

# EL VEHÍCULO ELÉCTRICO Y LA EFICIENCIA ENERGÉTICA GLOBAL

R. Bargalló, J. Llaverías, H. Martín  
Departamento de Ingeniería Eléctrica - Universitat Politècnica de Catalunya  
EUETIB-C/Urgell, 187-08036 Barcelona  
[Ramón.bargallo@upc.edu](mailto:Ramón.bargallo@upc.edu); [Joan.Llaverias@upc.edu](mailto:Joan.Llaverias@upc.edu), [M.H.martin@upc.edu](mailto:M.H.martin@upc.edu)

**Resumen.** Completar los estudios parciales que sobre eficiencia energética en el vehículo eléctrico se han desarrollado, incorporando los resultados del alcance del ciclo de vida que afectan al consumo de las plantas de energía primaria, la construcción de las mismas y el sistema de transporte y distribución.

En el caso del motor eléctrico se consideraran tres supuestos evolutivos IE1-standard efficiency, IE2 – High efficiency, IE3 – Premium efficiency.

Finalmente se compararan con los atribuidos al automóvil tipo gasolina/diesel/bio, al objeto de sacar conclusiones en relación al balance energético.

**Palabras clave:** cadena energética, generación mixta energética, alcance del ciclo de vida, rendimiento medio comparado, rendimientos parciales y global, ahorro energético equivalente.

## 1. Generación mixta de energía primaria

La cadena energética que conduce a la alimentación de cualquier vehículo eléctrico, coche, autobús, furgoneta, etc., parte de la generación de energía primaria atendiendo a la estructura mixta que suponen las distintas centrales, la cual a su vez varía según los entornos geográficos de referencia.

La publicación de la eco-ficha “Balance ambiental de energía para la generación de 1 kWh eléctrico” [1], permite obtener, en relación a la eficiencia energética, el rendimiento medio ponderado de cada uno de los cuatro apartados en que este trabajo agrupa a las unidades generadoras, según se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Rendimientos medios de grupos generadores

| Tipo de unidad generadora       | Rendimiento medio atribuido |
|---------------------------------|-----------------------------|
| Carbón/Fuel/Gas/Ciclo combinado | 28.9 %                      |
| Nuclear                         | 22.3 %                      |
| Hidráulica                      | 71.2 %                      |
| Eólica/Resto de renovables      | 54.6%                       |

Naturalmente que en la determinación de los mismos, se ha considerado el alcance del ciclo de vida que afecta al consumo de las unidades generadoras, así como su construcción.

Las restantes consideraciones del trabajo en relación con la producción de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, así como los potenciales de acidificación, eutrofización, calentamiento global, agotamiento de la capa de ozono y creación fotoquímica de ozono, serán objeto de posteriores estudios de carácter medioambiental.

## 2. Sistema generador mixto en un entorno de referencia

La tabla siguiente recoge en base al ejercicio económico de 2007, los porcentajes correspondientes a cada uno de los apartados considerados, en relación con la generación mixta de energía primaria, y referidos al conjunto de países de la Unión Europea de los 15 (EU-15), y a España, obtenidos a partir de la memoria de Red Eléctrica Española (REE) [2]

Tabla 2. Composición de la generación según apartados

| Tipo de unidad generadora       | EU-15 (%) | España (%) |
|---------------------------------|-----------|------------|
| Carbón/Fuel/Gas/Ciclo combinado | 53,4      | 51,0       |
| Nuclear                         | 18,9      | 19,7       |
| Hidráulica                      | 18,6      | 9,4        |
| Eólica/Resto de renovables      | 9,0       | 19,9       |

De aquí puede deducirse el rendimiento ponderado de la generación total de energía primaria, correspondiente a EU15 y España, según la expresión básica:

$$\eta_g = \frac{\sum_{i=a}^d \alpha_i \eta_i}{\sum_{i=a}^d \alpha_i} \quad (1)$$

La cual conduce a un resultado global de generación para EU15  $\eta_g = 37,8 \%$  y España de  $\eta_g = 36,7 \%$ .

Como consecuencia estamos en condiciones de obtener este importante dato, según las proporciones de cada componente, relativas a un entorno geográfico determinado. En el caso de Cataluña, el peso elevado del grupo nuclear hace bajar en más de 5 puntos el rendimiento resultante.

### 3. Cadena energética relativa al vehículo eléctrico

El esquema mostrado en la figura 1, sintetiza las cinco etapas en que agrupamos la cadena energética, así como la denominación de rendimientos:

- I) Sistema mixto generador:  $\eta_g$
- II) Transporte y distribución:  $\eta_t$
- III) Convertidor electrónico y batería:  $\eta_c \cdot \eta_b$
- IV) Motor eléctrico:  $\eta_m$
- V) Sistema mecánico del vehículo:  $\eta_{mec}$

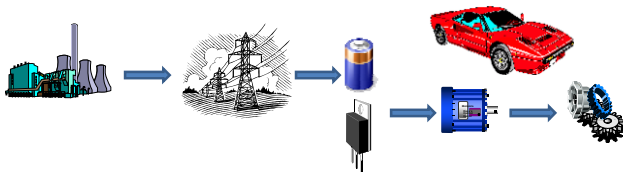


Figura 1. Cadena energética relativa al vehículo eléctrico

Las pérdidas atribuidas en transporte y distribución para EU15, son del 6,32 % según [1], de aquí que adoptaremos el rendimiento  $\eta_t = 93,7\%$  para el conjunto.

El convertidor electrónico de potencia incorporará un equipo a base de rectificador, ondulator e inductancia, que, de acuerdo con ABB [3], permite estimar un rendimiento  $\eta_c = 97,0\%$ .

Una batería del tipo Ion-Li con una resistencia interna media de 0.175 m $\Omega$ , presenta un rendimiento eléctrico del 99,14% [4], que reunido con 99,63% correspondiente a la conducta térmica, determina para la batería un rendimiento  $\eta_b = 98,8\%$ .

En relación con el motor eléctrico, estableceremos el rendimiento promedio para las potencias comprendidas entre 4 y 45 kW, de la serie 2p=4 polos, que indica la publicación [5] para cada uno de los tres niveles consignados en IEC 60034-30 (2008); estimándose según la tabla siguiente:

Tabla 3. Rendimiento del motor según tipo

| Tipo de motor             | Rendimiento $\eta_m$ (%) |
|---------------------------|--------------------------|
| IE1 – Standard efficiency | 87,4                     |
| IE2 – High efficiency     | 89,9                     |
| IE3 – Premium efficiency  | 91,4                     |

Los rendimientos anteriores se corregirán por la alimentación del motor según técnicas PWM, mediante la equipartición de pérdidas fijas y variables, asignando a estas últimas una corrección por armónicos según el binomio  $[1+DTH^2]$ , siendo la tasa de distorsión total armónica estimada en el 47% [3].

No se tendrá en cuenta el retorno energético por frenado regenerativo que un control inteligente debe permitir, ni

la pérdida de rendimiento por trabajo distinto al de rendimiento óptimo, entendiéndolas como compensadas entre sí. En esta compensación se incluirá el consumo por servicios auxiliares del vehículo (luces, indicadores, confort, etc.)

Como consecuencia de lo expuesto, los rendimientos del motor  $\eta_m$ , para cada referencia son los indicados en la tabla 4.

Tabla 4. Rendimiento del motor corregidos

| Tipo de motor             | Rendimiento $\eta_m$ (%) |
|---------------------------|--------------------------|
| IE1 – Standard efficiency | 86,0                     |
| IE2 – High efficiency     | 88,7                     |
| IE3 – Premium efficiency  | 90,2                     |

Finalmente el sistema mecánico que comprenderá la transmisión de esfuerzos y los sistemas auxiliares de seguridad, tendrán asignado un rendimiento conjunto  $\eta_{mec} = 80,0\%$ .

### 4. Resultados globales

El rendimiento  $\eta$  representativo de la eficiencia energética, según la cadena establecida en España para el coche eléctrico será,

$$\eta = \eta_g \cdot \eta_t \cdot \eta_c \cdot \eta_b \cdot \eta_m \cdot \eta_{mec} \quad (2)$$

Resultando para cada uno de los niveles de motor referenciado, el rendimiento global indicado en la tabla 5.

Tabla 5. Rendimiento global

| Tipo de motor             | Rendimiento $\eta$ (%) |
|---------------------------|------------------------|
| IE1 – Standard efficiency | 22,7                   |
| IE2 – High efficiency     | 23,4                   |
| IE3 – Premium efficiency  | 23,8                   |

### 5. Comparación con el automóvil tipo gasolina/diesel/bio

Para el conjunto de vehículos gasolina/diesel/bio si atendemos al proceso de extracción, refinamiento, almacenamiento y transporte, combustión en el motor y sistema mecánico, el rendimiento global está en la horquilla de  $\eta_p = (10..15) \%$  [6]

### 6. Conclusiones

La mejora entre 12,7 y 13,8, o entre 7,7 y 8,8, puntos de porcentaje, que la solución eléctrica supone en eficiencia de la cadena energética, deberían ser suficientes para determinar el apoyo decidido de todo tipo de instituciones públicas, como mínimo, hacia la sustitución en coches, autobuses y furgonetas de servicio, del

vehículo basado en combustibles fósiles por el vehículo eléctrico.

Aceptando que en España podrían estar circulando 100000 vehículos eléctricos en 2014, hipótesis controvertida según la referencia [6], aunque planteable como posible; suponiendo además un desplazamiento anual comprendido entre la horquilla de 30000 a 50000 km de promedio, típicos en servicios, y con un consumo moderado, para el horizonte previsto, de 8l/100km de gasolina equivalente; todo ello determina que la mejora en eficiencia energética de alrededor del 10%, supone un ahorro de

$100000 \cdot 50000 \cdot (8/100) \cdot (10/100) = 40 \cdot 10^6$  l-gasolina  
equivalentes/año

$100000 \cdot 30000 \cdot (8/100) \cdot (10/100) = 24 \cdot 10^6$  l-gasolina  
equivalentes/año

A este interesantísimo ahorro anual, posible a partir de 2014, deben añadirse aspectos aún más determinantes, no contemplados aquí, que tienen que ver con la contaminación ambiental.

Si los poderes públicos adoptasen una decidida política industrial, en el sentido de favorecer el desarrollo del vehículo eléctrico como mínimo en los servicios públicos; podrían aspirar a condicionar, razonablemente, las decisiones particulares en orden a la generalización de los nuevos vehículos eléctricos. Algunos países, regiones o ayuntamientos, han tomado ya decisiones importantes en este sentido.

## Referencias

- [1] Ferreira. Uso de diferentes fuentes de energía para la generación de 1 kWh-eléctrico. Leonardo ENERGY. European Copper Institute. 2008.
- [2] REE. El sistema eléctrico español. Avance del informe 2007. Red Eléctrica de España. Madrid. 2007
- [3] ABB automation products SA. Guía Técnica de Accionamientos de CA. ABB Accionamientos. Barcelona. 2002
- [4] N. Schofield, H.T. Yap, C.M. Bingham. A hydrogen fuel cell-high energy dense battery hybrid energy/power source for an urban electric vehicle. ICEM04. Cracow. 2004.
- [5] A. de Almedia, R. Boteler, C.U. Bruner, M. Doppelbauer, W. Hayt. Electric Motor MEPS Guide. Zurich. 2009.
- [6] V. Aguilera. El cotxe elèctric. Una realitat tècnica o una declaració política. Conferencia AEI Catalunya. Barcelona. Enero. 2009.