

Estudios sobre el desempeño de Vehículos Eléctricos Dependiendo de La Arquitectura de su Sistema de Tracción

Melissa RODRIGUEZ, Armando BOHÓRQUEZ, Andrés DÍEZ.

*Facultad IEE; Universidad Pontificia Bolivariana; Cir. 1 #70-01, B11, Medellín, Colombia.
melissa.rodriguezme@upb.edu.co*

Resumen: Se estableció el desempeño de un Vehículo Eléctrico a Batería en Colombia y se comparó su arquitectura con las tecnologías disponibles de vehículos eléctricos que fueran conectables a la red de energía eléctrica, todo esto desde las dimensiones técnicas y económicas, las condiciones topológicas de la ciudad de Medellín y su cultura de manejo. *Copyright © UPB 2015*

Palabras clave: Movilidad eléctrica, Vehículos Eléctricos, Frenado regenerativo, Tracción Eléctrica.

Abstract: To establish the performance of a Battery Electric Vehicle in Colombia, comparing it with an Extended Range Electric Vehicle, and a Plug-In Hybrid Electric Vehicle, from the technical and economic dimensions, including an assessment of the behavior of the vehicle under different conditions proper to Colombia as mountain topography, local energy prices and driving culture.

Keywords: Electric mobility, Electric Vehicles, Kinetic Energy Recovery System, Electric Traction.

UPB_autoArt 2014-09-13, s 2015-04-24

1. INTRODUCCIÓN

Debido a la conocida problemática ambiental, dada por el rápido crecimiento de la industria automovilística, surge el interés de implementar tecnologías que permitan mitigar el impacto ambiental y que ayuden a disminuir la dependencia por los combustibles fósiles y la volatilidad de sus costos. Es por ello que se ha propuesto conocer más a fondo tecnologías para vehículos eléctricos. Mediante este proyecto se estableció el desempeño de un Vehículo Eléctrico a Batería utilizado y probado en Medellín, se contrastó con un Vehículo Eléctrico de Rango Extendido y con un Vehículo Eléctrico Híbrido Conectable. Para los tres tipos de vehículos se realizaron estudios de sus arquitecturas, que ayudaran a caracterizar parámetros claves para evaluar el desempeño de cada vehículo según estándares y normativas internacionales.

Se diseñaron las pruebas y se realizaron en el Vehículo Eléctrico a Batería dispuesto por la Universidad Pontificia Bolivariana, los resultados fueron comparados con las pruebas realizadas anteriormente al Vehículo Eléctrico de Rango Extendido y finalmente comparadas con resultados obtenidos en metodologías similares a Vehículos Eléctricos Híbridos Conectables, así se pudo caracterizar cada vehículo y evaluar su desempeño.

Por último, se logró identificar factores que incidieron en el comportamiento de los vehículos estudiados y se presentaron recomendaciones de uso y manejo de los mismos. También se adicionó una nomenclatura que se recomendó usar para explicar las arquitecturas de los Vehículos Eléctricos.

2. ARQUITECTURAS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS (EVs)

Para los Vehículos Eléctricos (EVs), su tracción se puede dar de diferentes formas, se enfocó el estudio en conocer los aspectos fundamentales de cada arquitectura para las tecnologías estudiadas y en cada caso se eligió un vehículo como caso particular de estudio.

Se encontró que uno de los inconvenientes para la incursión y masificación de los EVs, han sido sus baterías, pues requieren almacenar cierta cantidad de energía sin ocupar mucho espacio. Debido a eso surgieron avances que promovieron diferentes arquitecturas para los EVs, donde por ejemplo, se pudiesen combinar diferentes fuentes de energía, logrando reducir la dependencia al combustible fósil y permitiendo aumentar el rango de autonomía del vehículo.

La evolución se dio en el desarrollo de sistemas de control basados en la regulación del flujo de potencia entre el motor de tracción y las baterías. Ese sistema es controlado por los pedales del acelerador y del freno y entrega las señales indicadas para el convertidor de potencia. Por ejemplo cuando se presenta un flujo de potencia en dirección contraria se refiere al frenado regenerativo, donde la energía suministrada es entregada y almacenada en las baterías. El controlador y la unidad de gestión de energía se encargan de controlar la inyección de energía a las baterías para proteger altos picos de tensión por momentos de carga y descarga. (Ehsani, Gao, & Emadi, 2010).

La descripción dada es válida para todas las configuraciones de EVs, sin embargo existen variaciones en cuanto al sistema de transmisión, los trenes de potencia y sus fuentes de energía, debido a ello se debe diferenciar cada arquitectura. A continuación se mencionan los aspectos más significativos de las arquitecturas estudiadas.

2.1. Vehículo Eléctrico a Batería (BEV)

Utilizan un Motor Eléctrico y no tienen Motor de Combustión Interna (IC), cuentan con un conjunto de baterías, que alimentan el vehículo, cargadas a través de la red de energía eléctrica. El motor eléctrico aprovecha la energía de los frenados, lo que lo hace ideal para los desplazamientos urbanos. (Twenergy, 2012).

Para los BEVs las baterías se encargan de suministrar la energía para mover el motor eléctrico de tracción. Se sabe que estos vehículos presentan muchas ventajas sobre los vehículos con motor de IC convencionales, como lo es la ausencia de emisiones contaminantes, mayor eficiencia y un movimiento silencioso y suave.

En un BEV el tren de transmisión cuenta con tres subsistemas: El de propulsión eléctrica, compuesto por el controlador del vehículo, el convertidor electrónico de potencia, el motor eléctrico, la transmisión mecánica y las ruedas motrices. El de la fuente de energía, compuesto por la fuente de energía, la unidad de gestión de energía, y la unidad de recarga de energía. Y por el auxiliar, compuesto por la unidad de dirección asistida, la unidad de control

climático y la unidad de alimentación auxiliar. (Ehsani, Gao, & Emadi, 2010). La arquitectura resumida de un BEV, puede verse en la Figura 1 donde se ve el principio de los sistemas de tracción de los EV. Dependiendo de la arquitectura del vehículo y de sus fuentes de energía puede hacerse más compleja su estructura mecánica.

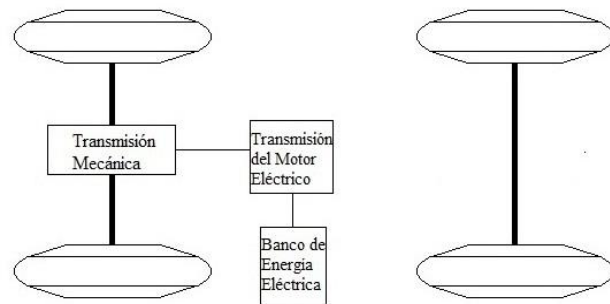


Figura 1. Sistema básico de tracción de un EV, Realizada por el autor (2014)

El caso particular de estudio se presenta a continuación:

Renault Fluence Z.E. Cuenta con una batería de Ión-Litio de 70 kWh a una tensión de 400 V, una capacidad energética de 22 kWh y 65 Ah. Autonomía declarada de 185 km en rutas urbanas, que puede verse afectada por el uso del aire acondicionado y varía según la topología en la que se use el vehículo. Adelante se encuentra el motor eléctrico síncrono reversible que puede

alcanzar un torque máximo de 226 Nm. El sistema de baterías se ubica en la maleta del vehículo lo cual obliga a tener un refuerzo en la suspensión trasera para soportar el peso allí ubicado. (Renault, 2012).

Este vehículo fue puesto a disposición del laboratorio de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad Pontificia Bolivariana por parte de la empresa Sofasa S.A. para realizar pruebas que lograron determinar su desempeño y así corroborar los datos definidos por New European Driving Cycle (NEDC). (Green Car Congress, 2010)

2.2. Vehículo Eléctrico Híbrido Conectable (PHEV)

Se considera Vehículo Híbrido al que cuente con dos o más fuentes de alimentación. Se enfocó el interés en un vehículo compuesto por un motor de IC y por un motor eléctrico. La interacción de ambas fuentes de energía le ayudan al motor de IC a mejorar su rendimiento, aprovechando la alta eficiencia de los motores eléctricos e incrementando el rango de funcionamiento del vehículo comparado con un BEV.

Para estos vehículos, se tienen sistemas de control que operan sobre los trenes de potencia y favorecen su operación logrando que la potencia demandada por el vehículo sea tomada por la fuente de energía que opere en la región más eficiente. (Ehsani, Gao, & Emadi, 2010). Según el trabajo que se encuentre realizando cada uno de los sistemas de transmisión, los HEV se pueden clasificar en Serie y Paralelo, con el fin de lograr el mejor acople y desacople de los trenes de potencia del vehículo.

Serie. El sistema de transmisión se compone por dos fuentes de energía eléctrica que alimentan el motor eléctrico el cual mueve el vehículo. El tanque de combustible es una fuente de energía unidireccional y su convertidor es el motor de IC acoplado al generador eléctrico. El controlador opera el motor de IC a través del acelerador, y controla al convertidor y al motor de tracción para mover el vehículo, este proceso se da para diferentes tipos de funcionamientos, para mayor detalle sobre ellos puede dirigirse al libro (Ehsani, Gao, & Emadi, 2010).

Paralelo. Acá se suman dos potencias mecánicas en un acoplador. El motor de IC ahora es la fuente principal de energía, las baterías y el motor eléctrico son secundarios y los flujos de potencia son controlados por el motor de IC y por el motor eléctrico. Su ventaja se da porque el motor de IC y el motor eléctrico suministran el torque requerido por las ruedas reduciendo pérdidas de energía y no requiere de un generador adicional, sin embargo requiere un sistema de control complejo debido al acople entre el motor de IC y el motor eléctrico. Pueden verse los funcionamientos para esta configuración en el libro (Ehsani, Gao, & Emadi, 2010).

El foco de estudio de este trabajo fue el Vehículo Eléctrico Híbrido Conectable (Plug-In Hybrid Electric Vehicle - PHEV), que tiene la misma arquitectura del HEV, sin embargo el primero es la versión conectable, por lo que sus baterías pueden ser recargadas al conectarse a la red de energía eléctrica, para los HEV sus baterías solo pueden cargarse mediante el frenado regenerativo. Fue entonces el PHEV presentado a continuación caso de estudio para este trabajo.

Toyota Prius Plug-in. Cuenta con un motor de IC de 1.8 lt. y 73 kW de potencia. Según la demanda el motor de IC impulsa el vehículo o impulsa el generador eléctrico que carga las baterías. Cuenta con dos motores eléctricos de imán permanente con una potencia de 60 kW cada uno, un motor eléctrico se encarga de impulsar el vehículo y el otro funciona como generador eléctrico suministrando carga al banco de baterías.

Tiene un banco de baterías de Niquel-Metal Hidruro (NiMH) de 5,2 kWh, a una tensión de 207,2 V, permite un rango de autonomía de 18 km aproximadamente. La autonomía total del vehículo con el depósito de gasolina lleno y las baterías cargadas según datos de la EPA es de 870 km. (U.S Department of Energy, 2015)

2.3. Vehículo Eléctrico de Rango Extendido (EREV)

Su fuente principal de energía es la suministrada por las baterías del vehículo. Mientras las baterías estén en el rango permitido el EREV no consume combustible, pero cuando su batería llega al límite, el motor IC se enciende para alimentar el motor generador y este suministra energía para cargar las baterías del vehículo.

Su funcionamiento es similar al de los PHEV, su diferencia está en que en este caso el motor de IC no realiza tracción del vehículo, solo mueve el motor generador que mantiene una carga en las baterías, por ello cuentan con un motor de IC más pequeño que el de los PHEV. Por su parte los motores eléctricos para los EREV son más grandes para incrementar su autonomía en recorridos urbanos. Por lo tanto no se ahondara en detalles sobre esta

arquitectura, pues ya fue mencionada en la sección anterior. A continuación se define el caso particular de estudio de los EREVs.

Chevrolet Volt. Cuenta con un motor de IC de 1.4 lt. y 63 kW de potencia, cuenta con dos motores eléctricos, el principal de 111 kW como motor de tracción y el secundario de 55 kW como generador. Cuenta con un banco de baterías de Ión-Litio de 16 kWh, donde solo 10 kWh pueden ser usados, esto para mantener un margen evitando que las baterías se descarguen por completo y puedan ser cargadas por el motor de IC. Según datos registrados por la EPA, el Chevrolet Volt cuenta con una autonomía de 56 km en modo solo eléctrico, la autonomía total del vehículo con el depósito de gasolina lleno y con el banco de baterías cargadas es de 610 km. (U.S Department of Energy, 2015)

Su unidad de accionamiento se compone por dos motores, tres embragues y un sistema de transmisión con engranajes planetarios, que permite mejorar la eficiencia del vehículo al reducir la velocidad de rotación combinada de los motores eléctricos, reduciendo el consumo de energía de las baterías y aumentando la autonomía del vehículo. (General Motors, 2010).

3. EXPERIENCIA UPB CON VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Conocidas las arquitecturas de los vehículos y teniendo a disposición un BEV (Renault Fluence Z.E), se estudió el vehículo bajo estándares internacionales que ayudaron a probarlo. Se definieron las pruebas con las que se determinó la autonomía del mismo, se conoció el impacto que genera la carga de este y se logró

comprender su comportamiento para la topología de la ciudad de Medellín. Las pruebas se basaron también en las pruebas realizadas anteriormente por la UPB al Chevrolet Volt y así se encontraron similitudes y diferencias entre las arquitecturas estudiadas.

Las pruebas realizadas son enunciadas a continuación:

3.1. Pruebas de Ruta

Se realizaron evaluando el comportamiento y desempeño del vehículo en determinados terrenos. Se analizó la respuesta del vehículo ante ascensos y en descensos, su consumo con los sistemas auxiliares encendidos, con su máxima capacidad de pasajeros y el efecto del frenado regenerativo a las baterías. A continuación se muestran las pruebas realizadas y sus resultados.

Ruta Envigado-Balsos-UPB. Se sometió al vehículo a una pendiente de ascenso de 31,1 %, con un pasajero y el sistema de iluminación y aire acondicionado apagados. En la Tabla 2 se muestran los valores obtenidos. Donde finalizó el ascenso, el medidor de la carga llegó al límite inferior, se encendió el testigo de batería baja y el estimador de autonomía no declaró ningún valor, sin embargo al descender se evidenció el efecto del frenado regenerativo que cargó las baterías. Al finalizar el descenso se tuvo

Tabla 2. Ruta Envigado-Balsos-UPB

Ruta (km)	Est. Ini (km)	Est. Fin (km)	Energía (kWh/100km)	Cons.Prom (kWh)	Vel.Prom (km/h)	A/A
22	24	10	14	3,29	15,6	No

una autonomía declarada de 14 km y el medidor de batería llegó hasta el 12,5 % de la carga.

Ruta UPB-Palmas-UPB. Se realizó en 3 ocasiones para comparar el comportamiento del vehículo sometido a diferentes condiciones como el peso de los ocupantes y el consumo de los sistemas auxiliares. La pendiente máxima fue de 52,7 %. En la Tabla 1 se ven los resultados. Como no se dieron diferencias notorias en las rutas realizadas se tomaron valores promedios como resultado de la prueba.

Ruta UPB-Palmas-Los salados-UPB. Se evaluó el comportamiento del vehículo en un recorrido mixto, se inició con un ascenso de 52,7 % y luego se condujo por un descenso donde se recuperó energía mediante el frenado regenerativo. En el regreso se sumó una pendiente de ascenso de 21,6% por lo que se vigiló el estado del medidor de la batería. En la Tabla 3 se observan los resultados de la prueba que se hizo con 4 pasajeros y con los sistemas auxiliares apagados. Se determinó que estos vehículos pueden ser sometidos a terrenos variantes y ello no afecta su rendimiento.

Ruta UPB-Barbosa-Sabaneta-UPB. Se sometió al vehículo a un recorrido plano y se comparó la autonomía real con la declarada. Se realizó con 3 pasajeros y se tuvo una pendiente máxima de 8,6 %. En la Tabla 4 se observan los valores obtenidos.

Tabla 1. Ruta UPB-Palmas-UPB

Ruta (km)	Est. Ini (km)	Est. Fin (km)	Energía (kWh/100km)	Cons.Prom (kWh)	Vel.Prom (km/h)	A/A
38,6	83,3	49	14,03	5	30,6	--

Tabla 3. Ruta UPB-Los Salados-UPB

Ruta (km)	Est. Ini (km)	Est. Fin (km)	Energía (kWh/100km)	Cons.Prom (kWh)	Vel.Prom (km/h)	A/A
54,4	82	56	13,7	7	26,4	No

Se recorrió un total de 107 km, un valor inferior a la autonomía declarada, cabe resaltar que el vehículo no se descargó totalmente, el estado del medidor llegó a su límite inferior y por seguridad se detuvo la prueba.

Tabla 4. Ruta UPB-Barbosa-Sabaneta-UPB

Ruta (km)	Est. Ini (km)	Est. Fin (km)	Energía (kWh/100km)	Cons.Prom (kWh)	Vel.Prom (km/h)	A/A
107	105	12	12,7	13	35,8	No

Rutas cotidianas en la ciudad. Se evaluó la autonomía del vehículo para la topología de la ciudad. Se hicieron recorridos urbanos, bajo ciclos de conducción definidos por la NEDC que están comprendidos en dos fases, una de conducción urbana, conduciendo por periodos cercanos a una hora y con paradas por embotellamientos. Y otra conduciendo en zona extra urbana, con una velocidad máxima de 120 km/h como puede verse en (FIA Foundation, ADAC). Cumpliendo con los protocolos se condujo el vehículo por distancias cercanas a 11 km, a una velocidad promedio de 33 km/h, sin aire acondicionado, manteniendo un modo de conducción continuo, y haciendo ciclos de descarga completos de la batería. (Mock, German, Bandivaderkar, & Riemersma, 2012).

El vehículo se recibió con 14430 km y se entregó con 16080 km. Se vio que durante la mañana el consumo energético fue menor porque se mantuvo el vehículo en la zona más eficiente por la velocidad alcanzada, como lo indican en (Hooker, 1988). Para los recorridos en la tarde se dieron embotellamientos vehiculares, lo que no permitió exceder la velocidad de 20 km/h, aumentando el consumo del vehículo. También al encender las luces del vehículo se incrementó su consumo, porque el Renault Fluence Z.E está equipado con iluminación halógena no con iluminación Led que es la recomendada para usar en los EVs con el fin de disminuir su consumo.

Respecto a la autonomía del vehículo, se recibió declarando 60 km y se entregó declarando 118 km, el cual es un valor inferior al teórico, se mostró una evolución durante el tiempo de las pruebas como puede verse en la Figura 2. Esto se dio porque los EVs estiman el rango basados en la conducción a la que son sometidos, por los ciclos de carga de las baterías y por largos periodos de inactividad.

3.2. Prueba de capacidad de ascenso

Se midió la potencia del vehículo, la potencia del motor del, la potencia absorbida y la potencia de las ruedas, se comparó con la norma DIN 70020 y se verificó que se encontró en los valores permitidos. Los resultados obtenidos en la prueba se muestran en la Tabla 5 y en la Figura 3 se muestra gráficamente los resultados y se observa que los valores estuvieron en los rangos permitidos por la norma.

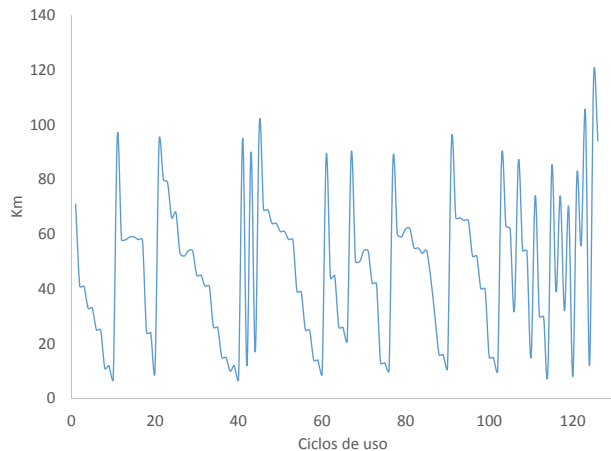


Figura 2. Evolución autonomía en ciclos de uso, Renault Fluence Z.E. Imagen del autor (2015)

3.3. Prueba medición posible impacto de la carga del vehículo

Se evaluó el impacto ocasionado en la carga de los EVs a la red de energía, esto durante un ciclo de carga del Renault Fluence Z.E y el Chevrolet Volt. Con esto se simuló un proceso de carga de EVs, pensando en el escenario de la masificación de los mismos.

Tabla 5. Prueba Dinamómetro

	Velocidad (km/h)		
Potencia DIN 70020 (kW)	118,2	84 km/h	3024 RPM
Potencia Motor (kW)	115,4		
Potencia Rueda(kW)	111,5		
Potencia Absorbida (kW)	3,9		
Par Motor (Nm)	434,6	70 km/h	2520 RPM
Máxima Velocidad (km/h)	132		
Máximas RPM	4883		
Temp Aceite (° C)	0,0		
Temp. Aire (° C)	30,0		
Presión Atmosférica (mbar)	1013		

Potencia Activa. Se determinó el consumo generado por la carga de los EVs. Se observó que la carga de ambos vehículos generó un consumo 6 kW por cada hora de carga y que el Chevrolet Volt se cargó en menos tiempo porque su banco de baterías es menor que el del BEV el cual finalizó su carga pasadas seis horas de carga.

Potencia Aparente: Se midió la potencia total desarrollada en el proceso de carga de los vehículos, se vio un comportamiento similar a la medición de potencia activa, la máxima potencia se dio mientras los dos vehículos estuvieron conectados y fue de 7,3 kVA. Al desconectarse el Volt se dio una potencia por la carga del Fluence Z.E de 3,7 kVA.

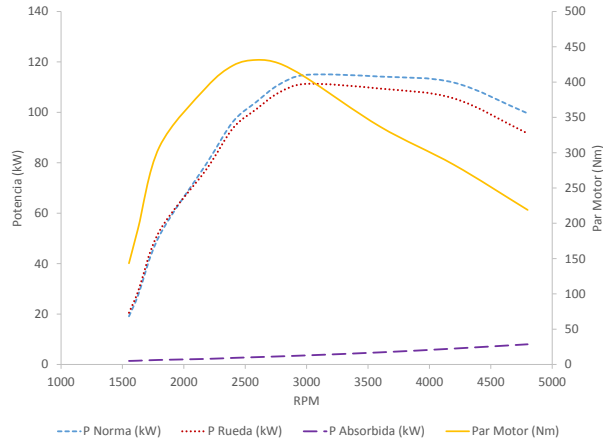


Figura 3. Prueba dinamómetro realizada al Renault Fluence Z.E. Imagen del autor (2015)

Factor de potencia. Se encontró que dicho valor no estuvo dentro de los valores permitidos por la norma (CREG, 2004) se obtuvo un valor de 0,86 en la medición. Lo que llevó a concluir que en los puntos de carga será necesario realizar compensaciones que mantengan dicho valor en el rango permitido para evitar sanciones.

Armónicos. Se midieron los armónicos generados durante la carga de los vehículos, solo se tomaron los armónicos de voltaje, en la Figura 4 pueden observarse los valores de la (THD V), allí puede verse que se encuentran en los rangos permitidos, pues no se superó el 8% referido en la norma (IEEE, 2014)

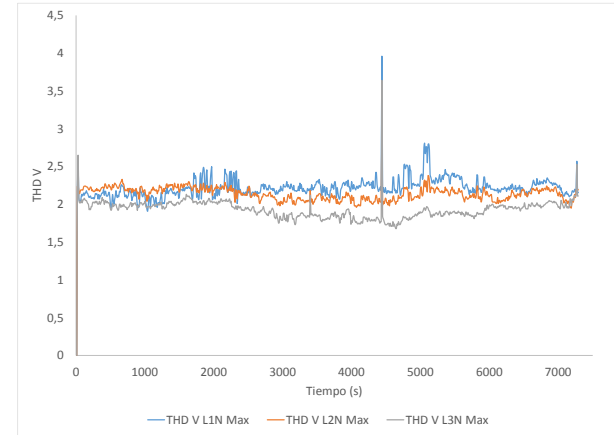


Figura 4. Medición Distorsión Armónica Total de Voltaje (THD). Imagen del autor (2015)

4. NOMENCLATURA RECOMENDADA Y ARQUITECTURA SIMPLIFICADA

Se propuso una nomenclatura que facilite la comprensión de las arquitecturas de los EVs, mediante los datos más relevantes, como su autonomía, eficiencia, consumo energético, sus fuentes de energía y su funcionamiento. Se hizo basado en los datos más relevantes para la calificación de los vehículos determinada por la EPA y por Fuel Economy. En la Figura 5 puede verse una adaptación realizada a una de las gráficas entregada por la EPA.



Figura 5. Adaptación tabla EPA para calificación de vehículos. Imagen autor (2015)

Los criterios usados en la nomenclatura y arquitectura recomendada se definen así:

Nomenclatura recomendada. Basado en las fuentes de alimentación de cada vehículo según su tecnología y arquitectura. A continuación se muestra la referencia de cada elemento.

Color azul. Motor eléctrico encargado de impulsar el vehículo.

Color rojo. Motor de IC encargado de impulsar el vehículo.

Color naranja. Motor de IC que no se encarga de impulsar el vehículo.

Tamaño de la esfera. Indica el tamaño del motor y el rango del vehículo cuando usa cada motor. En cada esfera se indicó la autonomía del vehículo y su consumo en Millas por Galón equivalente y en kilómetros por galón.

Tamaño de las barras. Indica el consumo energético del vehículo. Su color está indica la fuente de energía a la que se hace referencia

Con esta propuesta se pretende que un usuario de EVs pueda reconocer con facilidad el rango de uso que le permite su vehículo, esto determinado por su consumo energético y por la posible interacción entre sus fuentes de energía, finalmente permite que el usuario planifique posibles rutas según la autonomía del vehículo

Arquitectura simplificada: Con ella se quiso resumir gráficamente el funcionamiento de los EVs según sus arquitecturas.

Se mostrarán las tecnologías estudiadas y la aplicación de la nomenclatura a sus casos particulares, donde se podrán diferenciar sus fuentes principales de energía y cómo interactúan entre ellas cuando el vehículo se encuentra en funcionamiento, facilitando la comprensión de las tecnologías para fines académicos.

4.1. Renault Fluence Z.E

Con las baterías como su única fuente de energía y contando con un motor eléctrico para ser impulsado, se observa en la Figura 6 la representación de dicho vehículo.

Existió variación en los resultados respecto a los valores teóricos. Se vio que el consumo energético no excedió los 13 kWh, lo cual pudo darse por deterioro de las baterías o por una protección al banco de baterías. Esto no pudo determinarse claramente por la cantidad de rutas realizadas, para ello sería necesario estudiar la vida útil de las baterías.

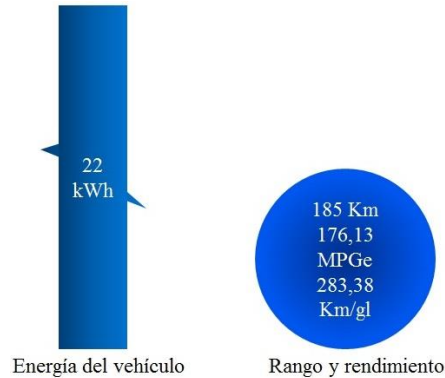


Figura 6. Nomenclatura Recomendada Renault Fluence Z.E datos teoricos. Imagen autor (2015)

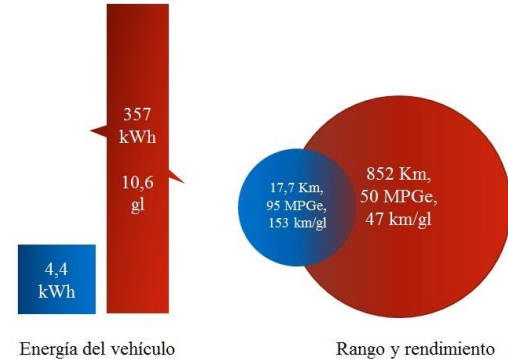


Figura 7. Nomenclatura recomendada Toyota Prius, Modelo 2012. Imagen del autor (2015)

4.2. Toyota Prius Plug-in

Como ya se dijo, opera con un motor de IC y con un motor eléctrico. Se tomaron los datos de estándares internacionales (U.S Department of Energy, 2015) para aplicarlos a la metodología recomendada. Se observa en la Figura 7 la nomenclatura sugerida para esta tecnología. La interacción de las circunstancias muestra que ambas fuentes de energía realizan la tracción del vehículo según la demanda del mismo.

Luego con el estudio de la arquitectura de los PHEV, se muestra en la Figura 8 la arquitectura simplificada para esta tecnología y para el caso particular del Toyota Prius Plug-In.

4.3. Chevrolet Volt

Como ya se mostró opera con un motor de IC pequeño, el motor eléctrico por su parte se encarga de moverlo por lo tanto es más grande que el de los PHEV, en la Figura 9 se puede observar la nomenclatura sugerida para esta tecnología.

La interacción entre las fuentes muestra cuando el motor de IC suministra energía para cargar las baterías. La información se tomó de los datos de declarados por la EPA y del estudio realizado por la UPB (U.S Department of Energy, 2015) (Díez Restrepo, y otros, 2013).

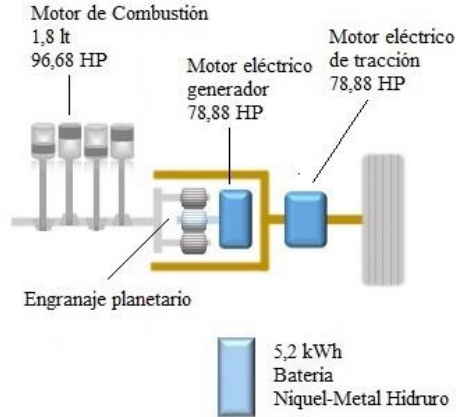


Figura 8. Arquitecturta Toyota Prius Plug-in.
Imagen del autor (2015)

Con el estudio de la arquitectura de los EREV, se muestra en la Figura 10 la arquitectura simplificada para esta tecnología y para el caso particular del Chevrolet Volt.

4.1. Aplicación nomenclatura.

Mostrando el uso de esta herramienta, se da el caso de un usuario que quiera conocer la frontera operativa de su vehículo. Como las distancias lineales en los mapas son diferentes de las distancias en carreteras reales, se buscó una razón media en Colombia.

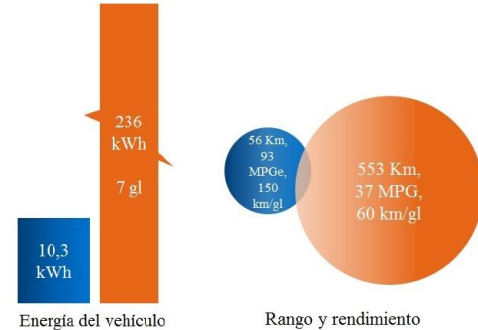


Figura 9. Nomenclatura recomendada Chevrolet Volt, Modelo 2012. Imagen del autor (2015)

Se ubica una circunferencia con centro en la ciudad de origen, que para el caso práctico será la ciudad de Medellín y se tomó como referencia la ruta Medellín Bogotá, la cual tiene una distancia de 447,7 km en carretera y 248 km lineales, obteniendo una razón de 1,81 y tomando el Renault Fluence Z.E. como vehículo referencia.

Se marca el radio del círculo con el rango del vehículo ajustado a la razón calculada para darle al usuario una expectativa conservativa del uso de su vehículo, se marca así el rango de operatividad determinado por la circunferencia con los valores ajustados y se define que cercano al límite de la circunferencia el usuario programara detenerse para cargar el vehículo.

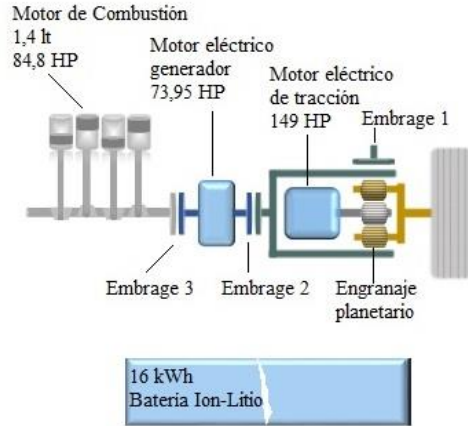


Figura 10. Arquitectura Chevrolet Volt. Imagen del autor (2015)

Se muestra en la Figura 11 marcado con azul el caso en el cual el usuario definiría ir y volver a su punto de partida y en rojo, hasta donde podría llegar el usuario programando detenerse a cargar el vehículo. Así un usuario identificaría su rango de operación y permitiría a los planificadores ubicar posibles puntos de recarga. Se resalta que no se tiene en cuenta el comportamiento del vehículo enfrentado a pendientes, aunque se planteó una metodología conservativa debe mantener vigilancia sobre el estado y consumo de las baterías durante el recorrido realizado.

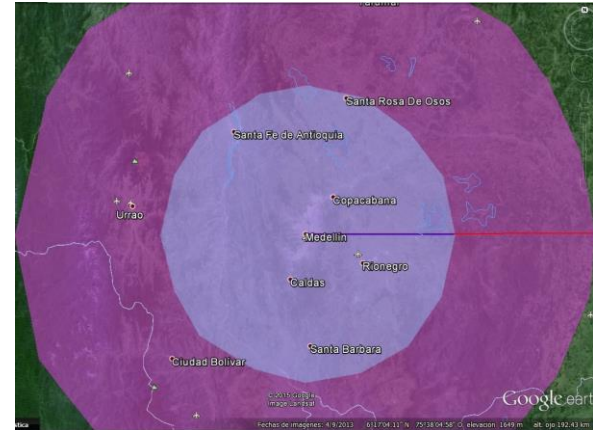


Figura 11. Rango operatividad, Renault Fluence Z.E. Imagen del autor (2015)

5. CONCLUSIONES

Se realizaron estudios sobre las arquitecturas que incorporaran tracción eléctrica y fueran conectables a la red de energía eléctrica, se identificaron los aspectos importantes de sus arquitecturas y se encontraron diferencias en sus funcionamientos.

Se identificaron variables y parámetros que permitieron evaluar el desempeño de los vehículos eléctricos mediante el estudio de las

arquitecturas de los mismos y de experiencias reseñadas por parte del grupo de investigación y de estándares internacionales.

Se diseñaron protocolos y pruebas que permitieron evaluar el desempeño de los vehículos eléctricos. Se verificó que la carga de varios vehículos eléctricos no produce una demanda significativa a la red de energía. Sin embargo se obtuvo un factor de potencia inadecuado, por esto se determinó que en el escenario de la masificación de estos vehículos será necesario realizar compensaciones capacitivas con el fin de incrementar dicho valor.

En el estudio del desempeño del Renault Fluence Z.E. se determinó que cumple con condiciones satisfactorias para ser utilizado en vías urbanas y cotidianas para la ciudad de Medellín. Se evidenció la evolución de la autonomía del vehículo durante el tiempo que se probó, esto se dio por el tipo de conducción y el uso continuo del mismo. Sin embargo se vio una diferencia entre los resultados de las pruebas y los valores teóricos de la capacidad energética, esto se dio por una protección al banco de baterías o por un deterioro significativo de las mismas. Produciendo un escenario poco promisorio para este vehículo.

Se identificó que los Vehículos Eléctricos estiman su autonomía por la topología a la que se enfrentan y por la forma en la que se conducen, evitar aceleraciones y frenadas innecesarias facilita que la corriente que circula de la batería al motor y en sentido contrario se aproveche de manera adecuada. También se evidencio que alcanzar velocidades adecuadas durante los recorridos permite que los motores funcionen bajo condiciones óptimas y se tenga mejor

rendimiento de los vehículos con mayor eficiencia y reducción del consumo.

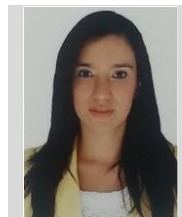
Se observó que el rendimiento del vehículo va ligado al cuidado de la batería, respetar los ciclos de carga, procurando usar el vehículo cuando se encuentre totalmente cargado y hasta que el rango de funcionamiento lo permita. A su vez el uso continuo de estos vehículos impide que las baterías sean descargadas por corrientes parasitas, lo que afecta la autonomía de funcionamiento de los Vehículos Eléctricos.

REFERENCIAS

- AutoBlog. (14 de Septiembre de 2011). *2012 Toyota Prius Plug-In Hybrid now offers 111 MPGe*. Obtenido de <http://www.autoblog.com/2011/09/14/2012-toyota-prius-plug-in-hybrid-mpge-mpg/>
- CREG. (1 de Junio de 2004). *Comisión de Regulación de Energía y Gas*. Obtenido de <http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/Indice01/Resoluci%C3%B3n-2004-CREG047-2004>
- Díez Restrepo, A. E., Bohórquez Cortázar, J. A., Restrepo Laverde, J. V., Lopera Perez, J., Osorio Sanchez, M., & Longas Sanchez, D. (2013). *Análisis de la Masificación del Vehículo Eléctrico Desde el Punto de Vista de Terpel*. Medellín.
- Ehsani, M., Gao, Y., & Emadi, A. (2010). Modern Electric, Hybrid Electric, and Applications Series and Fuel Cell Vehicles. Fundamental, Theory, and Design. En *Power Electronics and Applications Series* (pág. 558).
- FIA Foundation, ADAC. (s.f.). *EcoTest*. Obtenido de Testing and Assessment Protocol. Release 2.0 : <http://www.ecotest.eu/html/Testing%20and%20Assessment%20Protocol.pdf>
- General Motors. (11 de 10 de 2010). *GM News*. Obtenido de Chevrolet Volt: Engineered for Everyday Life:

- http://media.gm.com/media/us/en/gm/news.detail.html/content/Pages/news/us/en/2010/Oct/1011_gm_volt.html
- General Motors Company. (s.f.). *Chevrolet Volt*. Obtenido de Guia para equipos de emergencia: <https://www.gmstc.com/WebTreeDocuments/download.asp?IID=9&ND=620>
- General Motors. (s.f.). *GM U.S. Deliveries for December 2011 - Divisional Brand Level*. Obtenido de Sales Reporting and Data Management: http://media.gm.com/content/Pages/news/us/en/2012/Jan/gmsales/_jcr_content/rightpar/sectioncontainer/par/download/file.res/Deliveries%20December%202011.pdf
- Green Car Congress. (15 de Abril de 2010). *Energy, Technologies, Issues and Policies for Sustainable Mobility*. Obtenido de <http://www.greencarcongress.com/2010/04/renault-20100415.html#more>
- Hooker, J. (1988). Optimal driving for single-vehicle fuel economy. *Transportation Research Part A: General*, 183-201.
- IEEE. (27 de Marzo de 2014). *IEEE STANDARDS ASSOCIATION*. Obtenido de IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?tp=&arnumber=6826459&refinements%3D4294965216%26queryText%3DIEEE+519>
- Inside EVs. (s.f.). *Inside EVs*. Obtenido de March 2014 Plug-In Electric Vehicle Sales Report Card: <http://insideevs.com/march-2014-plug-electric-vehicle-sales-report-card/>
- Kampman, B., Leguijt, C., Bennink, D., Wielders, L., Rijkee, X., de Buck, A., & Braat, W. (Enero de 2010). *Transport & Environment*. Recuperado el Septiembre de 2014, de <http://www.transportenvironment.org/sites/te/files/media/green-power-for-electric-cars-report-08-02-10.pdf>
- Laque, P., Alvarez, D., & Vera, C. (2008). *Google Academics*. Obtenido de Ingeniería del Automóvil, Sistemas y comportamiento dinámico: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=JDuzY9j6HwMC&oi=fnd&pg=PP1&dq=norma+alemana+din+70020&ots=IfKs2WtXX0&sig=CEUoN3VvvCrf-uNJaOcZlB8KCI#v=onepage&q&f=false>
- Mock, P., German, J., Bandivaderkar, A., & Riemersma, I. (Abril de 2012). *ICCT (The International Council On Clean Transportation)*. Obtenido de Discrepancies between type-approval and "real-world" fuel consumption and CO2 values: http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_EU_fuelconsumption2_workingpaper_2012.pdf
- Renault. (2012). *Renault Fluence ZE*. Recuperado el Septiembre de 2014, de <http://www.renault.es/media/catalogos-pdf-nov11/att00341941/fluenceze.pdf>
- Twenergy. (Mayo de 2012). *Twenergy*. Recuperado el Septiembre de 2014, de <http://twenergy.com/a/tipos-de-coches-electricos-en-el-mercado-actual-181>
- U.S Department of Energy. (31 de Marzo de 2015). *Fuel Economy*. Obtenido de Energy Efficiency & Renewable Energy: <http://www.fueleconomy.gov/feg/findacar.shtml>
- UPME, Universidad del Atlántico, Universidad Autónoma de Occidente. (s.f.). *Sistemas de Información de Eficiencia Energética y Energías Alternativas*. Obtenido de Calidad de la Energía Eléctrica: <http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Gie/Docs/calidad.pdf>

AUTOR



Melissa RODRIGUEZ MEJIA. Egresada próxima a graduarse del programa de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Pontificia Bolivariana. Pertenece al semillero de investigación en Transmisión y Distribución de Energía eléctrica y con él al Consejo Mundial de Energía, capítulo Colombiano COCME. Fue representante estudiantil por dos años de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica y un año representante ante la Escuela de Ingeniería de la UPB.