



**DESARROLLO Y VALIDACIÓN DEL PROTOTIPADO DE  
LOS COMPONENTES DEL VE ECO-INNOVADOS EN EL  
GT3.**

---

***Eco-Design***  
***for Eco-Innovation:***  
***the Green-Car Case***  
***GREEN-CAR ECO-DESIGN***

---

Proyecto financiado por:



UE/EU – FEDER / ERDF

*Diciembre de 2012*

## INDICE

---

<b>INDICE .....</b>	<b>1</b>
<b>1. PROTOTIPOS ECO-INNOVADOS. QUÉ HA “CONSTRUIDO” CADA GRUPO. ....</b>	<b>2</b>
1.1. EL INSTITUTO POLITÉCNICO DE SETÚBAL Y LA BATERÍA .....	2
1.2. LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MONDRAGÓN Y EL CONVERTIDOR .....	2
1.3. CARTIF Y EL PUNTO DE RECARGA .....	3
1.4. EL CENTRO TECNOLÓGICO DE MANRESA Y EL SISTEMA DE FRENOS .....	8
1.5. EL INSTITUTO ANDALUZ DE TECNOLOGÍA Y LOS SISTEMAS AUXILIARES DE CLIMATIZACIÓN .....	9
1.6. ESTIA Y LA RECUPERACIÓN DE ENERGÍA EN EQUIPOS AUXILIARES .....	10
<b>2. ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE LOS PROTOTIPOS. MEJORA AMBIENTAL CONSEGUIDA. ....</b>	<b>11</b>
2.1. BATERÍA .....	11
2.2. CONVERTIDOR .....	12
2.3. PUNTO DE RECARGA .....	13
2.4. SISTEMA DE FRENOS .....	14
2.5. SISTEMAS AUXILIARES DE CLIMATIZACIÓN .....	17
2.6. RECUPERACIÓN DE ENERGÍA EN EQUIPOS AUXILIARES .....	18
<b>3. MODELIZACIÓN VIRTUAL .....</b>	<b>24</b>
<b>4. CONCLUSIONES MÁS IMPORTANTES SOBRE EL ECODISEÑO DE LOS PRINCIPALES COMPONENTES DE UN VE. ....</b>	<b>22</b>

## **1. PROTOTIPOS ECO-INNOVADOS. QUÉ HA “CONSTRUIDO” CADA GRUPO.**

---

### **1.1. El Instituto Politécnico de Setúbal y la BATERÍA**

En GT3, 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. En GT3 han testeado la mejora de la eficiencia de la batería para así conseguir una reducción de consumo de electricidad en la etapa de uso. Sin embargo, los materiales que componen la batería tienen el mayor impacto ambiental de todo el ciclo de vida.

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. En un 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 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 más de 400 km, suponiendo un depósito de 12 litros de gasolina.

### **1.2. La Universidad Politécnica de Mondragón y el CONVERTIDOR**

El análisis del ciclo de vida que MGEP realizó en GT3 a 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, han 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.

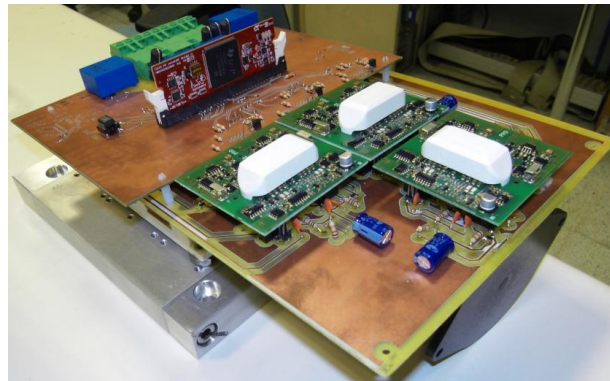


Figura 1.1. Hardware del inversor incompleto

### 1.3. CARTIF y el PUNTO DE RECARGA

El objetivo del estudio que ha llevado a cabo la Fundación CARTIF es averiguar el perfil ambiental de los puntos de recarga actuales para identificar y proponer alternativas de mejora basadas en estrategias de ecodiseño.

Para este grupo de tareas se ha analizado una estación de recarga para uso urbano, como la que fabrica EMERIX, que se presenta en la figura 1.2. 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 dimensional para el aumento de potencia solicitado y la CPM debe poder alojar elementos de protección para el nuevo suministro.



Figura 1.2. Poste de recarga para vía pública.

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 tras el trabajo del grupo en el GT3, es la de integración de componentes. En concreto se va a sustituir el controlador actual (figura 1.3) por uno que reúne también la fuente de alimentación, el módem GPRS, la caja de interconexiones y el sistema RFID (figura 1.4) resultando en un nuevo componente “todo en uno” tal y como se muestra en la figura 1.5.



Figura 1.3. Controlador actual del poste de recarga

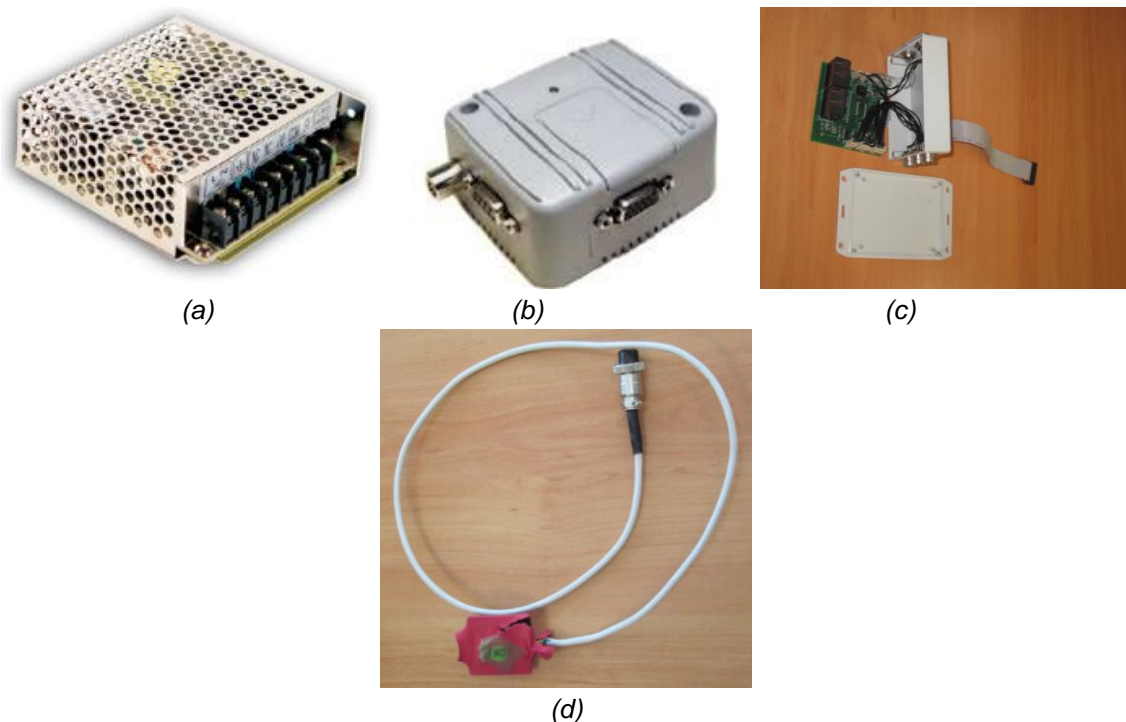


Figura 1.4. (a) Fuente de alimentación actual del poste de recarga (b) Módem GPRS, (c) caja de interconexiones y (d) Sistema RFID.

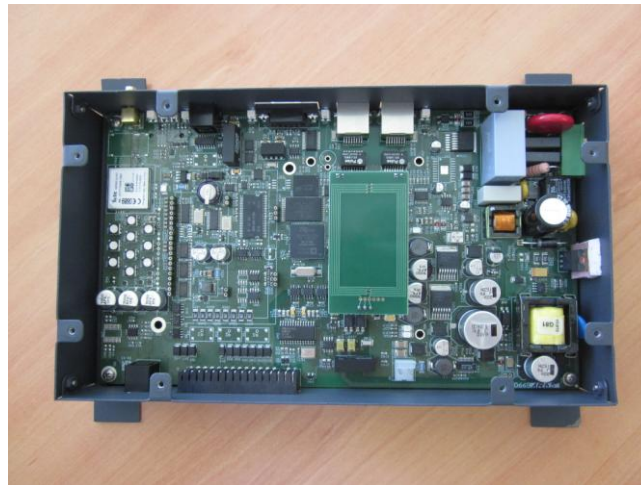


Figura 1.5. Prototipo del nuevo controlador. Integra los componentes de la figura 1.4.

En una primera aproximación teórica se ha valorado la mejora energética de esta actuación, al suprimirse 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 el GT3 (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 en el marco del trabajo del GT4 del proyecto Green-Car Eco-Design, a incorporar en un poste de recarga, 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”**.

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, tal y como se muestra en la figura 1.6:





Figura 1.6. Puesta a punto del prototipo para ensayos

Para la integración se estimó necesario también cambiar a mayores otros componentes, un nuevo conector que incluye el cerrojo y el sensor de puerta que en el anterior poste estaban separados (figura 1.7 (a)) y un nuevo contador (figura 1.7 (b)):



(a) Enchufe + cerrojo + sensor

(b) Contador

Figura 1.7. Componente enchufe y nuevo contador

Y también se ha optimizado el cableado. Todo ello conforma el prototipo del nuevo poste eco-rediseñado del grupo de tareas 4 del proyecto, objeto de la nueva evaluación ambiental. Finalmente consta de los siguientes módulos:

#### Módulo Eléctrico:

- Interruptor diferencial con rearme automático
- Interruptor magnetotérmico
- Conector tipo schuko + cerrojo + sensor de puerta
- Cableado del circuito de potencia

#### Módulo Electrónica:

- Componente “todo en uno”
- Contador (electrónica)

- LEDs frontal (indicadores del estado del sistema de recarga: rojo - fuera de servicio, verde - disponible, azul – cargando)
- Cableado del circuito de control

#### Módulo Auxiliares

- Conector
- Bidas
- Recogecables
- Puerta del enchufe
- Filtros para evitar la condensación (en las estaciones tipo poste)

#### Módulo Estructura

- Carcasa
- Carril DIN (en las estaciones tipo poste)
- Tornillos y tuercas

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. Para esta etapa del ciclo de vida se ha realizado la misma experimentación que se realizó en el GT3 sobre el poste inicial. Se utilizó el analizador de redes conectado a la entrada de la fuente de alimentación (lado de alterna), de modo que se obtiene una medida de potencia eminentemente reactiva capacitiva (Qc) en VAR. En el lado de continua, donde están consumiendo los elementos de la estación de recarga, se considerará toda la potencia como activa, por lo que se utilizará indistintamente W (lado continua) o VA (lado alterna).

De nuevo se estudiaron dos períodos:

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

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.



## 1.4. 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 des del 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 (old) con una pastilla nueva (new) 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 (figura 1.8), 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.



Figura 1.8. Muestras pastillas de freno

Se realizan los siguientes ensayos:

**Ensayo de Desgaste:** Se van a caracterizar 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 utiliza para observar 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**.

### 1.5. El Instituto Andaluz de Tecnología y los SISTEMAS AUXILIARES DE CLIMATIZACIÓN

Para IAT en trabajo en este grupo de trabajo ha consistido en la evaluación del resultado del GT3 y la propuesta de soluciones para la construcción del prototipo y para la medición de los consumos del sistema de climatización con la incorporación de las medidas tomadas en GT3. 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. Para la realización de todos los ensayos se ha requerido la experimentación de los mismos en los escenarios climáticos definidos en GT3.

## 1.6. ESTIA y la recuperación de energía en EQUIPOS AUXILIARES

Los trabajos realizados por ESTIA en anteriores GTs 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.

El interés y la madurez tecnológica de cada una de estas fuentes fueron estudiadas en GT2. 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 GT3 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 de un cuarto de la estructura del vehículo que 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.

SOBEN se implicó en el proyecto y desarrolló, en colaboración con ESTIA Investigación, un prototipo a escala 1. Los resultados obtenidos sobre este prototipo muestran el interés del sistema y las discusiones están actualmente en proceso con el fin de prolongar los trabajos con una tesis CIFRE, financiada por SOBEN y realizada en colaboración con ESTIA Investigación.

Sin embargo, aunque el interés del sistema esté demostrado, particularmente para la alimentación local de captadores, el estudio medioambiental muestra que la electricidad producida a partir de la recuperación de energía es más impactante sobre medio ambiente que la electricidad de la red.

## 2. ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE LOS PROTOTIPOS. MEJORA AMBIENTAL CONSEGUIDA.

### 2.1. BATERÍA

Se realizó la evaluación del componente inicial (100% batería) y del prototipo (½ 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 2.1 y 2.2 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, sólo, la etapa de caracterización.

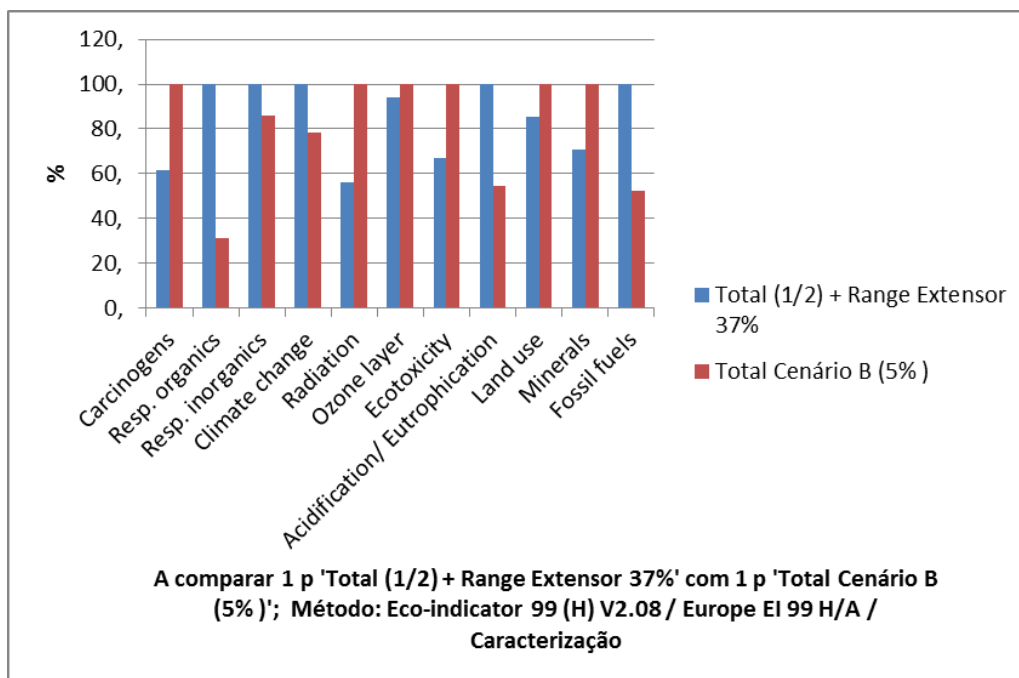


Figura 2.1. Comparación entre componente inicial vs prototipo mediante el método Eco-indicador'99

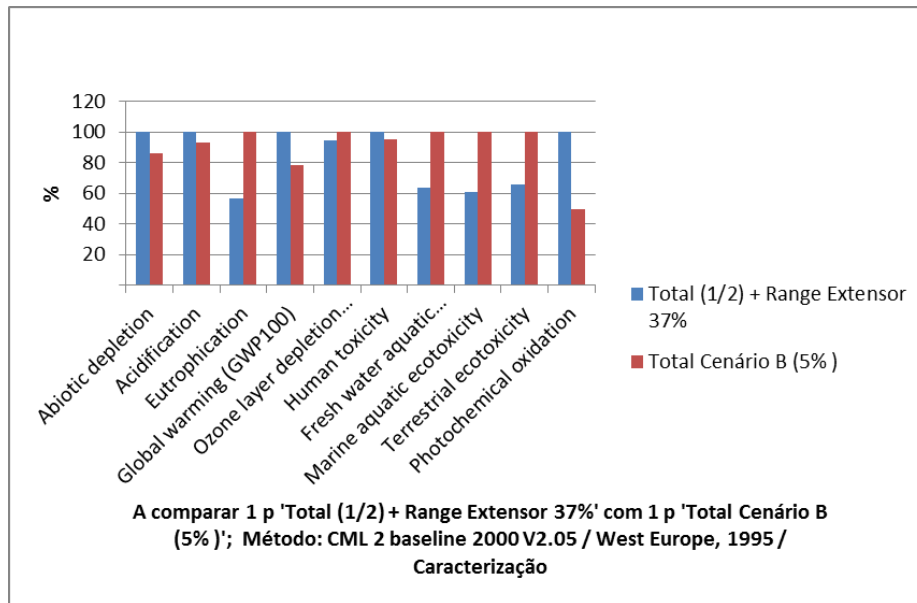


Figura 2.2. Comparación entre componente inicial vs prototipo mediante el método CML Baseline 2000

## 2.2. CONVERTIDOR

El objetivo principal era conocer la reducción del impacto ambiental conseguido en la etapa de uso en comparación con la tecnología Fagor y Curtis. 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.

En la figura 2.3 se puede ver la representación de la contribución relativa de la etapa de uso. La mejora conseguida es clara. En todas las categorías de impacto se ha reducido el impacto medioambiental en un 25% respecto a la tecnología Curtis y un 20% respecto a la tecnología Fagor.

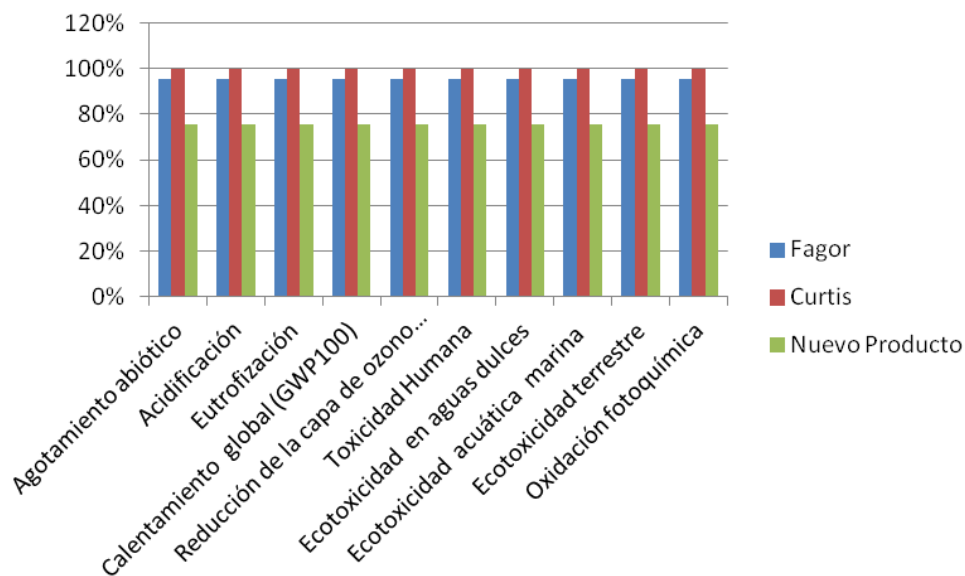


Figura 2.3. Caracterización del impacto asociado a la fase de uso de metodología CML 2 baseline 2000 V2.05 / West Europe, 1995

En la figura 2.4 se representa nuevamente la contribución relativa de la etapa de uso según la metodología Eco-Indicador'99 H/A y se vuelve a verificar, tal como lo ha hecho la metodología CML Baseline 2000, la reducción del impacto ambiental conseguida en la etapa de uso del nuevo producto, siendo un 24% en comparación con Curtis y un 20% frente a la tecnología Fagor.

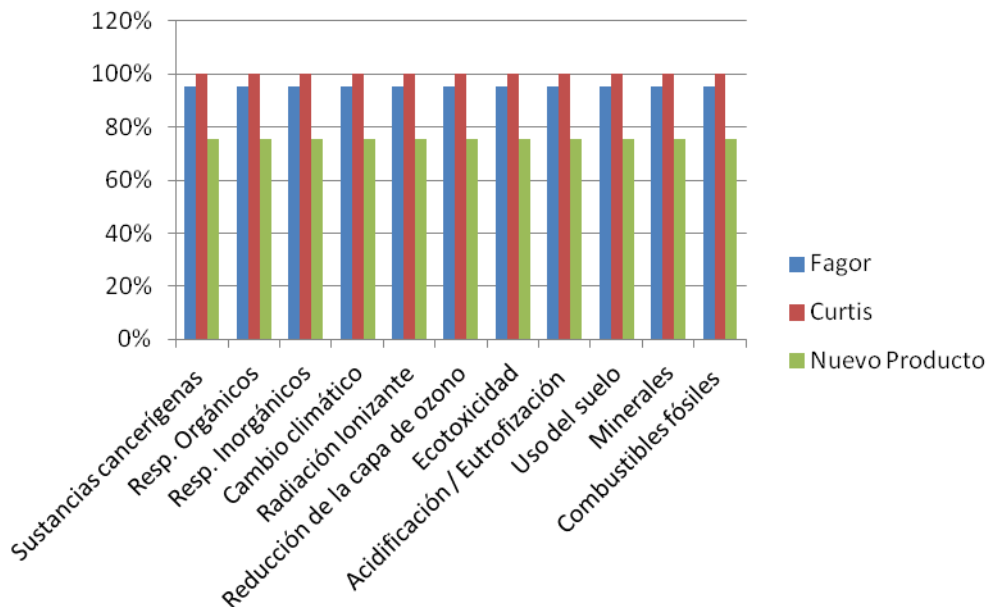


Figura 2.4. Caracterización del impacto asociado al ciclo de vida del 1 convertidor FAGOR. Metodología Eco-indicador 99 H/A

### 2.3. PUNTO DE RECARGA

Se realizó la comparación del impacto ambiental entre componentes (inicial y eco-rediseñado) estudiando los datos teóricos obtenidos inicialmente en el GT3 con los datos obtenidos sobre el prototipo, con objeto de conocer el impacto ambiental real.

Se recuerda que la función del sistema es la recarga de 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.

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 2.5).



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.

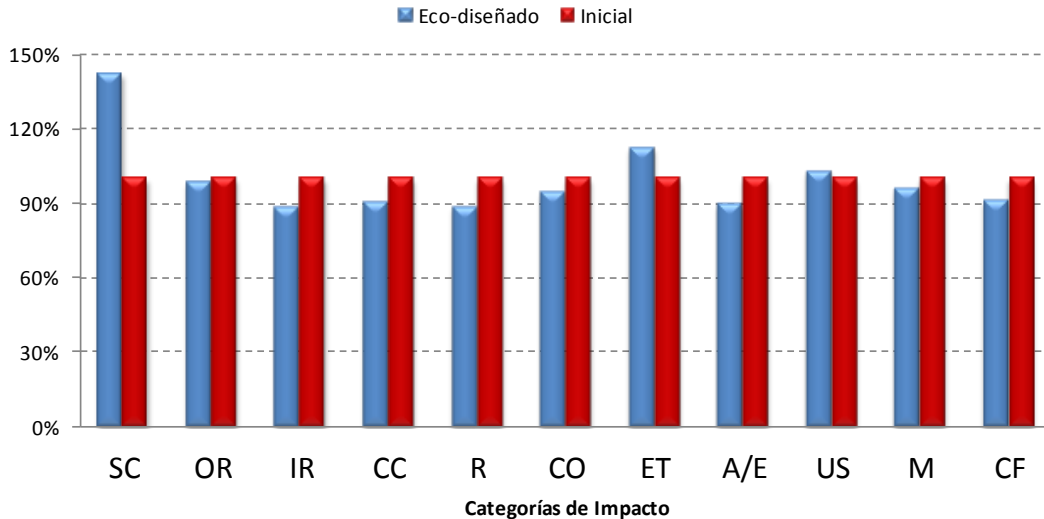


Figura 2.5. Comparación del impacto asociado al ciclo de vida del poste inicial vs. eco-innovado. Metodología Eco-Indicador 99 H/A

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 2.6).

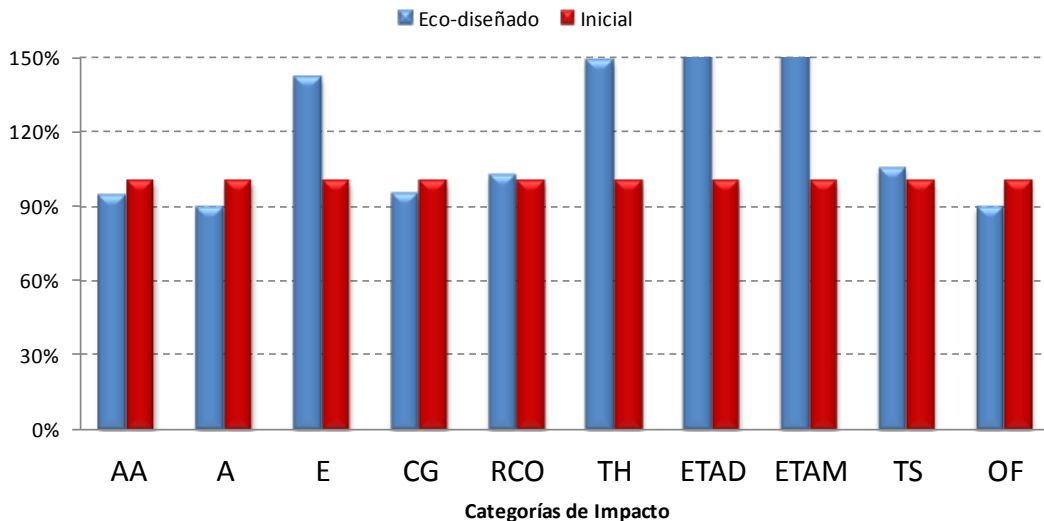


Figura 2.6. Comparación del impacto asociado al ciclo de vida del poste inicial vs. eco-innovado. Metodología CML 2 Baseline 2000 West Europe 1995

## 2.4. SISTEMA DE FRENOS

Del ACV centrado en el conjunto pinza de frenos + pastillas de freno se concluyó que las etapas con mayor contribución al impacto ambiental eran la etapa de uso y la

referida a la extracción y primera transformación de materiales. Respecto a la pinza, el material con mayor contribución era el lingote de fundición gris y de la pastilla, la base metálica que constituye el material de fricción, era el componente con mayor impacto ambiental.

A partir de estos resultados CTM decidió estudiar el comportamiento de:

- Pinza de freno: sustituir el material de fundición gris por aluminio.
- Pastilla: Disminuir un porcentaje de metales pesados ya que en su uso emiten partículas tóxicas al medio y sustituir la fibra de vidrio por la fibra de celulosa que no es tóxica, en el material de fricción.

Del nuevo ACV realizado con estas consideraciones se vio que en lo que respecta a la pinza, el aluminio no representa ninguna mejora ambiental ya que tiene un impacto mayor en la etapa de procesamiento debido a los requerimientos energéticos y que el cambio de material solo es beneficioso en la etapa de uso si la vida útil del vehículo sobrepasa los 190.000 km.

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 1.4.

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.

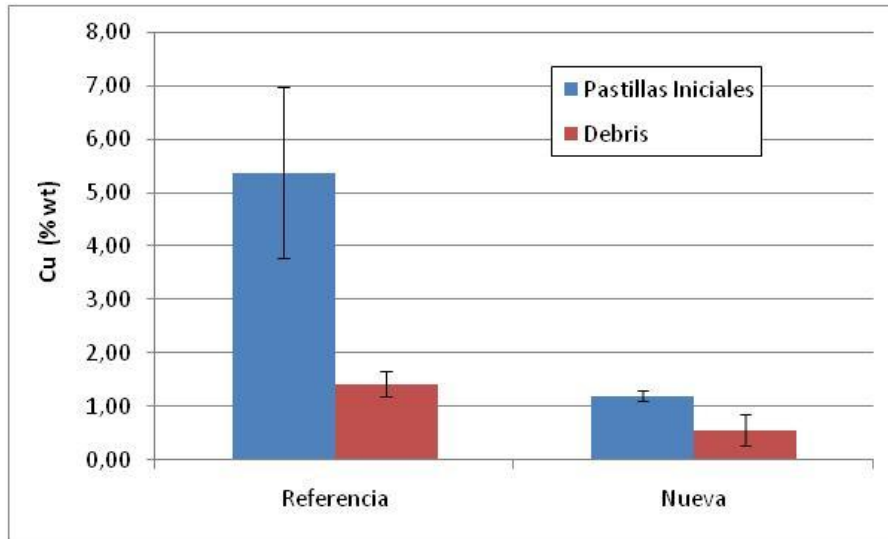


Figura 2.7. Porcentaje en peso (%wt) de cobre en pastillas antes del ensayo y en el debris

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.

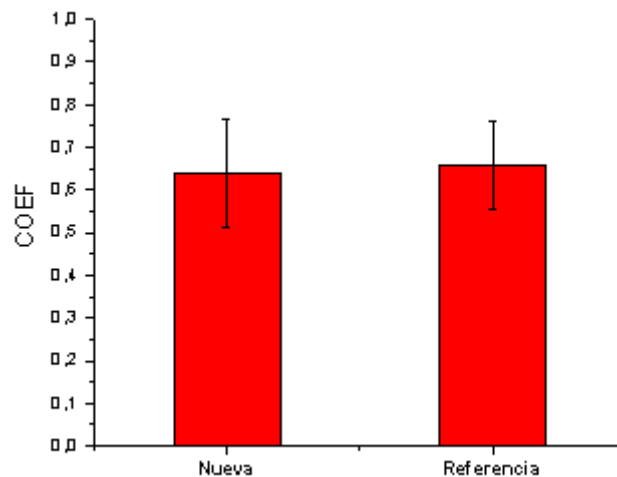


Figura 2.8. Valores coeficiente de fricción COF

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 atmosfera ambiente sin ningún tipo de protección hecho que permitió la oxidación local del hierro de la superficie.

Respecto al ensayo de corrosión, en 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.

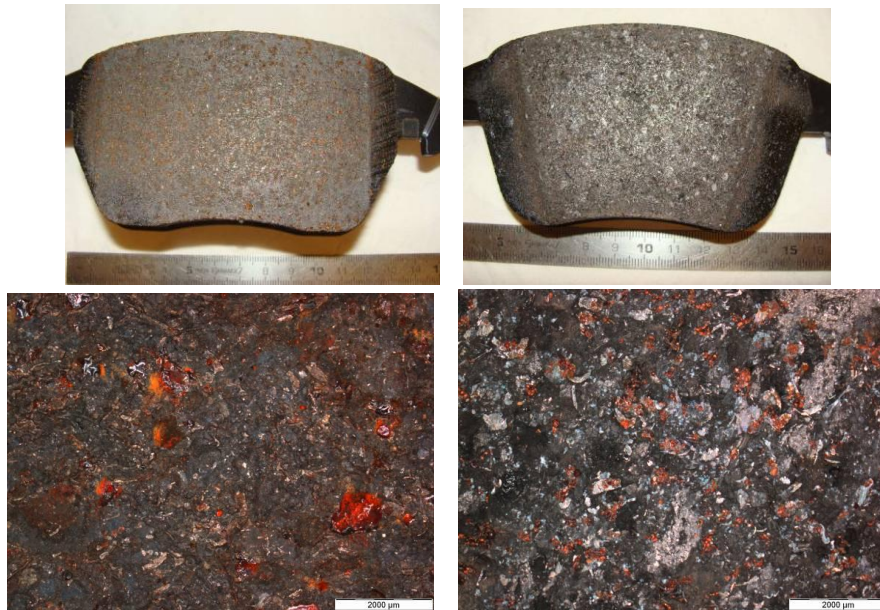


Fig.2.9a: Referencia.

Fig.2.9b: Nueva

Figura 2.9. Muestras al cabo de 48 horas en cámara humidostática. a) Pastilla de Referencia y b) Pastilla Nueva

## 2.5. SISTEMAS AUXILIARES DE CLIMATIZACIÓN

Respecto de la metodología CLM 2001, como se muestra en la figura 2.10, 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 CO<sub>2</sub>-Equiv.



Figura 2.10. 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 2.11 prácticamente todas las categorías reflejan mejoras respecto del diseño inicial.

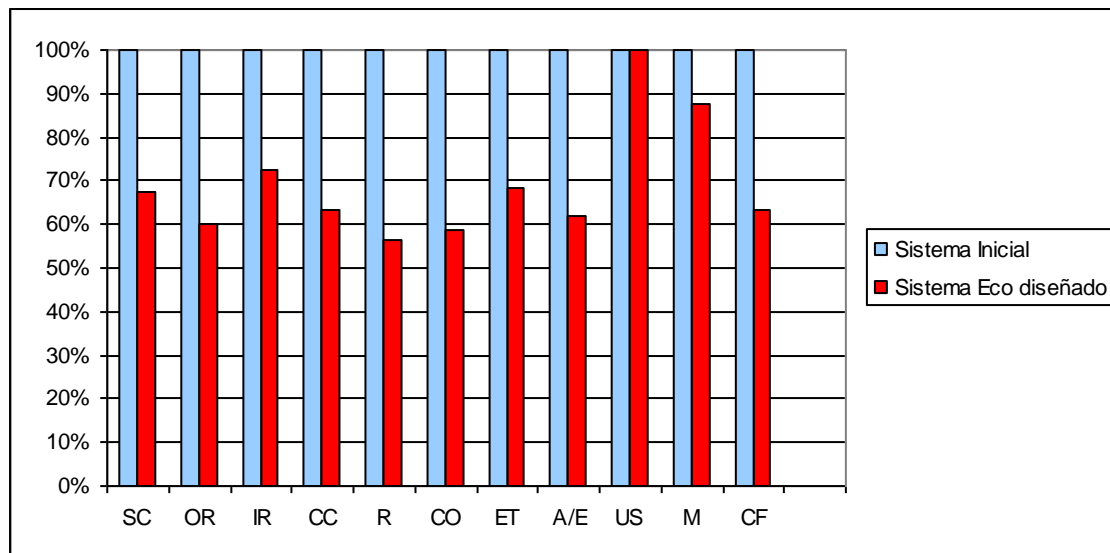


Figura 2.11. Comparación Sistema de climatización EI99

## 2.6. 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 de 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 francesas, españolas y portuguesas. Los resultados se muestran en las figura 2.12 a 2.15.

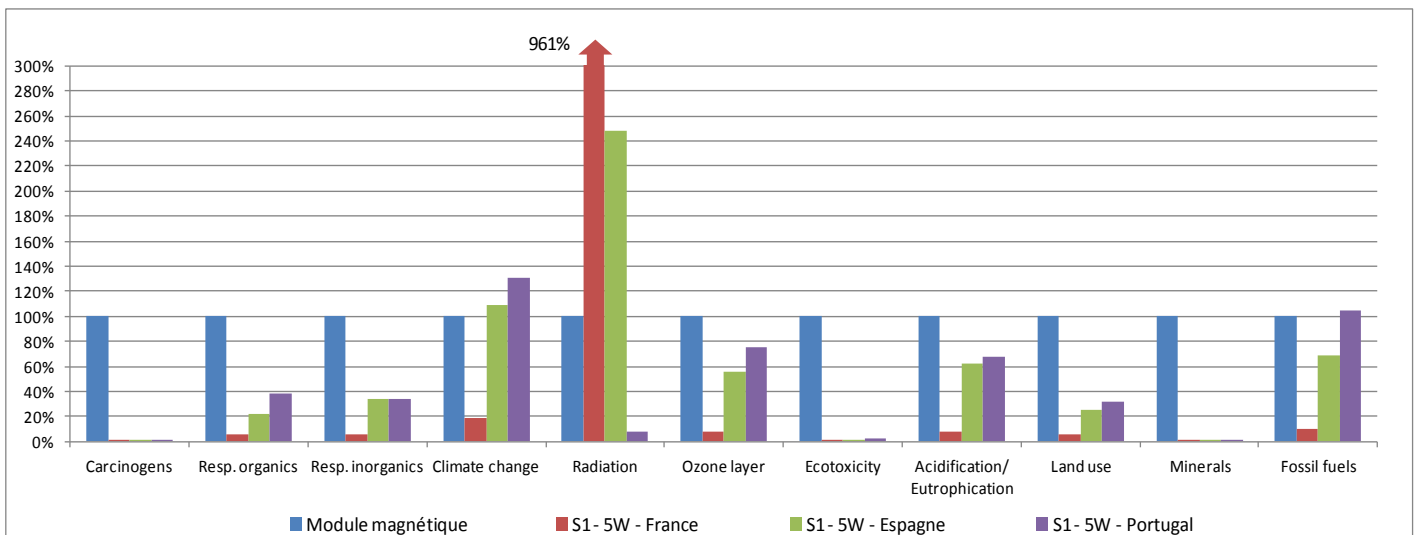


Figura 2.12. Comparación de los impactos del escenario S1-5W mediante Eco-Indicador'99



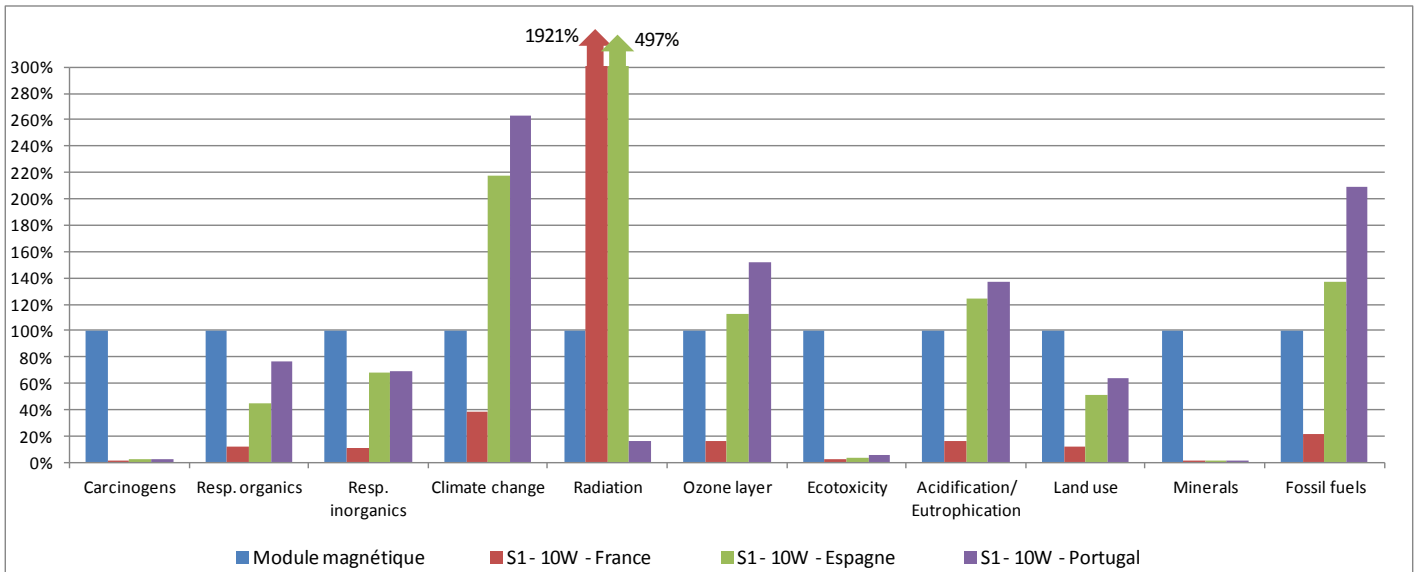


Figura 2.13. Comparación de los impactos del escenario S1-10W, mediante Eco-Indicador'99

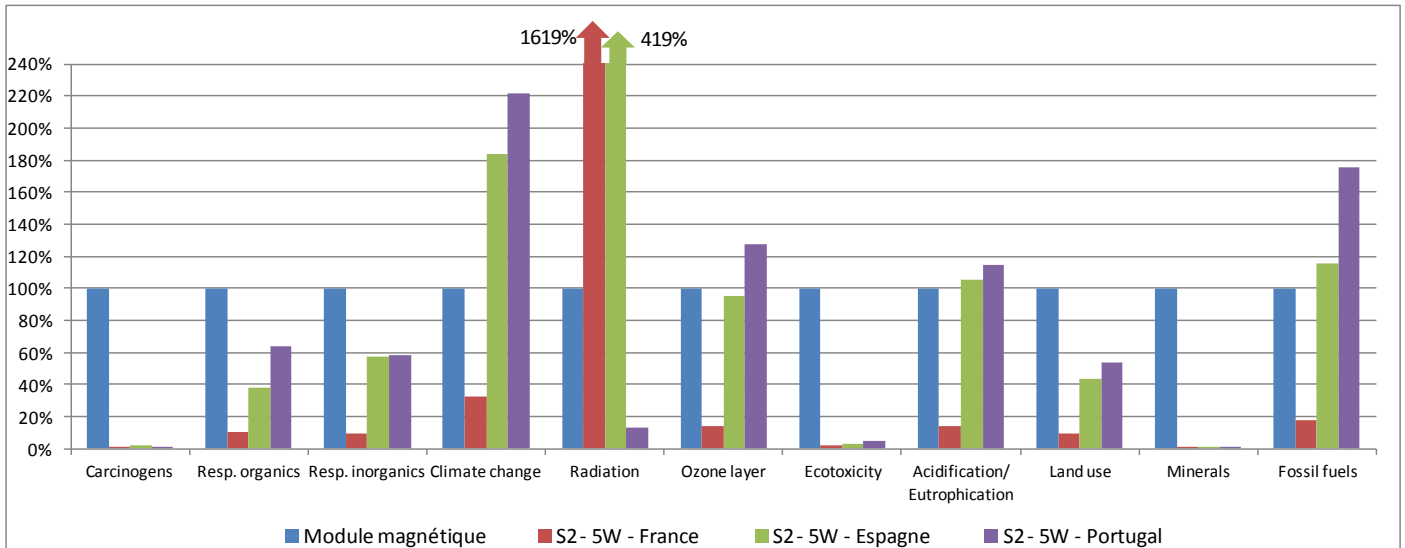


Figura 2.14. Comparación de los impactos del escenario S2-5W mediante Eco-Indicador'99

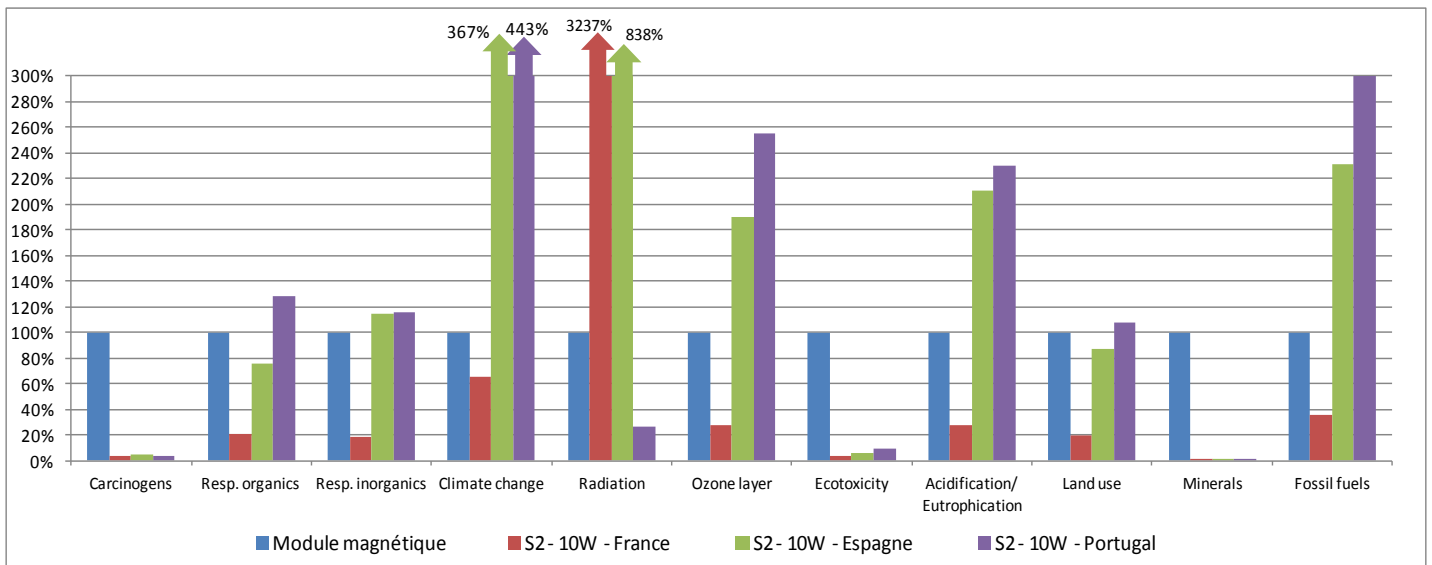


Figura 2.15. Comparación de los impactos del escenario S2-10W mediante Eco-Indicador'99

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.

### 3. 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 con el trabajo en GT4. 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), del punto de vista ambiental.

**MGEP** ha podido concluir con su trabajo en GT4 que el rendimiento del inversor Curtis es menor, ya que trabaja a tensiones en torno a los 50V, lo que obliga a manejar corrientes elevadas (400A) para conseguir su potencia nominal (20kW). Como la potencia disipada es función de la corriente, para potencias elevadas el inversor Curtis se ve perjudicado.

Por otra parte, ambos inversores utilizados en el estudio se refrigeran 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 que al realizar la comparación del impacto, que los prometedoros resultados de la ecoinnovación a introducir, estudiados de forma teórica en GT3, no se llegaron a alcanzar con el prototipado de GT4, 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 CO<sub>2</sub> eq., mientras que la del poste eco-innovado es de 3.690,34 kg CO<sub>2</sub> 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.

## 4. MODELIZACIÓN VIRTUAL

Para evaluar el cambio de prestaciones con las opciones ecoinnovadas, se realizan simulaciones y se comparan 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 tres modelos de baterías, dos modelos de motor de tracción, tres 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.

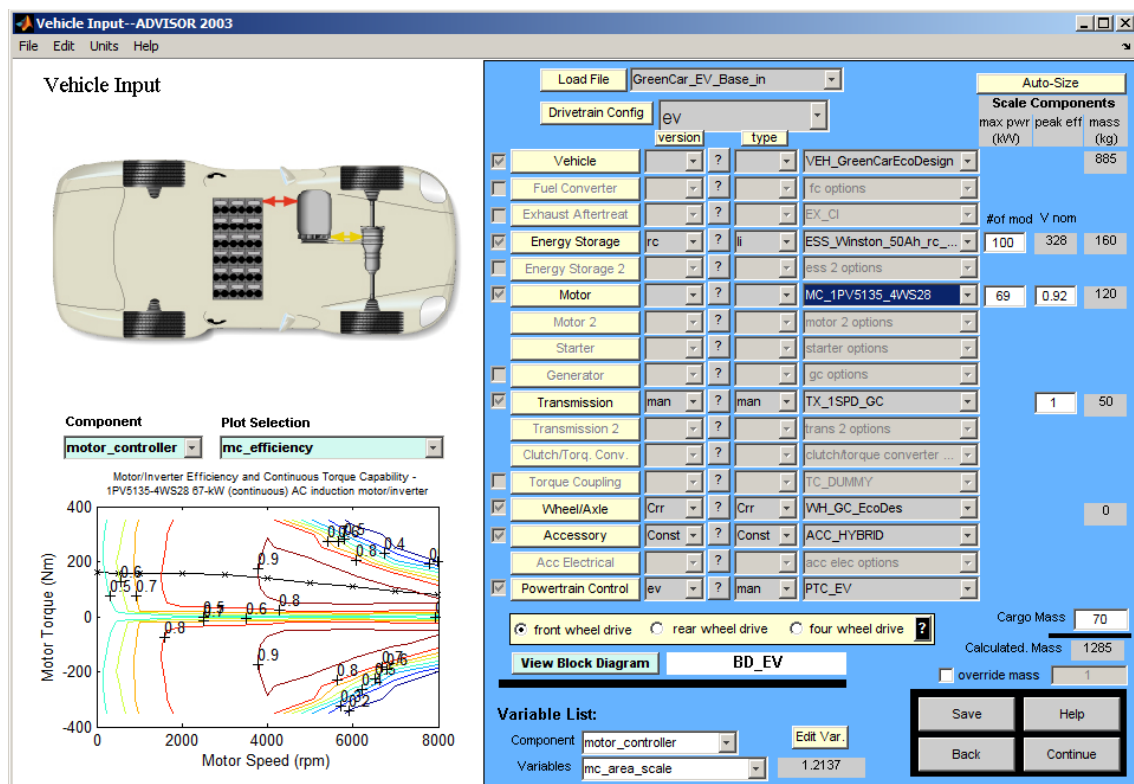


Figura 4.1. Configuración del vehículo eléctrico puro.

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 WP4. 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.

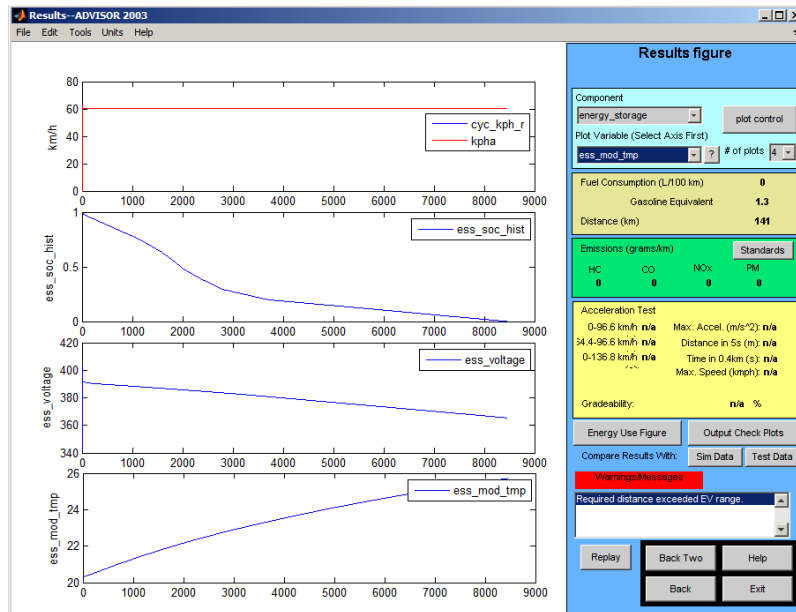


Figura 4.2. Ensayo de autonomía a 60Km/h.

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

También se obtiene el ahorro de energía por cada kilo de peso aligerado en función de los distintos ciclos de conducción. Este dato permitirá calcular las mejoras obtenidas por aligeramiento de peso en los distintos componentes.

Respecto del modelo 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.

La energía consumida durante el funcionamiento corresponde en su mayoría a rodadura y a resistencia aerodinámica. Los mayores esfuerzos para mejorar el impacto medioambiental en la fase de uso deberán centrarse en esos elementos. 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. Además un incremento de peso de 100kg disminuye el rango en 4,8 km.





Proyecto GREEN-CAR ECO-DESIGN  
Nuestro trabajo en GT4

---

Para más información, visite nuestra página web:

[www.greencar-ecodesign.com](http://www.greencar-ecodesign.com)