

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

*Melissa Rodríguez Mejía*

**Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Electricista...**

*Director*

*Armando Bohórquez Cortázar*

*IE. MSc en Transmisión y Distribución de Energía*

**Universidad Pontificia Bolivariana  
Escuela de Ingenierías  
Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica  
Ingeniería Eléctrica  
Medellín  
2015**

---

## **Dedicatoria**

*A toda mi familia, por su apoyo, su acompañamiento y su comprensión durante todo este ciclo profesional, cada uno represento una ficha clave en este proceso...*

---

## **Agradecimiento**

Le agradezco primero a Dios, por todas las bendiciones recibidas durante este proceso de formación, a mi familia, por su compañía y apoyo, a cada una de las personas que de una u otra manera me ayudo a conseguir este logro personal y profesional.

A mi profesor Andrés E. Diez por compartir generosamente su conocimiento y por su disposición en todo momento para brindar asesoría y tutoría, gracias por las muchas enseñanzas que ha dejado en mi carrera profesional. A mi director Armando Bohórquez, por brindarme la posibilidad de realizar este proyecto y por su asesoría durante mi formación profesional.

A todo el personal del Laboratorio de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, por estar siempre dispuestos y por facilitarme el espacio y las herramientas necesarias en la elaboración de este proyecto de grado. A todos mis docentes por todas las enseñanzas que dejaron en mi durante todo mi proceso de formación.

A todos Muchas Gracias

---

## Contenido

INTRODUCCIÓN.....	11
1. ARQUITECTURAS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS .....	12
1.1. Vehículo Eléctrico a Batería (BEV) .....	13
1.2. Vehículo Eléctrico Híbrido Conectable (PHEV) .....	16
1.3. Vehículo Eléctrico de Rango Extendido (EREV) .....	20
2. EXPERIENCIA UPB CON VEHÍCULOS ELÉCTRICOS .....	24
2.1. Pruebas de Ruta .....	25
2.2. Prueba de capacidad de ascenso .....	31
2.3. Prueba medición posible impacto de la carga del vehículo.....	32
2.4. Economía de los EVs.....	35
2.5. Divulgación y apropiación social del conocimiento .....	36
3. NOMENCLATURA RECOMENDADA Y ARQUITECTURA SIMPLIFICADA .....	39
3.1. Renault Fluence Z.E .....	40
3.2. Toyota Prius Plug-in.....	43
3.3. Chevrolet Volt .....	44
3.4. Aplicación nomenclatura.....	45
4. CONCLUSIONES .....	48
REFERENCIAS .....	50
AUTOR .....	52

## Lista de Figuras

Figura 1. Sistema básico de tracción de un EV, Realizada por el autor (2014).....	14
Figura 2. Renault Fluence Z.E. Vehículo Eléctrico a Baterías, Tomada por el autor (2014) .....	15
Figura 3. Renault Fluence Z.E. Vehículo Eléctrico a Baterías, Cortesía de Valentin Restrepo (2013).....	22
Figura 4. Vehículos Eléctricos, casos estudiados por el grupo TyD de la UPB. Imagen del autor (2014).....	25
Figura 5. Evolución autonomía en ciclos de uso, Renault Fluence Z.E. Imagen del autor (2015).....	30
Figura 6. Prueba dinamómetro realizada al Renault Fluence Z.E. Imagen del autor (2015).....	32
Figura 7. Medición Potencia Activa Vehículos Eléctricos. Imagen del autor (2015).....	33
Figura 8. Medición Potencia Aparente Vehículos Eléctricos. Imagen del autor (2015).....	33
Figura 9. Medición Factor de Potencia Vehículos Eléctricos. Imagen del autor (2015) .....	34
Figura 10. Medición Distorsión Armónica Total de Voltaje (THD). Imagen del autor (2015).....	35
Figura 11. Divulgación del conocimiento para el CTA. Cortesía de Paula Restrepo (2014) .....	37
Figura 12. Divulgación del conocimiento en tutorías. Cortesía de Andrés E. Díez (2015).....	38
Figura 13. Adaptación tabla EPA para calificación de vehículos. Imagen autor (2015) .....	39
Figura 14. Nomenclatura Recomendada Renault Fluence Z.E con datos teóricos. Imagen autor (2015) .....	41
Figura 15. Nomenclatura Recomendada Renault Fluence Z.E con datos obtenidos. Imagen autor (2015) .....	41
Figura 16. Comparación entre datos teóricos y reales. Renault Fluence Z.E. Imagen autor (2015) .....	42
Figura 17. Arquitectura Renault Fluence Z.E. Imagen del autor (2015) .....	42
Figura 18. Nomenclatura recomendada Toyota Prius, Modelo 2012. Imagen del autor (2015).....	43
Figura 19. Arquitectura Toyota Prius Plug-in. Imagen del autor (2015).....	44
Figura 20. Nomenclatura recomendada Chevrolet Volt, Modelo 2012. Imagen del autor (2015) .....	44
Figura 21. Arquitectura Chevrolet Volt. Imagen del autor (2015) .....	45
Figura 22. Rango operatividad, ida y vuelta Renault Fluence Z.E. Imagen del autor (2015) .....	46
Figura 23. Rango operatividad, Renault Fluence Z.E. Imagen del autor (2015) .....	46

## Lista de Tablas

Tabla 1. Ruta Envigado-Balsos-UPB .....	26
Tabla 2. Ruta UPB-Palmas-UPB.....	26
Tabla 3. Ruta UPB-Palmas-UPB.....	27
Tabla 4. Ruta UPB-Palmas-UPB.....	27
Tabla 5. Ruta UPB-Los Salados-UPB.....	28
Tabla 6. Ruta UPB-Barbosa-Sabaneta-UPB .....	28
Tabla 7. Prueba Dinamómetro.....	31
Tabla 8. Tarifa y costos de energía eléctrica EV .....	35

## Glosario

**BEV:** Siglas en inglés para referirse a Vehículos Eléctricos a Batería (Battery Electric Vehicle), Una de las tecnologías disponibles para vehículos de tracción eléctrica, cuya fuente de energía proviene únicamente de sistemas de baterías recargables instaladas en el vehículo.

**EREV:** Siglas en inglés para referirse a Vehículos Eléctricos de Rango Extendido (Extended Range Electric Vehicle), vehículos que cuentan con un motor eléctrico encargado de la tracción del vehículo y con un motor de combustión interna, el cual funciona como generador para cargar las baterías, su fuente principal de energía es la entregada por las baterías, cuenta con frenado regenerativo que carga también las baterías, permiten aumentar la autonomía del vehículo debido a la carga entregada por el motor térmico.

**HEV:** Siglas en inglés para abreviar Vehículos Eléctricos Híbridos (Hybrid Electric Vehicle), uno de los tipos de vehículos eléctricos, cuenta con un motor de combustión interna y adicionalmente con un sistema de baterías el cual únicamente se carga por medio del motor de combustión y del frenado regenerativo del vehículo. Su fuente principal de energía es el combustible fósil.

**EVs:** Siglas en inglés que hace referencia a Vehículos Eléctricos (Electric Vehicles), independiente de la tecnología que este utilice. Se define para cualquier vehículo que tenga algún tipo de tracción eléctrica.

**Frenado Regenerativo:** Con sus siglas en inglés KERS (kinetic energy recovery system) dispositivo instalado en los vehículos eléctricos o trenes eléctricos, el cual permite reducir la velocidad de estos y transformar la energía cinética en energía eléctrica que es posteriormente almacenada para uso futuro.

**PHEV:** Siglas en inglés que indica Vehículos Eléctricos Híbridos conectables (Plug-In Hybrid Electric Vehicle), se diferencian de los Vehículos Eléctricos Híbridos, porque para este caso si es posible cargar las baterías del vehículo conectándolo a la red de energía eléctrica, también cuentan con un motor de combustión interna y este motor se encarga de la tracción del vehículo.

**NiMH:** Siglas para indicar baterías recargables de Niquel-MetalHidruro.

**ICEV:** Siglas en inglés para referirse a Vehículos con Motor de Combustión Interna (Internal Combustion Engine Vehicle), estos vehículos cuentan con un motor de combustión el cual se encarga de mover el vehículo, su fuente principal de energía son los combustibles líquidos.

**EPA:** Siglas en inglés que se refieren a United States Environmental Protection Agency, Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, la cual tiene como misión la protección de la salud de los seres humanos y del medio ambiente

**NEDC:** Siglas en inglés para denominar New European Driving Cycle, hace referencia a un ciclo de conducción, el cual consiste en cuatro ciclos de conducción repetidos en zona urbana y un ciclo extra urbano, dicha prueba permite evaluar el impacto al medio ambiente producido por los vehículos. Las pruebas realizadas se basan en normatividad Europea sobre emisiones.

**IC:** Siglas en inglés que indican Internal Combustion, usadas cuando se quiere referir a motores que funcionen mediante combustión interna, estos se refieren a motores que requieren de la quema de un combustible para su funcionamiento.

**Range Anxiety:** (Ansiedad de Rango) estado que se presenta al conductor de un vehículo cuando nota que la batería de su vehículo se encuentra próxima a acabarse.



## Resumen

Se realizó el estudio sobre las arquitecturas disponibles para Vehículos Eléctricos, identificando su funcionamiento sus Se evaluó y caracterizó el desempeño de un Vehículo Eléctrico a Batería en Colombia y compararlo con las tecnologías disponibles de vehículos que tienen algún tipo de tracción eléctrica y que son conectables a la red de energía eléctrica, todo esto desde las dimensiones técnicas y económicas, las condiciones topológicas de un país como Colombia y su cultura de manejo. *Copyright © UPB 2013*

Palabras clave: Movilidad Eléctrica, Rango Extendido, Batería Ion-Litio, Tracción eléctrica, Vehículos Eléctricos, Vehículo Eléctrico de Rango Extendido.

## **Abstract**

Study of the architectures available for Electric Vehicles was performed, identifying their their performance was evaluated and characterized the performance of an electric vehicle battery in Colombia and compared with available technologies for vehicles that have some kind of electric traction and are connectable to the power grid , all from the technical and economic dimensions, the topological conditions of a country like Colombia and management culture

Keywords: Electric Mobility, Extended Range, Ion-Litio Battery, Electric traction, Electric Vehicles, Extended Range Electric Vehicle.

## INTRODUCCIÓN

Es sabido que la industria del automóvil constituye en gran parte la columna vertebral de la economía mundial y se puede decir que es la industria que cuenta con mayor participación activa de la población. Sin embargo, el rápido crecimiento de usuarios en los últimos años en países como Colombia, ha ocasionado graves problemas para el medio ambiente y la vida humana por la gran cantidad de emisiones de gases contaminantes. La contaminación del aire, el calentamiento global y el rápido agotamiento de los recursos por actividades de explotación petrolera son ahora problemas de suma importancia para investigadores y académicos. Es por esto, que en los últimos años se ha hecho un gran esfuerzo para desarrollar tecnologías que faciliten el transporte que sean eficientes, seguras y limpias. Es allí donde surgen los Vehículos Eléctricos y proponen sustituir o por lo menos disminuir el uso de los vehículos de combustión convencionales en el futuro cercano.

Debido a dicha problemática surge el interés de conocer más a fondo las tecnologías disponibles para vehículos eléctricos, por ello, mediante este proyecto se pretende establecer el desempeño de un vehículo eléctrico a batería utilizado en Colombia, contrastándolo con un vehículo eléctrico de rango extendido y con un vehículo eléctrico híbrido conectable, desde las dimensiones técnicas y económicas; incluyendo un análisis diferenciador según las distintas condiciones del país, como lo son la topografía, los precios locales de energía y de los combustibles, la matriz energética nacional y las normativas vigentes. Adicionalmente se incluye una recomendación para el manejo de dichos vehículos y

también una nomenclatura que permita entender mejor las arquitecturas de los Vehículos Eléctricos, por lo tanto se propone una metodología más gráfica para diferenciar los datos más importantes de cada vehículo según su arquitectura y que ayuden a conocer el rango de operatividad de cada vehículo, esto puede aportar a la caracterización de vehículos para concesionarios de vehículos particulares, como también puede ser usado para fines académicos y para la inmersión y masificación de estas nuevas tecnologías.

Para conseguir el objetivo del proyecto se trató entonces de formular y realizar protocolos de pruebas de desempeño, elaboradas de forma práctica a un vehículo eléctrico a batería y a un vehículo eléctrico de rango extendido, esta última ya había sido realizado por el grupo de investigación en Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica (TyD) de la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB), con el fin de observar sus consumos energéticos en diferentes condiciones, evaluando su capacidad de ascenso y descenso, el consumo de energía en diferentes rutas, así como también se analizó el comportamiento de los vehículos en rutas de alta pendiente, con diferentes características para las mismas pruebas, analizando el efecto de carga máxima y mínima en el recorrido y la optimización de la carga de la batería con la propiedad del frenado regenerativo.

## 1. ARQUITECTURAS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Durante las últimas décadas la incursión de los Vehículos Eléctricos (EVs) se ha visto obstaculizada por diferentes aspectos, inicialmente por las bajas velocidades que podían alcanzar, por lo que los vehículos de combustión seguían siendo más llamativos para los usuarios, al no contar con vías totalmente pavimentadas se presentaba un buen escenario para elegir un vehículo eléctrico, sin embargo esto cambiaría rápidamente y los usuarios comenzarían a pedir rangos mayores de autonomía, favoreciendo así a los vehículos a gasolina.

Se realizaron intentos con el fin de fortalecer la tecnología de los EVs e implementar herramientas que lograran aumentar su autonomía y mejoraran su desempeño, sin embargo dichos intentos no lograban incursionar con fuerza en el mercado automovilístico. El avance técnico más importante de la época fue la invención del frenado regenerativo, realizado en 1987 por el Francés MA. Darracq, dicho método permite recuperar la energía cinética del vehículo durante el frenado y recargar las baterías, logrando mejorar en gran medida la autonomía y rango del vehículo. (Ehsani, Gao, & Emadi, 2010).

Los vehículos de combustión se fueron mejorando cada día, se volvieron más poderosos, más flexibles, más fáciles de manejar e incluso más asequibles económicamente, provocando que comenzaron a desaparecer los EVs, su alto costo de venta, su autonomía limitada y poco rendimiento debido a la tecnología disponible para la fecha, propiciaron que no hubiese estímulos para

producirlos y que dicha tecnología quedase relegada para ser usada únicamente en los carros de golf o en medios de transporte masivo como en vías férreas, buses y demás.

El principal inconveniente para que se diera la incursión y masificación de estos vehículos han sido las baterías, debido a que se requiere que tengan gran capacidad de almacenamiento de energía pero que no requieran mucho peso, en este ámbito han surgido grandes avances y se ha pensado en diferentes arquitecturas para los vehículos, con el fin de combinar sus fuentes de energía y reducir la dependencia al combustible líquido y a su vez puedan aumentar el rango de autonomía del vehículo. En vista de dicho inconveniente, se ha dado un gran avance en el sistema de control de los EVs, basado en el control de los pedales del acelerador y del freno, el controlador de vehículo entrega las señales de mando indicadas para el convertidor electrónico de potencia, el cual se encarga principalmente de regular el flujo de potencia eléctrica entre el motor y las baterías. Cuando el flujo de potencia se presenta en dirección contraria, se debe al frenado regenerativo, la energía suministrada en el frenado es entregada a las baterías y es almacenada en las mismas. Finalmente la unidad de gestión de la energía funciona en conjunto con el controlador del vehículo operando sobre la inyección de energía a las baterías provocada por el frenado regenerativo y su recuperación de energía en función de proteger los altos picos de tensión en momentos de carga y descarga. Puede verse más de esta evolución en los EVs en la siguiente referencia (Ehsani, Gao, & Emadi, 2010).

Este funcionamiento se presenta para todas las configuraciones presentes de EVs, sin embargo debido a las variaciones en características de propulsión eléctrica y fuentes de energía, se abren las posibilidades para tener diferentes arquitecturas y diseño para estos vehículos y es necesario diferenciarlas y comprenderlas.

Con el fin entonces de conocer más a fondo las tecnologías disponibles para EVs, se realizaron estudios de las diferentes configuraciones y arquitecturas disponibles para los vehículos que incorporan de alguna manera tracción eléctrica, siempre y cuando estos sean conectables a la red de energía, contemplando entre estos, los Vehículos Eléctricos a Batería, Vehículos Eléctricos Híbridos Conectables y Vehículos Eléctricos de Rango Extendido, cada uno de ellos se presentó de forma independiente y se analizó un vehículo referencia de cada tecnología.

Se ha conocido que una de las principales características que destacan a los Vehículos Eléctricos es el hecho de tener un alto rendimiento en la transformación de la energía eléctrica que es entregada desde la batería para convertirla en la energía mecánica que se encarga de mover el vehículo, esto representa entre 65% y 80 %, comparada con la transformación de la energía que realiza un Motor de Combustión Interna (IC) que se encuentra entre 15% y 20 % en todo el rango de velocidad, lo cual muestra una mayor eficiencia en los motores eléctricos, dicho valor depende de varios aspectos, como lo son, la carga de la batería, la capacidad de almacenamiento de la misma, la transmisión del vehículo, la resistencia eléctrica del mismo y del motor eléctrico que se implemente. (Kampman, y otros, 2010).

Es sabido que los Vehículos con Motores de Combustión Interna (ICEV), funcionan principalmente mediante la quema de combustibles, sin embargo, para el caso de un EVs, su tracción puede ser suministrada de diferentes formas, a continuación se mencionan las diferentes arquitecturas que se estudiaron, su principio de funcionamiento y se elige un vehículo como caso particular de estudio, con el fin de evaluar su desempeño.

### *1.1. Vehículo Eléctrico a Batería (BEV)*

Son vehículos que utilizan un Motor Eléctrico y no tienen Motor de IC, en su lugar, cuentan con un conjunto de baterías, que entregan su energía almacenada para alimentar el vehículo y son cargadas a través de la red de energía. Este motor eléctrico generalmente es cuatro veces más eficiente que el motor de IC. Asimismo, el motor eléctrico aprovecha la energía de los frenados, lo que lo hace ideal para los desplazamientos urbanos. (Twenergy, 2012).

Los EVs utilizan un motor eléctrico que se encarga de la tracción del mismo, y un sistema de baterías como su principal fuente de energía, tienen muchas ventajas sobre los vehículos con motor de IC convencionales, como lo son la ausencia de emisiones contaminantes, mayor eficiencia y la independencia del petróleo. Podría pensarse que el funcionamiento de los EVs es similar al de los vehículos con motor de IC, las diferencias entre estos se encuentran en aspectos como el uso de un tanque de gasolina en

lugar de las baterías, motor de IC en lugar de un motor eléctrico, y diferentes requisitos de transmisión.

Anteriormente, los EVs se lograban mediante la conversión de los vehículos con motor de IC ya existentes, a través de la sustitución del motor de IC por un motor eléctrico y del tanque de combustible por un banco de baterías, manteniendo los demás componentes. Sin embargo se presentaban inconvenientes como su gran peso, menor flexibilidad y el poco rendimiento obtenido, por lo tanto dichos vehículos alcanzaban un volumen mínimo de distribución. En la actualidad, el EV es construido basándose en diseños originales para su carrocería, sus necesidades específicas y su sistema de transmisión.

Se ilustra en la Figura 1 el sistema básico de tracción convencional de un EV, se debe especificar que el tren de transmisión para un BEV consta de tres subsistemas principales: El subsistema 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 subsistema de fuente de energía el cual está compuesto por la fuente de energía, la unidad de gestora de energía, y la unidad de recarga de energía. Y por último por el subsistema auxiliar compuesto por la unidad de dirección asistida, la unidad de control climático y por la unidad de alimentación auxiliar. (Ehsani, Gao, & Emadi, 2010)

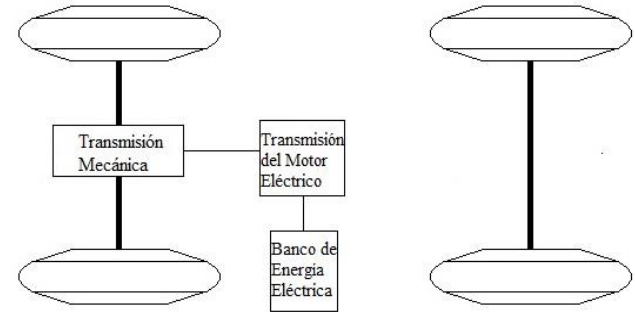


Figura 1. Sistema básico de tracción de un EV, Realizada por el autor (2014)

Se muestra a continuación el BEV que se tomó como caso particular de estudio para este trabajo.

*Renault Fluence Z.E.* Fue presentado en Frankfurt en 2009 y comenzó a ser producido a gran escala a partir de noviembre del 2011 en Bursa Turquía. Es un EV totalmente eléctrico alimentado por baterías recargables al conectarse a la red de energía. Promueve una tecnología silenciosa, libre de emisiones, ofrece aceleraciones lineales fluidas y facilidades para la conexión al punto de carga. (Renault, 2012)

Cuenta con una batería de Ión-Litio, con una potencia máxima de 70 kW a una tensión de 400 V aproximadamente, con una capacidad energética útil de 22 kWh y 65 Ah, para entregar una autonomía declarada de 185 km en rutas urbanas, el fabricante especifica que esta capacidad puede verse afectada por el uso en los recorridos de la calefacción o del aire acondicionado y de la topología del terreno en el cual se mueva el vehículo.

En la parte delantera del vehículo se encuentra ubicado el motor eléctrico, un motor sincrónico reversible el cual alcanza un torque máximo de 226 Nm. Con un peso de 160 kg, peso inferior al de un motor de combustión, por lo tanto este vehículo no requiere ningún tipo de modificación en la suspensión delantera, sin embargo, la suspensión trasera cuenta con un refuerzo especial en los amortiguadores que le permitan soportar el peso de la maleta por la ubicación de las baterías en la parte trasera del vehículo. Especifica el fabricante. (Renault, 2012).

Para el diseño del BEV se deben tener en cuenta aspectos como el tren de transmisión, el motor adecuado según los parámetros de diseño y por último el sistema de gestión de energía, todo esto con el fin de cumplir con las especificaciones de rendimiento esperadas por el fabricante. Del correcto acople entre los parámetros mencionados dependen las características de velocidad y potencia de la tracción del motor y por ende su autonomía.

Según la NEDC (New European Driving Cycle), el Renault Fluence Z.E cuenta con una autonomía de 185 km (114 millas)

basados en pruebas realizadas bajo condiciones establecidas. En la Figura 2 se muestra el vehículo Renault Fluence Z.E, el cual 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 la realización de pruebas que lograran determinar el desempeño del mismo con el fin de corroborar los datos definidos por la NEDC y observar el comportamiento del mismo en la topología de una ciudad como Medellín. (Green Car Congress, 2010)



Figura 2. Renault Fluence Z.E. Vehículo Eléctrico a Baterías, Tomada por el autor (2014)

## 1.2. Vehículo Eléctrico Híbrido Conectable (PHEV)

El concepto de Vehículo Eléctrico Híbrido (HEV), es casi tan antiguo como el mismo automóvil, sin embargo, el objetivo principal de los vehículos híbridos, inicialmente no era reducir el consumo de combustible, sino más bien el de ayudar al motor de IC a mejorar sus niveles de rendimiento, en la década de los 90s se comenzó a pensar en la importancia de reducir las altas emisiones y disminuir la dependencia a combustibles, lo cual despierta el interés de las grandes ensambladoras de vehículos en desarrollar y masificar los HEV.

En vista de la necesidad de disminuir los efectos contaminantes por la utilización de los ICEV, evitar la dependencia de los combustibles derivados del petróleo y su variación en los precios, y hasta disminuir la cantidad de pérdidas de energía cinética durante el frenado del vehículo, surge nuevamente la motivación para investigar más a fondo los HEV, debido a sus ventajas como alta eficiencia energética y reducción de emisiones contaminantes. Sin embargo se conoce la falencia que pueden presentar los sistemas de baterías, los cuales ofrecen un pequeño rango de autonomía contrastado con un gran peso, por lo tanto se busca con los Vehículos Híbridos que se puedan usar dos fuentes de alimentación y con esto sacar el mejor provecho de cada tipo de motor que compone el vehículo.

Para describir el funcionamiento y principio del HEV, se definirá primero el tren potencia como la combinación de la energía entregada por las baterías, por el convertidor de energía y por el

sistema de combustión. Se considera Vehículo Híbrido a aquel vehículo que cuente con dos o más trenes de potencia. En un vehículo convencional, la energía del frenado se pierde disipada en forma de calor, sin embargo para los EVs y entre ellos los (HEV) esto logra recuperarse por medio de un tren de potencia donde se puede lograr que la energía fluya de forma bidireccional, de modo que la energía de dicho frenado pueda entregarse y almacenar en las baterías. (Ehsani, Gao, & Emadi, 2010)

El objetivo principal de estudio para este caso se enfoca en el vehículo híbrido compuesto por un motor de IC alimentado por combustible, el cual se tomará como el principal tren de potencia, y por un motor eléctrico, alimentado por la energía almacenada en el banco de baterías, el cual se tomará como segundo tren de potencia. Para entender la arquitectura de este tipo de vehículos, se definen varios patrones de funcionamiento, los cuales se enuncian a continuación:

- El primer patrón se da cuando el motor de combustión se encarga de impulsar el vehículo, este caso se presenta cuando las baterías del vehículo se encuentran descargadas, o cuando dichas baterías se encuentran totalmente cargadas pero el motor de combustión tiene prioridad para mover el vehículo y satisfacer las demandas de energía del vehículo.
- El segundo patrón se presenta en el modo eléctrico puro y el motor de IC se encuentra apagado. Este caso se presenta cuando se tienen bajas velocidades o en las zonas donde estén estrictamente prohibidas las emisiones.



- El tercer patrón se da cuando se tiene tracción híbrida, es decir cuando hay grandes requerimientos de potencia, como lo es fuertes aceleraciones o altas pendientes, en dicho caso tanto el motor de IC como el motor eléctrico se encargan de la tracción del vehículo.
- El cuarto patrón es el modo del frenado regenerativo, en este caso la energía cinética del vehículo se puede recuperar mediante el funcionamiento del motor eléctrico como generador. La energía recuperada en este caso se almacena en las baterías para ser usada posteriormente.
- El quinto patrón se da cuando el motor de IC carga las baterías mientras el vehículo se encuentra detenido o por un descenso ligero, se da cuando no hay grandes demandas energía.
- El sexto patrón es cuando el frenado regenerativo y el motor de IC cargan las baterías simultáneamente.
- El séptimo patrón es cuando el motor de IC impulsa el vehículo y carga simultáneamente las baterías.
- El octavo patrón es cuando el motor de IC carga las baterías y las baterías suministran la energía para suplir la demanda del vehículo.
- El noveno patrón se da cuando fluye potencia dentro de las baterías, desde el calor generado por el motor de IC a través de la masa del vehículo.

Para hablar de la potencia real de un HEV, se debe saber que la operación real del vehículo varía impredeciblemente, debido a aceleraciones y desaceleraciones constantes, también, según las

variaciones de pendientes de ascenso y descenso. Es por ello que para poder pensar en una estrategia de control para el HEV, se debe pensar en un tren de potencia que favorezca la operación del vehículo mientras este se encuentre detenido, para este caso se precisa del funcionamiento de un motor de IC, pero también se requiere otro tren de potencia que permita suministrar la energía mientras el vehículo se encuentre en movimiento, para este caso se utiliza el motor eléctrico, alimentado por el banco de baterías. (Ehsani, Gao, & Emadi, 2010)

Para diseños más óptimos se pueden tener motores de IC mucho más pequeños que los de los ICEV convencionales, esto porque la potencia demandada por el vehículo, es tomada por la fuente de energía que le permita operar en la región más eficiente.

Según su arquitectura los HEVs fueron clasificados en Serie y Paralelo. Esto según el trabajo que esté realizando en cada caso cada uno de los sistemas de transmisión. En un HEV fluyen dos tipos de energía, una es la energía mecánica y la otra es la energía eléctrica, por lo tanto lo que se busca en esta arquitectura es el mejor acople y desacople de los trenes de potencia del vehículo.

Existen entonces dos opciones fundamentales de arquitectura para los HEVs, las cuales se describen a continuación:

- *Serie*: La principal característica de esta configuración es que las dos potencias eléctricas se unen en el convertidor de potencia el cual funciona como un acoplador de potencia eléctrica para controlar los flujos de potencia de las baterías y el generador hacia el motor eléctrico, o en dirección inversa,

desde el motor hacia las baterías, el depósito de combustible, el motor de IC, y el generador suplen la demanda de energía primaria del vehículo.

Un sistema de transmisión serie para un HEV, está conformado por un sistema de transmisión en el cual dos fuentes de energía eléctrica alimentan el motor eléctrico y este por su parte es el encargado de mover el vehículo, para este caso, el tanque de combustible es una fuente de energía unidireccional y su convertidor es el motor de IC el cual se encuentra acoplado a un generador eléctrico. El controlador opera sobre el motor de IC a través del acelerador, también controla al sistema del rectificador o convertidor y al motor de tracción para mover el vehículo, este proceso se da con diferentes funcionamientos, los cuales fueron enunciados anteriormente como los patrones de funcionamiento.

- *Paralelo*: La clave de esta configuración es que dos potencias mecánicas se suman en un acoplador mecánico. El motor de IC en este caso es la fuente principal de energía, las baterías y el motor eléctrico serán secundarias y los flujos de potencia serán controlados por el motor de IC y por el motor eléctrico.

Para este caso el motor de IC es asistido por un motor eléctrico el cual está acoplado mecánicamente con el sistema de transmisión. Los modos de funcionamiento mencionados anteriormente también son válidos para esta arquitectura.

Las principales ventajas de esta configuración se encuentran en que el motor de IC y el motor eléctrico pueden suministrar

el torque necesario directamente a las ruedas, sin que sea necesario hacer alguna conversión de energía, logrando así reducir las pérdidas de energía, adicionalmente es un sistema más compacto pues no necesita de un generador adicional y el motor de tracción es un poco menor que el del sistema serie. Su mayor desventaja se encuentra en el acople mecánico entre el motor de IC y las ruedas y adicionalmente se requiere de una estructura y sistema de control bastante complejos para poder ser implementada.

Para la arquitectura paralela, se pueden tener dos tipos de acoplamientos, acoplamiento de torque y de velocidad. En el acoplamiento de torque se suma el torque del motor de IC con el torque del motor eléctrico y se entrega a las ruedas, los torques de ambos motores pueden ser controlados de forma independiente, sin embargo la velocidad de los motores y la del vehículo se encuentran ligados y no pueden ser controlados de forma independiente debido a la restricción de conservación de energía. De forma similar, en el acople de velocidad, las velocidades del motor de IC y la velocidad del motor eléctrico pueden ser sumadas, los torques de estos están unidos entre si y no pueden ser controlados de forma independiente. Si se desea saber más sobre este tipo de acoplamiento se puede remitir a la siguiente referencia bibliográfica (Ehsani, Gao, & Emadi, 2010)

Finalmente, para diferenciar un HEV de un PHEV (Plug-In Hybrid Electric Vehicle) aunque su arquitectura es la misma, la diferencia radica en que el PHEV como su nombre lo dice es la versión

conectable, por lo cual sus baterías pueden ser recargadas conectando el vehículo a la red de energía eléctrica, en el caso del HEV sus baterías solo podían cargarse mediante el frenado regenerativo y mediante la acción de motor generador que mantuviesen una carga mínima en las baterías, la versión conectable se dio porque los usuarios de vehículos híbridos sabían que sus vehículos contaban con un sistema de baterías, pero sin embargo no podían recargarlos en sus domicilios, debido a esto comenzaron a ingeniar la manera de cargar las baterías y tener los primeros kilómetros de recorrido del vehículo en modo solo eléctrico, para así poder sacar el mejor provecho de la arquitectura de su vehículo, esto motivó a las ensambladoras a rediseñar los vehículos y a apostar a la versión conectable de esta tecnología. Será entonces un vehículo PHEV el objetivo de estudio para este trabajo.

Se enuncia entonces a continuación el caso particular de los PHEVs, un Toyota Prius en su versión conectable a la red de energía eléctrica, modelo 2012.

*Toyota Prius Plug-in:* Vehículo eléctrico híbrido conectable, comienza a ser producido en Japón en enero del 2012 y posteriormente en Estados Unidos y Europa en junio del 2012.

La configuración de este vehículo se puede definir en dos modos de funcionamiento:

- En modo Vehículo Eléctrico: Tras haber conectado el vehículo al módulo de carga a una tensión de 120 V, la batería se puede cargar en menos de 3 horas, cuando dicho banco de baterías tiene la carga suficiente el vehículo puede suministrar alimentación al motor eléctrico. Si el vehículo supera los 100 km/h o es acelerado de forma repentina el motor de IC y el motor eléctrico trabajaran en simultaneo para impulsar el vehículo.
- En modo Vehículo Híbrido: Se da cuando el vehículo se acelera suavemente a bajas velocidades, en este caso solo el motor eléctrico se encarga de impulsar el vehículo por lo tanto el motor de gasolina se apaga, en un modo de conducción normal el vehículo es impulsado principalmente por el motor de IC, este motor acciona también el generador con el fin de poder recargar el banco de baterías. Cuando se tiene una fuerte aceleración o una pendiente muy inclinada se ponen en funcionamiento ambos motores, en el caso en el que se desacelera o se frena el vehículo en este se transforma la energía cinética de las ruedas delanteras en energía eléctrica, dicha energía se almacena en las baterías para ser usada posteriormente. Mientras el vehículo se encuentra detenido, el motor de IC y el eléctrico se desactivan pero el vehículo permanece encendido y en funcionamiento. (Toyota Motor Corporation, 2011)

Este vehículo cuenta con un motor de IC de 1.8 litros, con una potencia de 73 kW, este motor según el caso, se encarga de impulsar el vehículo o de impulsar el generador para cargar el

banco de baterías, dos motores eléctricos de imán permanente con una potencia de 60 kW cada uno, el motor conocido como principal funciona como motor y se encarga de propulsar el vehículo, el motor secundario funciona como un generador eléctrico el cual se encarga de suministrar carga al banco de baterías.

El Toyota Prius tiene un banco de baterías de Niquel-Metal Hidruro (NiMH) con una capacidad de 5,2 kWh, a una tensión de 207,2 V, tarda menos de tres horas en ser cargado en su totalidad. Dicho sistema de baterías le permite al vehículo un rango de autonomía de 18 km aproximadamente el cual puede ser expandido mediante la interacción entre el motor de IC y el motor eléctrico.

Según datos registrados por la EPA, el Toyota Prius cuenta con una autonomía de 18 km (11 millas) en modo solo eléctrico y tiene un consumo de energía de 29 kWh por cada 100 millas, basados en pruebas realizadas bajo condiciones establecidas. La autonomía total del vehículo con el depósito de gasolina lleno y las baterías totalmente cargadas según datos de la EPA es de 870 km (540 millas) y finalmente presenta una cantidad de emisiones de 179 gramos por milla. (U.S Department of Energy, 2015)

### *1.3. Vehículo Eléctrico de Rango Extendido (EREV)*

Este tipo de vehículos no son catalogados como Vehículos Híbridos, sin embargo tampoco como un Vehículo Eléctrico a Batería. Es un Vehículo Eléctrico de Rango Extendido (EREV), esto indica que es un vehículo cuya fuente principal de energía es la energía eléctrica suministrada por las baterías instaladas en el

vehículo, esta energía es usada hasta donde el rango de la autonomía lo permita y durante ese recorrido no consume combustible, por lo tanto se reducen en gran porcentaje las emisiones de gases contaminantes, en el momento en el cual la batería del vehículo llega al límite de su capacidad, el motor IC entra a alimentar el motor generador, el cual se encarga de suministrar energía para cargar las baterías del vehículo.

El funcionamiento de este tipo de vehículos es similar al funcionamiento de los PHEV, la principal diferencia se encuentra en que en este tipo de arquitectura el motor de IC no se encarga de impulsar el vehículo, por lo tanto cuentan con un motor de IC mucho más pequeño que el que tienen los PHEV y por su parte el motor eléctrico para los EREV son más grandes para ofrecer mayor autonomía en recorridos solo eléctricos. Es por esto que no se ahondara en detalles sobre esta arquitectura, pues ya fue mencionada en la sección de HEVs.

A continuación entonces se define el caso particular de estudio de los EREVs, el Chevrolet Volt modelo 2012.

*Chevrolet Volt:* Vehículo eléctrico de rango extendido, desarrollado por General Motors y fue lanzado en Estados Unidos en diciembre de 2010. En la actualidad, esta arquitectura, lo hace el vehículo eléctrico más vendido en el mundo, con más de 70.000 unidades vendidas en Norte América y Europa hasta enero de 2014. Las ventas del Volt son lideradas por los Estados Unidos, con 58.158 unidades vendidas hasta marzo de 2014. (General Motors) (Inside EVs)

El Chevrolet Volt cuenta con un motor de IC de cuatro cilindros, de 1.4 litros y una potencia de 63 kW (86 CV) y adicionalmente cuenta con dos motores eléctricos, el principal con una potencia de 111 kW y otro llamado el secundario con una potencia de 55 kW. El factor diferenciador de este vehículo se encuentra en que el motor de combustión no se encarga de mover el vehículo directamente, en este caso el motor de combustión está unido al motor secundario o generador, el cual carga la batería cuando se encuentra con un nivel bajo de energía almacenada, razón por la cual el vehículo siempre es impulsado por el motor eléctrico principal y hace la diferencia fundamental con los PHEV

El Volt cuenta con un factor diferenciador de la mayoría de los vehículos eléctricos y es el uso de una unidad de accionamiento eléctrico, la cual aumenta la eficiencia del motor al llegar a altas velocidades, los demás vehículos utilizan un solo motor con un engranaje que permita ser sincronizado con la velocidad de las ruedas.

La unidad de accionamiento del Volt está conformada por dos motores, tres embragues y un sistema de transmisión con engranajes planetarios, dicho conjunto permite mejorar la eficiencia mediante la reducción de la velocidad de rotación combinada de los motores eléctricos, logrando así que se reduzca el consumo de energía de las baterías y aumentando un poco la autonomía del vehículo. El sistema de engranajes y los motores del vehículo, permiten según la demanda que presente el vehículo, tener diferentes funcionamientos.

Los funcionamientos de propulsión del Volt, se puede dar de la siguiente manera:

- **Funcionamiento solo Motor Eléctrico:** El motor eléctrico primario proporciona una apropiada aceleración para conducir a bajas velocidades y aceleraciones fuertes, solo trabaja con la energía suministrada por las baterías y funciona como generador produciendo energía mediante el frenado regenerativo. En este modo, el engranaje exterior de la transmisión de engranes planetarios se encuentra bloqueado y el motor principal se encuentra desacoplado.
- **Funcionamiento de dos Motores Eléctricos:** El motor eléctrico secundario se acopla a través del engranaje exterior a medida que se aumenta la velocidad, permitiendo así que los dos motores eléctricos trabajen en conjunto, de manera que se reduce la velocidad del motor primario, lo cual le ayuda al vehículo a mejorar la eficiencia y la autonomía sin incrementar la potencia máxima del mismo.
- **Operación con un Motor Eléctrico alimentado por el Motor secundario:** Cuando la batería se encuentra en el mínimo de la carga, el motor de combustión se acopla al motor secundario a través del tercer embrague, dicho motor y la reserva de la batería entregan electricidad al motor de tracción a través del inversor, el motor secundario también conocido como generador, mantendrán la batería con una carga mínima necesaria para la autonomía extendida del vehículo. En este caso, el motor primario puede proporcionar su potencia durante

aceleraciones cortas y bajas velocidades con el engrane exterior bloqueado.

- Operación con los dos Motores Eléctricos combinados: Esta función es realizada con el fin de poder usar dos motores eléctricos para velocidades mayores en el modo de rango extendido. En este caso se accionan los embragues que conectan el motor secundario con el motor de combustión y con el engrane exterior, combinando el funcionamiento del motor de combustión y el de los motores eléctricos, obteniendo así el mejor resultado de las características de cada motor mediante la acción del engranaje planetario. Dicha mezcla de potencia entre los tres motores le permite al Volt mejorar la eficiencia cuando se incrementan las velocidades, lo cual no habría sido posible con un solo motor eléctrico debido a las características del mismo. (General Motors, 2010)

Con respecto al sistema de baterías, el Volt cuenta con un banco de baterías de iones de litio, con una capacidad de 16 kWh, donde solo 10 kWh pueden ser usados, esto con el fin de mantener un margen para que las baterías no se descarguen en su totalidad y le permita al vehículo ser cargado mediante el motor de IC. El funcionamiento de la batería es entregar la energía almacenada al motor eléctrico mediante el inversor. Las baterías instaladas en el vehículo le permiten un rango de autonomía de 60 km aproximadamente, dicho recorrido lo hace sin necesidad de consumir combustible, en el momento en el que las baterías llegan a su carga mínima permisible entra en funcionamiento el motor de IC para alimentar el generador. (General Motors Company).

Según datos registrados por la EPA, el Chevrolet Volt cuenta con una autonomía de 56 km (35 millas) en modo solo eléctrico y tiene un consumo de energía de 36 kWh por cada 100 millas, basados en pruebas realizadas bajo condiciones establecidas. La autonomía total del vehículo con el depósito de gasolina lleno y con el banco de baterías totalmente cargadas es de 610 km (379 millas) adicionalmente, sus emisiones son 87 gramos por milla recorrida.

En la Figura 3 se muestra el vehículo Chevrolet Volt, adquirido por la Universidad Pontificia Bolivariana, en una de las pruebas de ruta realizadas al vehículo, con el fin de corroborar los datos definidos por la EPA. (U.S Department of Energy, 2015)



Figura 3. Renault Fluence Z.E. Vehículo Eléctrico a Baterías, Cortesía de Valentin Restrepo (2013)

Con respecto a la masificación de este tipo de vehículos, se prevé que las estaciones de servicio no tendrían un cambio significativo, dado a que los vehículos seguirían provisionándose de combustible por la velocidad de recarga y porque permite alcanzar mayor autonomía mejorando el rango de desplazamiento. Para este escenario aunque las ventas brutas podrían disminuir, los ingresos se verían compensados por incrementos del precio del combustible. Este escenario parece reafirmarse con lo que viene sucediendo en el mercado, donde los vehículos eléctricos de rango extendido han adquirido predominio, dado porque los usuarios preferirían cargar el vehículo en su casa en horas durante la noche, mientras que los precios son más bajos.

En conclusión, de imponerse los vehículos de rango extendido no se vislumbran grandes cambios en las estaciones de servicio del país, no sería necesario que estas estaciones ofrecieran carga rápida para los EVs, salvo en casos particulares dentro de la ciudad, para atender el mercado de los vehículos puramente eléctricos de connotación muy urbana (y bastante escasa). En general, las estaciones solo tendrían que equiparse con cargadores nivel 2 (de carga semi-rápida), lo que es bastante fácil y económico (como ya lo hizo Terpel en una de sus estaciones), para eventuales usuarios que deseen cargar su vehículo durante paradas largas. Esto aplicaría en estaciones que ofrezcan además servicios conexos como alojamiento, restaurante o entretenimiento. El informe detallado del estudio de la masificación de vehículos eléctricos puede verse en la siguiente referencia (Díez Restrepo, y otros, 2013).

## 2. EXPERIENCIA UPB CON VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

El auge obtenido en la actualidad por los Vehículos Eléctricos sumado al interés por resolver problemas de movilidad desde el punto de vista ambiental, se volvieron razones de peso para impulsar y promover estudios en dicho ámbito, es por esto que el Grupo de Investigación en Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica y el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad Pontificia Bolivariana se interesan en conocer las tecnologías disponibles para EVs, diferenciar las arquitecturas de los mismos y aportar estudios que le permitan a la comunidad comprender y familiarizarse con el funcionamiento de estos vehículos, por lo tanto surgen proyectos como este, con el cual se deseó conocer a fondo la arquitectura de un vehículo como el Renault Fluence Z.E, se logró determinar su autonomía, se conoció su comportamiento para la topología de la ciudad, se determinó el impacto de su carga para el sistema de potencia nacional y se comparó con los resultados realizados al mismo vehículo bajo normativa internacional.

Para obtener la información necesaria, se comenzó con la caracterización del vehículo, inicialmente con la información teórica disponible para finalizar identificando cuáles serían el conjunto de variables y parámetros necesarios para evaluar el desempeño del vehículo según su arquitectura y sus componentes. De esta forma se diseñaron protocolos y pruebas para el análisis de la carga de los EVs conectables a la red de energía, la duración de la carga según la capacidad de la batería del vehículo, la cantidad de armónicos producidos por la conexión del mismo a la red de

energía, analizando el impacto de la carga, el comportamiento de las baterías y el manejo recomendado al usuario.

Ahora bien, se analizaron los resultados de las pruebas de desempeño al BEV Renault Fluence Z.E, evaluando su comportamiento y comparando los datos teóricos declarados por la ensambladora con los datos reales obtenidos mediante las pruebas, comprendiendo que dichos resultados son variables según la topología del terreno al cual sea sometido el vehículo, el tipo de conducción dado por el conductor y la cantidad de pasajeros en cada uno de los recorridos realizados en cada prueba.

Las pruebas se basaron en metodologías estudiadas y en pruebas realizadas anteriormente por el Grupo de Investigación en TyD y el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la UPB al EREV Chevrolet Volt los resultados pueden verse en el informe de dicho proyecto, (Díez Restrepo, y otros, 2013). Por lo tanto se realizaron pruebas similares entre ambos vehículos dependiendo de la autonomía de cada uno, se encontraron aspectos diferenciadores importantes que ayudaron a identificar una tecnología de la otra y que a su vez ayudaron a obtener factores comunes entre los EVs independiente de su arquitectura de diseño y funcionamiento principal.

En la Figura 4, se pueden observar los vehículos eléctricos estudiados por la UPB, ubicados en la estación de carga dispuesta para los mismos, al lado derecho de la imagen se encuentra ubicado el BEV Renault Fluence Z.E. Modelo 2012 y a su izquierda, el EREV Chevrolet Volt Modelo 2012.





Figura 4. Vehículos Eléctricos, casos estudiados por el grupo TyD de la UPB. Imagen del autor (2014)

A continuación se detallan cada una de las pruebas realizadas al EV Renault Fluence Z.E y los resultados obtenidos en cada una de ellas.

### 2.1. Pruebas de Ruta

Las pruebas de ruta se hicieron evaluando el comportamiento del vehículo ante un terreno determinado con una topología específica, en dichas pruebas se determinó el desempeño del vehículo mientras fue sometido a diferentes condiciones como lo son grandes pendientes, aceleraciones y desaceleraciones bruscas, altas velocidades, grandes descensos, en zonas urbanas o rurales y de

igual forma fue sometido a rutas cotidianas bajo una prudente conducción, donde también se observó la evolución del vehículo y se estableció el uso más adecuado para un vehículo de este tipo.

En estas pruebas se observaron factores como: El comportamiento del vehículo en su capacidad máxima de pasajeros, la autonomía real del vehículo en una topología variante como la de Medellín, el impacto generado en el consumo del vehículo al tener los sistemas auxiliares encendidos durante los recorridos, el comportamiento de la batería para la temperatura ambiente de la ciudad, sus ciclos y tiempos completos de carga y descarga, el efecto del frenado regenerativo en la recarga del vehículo mientras este se encontraba en movimiento y el impacto ocasionado por la rápida descarga de la batería cuando se enfrentó el vehículo a un ascenso pronunciado.

Se muestran a continuación las pruebas de rutas realizadas y los resultados obtenidos en cada una de ellas. Adicionalmente se muestra el estudio realizado durante el tiempo que se tuvo el vehículo con respecto a la evolución de su autonomía

*Ruta Envigado-Balsos-UPB:* Para esta prueba se sometió al vehículo a un ascenso pronunciado con una pendiente total del recorrido de 31,1 %, sin embargo se tuvieron algunos descansos entre los tiempos de ascenso. Cabe resaltar que para dicha prueba el vehículo estaba parcialmente cargado. Durante el desarrollo de la prueba se encontraron algunas obras en las vías lo cual generó un gran embotellamiento vehicular, esto sumado al estado de las baterías ocasionó lo que se conoce como “range anxiety” para el conductor y se pensó que no se podría finalizar la prueba de ruta.

En la Tabla 1 se muestran los datos obtenidos en la prueba, este recorrido se hizo con un pasajero en el vehículo y con los sistemas auxiliares como aire acondicionado y luces del vehículo apagados.

Durante la ruta, se llegó hasta el retorno número nueve de la vía Las Palmas, en ese momento la batería del vehículo llegó a su límite inferior de 5 %, se encendió el testigo de batería baja y el estimador de autonomía del vehículo no declaraba ningún valor, sin embargo cuando comenzó el descenso el efecto del frenado regenerativo del vehículo cargó en porcentaje las baterías, se realizó el descenso en sin ser acelerado, de modo que pudiese obtenerse el mejor provecho del frenado regenerativo y que dicho efecto no fuese reducido por aceleraciones innecesarias para el vehículo. Para el momento de terminar el descenso por la vía, el estimador de autonomía declaró 14 km de autonomía, el medidor de batería subió hasta el 12,5 % y el testigo de alarma baja en el tablero ya se apagó. Cuando se ingresó a la UPB y se dispuso el vehículo para ser cargado, este declaró 10 km de autonomía y el medidor de batería se llegó al 12,5 %.

*Ruta UPB-Palmas-UPB:* En estas pruebas se evaluó el comportamiento del vehículo bajo diferentes condiciones, por lo tanto se realizó la misma ruta en repetidas ocasiones, propiciando

condiciones iniciales similares como el estado de carga de la batería, presión en las llantas y tipo de conducción similar. Se varió la cantidad de personas en el vehículo y se hizo el recorrido con y sin aire acondicionado. Con esto se pudo conocer el comportamiento del vehículo con su capacidad máxima de pasajeros y posteriormente como se veía afectado el consumo del mismo por tener encendidos sistemas auxiliares como el aire acondicionado, las luces y el radio. Para esta ruta, se tuvo una pendiente máxima en el terreno de 52,7 %.

En la Tabla 2 se muestran los datos obtenidos en la prueba de ruta, este recorrido se realizó con tres pasajeros, las baterías del vehículo totalmente cargadas y los sistemas auxiliares del vehículo apagados.

Durante la prueba se mantuvo una conducción prudente, se evitaron las aceleraciones fuertes durante el ascenso y se mantuvo una velocidad constante, al llegar al alto de la vía Las Palmas el medidor de la batería llegó al 35,7 %. Llegando de nuevo a UPB, el medidor de batería del vehículo se encontró por encima del 50 % de la carga y declaró la autonomía vista en la Tabla 2. Con dichos valores pudo verse el efecto del frenado regenerativo en el vehículo durante el descenso.

Tabla 1. 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

Tabla 2. Ruta UPB-Palmas-UPB

Ruta (km)	Est. Ini (km)	Est. Fin (km)	Energía (kWh/100km)	Cons.Prom (kWh)	Vel.Prom (km/h)	A/A
39,9	89	63	13,7	5	28,6	No

Posteriormente se realizó nuevamente la misma ruta, en este caso con cinco pasajeros, moviendo el vehículo con su capacidad máxima y determinando una pequeña diferencia en el consumo del vehículo relacionado con la cantidad de personas en el vehículo. En la Tabla 3 se muestran los datos obtenidos cuando se repetió la prueba de ruta, es importante resaltar que para este recorrido la carga de las baterías del vehículo se encontraban un poco inferior al 100 %.

Se realizó la prueba nuevamente con condiciones similares a la realizada inicialmente para la misma ruta. Al llegar al alto de la vía Las Palmas el medidor de batería del vehículo se llegó al 25 %, valor inferior al mostrado en la primera prueba de esta ruta, sin embargo, al volver de nuevo a UPB, el medidor de la batería se encontró por encima del 50 % de la carga, lo que al ser comparado con el primer caso de esta ruta, mostro la influencia en el efecto del frenado regenerativo dado por la cantidad de ocupantes en el vehículo cuando este fue llevado por un descenso pronunciado.

Finalmente, se realizó la prueba para la misma ruta, pero en este caso se hizo el recorrido con tres pasajeros, pero con los sistemas auxiliares del vehículo como el aire acondicionado y las luces encendidos, en la Tabla 4 se pueden observar los datos obtenidos cuando se realizó la prueba de ruta y el consumo del vehículo para dicho caso. Cabe resaltar que las baterías del vehículo para esta ruta

estuvieron cercanas al 100 % de carga, lo más cercanas posible a la segunda prueba realizada para esta ruta.

Se mantuvo las mismas condiciones de las pruebas anteriores en cuanto a velocidad y aceleración, se llegó al alto de la vía Las Palmas con el medidor de la batería en el 25 %, obteniendo como resultado el mismo valor cuando se hizo la prueba a la capacidad máxima del vehículo, aunque el consumo promedio fue igual en ambos recorridos, pudo verse un pequeño incremento en el consumo energético del vehículo, esto sumado a la autonomía que declaró el vehículo al finalizar el recorrido, indicó que pudo verse afectado en mayor proporción por el consumo de los sistemas auxiliares y no tanto por la cantidad de pasajeros que lo ocupaban.

*Ruta UPB-Palmas (Los salados)-UPB:* Con esta prueba se evaluo el comportamiento del vehículo durante un recorrido mixto, se comenzó con un fuerte ascenso hasta que se llegó al alto de la vía Las Palmas posteriormente se tuvo un pequeño descenso, el cual ayudó a la carga del sistema de baterías con el efecto del frenado regenerativo, se regresó el vehículo hasta las instalaciones de la UPB, por lo cual se vigiló constantemente la autonomía del vehículo y el consumo del mismo. Para realizar el retorno, se enfrentó el vehículo de nuevo a una pendiente de ascenso menor

Tabla 3. Ruta UPB-Palmas-UPB

Ruta (km)	Est. Ini (km)	Est. Fin (km)	Energía (kWh/100km)	Cons.Prom (kWh)	Vel.Prom (km/h)	A/A
37,8	87	54	14	5	33,6	No

Tabla 4. Ruta UPB-Palmas-UPB

Ruta (km)	Est. Ini (km)	Est. Fin (km)	Energía (kWh/100km)	Cons.Prom (kWh)	Vel.Prom (km/h)	A/A
38,1	74	30	14,4	5	29,6	Si

que la inicial. Esta prueba se realizó cuando se había logrado incrementar la autonomía declarada del vehículo mediante los modos de conducción y las pruebas realizadas.

En la Tabla 5 se muestran los datos obtenidos al realizar dicha prueba de ruta. Se realizó con 4 pasajeros en el vehículo, con las baterías del vehículo cargadas en su totalidad y sin aire acondicionado. Para esta ruta se tuvo una pendiente de ascenso inicial de 52,7 % y se sumó una pendiente de 21,6 % para el retorno.

Se obtuvo que al terminar el ascenso inicial llegando al alto de la vía Las Palmas, el medidor de la batería del vehículo se encontró por debajo del 50 %, lo cual se debió al consumo del vehículo enfrentado a un fuerte ascenso, allí se llevó el vehículo por un descenso, cuando se llegó al lugar de retorno el medidor había subido hasta el 62,5 % debido al efecto del frenado regenerativo del vehículo. Posteriormente se enfrentó al vehículo al ascenso no por el cual el vehículo había regenerado, y se llegó de nuevo al alto de la vía Las Palmas con la batería al 25 %, cuando se finalizó el descenso y se llegó nuevamente a la UPB el medidor de baterías se estuvo por encima del 50 %. Con esta prueba se recorrieron 54,4 km como puede verse en la Tabla 5, y aun así el vehículo declaró 56 km aproximados de autonomía disponible, esto mostró el rango del vehículo como este y que su rango de operación es amplio.

Tabla 5. 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

*Ruta UPB-Barbosa-Sabaneta-UPB:* En esta prueba se determinó el comportamiento del vehículo en un terreno en su mayoría plano, donde no se dieron importantes aceleraciones, se buscó entonces descargar el vehículo en su totalidad y se obtuvo su consumo y su autonomía real comparada con la declarada.

En la Tabla 6 se muestran los datos obtenidos cuando se realizó dicha prueba, el recorrido fue realizado con 3 pasajeros y con las baterías del vehículo cargadas completamente. La ruta contó con una pendiente máxima de 8,6 %.

Al llegar a Barbosa al punto donde se esperaba realizar el retorno pensando tener la batería suficiente para regresar, el estado del medidor de las baterías se hallaba en 62,5 %, por lo que se decidió retornar y continuar con la prueba, de este modo se condujo el vehículo hacia el sur de la ciudad de Medellín, se llegó hasta el municipio de Sabaneta, donde el estado de la batería se estuvo cercano al 25 %. Cuando se llegó de nuevo a UPB, el estado del medidor se encontró por debajo del 12,5 %, los kilómetros recorridos no fueron suficientes para descargar el vehículo en su totalidad, sin embargo ya se había encendido el testigo informando batería baja en el vehículo y por motivos de seguridad para el vehículo y los pasajeros se decidió finalizar la prueba y registrar los datos tabulados.

Tabla 6. 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:* Estas pruebas fueron realizadas desde el momento en el que se recibió el vehículo por parte de la empresa Sofasa, y con ellas se determinó el comportamiento y la autonomía del vehículo para la topología de la ciudad, también se pudo para conocer mejor la arquitectura y el funcionamiento del vehículo.

Se realizaron entonces recorridos urbanos y extra urbanos, bajo ciclos de conducción similares a los ciclos definidos por la NEDC (New European Driving Cycle). Dichos ciclos se componen por dos fases, la primera por una conducción urbana, en la que el vehículo es puesto en funcionamiento por la mañana, después de haber estado detenido durante la noche, se conduce por un periodo cercano a una hora, con múltiples paradas debidas a un embotellamiento y debe ser repetido en al menos cuatro ocasiones. La segunda fase se representa con una conducción en carretera, con una velocidad máxima de 120 km/h. (FIA Foundation, ADAC). Para cumplir con los protocolos determinados para dichos ciclos se debía recorrer una distancia de al menos 11 km en la primera fase, con una velocidad en promedio de 33 km/h, el aire acondicionado apagado y mantener un modo de conducción preferiblemente continuo, sin fuertes aceleraciones (Mock, German, Bandivaderkar, & Riemersma, 2012), por lo tanto se buscó tener condiciones similares para la realización de las pruebas de ruta cotidianas en ciudad.

El vehículo Renault Fluence Z.E se recibió por la UPB con 14430 km y se entregó a la empresa Sofasa S.A con 16080 km, para un recorrido total de 1650 km durante el tiempo que se tuvo el

vehículo entre pruebas cotidianas y las pruebas de ruta mencionadas anteriormente.

Se realizaron rutas cotidianas donde se recorrió 11 km diarios aproximadamente en un trayecto urbano en las horas de la mañana después de que el vehículo estuvo apagado durante la noche como lo estandariza los ciclos NEDC y se daba otro recorrido más en las horas de la tarde donde se recorría algo más de 11 km. Los recorridos realizados se hicieron sin aire acondicionado, se mantuvo condiciones similares en la forma de conducción cada día de prueba, una conducción continua y ciclos completos de descarga de la batería, es decir, se llevó la carga de la batería cercana a su límite y se cargó hasta el 100 % antes de usar de nuevo el vehículo.

Se encontró en el desarrollo de estas pruebas cotidianas, que durante las horas de la mañana el vehículo presentó un menor consumo energético, dado porque durante ese tiempo el vehículo se movió con gran fluidez, lo cual permitió tenerlo bajo la zona de mayor eficiencia por la velocidad desarrollada en la ruta, puede verse más información al respecto de la eficiencia de los vehículos en la siguiente referencia. (Hooker, 1988). Durante los recorridos realizados en las horas de la tarde se daban importantes embotellamientos vehiculares, lo que no hizo posible exceder la velocidad promedio de 20 km/h, también se vio que el consumo del vehículo se incrementó al tener encendidos algunos de los sistemas auxiliares del vehículo como las luces del mismo, esto se dio porque el Renault Fluence Z.E está equipado con un sistema de iluminación de faros halógenos los cuales consumen más energía

que la iluminación Led la cual se acostumbra a usar en los EVs para disminuir el consumo del mismo.

Con respecto al estudio de la autonomía del vehículo, este se recibió declarando 60 km de autonomía, valor muy inferior al declarado por el fabricante, para el momento de la devolución del vehículo, este llegó a declarar hasta 118 km de autonomía, el cual, aunque es un valor todavía menor al declarado teóricamente, mostró una significativa evolución durante el tiempo que se tuvo el vehículo sometido a pruebas. El sistema de autonomía del Renault Fluence Z.E. estima un rango de uso para el vehículo basado en el tipo de conducción al cual es sometido el mismo y según la ruta que se esté realizando, por lo tanto si el vehículo es sometido a importantes pendientes, a fuertes aceleraciones y frenadas, el estimador de autonomía mostrara un valor menor al que puede declarar si el vehículo se usa responsablemente.

Otro aspecto que impactó sobre el estimador de autonomía, fue el ciclo de cargas y descargas de las baterías, esto se entiende de la siguiente forma: el vehículo al ser sometido a rutas cotidianas, debe ser cargado totalmente antes de comenzar el recorrido y descargado en su totalidad para cargarlo nuevamente, es decir, al comenzar un recorrido debe garantizarse que el vehículo se encuentre cargado totalmente y solo hasta que el testigo de batería baja se encienda o el rango del vehículo no sea suficiente para el recorrido que se pretenda hacer, debe cargarse.

La evolución mencionada en la autonomía del vehículo durante el tiempo que se tuvo en UPB, se muestra en la Figura 5 donde se

observa el incremento de la autonomía declarada por el vehículo durante los ciclos de uso del mismo. Esta evolución se debió a factores como el tipo de conducción, la cual se hizo evitando fuertes aceleraciones y frenados repentinos, también por el uso continuo del vehículo evitando así la descarga de la batería mediante corrientes parasitas y por último mediante ciclos completos de carga y descarga de la batería.

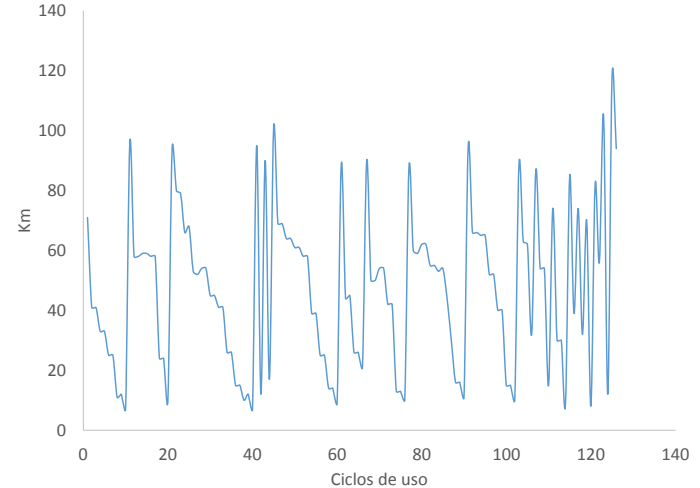


Figura 5. Evolución autonomía en ciclos de uso, Renault Fluence Z.E. Imagen del autor (2015)

De dicho comportamiento se puede concluir que el deterioro de la batería en el vehículo fue causado por un largo periodo de inactividad, lo cual pudo corroborarse con el personal experto de Sofasa S.A, quienes confirmaron que el vehículo probado estuvo detenido por largos periodos de tiempo, por lo cual el estimador de autonomía asumía cada recorrido como un recorrido completo, aunque no fuese consumido en su totalidad la carga de las baterías.

Adicionalmente el estimador del vehículo se ve afectado por la forma de manejo del vehículo, las aceleraciones fuertes que lleven a un frenado repentino en corto tiempo, no le permiten a las baterías recibir la cantidad de corriente entregada por el frenado del vehículo, por lo tanto dicha energía puede terminar perdiéndose en forma de calor. Es sabido que para una empresa como Sofasa S.A, es necesario realizar todo tipo de pruebas con el fin de conocer a fondo las especificaciones y el funcionamiento en detalle de cada vehículo y para ello es necesario en ocasiones realizar dicho manejo a los vehículos.

## 2.2. Prueba de capacidad de ascenso

Con esta prueba se evaluó la potencia o par producido por el vehículo y así se pudo conocer el rendimiento del mismo.

Se realizó por medio de un dinamómetro, suministrado por la empresa Atotest S.A, donde el vehículo se ubicó sobre una plataforma, con rodillos debajo de las ruedas motrices, las cuales permitieron girar las ruedas del vehículo y mantenerlo seguro durante la prueba.

Con esta prueba se evaluaron parámetros como la potencia del motor, la potencia absorbida y la potencia de las ruedas, esta se comparó con la norma Alemana DIN 70020 la cual define el procedimiento que permite determinar la potencia neta bajo utilización continua de un motor. (Luque, Alvarez, & Vera, 2008)

Bajo las condiciones establecidas se realizó la prueba de dinamómetro, los datos obtenidos se muestran en la Tabla 7.

En la Figura 6 se muestra los resultados que se obtuvieron durante la prueba, allí puede identificarse que los valores logrados se encuentran en los rangos permitidos por la norma mencionada.

Tabla 7. 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		

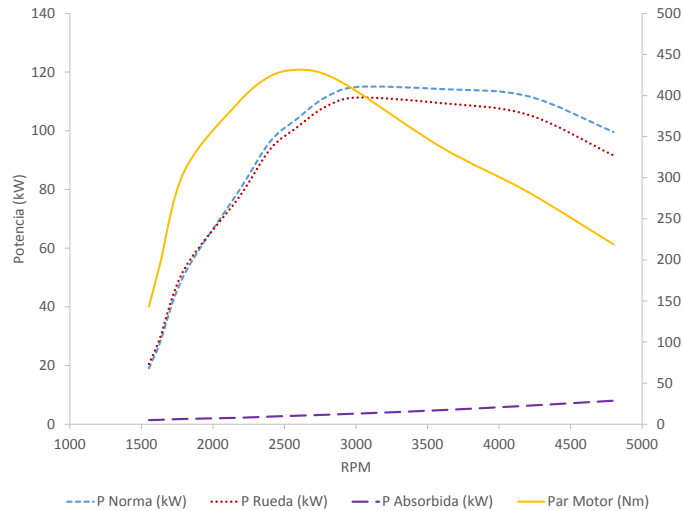


Figura 6. Prueba dinámico realizada al Renault Fluence Z.E. Imagen del autor (2015)

### 2.3. Prueba medición posible impacto de la carga del vehículo

Se midió el impacto generado por la carga de los EVs conectados a la red de energía eléctrica, para ello se realizaron mediciones de la potencia activa y la potencia aparente consumidas por los vehículos, también se midió el factor de potencia y se comparó con los rangos permitidos por la normativa y se midieron los armónicos

generados durante el periodo que se tuvieron los vehículos conectados a la red.

Se realizó el estudio cargando el Renault Fluence Z.E y el Chevrolet Volt, ambos fueron dispuestos para ser cargados durante el tiempo requerido. Para la medición se instaló el analizador de redes Fluke 435, el cual permitió conocer la calidad de la energía y de la potencia suministrada en la instalación de energía eléctrica.

Con esto se simuló un proceso de carga de EVs, pensando en el escenario de la masificación de los mismos, el cual es un estudio de interés para que los operadores de red puedan dimensionar los consumos que podrían presentarse y también llegar a definir tendencias en los horarios y formas de consumo para los operadores y administradores del sistema interconectado nacional.

**Potencia Activa:** Se midió el consumo generado por la carga de los EVs y se obtuvo el resultado que puede observarse en la Figura 7.

Puede verse el momento en el cual comenzó la carga ambos vehículos, se llegó a un consumo de potencia activa de hasta 6 kW, y se observó el momento en el cual el Chevrolet Volt fue cargado en su totalidad y se desconectó automáticamente del cargador pasadas algo más de tres horas de carga, dicho vehículo se desconectó primero dado a que tiene un banco de baterías menor que el del Renault Fluence Z.E. como pudo aclararse en el desarrollo del Capítulo 1.



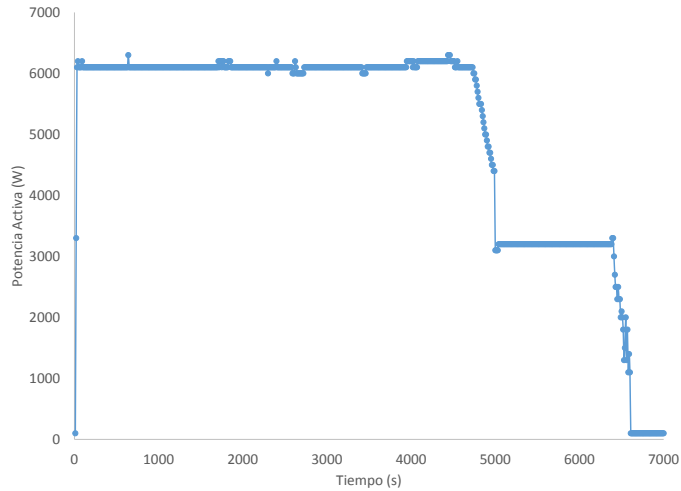


Figura 7. Medición Potencia Activa Vehículos Eléctricos. Imagen del autor (2015)

Quedando solo el Renault Fluence Z.E. conectado a la red, pudo verse que su consumo no superó los 3 kW y fue cargado en su totalidad por un tiempo aproximado a 6 horas.

*Potencia Aparente:* En este caso se conoció la potencia total desarrollada en el proceso de carga de los vehículos, debido al valor de impedancia que representan en determinado momento dichos vehículos, los resultados obtenidos en esta medición pueden verse

en la Figura 8, donde puede verse un comportamiento similar al estudio de potencia activa, en este caso se obtuvo una máxima Potencia Aparente mientras los dos vehículos estuvieron conectados al cargador y llegó hasta 7,3 kVA pasadas aproximadamente tres horas de carga, pudo verse también que cuando se desconectó el Chevrolet Volt el vehículo Renault Fluence Z.E. continuó su carga por un tiempo superior y desarrollo hasta 3,7 kVA justo cuando fue cargado por completo.

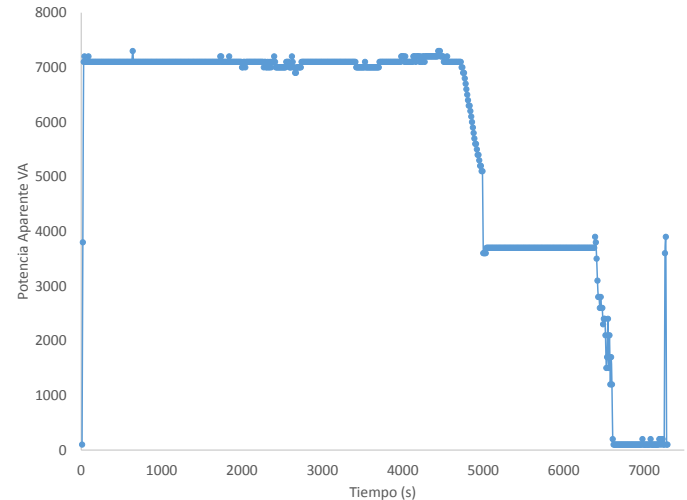


Figura 8. Medición Potencia Aparente Vehículos Eléctricos. Imagen del autor (2015)

*Factor de potencia:* Posteriormente se midió la capacidad de los vehículos de absorber la potencia activa de la instalación mientras eran cargados y se verificó que dicho valor se encontrara dentro de los valores permitidos por la norma (CREG, 2004). El resultado obtenido puede verse en la Figura 9.

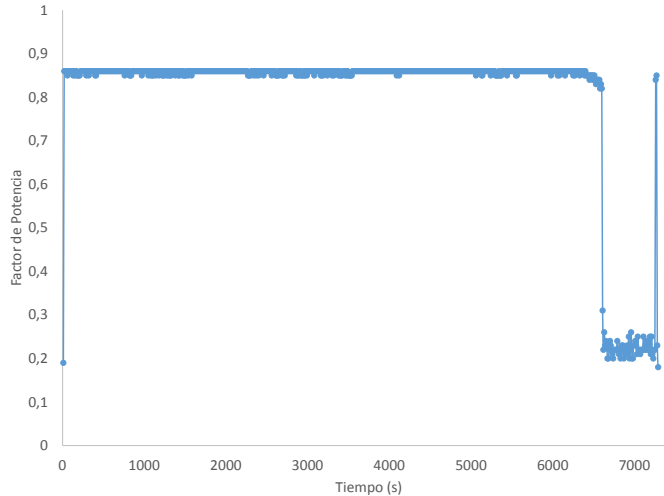


Figura 9. Medición Factor de Potencia Vehículos Eléctricos. Imagen del autor (2015)

Se observó que durante el tiempo que fueron cargados los vehículos se obtuvo un Factor de Potencia no superior a 0,86 lo cual no cumple con lo estipulado por la norma mencionada, pues es inferior

a 0,90, debido a esto se determinó que será importante que en los puntos de carga de EVs se realice la corrección del factor de potencia de forma que este se incremente al proporcionarle potencia reactiva necesaria que le ayude a reducir la potencia requerida y la potencia que la instalación le entregue a la red. Esto se traduce en reducción de costos para el distribuidor de energía y evitar sanciones económicas por el consumo de energía con bajos factores de potencia, por el no cumplimiento de las normativas del país. (ABB)

*Armónicos.* Por último se midieron los componentes de armónicos generados durante la carga de los vehículos, se realizó la medición de este fenómeno en el punto de carga de los vehículos, se tuvo en cuenta en este caso solo los armónicos de voltaje. Se muestran entonces en la Figura 10, los valores correspondientes a la distorsión armónica total de voltaje (THD V).

Se sabe la importancia de determinar los armónicos generados, debido a que pueden provocar problemas como: mayor circulación de corriente por los neutros de la instalación, sobrecarga de los transformadores o de los equipos asociados al sistema eléctrico y pueden provocar también fallas o ruidos en los equipos electrónicos. (UPME, Universidad del Atlántico, Universidad Autónoma de Occidente).

Puede verse entonces que la distorsión armónica total de voltaje obtenida durante la medición, se encuentra entre los valores permitidos por la norma, pues no llegan a superar el 8% como puede verificarse en la siguiente referencia (IEEE, 2014)

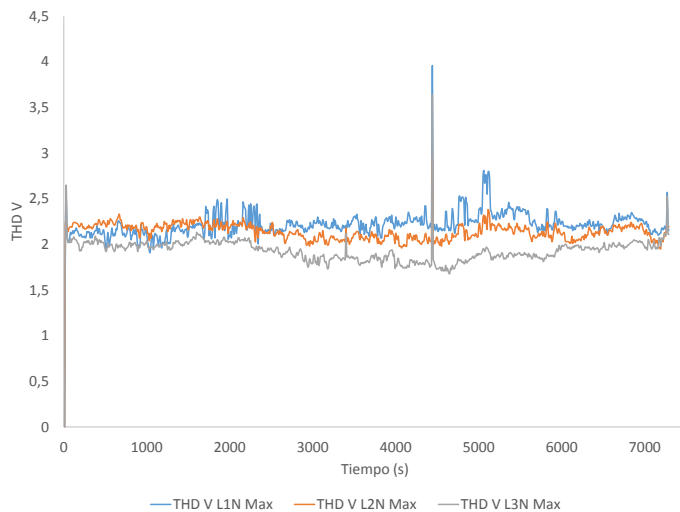


Figura 10. Medición Distorsión Armónica Total de Voltaje (THD). Imagen del autor (2015)

#### 2.4. Economía de los EVs

Finalmente se realizó el análisis del costo que representa para un usuario regulado la carga del vehículo, en este caso tomando como referencia el BEV Renault Fluence Z.E. para

ello se muestra en la Tabla 7 el costo de la energía y de la carga en diferentes estratos de EPM.

Con ello se pudo establecer que en el mejor escenario de costo de recarga para estratos 1, 2, 3 y 4, es de COP\$ 8827. Con lo que se estimó que el costo operativo por concepto energético del vehículo eléctrico es del 52 % respecto al costo del vehículo de combustión, al comparar con un vehículo de gasolina de muy alta eficiencia, asumiendo un costo para el galón de gasolina de COP\$ 8600 a precio actual.

Esta comparación puede considerarse el peor escenario para el vehículo eléctrico si se tiene en cuenta que vehículos de gasolina en Colombia tienen desempeños cercanos 40 km/gl en rutas urbanas.

Se aclara que se tomó el costo por encima del consumo de subsistencia (CS), porque se asume que con la carga del vehículo se supera dicho costo. Basado en las tarifas y costo de la Energía Eléctrica para mercado regulado de EPM, para el mes de abril del año 2015, tomado de (EPM, 2015)

Tabla 8. Tarifa y costos de energía eléctrica EV

Tarifa	Prop.EPM	Compartido	Propiedad	\$ Carga	\$ Carga	\$ Carga
Residencial	\$/kWh	\$/kWh	cliente	prop.	prop.	prop.
			\$/kWh	EPM	Compartido	Cliente
Estrato 1	417	401	385	9178	8827	8476
Estrato 2	417	401	385	9178	8827	8476
Estrato 3	417	401	385	9178	8827	8476
Estrato 4	417	401	385	9178	8827	8476
Estrato 5, 6	501	481	462	11014	10593	10171

### 2.5. Divulgación y apropiación social del conocimiento

Uno de los objetivos del proyecto acordado con la empresa ensambladora Sofasa S.A era la divulgación de las tecnologías disponibles para EVs, con ello facilitar que las personas accedieran y conocieran de primera mano el funcionamiento y la arquitectura de este tipo de vehículos, de este modo incentivar la masificación de dicha tecnología aclarando dudas y evaluando posibles mitos dados en este entorno. A continuación se enuncian las actividades realizadas en este ámbito con los vehículos durante el tiempo de ejecución del proyecto.

*Empresa de Energía de Bogotá:* Visita realizada el día el día 6 de Noviembre de 2014, para grupo de ingenieros representantes de la empresa mencionada, se hizo un corto recorrido con el grupo usando los vehículos eléctricos dispuestos en UPB, una parte del grupo en el Chevrolet Volt y la otra parte en el Renault Fluence Z.E.

Dicha empresa visito la Universidad y especialmente el grupo de investigación en TyD con el fin de estudiar tecnologías para transporte eléctrico masivo en Colombia por ello una parte de la visita se enfocó en detallarle a la empresa la experiencia del grupo en este ámbito. Durante el recorrido realizado dentro de la Universidad se indicaron los aspectos más importantes de la tecnología de cada tipo de vehículo, su autonomía, su respuesta en pendientes y lo más relevante de sus arquitecturas.

*Universidad Sur Colombiana de Neiva:* Esta visita se realizó el día 4 de diciembre de 2014 a un grupo de estudiantes de ingeniería de la Universidad en cuestión.

En este caso se presentó un grupo numeroso de estudiantes, por lo que se dividió el grupo y se hicieron varios recorridos en ambos EVs. En este caso se mostró la autonomía de los mismos, su comportamiento en rutas cotidianas y se les expuso como había sido hasta el momento la experiencia de la universidad con el manejo de los vehículos, de manera que pudiesen familiarizarse con la tecnología y conocerla más a fondo.

*Posgrado en Transmisión y Distribución de Energía, coordinado por la cámara de comercio de Cúcuta:* Se realizó el día 5 de diciembre de 2014 y se dirigió a la cohorte de estudiantes del posgrado en Transmisión y Distribución de Energía, dicha cohorte es de la ciudad de Cúcuta y visitaban las instalaciones de la Universidad por sus cursos de posgrado con el fin de conocer los proyectos vinculados al grupo de investigación en TyD, particularmente el proyecto Micro red Inteligente de la UPB, al cual se encuentra ligado el proyecto de Vehículos Eléctricos.

Se realizaron varios recorridos dentro de las instalaciones de la UPB en ambos vehículos mostrando el comportamiento de los vehículos, su arquitectura y la experiencia del grupo de investigación en este ámbito.

*Centro de ciencia y tecnología de Antioquia (CTA):* Se realizó el día 12 de diciembre de 2014, dirigida al grupo de estudiantes distinguidos pertenecientes al centro mencionado, dentro de la alianza de conocimiento de Colciencias, la Gobernación de Antioquia y la UPB, durante la celebración de la semana de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación. Con dicha visita se dio a conocer propuestas relacionadas con el tema de Energías Sustentables y Sostenibles y con ello los vehículos eléctricos disponibles en la Universidad. Puede verse en la Figura 11 una de las visitas recibidas en las instalaciones de la UPB.



Figura 11. Divulgación del conocimiento para el CTA.  
Cortesía de Paula Restrepo (2014)

*Interconexión Eléctrica S.A. (ISA):* Se realizó el día 16 de diciembre de 2014 a un grupo de ingenieros en las instalaciones de ISA, se les dio a conocer las arquitecturas disponibles en este ámbito y se les invitó a conocer las tecnologías, de este modo se familiarizó a un grupo de profesionales de una empresa como esta con el tema de EVs con promoviendo e incentivando este tipo de tecnologías en la ciudad y en el país.

*Apoyo a monitorias UPB:* Para este caso se quiso dar a conocer los estudios realizados en el ámbito de EVs a estudiantes de la universidad desde los primeros semestres, por esto se procuró invitar a los estudiantes de tutorías a conocer los vehículos y de este modo se les contó cual ha sido la experiencia del grupo con dichas tecnologías, esta labor se realizó durante el transcurso del semestre cuantas veces fue necesario y solicitado por parte de los tutores. En la Figura 12 puede verse el apoyo realizado a las monitorias a grupos de estudiantes para darles a conocer aspectos generales de las tecnologías de EVs.

La labor de socialización y divulgación del conocimiento es bastante importante para la incursión y masificación de los Vehículos Eléctricos, debido a ser un tema novedoso en la ciudad y en el país por lo que surgen inquietudes entre la población y es concerniente a la academia dar a conocer mediante la experimentación y la divulgación los asuntos más relevantes de este tipo de temas. Se pretende entonces estudiar este tipo de

tecnologías, entregar recomendaciones sobre la forma de manejo de estos vehículos y todo esto basado en la experiencia vivida con el estudio de los mismos.

La postura del grupo de investigación es familiarizar a las personas con el uso de este tipo de tecnologías, dar a conocer las ventajas y posibles aplicaciones de estos vehículos y si bien con ellas se puede mitigar el impacto ambiental, también pueden llegar a ser una solución para dejar la dependencia a la variación de costos de los combustibles fósiles y finalmente llegar a incentivar el uso de estas tecnologías.



Figura 12. Divulgación del conocimiento en tutorías.  
Cortesía de Andrés E. Díez (2015)

### 3. NOMENCLATURA RECOMENDADA Y ARQUITECTURA SIMPLIFICADA

Habiendo realizado las pruebas a los EVs y analizados los resultados obtenidos comparados con los teóricos esperados, se propone una nomenclatura que facilite a los usuarios y a los académicos identificar los aspectos más relevantes de la arquitectura y funcionamiento de los EVs.

Con dicha nomenclatura se pretende facilitar la identificación de datos importantes de los vehículos como lo son su rango de autonomía, consumo energético de sus fuentes de energía, así como también la dinámica que rige el funcionamiento del vehículo, como el uso de cada fuente de energía y en qué porcentaje hace uso de cada uno de ellos. Esta nomenclatura se basa en los datos más relevantes para la calificación de los vehículos determinada por la EPA y por Fuel Economy, en la Figura 13 puede verse una adaptación realizada por el autor a una de las gráficas entregada por la Agencia mencionada, en ella puede verse los aspectos más importantes considerados para la caracterización de un vehículo, la cual puede encontrarse para cualquier tipo de vehículo y con ella puede hacerse una idea de algunos aspectos técnicos del vehículo, sus fuentes principales de energía, el rango para cada tipo de energía usada y el consumo aproximado en cada uno de los rangos mencionados, adicionalmente entrega un estimado en cuanto a ahorro promedio basado en el consumo de combustible del mismo, sin embargo, aunque se muestra en la gráfica, este aspecto no será evaluado en la nomenclatura recomendada.



Figura 13. Adaptación tabla EPA para calificación de vehículos. Imagen autor (2015)

Los criterios para realizar la nomenclatura y arquitectura de cada tipo de tecnología estudiada se mencionan a continuación y se definen, para ser posteriormente mostradas con ejemplos en cada caso particular de estudio.

*Nomenclatura recomendada:* En esta nomenclatura planteada, se referencian las principales fuentes de alimentación de cada vehículo según su tecnología y arquitectura, a continuación se muestra la referenciación de cada elemento.

- El color azul identifica los motores eléctricos cuando estos son encargados de realizar tracción en el vehículo. Como es el caso del BEV, PHEV y EREV ●
- El color rojo identifica que el vehículo cuenta con motor de combustión y que éste se encarga de la tracción del vehículo. Como es el caso de los PHEV. ●

- El color naranja identifica que el vehículo cuenta con un motor de combustión, sin embargo, éste no se encarga de la tracción del vehículo. Como es el caso de los EREV. ●
- El tamaño de la esfera, hace referencia al tamaño del motor mencionado y por ende a la rango del vehículo usando dicho motor, representa la autonomía del vehículo en cada funcionamiento bien sea eléctrico o de combustión. En cada esfera se identifica numéricamente la autonomía del vehículo y su consumo en Millas por Galón equivalente como lo indica la EPA y en kilómetros por galón.
- El tamaño de las barras representa el consumo energético del vehículo para cada fuente de energía y se identifica con el color que referencia cada tipo de motor que tenga el vehículo, del mismo modo que fue identificado el color de las esferas.

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 la cual se pretende resumir gráficamente el funcionamiento de los EVs en sus diferentes arquitecturas disponibles, con esto se espera que se facilite el entendimiento y reconocimiento de las tecnologías disponibles para movilidad, no solo para esta tecnología, sino también para vehículos impulsados por una o varias fuentes de energía.

Se mostrarán las tecnologías estudiadas en sus casos particulares, con el fin de resumir lo que fue explicado anteriormente mediante gráficas, donde se podrán diferenciar sus fuentes principales de energía y cómo interactúan entre ellas cuando el vehículo se encuentre en funcionamiento.

Para cada tecnología estudiada se muestra basado en su caso particular de estudio, como se determinan los principales parámetros del vehículo y se muestra gráficamente su arquitectura, eso se hace de una forma resumida y sencilla para que sea de fácil entendimiento y así facilitarle al usuario el reconocimiento de cada tecnología.

Se muestra entonces a continuación para cada tecnología estudiada su funcionamiento, sus principales parámetros, su desempeño y una simplificación gráfica de su arquitectura, que facilite el entendimiento de cada tecnología para fines académicos.

### 3.1. Renault Fluence Z.E

Como pudo verse en capítulos anteriores, la fuente principal de energía de este vehículo es la energía eléctrica almacenada en las baterías del mismo, por lo tanto puede verse en la Figura 14 representado dicho motor con un color azul. También se enuncian los valores teóricos declarados por el fabricante y determinados por la NEDC.



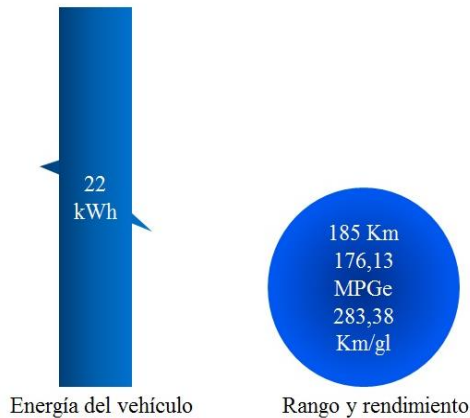


Figura 14. Nomenclatura Recomendada Renault Fluence Z.E con datos teoricos. Imagen autor (2015)

Sin embargo como se mostró en el Capítulo 2, con la realización de las pruebas establecidas se quiso validar la información suministrada teóricamente, por lo tanto se muestra en la Figura 15 los resultados obtenidos durante las pruebas y el comportamiento del vehículo mencionado para una topología mixta como la de la ciudad de Medellín, lo cual permite determinar datos más certeros y que pueden ser de gran utilidad al pensar en implementar masivamente este tipo de tecnologías.

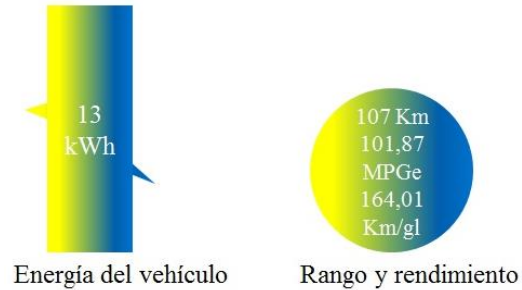


Figura 15. Nomenclatura Recomendada Renault Fluence Z.E con datos obtenidos. Imagen autor (2015)

Se identifican los valores reales del vehículo denotados con un color amarillo, con el fin de diferenciarlos de los datos declarados.

Con el fin de facilitar la comparación entre los datos teóricos y los resultados obtenidos, se muestra en la Figura 16. Comparación entre datos teoricos y reales. Renault Fluence Z.E. Imagen autor (2015) Figura 16 una imagen resumen de los valores reales y teóricos, en ella puede verse que se obtuvo un rango mucho menor de autonomía durante las pruebas, esto se dio por los aspectos ya mencionados, el tipo de conducción, el tiempo de vida de las baterías, la falta de uso por tiempos prolongados del vehículo lo que descarga por medio de corrientes parasitas el vehículo y también el tipo de topología al cual se vio enfrentado el vehículo

en esta ciudad, el cual es totalmente diferente al terreno en el cual el vehículo ya había sido sometido a pruebas.

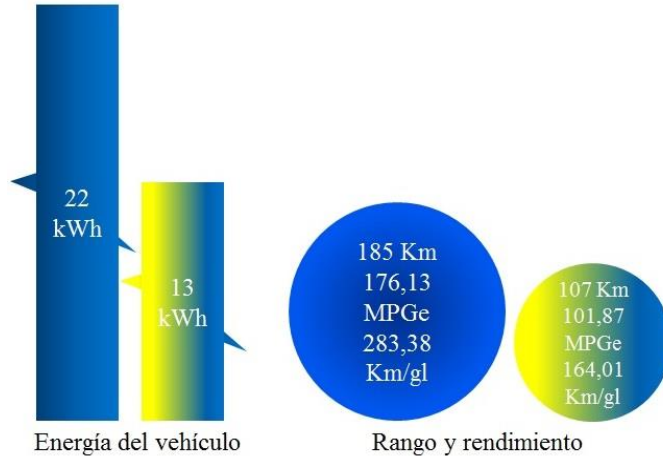


Figura 16. Comparación entre datos teóricos y reales.  
Renult Fluence Z.E. Imagen autor (2015)

Otro aspecto importante que puede verse en la comparación de los resultados, es que el consumo energético fue menor al declarado, pues se pudo determinar que el consumo de las baterías no excedía los 13 kWh, el cual es un valor inferior y podría decirse pobre para un EV, esto se dio tal vez por una protección al banco de baterías o bien por un deterioro significativo de las mismas, lo cual produce un escenario poco promisorio para este vehículo, sin embargo no

pudo comprobarse esta hipótesis durante el tiempo que se tuvo el vehículo sometido a pruebas.

Ahora, determinado estos valores y con el estudio realizado sobre la arquitectura de los BEV, se muestra en la Figura 17 la arquitectura simplificada para este tipo de tecnologías, cabe resaltar que aunque la gráfica tiene los datos del vehículo estudiado en particular, en este caso el Renault Fluence Z.E. dicha grafica sirve para entender la arquitectura y funcionamiento de cualquier BEV, simplemente se hace necesario indicar los valores específicos de su tipo de batería, los datos del motor instalado y su potencia.

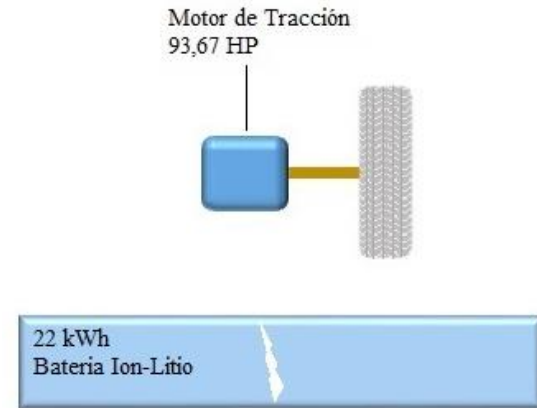


Figura 17. Arquitectura Renault Fluence Z.E. Imagen del autor (2015)

### 3.2. Toyota Prius Plug-in

Para esta tecnología se sabe por lo mostrado anteriormente que los PHEV cuentan con un motor de IC de buen tamaño y rango de autonomía, también que cuentan con un motor eléctrico de tracción de un tamaño menor comparado con el de combustión ya que este motor se encarga de la tracción del vehículo por unos pocos kilómetros.

El caso particular de estudio ha sido tomado con los datos y las pruebas realizadas y estandarizadas, esto, porque a la fecha la universidad no cuenta aún con un vehículo con esta tecnología, por lo cual no es posible realizar experimentación en este ámbito, sin embargo con los datos publicados puede realizarse también una aproximación en la nomenclatura recomendada ahora para la tecnología de PHEV.

Se muestra en la Figura 18 la nomenclatura sugerida para este tipo de vehículos, puede identificarse que el vehículo cuenta con dos tipos de fuentes de energía, la interacción de las circunferencias en la gráfica representan los momentos en los cuales ambas fuentes de energía realizan la tracción del vehículo y también que ambas pueden funcionar de forma simultánea en el vehículo por determinado tiempo para suplir demandas particulares del mismo.

La información requerida para dicha nomenclatura fue tomada de los datos y estándares definidos por la EPA. (U.S Department of Energy, 2015)

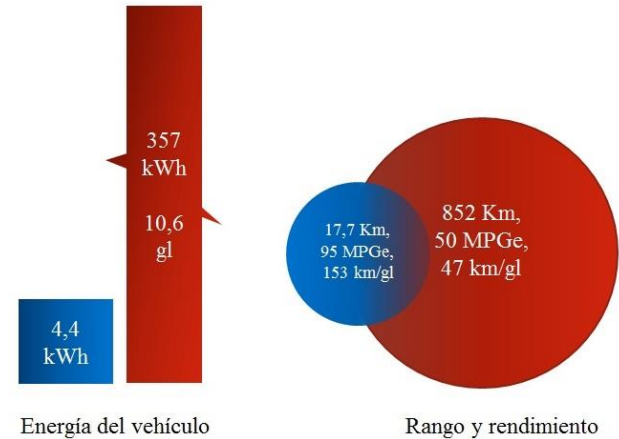


Figura 18. Nomenclatura recomendada Toyota Prius, Modelo 2012. Imagen del autor (2015)

Ya determinados los parámetros de consumo y rango de autonomía, sumados al estudio realizado sobre la arquitectura de los PHEV, se muestra en la Figura 19 una arquitectura simplificada para este tipo de tecnologías, se resalta que aunque la gráfica tiene los datos del vehículo estudiado en particular, mediante dicha grafica se puede llegar a entender la arquitectura y funcionamiento de cualquier PHEV.

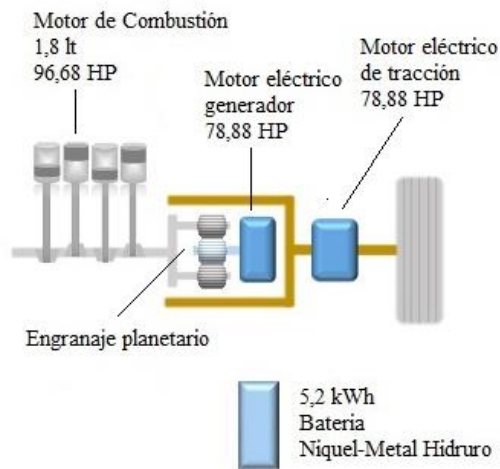


Figura 19. Arquitectura Toyota Prius Plug-in. Imagen del autor (2015)

### 3.3. Chevrolet Volt

Como ya se pudo mostrar en el Capítulo 1. Este vehículo cuenta con un motor de IC el cual no se encarga de realizar tracción en los vehículos de este tipo, el motor eléctrico por su parte se encarga de moverlo por ello es más grande que el de los PHEV, en la Figura 20 se puede observar la nomenclatura sugerida para facilitar la comprensión de los parámetros más importantes que rigen este tipo de vehículos.

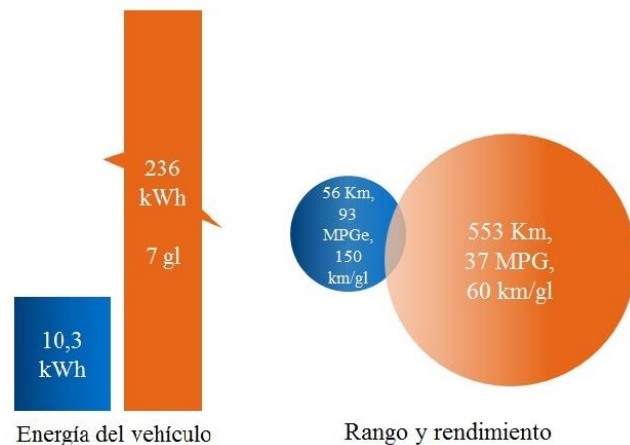


Figura 20. Nomenclatura recomendada Chevrolet Volt, Modelo 2012. Imagen del autor (2015)

La interacción mostrada entre las fuentes de energía en este caso representan que durante algunos momentos los motores eléctricos y el motor de IC pueden operar de forma simultánea, sin embargo es importante resaltar y recordar que en este tipo de tecnologías el motor de IC no se encarga de realizar tracción del vehículo, la interacción que se menciona se da cuando la carga de las baterías llega a su límite inferior por lo que se mantiene una carga en ellas mediante el acople entre el motor de IC y el motor generador.

La información necesaria fue tomada de los datos declarados por la EPA y Fuel Economy y del estudio y pruebas realizadas por el

grupo de investigación TyD de la UPB al vehículo Chevrolet Volt. (U.S Department of Energy, 2015) (Díez Restrepo, y otros, 2013).

Finalmente, con los parámetros más importantes del vehículo sumado al estudio realizado sobre la arquitectura de los EREV, se observa ahora en la Figura 21 una arquitectura simplificada para este tipo de tecnologías, se resalta que aunque la gráfica tiene los datos del vehículo estudiado en particular mediante la gráfica se puede entender la arquitectura y funcionamiento de cualquier vehículo de este tipo.

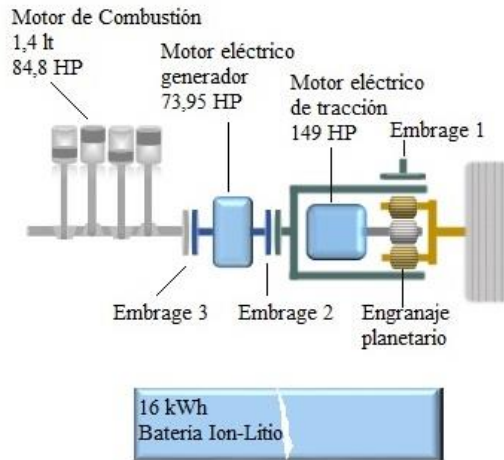


Figura 21. Arquitectura Chevrolet Volt. Imagen del autor (2015)

### 3.4. Aplicación nomenclatura

Con el fin de mostrar la utilidad de este tipo de nomenclaturas se presenta a continuación un ejemplo que puede ser de gran ayuda para un usuario de EVs. Se realiza mediante un mapa donde podrá observar cual es el rango de operatividad del vehículo usado. Para ello se ubicara una circunferencia que tendrá como centro la ciudad de origen y con el radio de la misma podrá mostrarle la frontera operativa del vehículo.

El problema radica en que es difícil comparar el rango teórico de los vehículos con distancias kilométricas porque las distancias lineales en los mapas son muy diferentes de las distancias carreteras reales, para el ejercicio entonces se va a encontrar una razón media en Colombia entre las distancias lineales y las distancias de ruta, tomando como referencia la ruta Medellín Bogotá, esa ruta tiene una distancia de 447,7 km en carretera, pero solamente 248 km lineales, lo que da una razón de 1,81 entre distancia carretera contra distancia lineal. Con ello y tomando como referencia la autonomía declarada del Renault Fluence Z.E se ajusta el radio del círculo a la distancia carretera que tendría ese rango en distancia lineal para dar al usuario una expectativa conservativa del rango en el cual puede viajar con su batería.

Podrá verse entonces el rango de operatividad para dicho vehículo, y se aclara que cuando se acerque al límite de la circunferencia el usuario deberá programar detenerse para cargar el vehículo.

Se muestra en la Figura 22, el caso en el cual el usuario quisiera conocer el rango de operatividad del vehículo si quisiera retornar a su punto de partida sin tener que detenerse a cargar las baterías y esto tomando como punto de partida la ciudad de Medellín

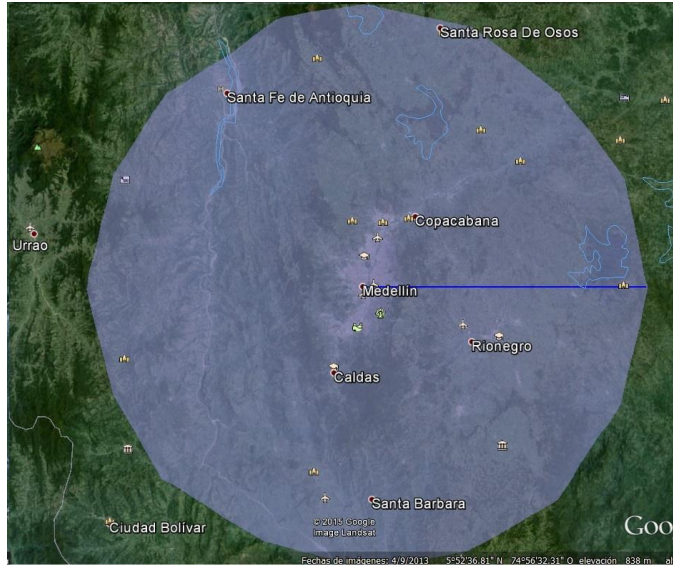


Figura 22. Rango operatividad, ida y vuelta Renault Fluence Z.E. Imagen del autor (2015)

Finalmente se muestra en la Figura 23 la comparación entre el caso de hacer un recorrido completo para detenerse a cargar el vehículo cuando se acerque al límite de la circunferencia roja, comparado con una ruta que permita salir y regresar al punto de partida con carga en las baterías al acercarse al límite de la circunferencia azul, de este modo el usuario podría identificar su rango de operatividad y planificar posibles puntos de recarga.

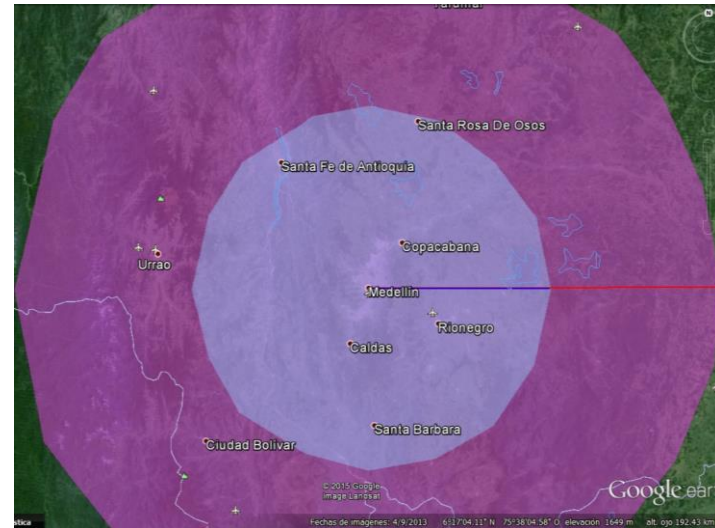


Figura 23. Rango operatividad, Renault Fluence Z.E. Imagen del autor (2015)

Cabe resaltar que para esta nomenclatura no se tiene en cuenta el comportamiento del vehículo cuando es enfrentado a fuertes pendientes, aunque es una metodología conservativa se debe recomendar mantener vigilancia sobre el estado y consumo de las baterías y la topología del terreno durante el recorrido realizado. También se resalta que dicha herramienta puede ser usada por los planeadores de estaciones de recarga, debido a que les permitiría encontrar puntos probables para su ubicación de estaciones dentro y fuera de la ciudad.

#### 4. CONCLUSIONES

Se realizaron estudios sobre las configuraciones y arquitecturas de diferentes tipos de vehículos que tuviesen incorporada tracción eléctrica y que fuesen conectables a la red de energía eléctrica, se pudo identificar los aspectos más importantes de sus arquitecturas y se encontraron las principales diferencias en sus funcionamientos.

Se identificó las variables y parámetros más importantes que permiten evaluar el desempeño de los vehículos eléctricos, esto se logró mediante el estudio de las arquitecturas de los mismos y mediante las experiencias reseñadas por parte del grupo de investigación y de estándares internacionales.

Se diseñaron los protocolos y las pruebas necesarias que permitieran evaluar correctamente el desempeño de los vehículos eléctricos. Mediante dichas pruebas 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, al encontrarse por debajo del límite permitido por la norma Colombiana, 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, evitando así sobrecostos y sanciones por el no cumplimiento de las normativas.

En el estudio del desempeño del vehículo eléctrico a baterías Renault Fluence Z.E. se determinó que dicho vehículo cumple con condiciones satisfactorias para ser utilizado en vías urbanas y cotidianas para la ciudad de Medellín, se obtuvo la respuesta del

vehículo siendo sometido a fuertes pendientes, a diferentes tipos de conducciones su respuesta fue satisfactoria. Se evidenció la evolución de la autonomía del Vehículo Eléctrico a Batería durante el tiempo que lo tuvo la UPB, esto se dio por el tipo de conducción y al uso continuo del mismo. Sin embargo se obtuvo una diferencia entre los resultados de las pruebas y los valores teóricos, en cuanto a su capacidad energética la cual se encontró muy por debajo del valor declarado, esto pudo darse por una protección al banco de baterías o por un deterioro significativo de las mismas. Lo cual produce un escenario poco promisorio para este vehículo.

Se logró identificar que el tipo de conducción empleada en estos vehículos es un factor diferenciador en el consumo del mismo, se recomienda evitar aceleraciones fuertes, alcanzar altas velocidades en corto tiempo que lleven a frenadas pronunciadas, pues esto provocará grandes consumo de energía de los vehículos y reducirá el rango de los mismos. Así mismo reconocer la topología de los terrenos en las rutas que se deseen tomar, para así estimar el consumo del 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, al evitar aceleraciones y frenadas innecesarias se facilita que la corriente que circula de la batería al motor y en sentido contrario sea aprovechada de manera adecuada. También se evidenció que alcanzar velocidades adecuadas durante los recorridos permite que los motores funcionen bajo condiciones óptimas y se tenga mejor rendimiento de los Vehículos Eléctricos con mayor eficiencia y reducción del consumo.



Se observó que el rendimiento del vehículo va ligado al cuidado de la batería, esto se refiere a la importancia de 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

- ABB. (s.f.). *Cuaderno de aplicaciones técnicas N. 8*. Obtenido de Corrección del factor de potencia y filtrado de armónicos en las instalaciones eléctricas: [http://www09.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/897462d590876b5fc125791a003bd1e0/\\$file/1TXA007107G0701\\_CT8.pdf](http://www09.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/897462d590876b5fc125791a003bd1e0/$file/1TXA007107G0701_CT8.pdf)
- 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).
- EPM. (Abril de 2015). *Centro de documentos - Tarifas Energía 2014*. Obtenido de Tarifas y Costo de Energía Eléctrica - Mercado Regulado - agosto de 2014: <http://www.epm.com.co/site/Portals/2/documentos/tarifas/2015/Tarifa%20Abril%2011%20de%202015.pdf>
- EPM. (1 de Marzo de 2015). *Tarifas y Costo de Energía Eléctrica - Mercado Regulado*. Obtenido de <http://www.epm.com.co/site/Portals/2/documentos/tarifas/2015/Publicacion%20Marzo%2012%20de%202015.pdf>
- 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](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&ID=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](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>
- Luque, 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>

- d&pg=PP1&dq=norma+alemana+din+70020&ots=IfKS2WtXX0&sig=CEUoN3VvvCrf-uNJaOcZlbl8KCl#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](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>
- Toyota Motor Corporation. (2011). *Toyota\_tech*. Obtenido de Manual de Desguace del Vehículo Híbrido: [http://www.toyota-tech.eu/HYBRID/HVDM/ES/Prius%20Plugin\\_ES.pdf](http://www.toyota-tech.eu/HYBRID/HVDM/ES/Prius%20Plugin_ES.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 Atlantico, 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.