo y la medición de los consumos del sistema de climatización con la incorporación de las medidas tomadas en la fase anterior. Estas medidas suponen la instalación de asientos climatizados y el análisis de la aplicación del concepto de climatización selectiva mediante la redistribución de la conducción del aire en la cabina. Para la realización de los experimentos, se ha contado con la colaboración de una empresa de carsharing con la que se llegó a un acuerdo de colaboración para la aportación de VE para montar el sistema eco mejorado y acometer la experimentación. Adicionalmente se ha seguido el procedimiento según la norma ISO 14505-3:2006 para la evaluación del bienestar del usuario del vehículo.

Han realizado una batería de 50 experimentos para tres diferentes escenarios definidos. El diseño de experimentos se ha basado en las recomendaciones aportadas por la norma ISO 14505-3:2006 en cuanto al objetivo de los ensayos, la selección de los individuos, la medición de la respuesta de los mismos en cuanto a las escalas de sensación térmica, la selección de las condiciones de los ensayos y finalmente la medición de los resultados para los tres escenarios definidos.

3.6. ESTIA y la recuperación de energía en EQUIPOS AUXILIARES.

Los trabajos realizados por ESTIA en anteriores fases mostraron que existían varias fuentes de energía renovables utilizables sobre el vehículo. Las principales fuentes identificadas eran las siguientes:

- Vehículo equipado de un techo con paneles fotovoltaicos.
- Integración de un molino eólico sobre el vehículo.
- Recuperación de energía sobre los amortiguadores.

- Recuperación de calor.
- Utilización de materiales piezoeléctricos.

La madurez tecnológica de cada una de estas fuentes fueron estudiadas en el punto 1.7. Más tarde, se detectó potencial interés en recuperar niveles débiles de energía y la recuperación de energía sobre los amortiguadores se mostró como un tema interesante para estudiar, convirtiéndose en el objetivo de investigación del análisis de ciclo de vida teórico para ESTIA. El informe anterior concluyó con la necesidad de evaluar primero la cantidad de energía recuperable sobre los amortiguadores, y posteriormente en realizar un estudio para ver si tal dispositivo era factible de realizar. Una vez confirmado el interés de la recuperación de energía sobre los amortiguadores la etapa siguiente fue evaluar el impacto medioambiental de un dispositivo industrial y aplicar estrategias de ecodiseño.

ESTIA ha realizado dos prototipos de recuperadores de energía en el marco de este estudio. El primero, muy simple, fue realizado a la escala 1/5 y subido sobre un banco de prueba que representa la cuarta parte del vehículo, el cual permitió mostrar la factibilidad de la recuperación de energía. Los primeros resultados obtenidos interesaron mucho a la empresa francesa SOBEN, especialista en el diseño y en la fabricación de amortiguadores de altas prestaciones. La empresa SOBEN vio en este sistema el medio de diferenciar sus productos sobre un mercado dominado por las fabricaciones extranjeras, particularmente la fabricación china.

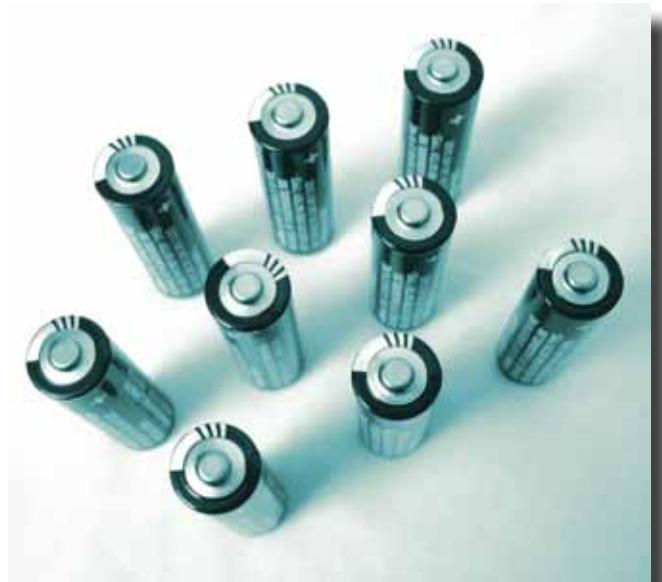
04

Análisis de Ciclo De Vida de los Prototipos. Mejora Ambiental Conseguida

4.1 Batería.

IPS realizó la evaluación del componente inicial (100% batería) y del prototipo ($\frac{1}{2}$ batería + extensor de autonomía) mediante el programa informático SimaPro 7. De esta forma se obtuvo una comparación entre la solución inicial y la solución innovadora propuesta a partir de la cual se concluyó que esta propuesta con extensor de autonomía es mejor que la solución inicial (100% batería de litio) desde el punto de vista ambiental. Se concluyó también que, en base a varios escenarios simulados, cuanto más eficiente sea el range extender, mejor será la solución a nivel de impacto ambiental.

Las figuras 21 y 22 muestran las gráficas comparativas entre el componente inicial vs prototipo propuesto. Los métodos utilizados fueron, respectivamente, Eco-indicador'99 y CML Baseline 2000. En las gráficas únicamente se muestra, la etapa de caracterización.



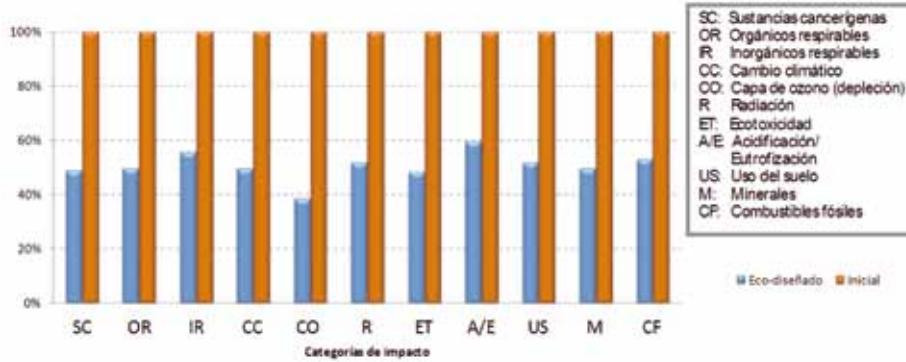


Figura 21. Comparación entre componente inicial vs prototipo mediante el método Eco-indicador'99.

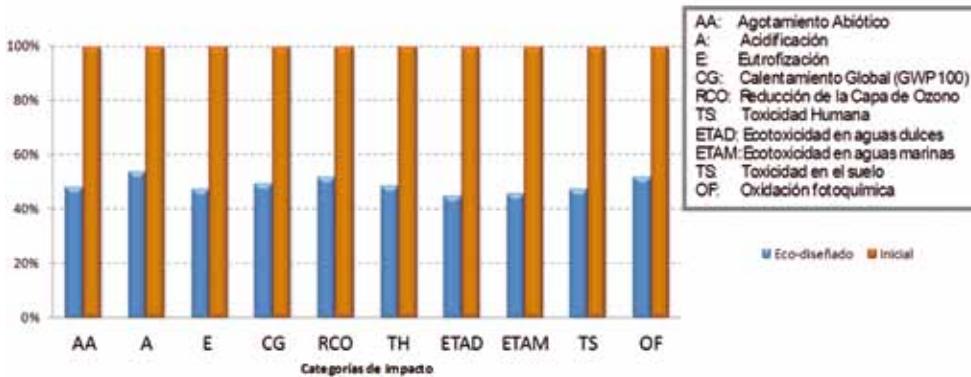


Figura 22. Comparación entre componente inicial vs prototipo mediante el método CML Baseline 2000.

4.2. Convertidor.

El objetivo principal era conocer la reducción del impacto ambiental conseguido con el prototipo de convertidor. El análisis del nuevo producto contempla únicamente la fase de uso y se dejan fuera del sistema las fases de materiales, producción, transporte y fin de vida. El nuevo convertidor consigue una potencia resultado 2,5 veces superior a la obtenida con el inicial. Por esta razón en todas las

categorías de impacto se consigue reducir el impacto ligeramente por encima del 20% en comparación con la tecnología Fagor, como se observa en las figuras 23 y 24.

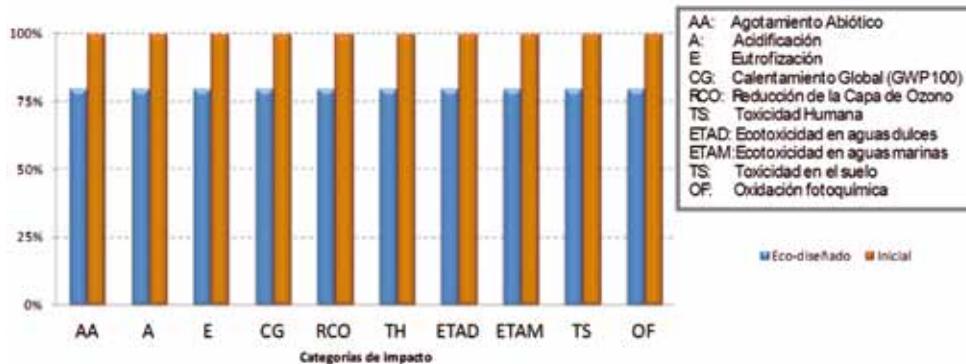


Figura 23. Comparación del impacto asociado a la fase de uso entre componente inicial vs prototipo mediante la metodología CML 2 baseline 2000 V2.05 / West Europe, 1995.

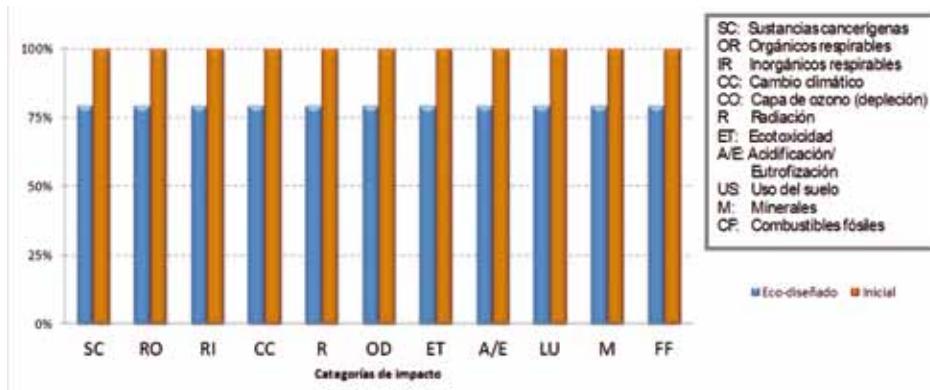


Figura 24. Comparación del impacto asociado a la fase de uso entre componente inicial vs prototipo mediante la metodología Eco-indicador 99 H/A.

4.3. Punto de Recarga.

Se realizó la comparación del impacto ambiental entre componentes (inicial y eco-rediseñado, figura 25) estudiando los datos teóricos obtenidos inicialmente en la fase de ACV con los datos obtenidos sobre el prototipo, con objeto de conocer el impacto ambiental real.

La evaluación según el Eco-indicador'99 muestra que la etapa de Materiales sale perjudicada, especialmente en la categoría de sustancias cancerígenas, sobre todo por los nuevos controlador y contador. Por esta razón la cantidad de eco-puntos totales es ligeramente superior en el nuevo poste (0,30 frente a los 0,29 de partida). En Ecotoxicidad también es más impactante el poste eco-innovado, imputable otra vez a los nuevos componentes del Módulo Electrónico. En Respiratorios Orgánicos y Uso del Suelo ambos postes muestran un comportamiento muy similar. En el resto de categorías de impacto, se puede observar que el prototipo ha mejorado a la versión inicial (figura 26).

Por esta razón, la penalización en la categoría de daño Salud Humana se ve compensada con la mejora en Recursos, estando la Calidad del Ecosistema prácticamente igual de afectada con uno u otro poste.



Figura 25. Poste de recarga inicial (izquierda) y poste de recarga con componente eco-innovado (derecha).

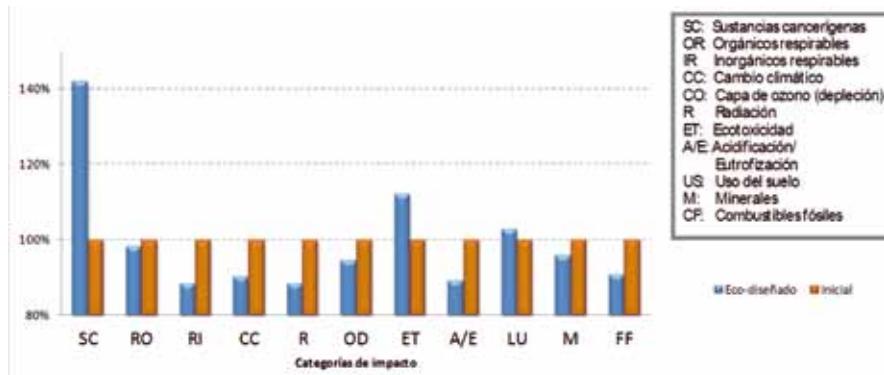


Figura 26. Comparación del impacto asociado al ciclo de vida del poste inicial vs. eco-innovado. Metodología Eco-Indicador 99 H/A.

Con la metodología CML 2 Baseline 2000 West Europe 1995 también dependen los resultados de a qué categoría de impacto demos más importancia, puesto que en algunas se han disminuido los impactos y en otras como especialmente la eutrofización o las toxicidades humana y acuática ha aumentado (figura 27).

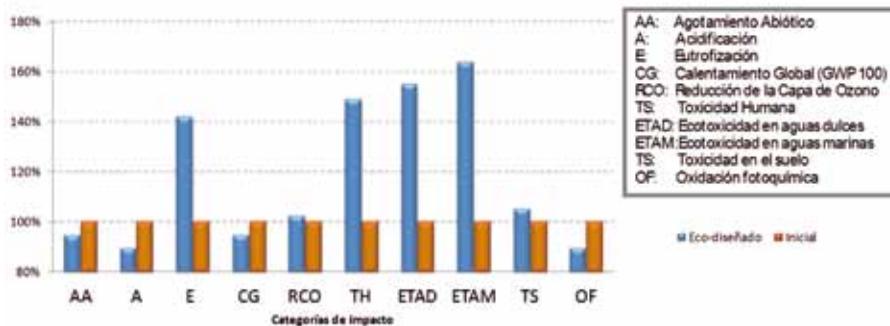


Figura 27. Comparación del impacto asociado al ciclo de vida del poste inicial vs. eco-innovado. Metodología CML 2 Baseline 2000 West Europe 1995.

4.4. Sistema de Frenos.

En lo que respecta a la pastilla, la estrategia considerada es correcta, pero la composición del material de fricción es un secreto guardado por las empresas fabricantes y no es posible tener acceso a este detalle de información que nos permitiría realizar un prototipo.

Por estos motivos CTM consideró que mejor que realizar un prototipo era analizar el comportamiento y composición del material de fricción a partir de unas pastillas de freno suministradas por un fabricante, de ahí los ensayos descritos en el apartado 3.4.

Conforme la presión de la pastilla sobre el disco se incrementa, las partículas se quedan “más” adheridas al pin (pastilla de freno). Dicho efecto puede atribuirse a un incremento localizado de temperatura que promueve la generación de cúmulos de partículas en forma de mesetas (plateaus).

Para una determinada superficie cubierta de debris, la pastilla nueva presenta un contenido muy bajo de Cu en términos de porcentaje en peso (% wt) comparado con la pastilla de referencia, por lo que se comprueba que las pastillas new han disminuido el impacto ambiental que supone el desprendimiento del Cu de la superficie de fricción, figura 28.

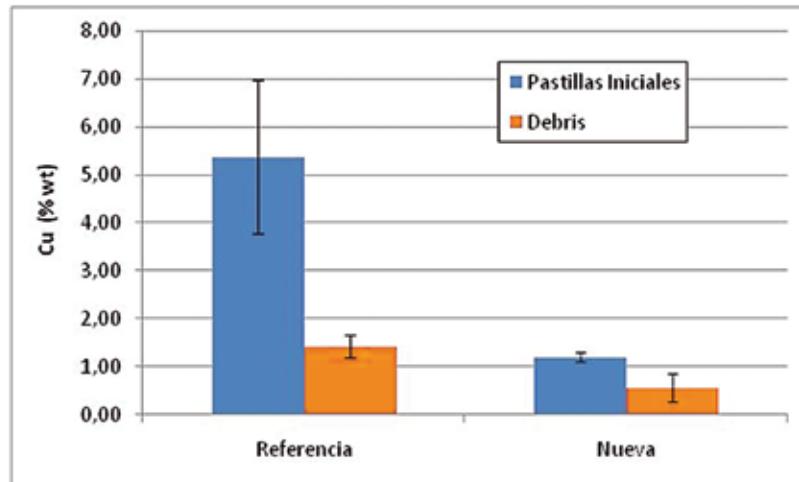


Figura 28. Porcentaje en peso (%wt) de cobre en pastillas antes del ensayo y en el debris.

El coeficiente de fricción (COF) de las dos muestras es parecido, por lo que no hay un detrimento de este parámetro en las pastillas mejoradas, figura 29.

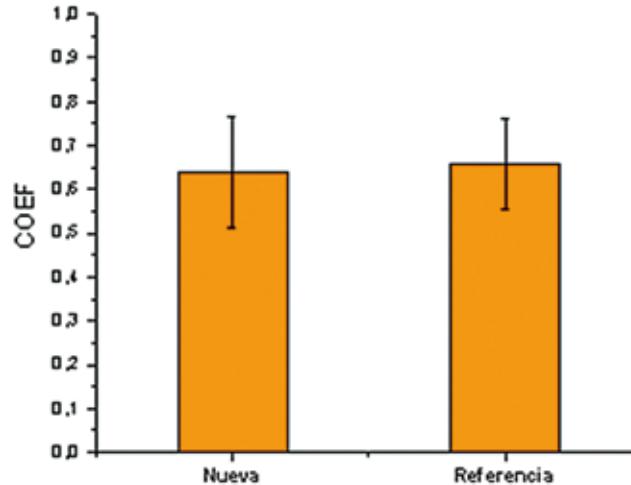


Figura 29. Valores coeficiente de fricción COF.

Antes de iniciar los ensayos descritos anteriormente, todas las muestras cedidas presentaban distintos puntos aislados con corrosión microscópica debido a la exposición de la superficie de la muestra a la atmósfera ambiente sin ningún tipo de protección hecho que permitió la oxidación local del hierro de la superficie.

Respecto al ensayo de corrosión, ambos ensayos realizados en este estudio, niebla salina y humedad (100%), han permitido determinar una mayor resistencia a la corrosión de la muestra nueva con respecto a la muestra de referencia. Este comportamiento se alinea con la necesidad que las pastillas de freno en los vehículos eléctricos con frenada regenerativa deben ser más resistentes a la corrosión, figura 30.



Figura a. Referencia.

Figura b. Nueva.

Figura 30. Muestras al cabo de 48 horas en cámara humidostática. a) Pastilla de Referencia y b) Pastilla Nueva.

4.5. Más Auxiliares de Climatización.

Respecto de la metodología CML 2001, como se muestra en la figura 31, la disminución de la colaboración de cada categoría de impacto es notable, en especial (cuantitativamente) en la categoría Calentamiento Global, donde se produce una reducción del 40,1% al pasar de un valor de 15.672 a 9.550 kg CO₂-Equiv.

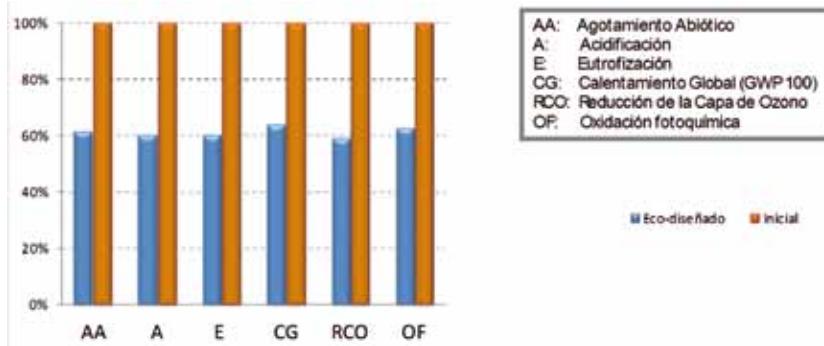


Figura 31. Comparación Sistema de climatización CML2001.

El análisis realizado indica que el sistema experimental con el asiento calefactado se comporta mejor medioambientalmente que el sistema sin asiento. Los test realizados por los usuarios siguiendo la norma ISO 14505-3:2006 Evaluación del bienestar térmico empleados seres humanos también indican que el confort no se resiente tras los cambios realizados. Como se puede observar en la figura 32 prácticamente todas las categorías reflejan mejoras respecto del diseño inicial.

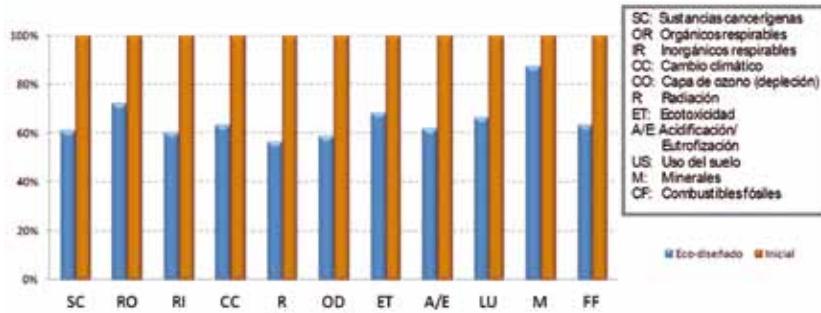


Figura 32. Comparación Sistema de climatización E199.

4.6. Recuperación de Energía En Equipos Auxiliares.

Se han estudiado cuatro escenarios de producción de electricidad en el sistema magnético integrado en el amortiguador (sistema recuperador de energía) en este análisis medioambiental. Cada uno de estos escenarios da lugar a una unidad funcional (UF) diferente, que servirá de base para la comparación con electricidad de la red eléctrica nacional.

- **Escenario 1 (S1).** Hipótesis:
 - Duración de utilización: 10 años.
 - Distancia recorrida: 100 000 km.
 - Velocidad media: 50 km/h (ciclo mixto urbano + extraurbano). Utilización del vehículo las 0,54 horas al día sea cerca de 30 minutos al día.

- **Escenario 2 (S2).** Hipótesis:
 - Duración de utilización: 10 años.
 - Distancia recorrida: 100 000 km.
 - Velocidad media: 30 km/h
 - Utilización del vehículo las 0,91 horas al día sea cerca la 1 hora al día.

La cantidad de energía recuperada sobre los amortiguadores depende mucho del estado del camino. Las primeras medidas realizadas con el prototipo permiten evaluar aproximadamente en 10W la potencia recuperable sobre cada amortiguador. En el presente cálculo, serán considerados dos niveles de potencia: 10W y 5W. La energía producida según los diferentes escenarios (unidad funcional) se determina del siguiente modo:

- S1-5W: 5W son proporcionados a razón de 0,54h al día, durante 10 años
UF: produce 9.855 Wh de electricidad.
- S1-10W: 10W son proporcionados a razón de 0,54h al día, durante 10 años
UF: produce 19.710 Wh de electricidad.
- S2-5W: 5W son proporcionados a razón de 0,91h al día, durante 10 años
UF: produce 16.607,5 Wh de electricidad.
- S2-10W: 10W son proporcionados a razón de 0,91h al día, durante 10 años
UF: produce 33.215 Wh de electricidad.

Para cada uno de estos escenarios, cuatro sistemas podrán responder a la unidad funcional y se compararán las redes eléctricas francesa, española y portuguesa. Los resultados se muestran en las figuras 33 a 35.

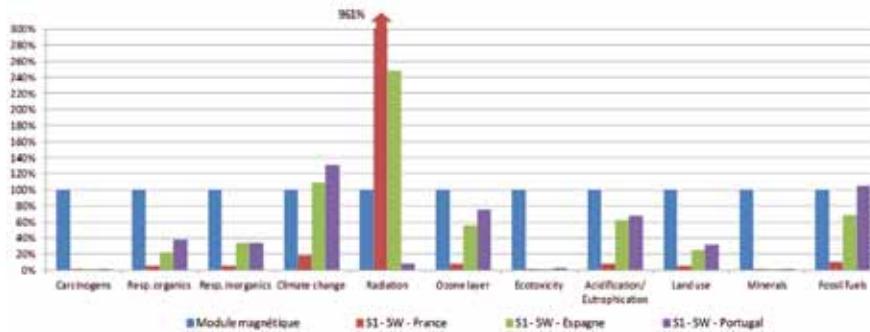


Figura 33. Comparación de los impactos del escenario S1-5W mediante Eco-Indicador'99.

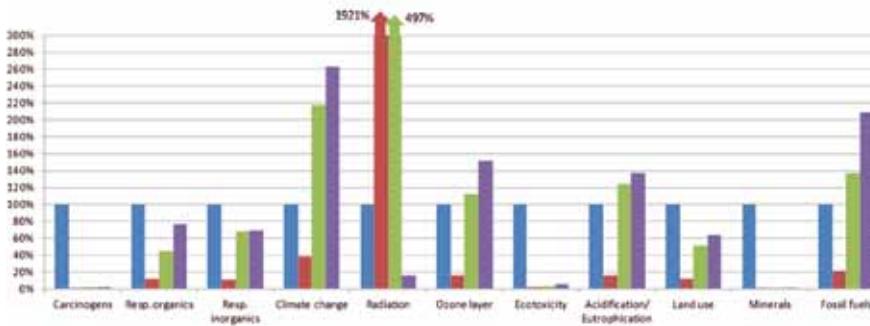


Figura 34. Comparación de los impactos del escenario S1-10W, mediante Eco-Indicador'99.

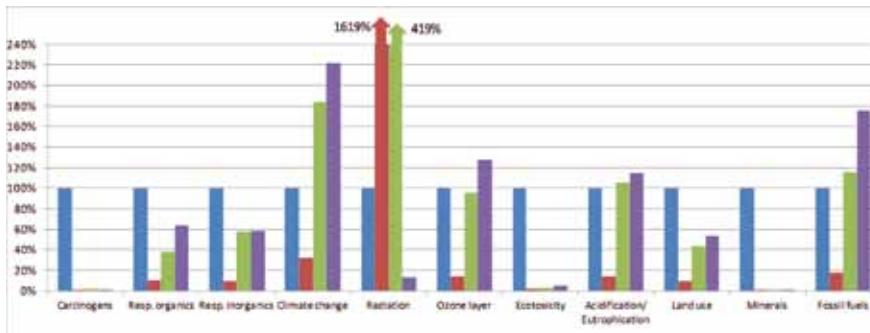


Figura 35. Comparación de los impactos del escenario S2-5W mediante Eco-Indicador'99.

La evaluación destaca que de los 11 indicadores medioambientales sólo uno es realmente “penalizado” por las sustancias radiactivas de la electricidad de origen nuclear, al repercutir en las radiaciones. De hecho, ningún otro indicador del método toma en consideración estas emisiones.

Por otro lado, el conjunto de las observaciones de este estudio demuestra que el circuito magnético se penaliza ampliamente por la utilización de cobre, que genera particularmente daños potenciales sobre la salud humana.

El recuperador magnético también presenta ciertas debilidades importantes en ecotoxicidad, sustancias cancerígenas y consumo de metales, pero presenta al mismo tiempo, ventajas medioambientales significativas sobre otros aspectos. Es el caso de las emisiones de radiaciones (con relación al mix español, y sobre todo francés), los potenciales daños vinculados al cambio climático o también el consumo de recursos fósiles (con relación al mix eléctrico español y notablemente al portugués).

El estudio aquí resumido también mostró que los imanes desempeñaban un papel notable en los impactos de la fabricación del sistema magnético (por cierto menor que el del cobre). No obstante, los imanes de tipo Néodyme-Fer-Bore son los imanes más poderosos y existentes hoy, y permiten generar más corriente.

Finalmente, en cuanto al sistema magnético en conjunto (particularmente el de cobre), es importante ponerlo en ejecución en “la cantidad justa”. Es decir, que no esté sobredimensionado, si genera 10W, tan solo 5 serán consumidos y los 5 otros no serían almacenados y todo almacenamiento de tipo batería, en local o en la batería principal del vehículo, generaría la puesta en ejecución de elementos suplementarios, una situación que sería desfavorable para el sistema contemplado.

 05

Conclusiones más Importantes sobre el Ecodiseño de los Principales Componentes de un VE

La propuesta innovadora tras la investigación realizado por **IPS** es reducir la batería a la mitad y lograr la misma autonomía del vehículo a través de un range extender. La solución es innovadora porque se propone que el extensor sea un motor pequeño, a diferencia de las soluciones que ya existen en el mercado. La comparación ambiental mediante ACV de las dos soluciones, dentro de las condiciones ensayadas, es significativamente favorable a la innovación propuesta, por lo tanto, se considera una solución de eco-innovación válida. Como interesaba validar esta propuesta desde el punto de vista funcional y sus límites de uso, se investigaron estos parámetros en la siguiente fase del trabajo. Para ello, se realizó una comparación entre la solución inicial y la solución innovadora propuesta, donde se concluyó que esta propuesta con range extender es mejor que la solución inicial (100% batería de litio), desde el punto de vista ambiental.

MGEP ha podido concluir con su trabajo en la fase de experimentación determinando un mejor rendimiento del inversor que aún a el cargador.

Por otra parte, el inversor **FAGOR** utilizado en el estudio se refrigera mediante aire forzado, mientras que el inversor rediseñado se refrigera mediante agua/glicol. Esto hace que su densidad energética sea superior e influya en el rendimiento global del sistema, ya que la máquina también está refrigerada por agua.

CARTIF ha observado al realizar la comparación del impacto que los prometedores resultados de la ecoinnovación a introducir, estudiados de forma teórica, no se llegaron a alcanzar con el prototipado, debido fundamentalmente a que los componentes incluidos en el prototipo no han conseguido la reducción de pérdidas energéticas esperadas y además, no se ha optimizado lo suficiente el peso de los mismos. Por este motivo se concluye que sigue habiendo campo de mejora en los componentes del poste seleccionando aquellos más ligeros y más eficientes energéticamente.

No obstante a lo anterior, se considera que se ha mejorado y así lo muestran algunos indicadores calculados. La huella de carbono del poste inicial es de 3.887,95 kg CO₂ eq., mientras que la del poste eco-innovado es de 3.690,34 kg CO₂ eq.

Las conclusiones más importantes obtenidas por **CTM** tras realizar el ensayo de desgaste es que se observa que la rugosidad inicial de la pastilla de referencia es más elevada respecto a la pastilla nueva. De forma análoga, se detecta mayor porcentaje en peso de cobre en la superficie inicial de la pastilla de referencia. Sin embargo, las pastillas mejoradas no tienen menor coeficiente de fricción. Los ensayos de corrosión, niebla salina y humedad (100%), han permitido determinar una mayor resistencia a la corrosión de la muestra nueva con respecto a la muestra de referencia. Este comportamiento se alinea con la necesidad que las pastillas de freno en los vehículos eléctricos con frenada regenerativa deben ser más resistentes a la corrosión.

IAT, partiendo de las eco-mejoras planteadas teóricamente, diseñó un sistema experimental para medir los resultados reales. Una vez realizados los experimentos, se extrajeron los consumos de energía del sistema y del asiento, y se introdujo en el sistema original el componente "asiento calefactado". La conclusión principal, a tenor de lo que reflejan los resultados, apunta a que las eco mejoras introducidas verdaderamente colaboran a disminuir los impactos del sistema, convirtiéndolo en un componente más respetuoso con el medio ambiente. En especial es destacable la mejora ambiental en la etapa de uso del producto, ya que es la etapa más perjudicial para el Medio Ambiente.

El análisis de **ESTIA** no es un análisis de ciclo de vida en el sentido estricto del término y no puede servir para afirmaciones directas. Sin embargo, ha permitido mostrar que un recuperador magnético podía revelarse pertinente para reducir ciertos tipos de impactos potenciales aunque su utilización daría lugar a transferencias de impacto, aumentando otros tipos de daños potenciales en comparación con la electricidad tomada sobre una red de distribución nacional por lo que como punto final se procedió a identificar las vías posibles de mejora para el sistema, en particular:

- Disminución del cableado de cobre por la utilización local de la energía producida.
- Reutilización de los imanes del recuperador de energía, en la medida en que su vida útil es superior a priori a la del amortiguador.
- Dimensionamiento justo del sistema de recuperación de energía (permitiendo aligerar el sistema y su impacto) con el fin de no recuperar más energía que la necesaria.

El recuperador prototipo ha sido concebido con elementos de dimensiones estándares. Las mejoras futuras repercutirán a la optimización del tamaño de los imanes, de las bobinas y del circuito magnético.

Finalmente, este tipo de sistema podrá ser adaptado a otros vehículos de manera ventajosa, en particular a los vehículos militares y de dos ruedas.

06

Modelización Virtual

Para evaluar el cambio de prestaciones con las opciones econinnovadas, ITA realizó simulaciones y comparó los resultados de consumo equivalente de energía, así como las pérdidas energéticas y la eficiencia de los sistemas bajo distintas formas de uso. Ello permite evaluar el impacto de las ecoinnovaciones en las prestaciones de vehículo así como la adecuación del dimensionamiento de la batería.

Se desarrollaron dos modelos de vehículo, uno eléctrico puro y otro con configuración serie en un software de modelado de vehículos. Se desarrollaron cuatro modelos de baterías, cuatro modelos de motor de tracción, cinco modelos de ruta, varias configuraciones de frenado, carga del vehículo, intensidad de la climatización y temperatura.

El modelo permitió comprobar que el rango del vehículo, con el convertidor y motor diseñados, en las mejores condiciones, es de 140km para el vehículo eléctrico puro y de 500 km para el vehículo con extensor de rango.

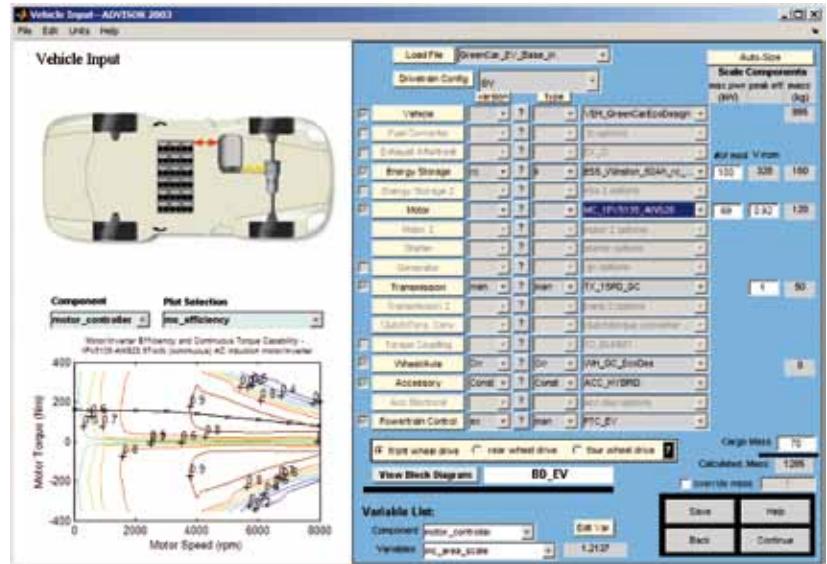


Figura 36: Configuración del vehículo eléctrico puro.

Respecto de las baterías, los modelos han evidenciado que su eficiencia es muy alta. El paquete de baterías con células de nanotitanato ha mostrado no aportar mejoras en la fase de uso respecto de la elegida batería inicialmente en el GT4. El aumento de consumo por su mayor peso no se compensa con el aumento de eficiencia energética por su baja resistencia interna en el vehículo eléctrico puro. No obstante, en el vehículo con extensor de rango deberá considerarse utilizar baterías con menor resistencia porque limita la potencia de la batería, obligando a activar el motor del extensor de rango en momentos de alto consumo de potencia.

Respecto al inversor y motor ecoinnovados, se comprueba que el aumento de rendimiento supone un ahorro para conducción según ciclo NECD.

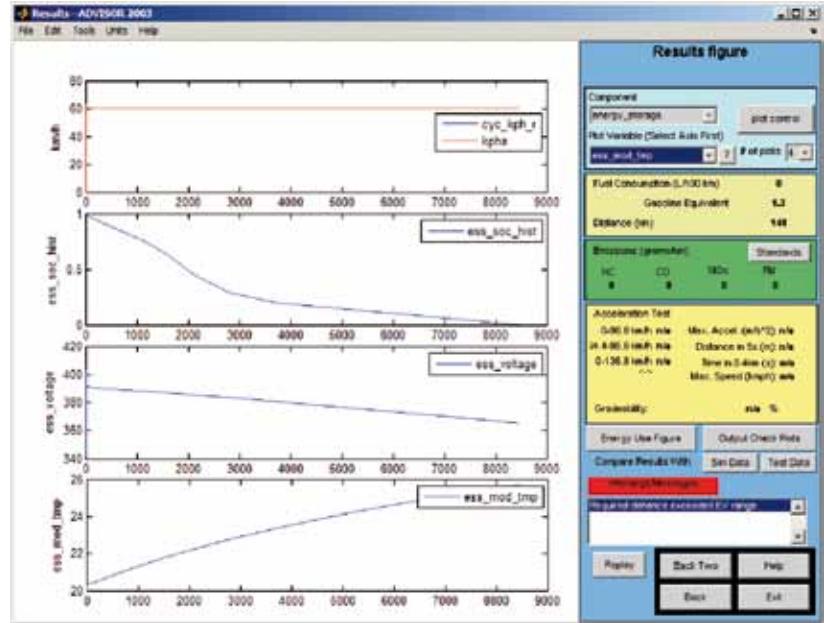


Figura 37: Configuración del vehículo eléctrico puro.

También se obtiene el ahorro de energía por cada kilo de peso aligerado en función de los distintos ciclos de conducción. Un incremento de peso de 100kg disminuye el rango en 4,8 km. Este dato permitirá calcular las mejoras obtenidas por aligeramiento de peso en los distintos componentes.

Respecto a los sistemas auxiliares alimentados por energías renovables, se modeló el recuperador de energía en los amortiguadores y se generaron perfiles de carretera correspondientes de varias tipologías (autopista, carretera en mal estado..). Este modelo permitió calcular los valores medios de energía que suministra el recuperador.

Respecto de los sistemas auxiliares de climatización, la simulación en entorno urbano con el sistema de climatización a máxima potencia muestra que el climatizador es el mayor consumidor de energía, reduciendo en gran medida la autonomía.

La energía consumida durante el funcionamiento corresponde en su mayoría a rodadura y a resistencia aerodinámica en las simulaciones de circulación a velocidad constante. Destacar que en las simulaciones de autonomía a 60 km/h, el uso de neumáticos de alta eficiencia aumenta el rango del vehículo eléctrico en 24km. En el caso de circulación con tráfico denso y a baja velocidad, las pérdidas en el motor, el frenado y los auxiliares son predominantes.



Figura 38: Vehículo eléctrico para ensayos.



IAT

Instituto Andaluz de Tecnología
www.iat.es

