

Metodología para la conversión de un vehículo térmico a un vehículo eléctrico

Methodology for the conversion of an Internal-combustion engine automobile to an Electric vehicle

Edgar Alonso Salazar Marín¹, Juan Felipe Arroyave Londoño², Carlos Alberto Romero Piedrahita³

^{1,2,3} Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Tecnología, Pereira, Colombia,
edgarsalazar@utp.edu.co, jfa@utp.edu.co, cromero@utp.edu.co

Fecha de recepción: 01/03/2019 Fecha de aceptación del artículo: 17/07/2019



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-No comercial-SinObraDerivada 4.0 internacional.

DOI: doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.5064

Como citar: Salazar Marín, E., Arroyave Londoño, J. F., & Romero Piedrahita, C. A. (2019). Metodología para la conversión de un vehículo térmico a un vehículo eléctrico. *Avances: Investigación En Ingeniería*, 16(1), 17. <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.5064>

Resumen

Colombia, al igual que otros países en desarrollo, viene incorporando a su parque automotor diversos vehículos eléctricos, motivado por una emergente política de incentivos, una preocupación por el medio ambiente y un alto costo del combustible. Sin embargo, estos vehículos continúan siendo relativamente costosos. La transformación de vehículos térmicos (motor de combustión) a vehículos eléctricos se convierte en una opción interesante, debido a su bajo costo, comparado con los vehículos eléctricos comerciales nuevos y el impacto ambiental positivo que representa. El artículo describe una metodología para transformar un vehículo tradicional de combustión a uno eléctrico, mostrando el beneficio económico y el impacto en mitigación de gases efecto invernadero.

Palabras clave: cambio climático, transporte sustentable, vehículos eléctricos,

Abstract

Colombia has been incorporating several electric vehicles in its vehicle fleet, due to different factors, such as an emerging policy of incentives, environmental awareness, and the high cost of fuel. However, this type of vehicles still being fairly expensive. The transformation of thermic-powered automobiles (internal-combustion engine-ICE) into electric vehicles (EV) becomes an interesting option, regarding its low cost compared to the new commercial electric versions, as well as the positive environmental impact that it endures. This paper describes a methodology to convert an ICE traditional vehicle to an EV; through viewing the economic gain and the impact on greenhouse gas mitigation.

Keywords: Climate change, Sustainable transport, Electrical vehicle.

1. Introducción

En los últimos años, el transporte tradicional (con base en combustión) ha tenido un efecto cada vez más nocivo para el medio ambiente y la salud humana. Recientemente, un estudio publicado [1] plantea que:

[...] por décadas, la polución y sus efectos sobre la salud humana, el medio ambiente y el planeta han sido despreciados por gobiernos y agendas de desarrollo internacional. La conversión a vehículo eléctrico representa la mitigación de efectos nocivos al ambiente y a la salud al evitar la polución causada por motores de combustión, la cual es responsable de un estimado de 9 millones de muertes prematuras al año.

Esto representa el 16% de todas las muertes prematuras actualmente en el mundo. Además, los costos debidos a la polución representan a la economía global 4,6 trillones de dólares por año, equivalente al 6,2% de la producción económica global [1].

El transporte no es solo el principal responsable de los efectos en la salud humana, sino también la principal fuente de gases efecto invernadero.

Reportes recientes de la Unidad de Planeación Minero Energética (figura 1) muestran al transporte como el sector de la economía de mayor emisión de CO₂ en el país, con aportes de 37,3 millones de toneladas al año. Por otro lado, el transporte se convierte en la principal fuente de componentes de la polución como material particulado (PM10) y óxido de nitrógeno.

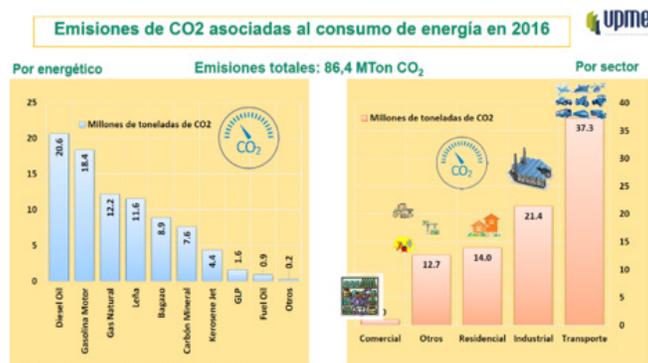


Figura 1. Emisiones de CO₂ por tipo de combustible y por sector

Otros estudios [2] han mostrado de qué manera el crecimiento de las ciudades y, por ende, el número de vehículos y el sector industrial han incrementado el problema de la polución y la salud pública. La movilidad eléctrica representa, entonces, una alternativa interesante para mitigar esta problemática, más aún cuando implica el ahorro de costos por combustible, de crecimiento progresivo en países como Colombia. La transformación de vehículos de combustión a eléctricos se ha venido implementando en diversos países de Latinoamérica. El objetivo de este artículo es mostrar cómo se convierte un vehículo de combustión (tradicional en el contexto colombiano) a un vehículo eléctrico, efectuando análisis del desempeño del sistema eléctrico, al tiempo que se construyen las curvas par y potencia del motor. Ya se han efectuado diferentes conversiones en países como México, Perú, Ecuador y Venezuela; pero sin un análisis teórico y pruebas experimentales de validación de desempeño del sistema de tracción. Algunos estudios han hecho los análisis; por ejemplo, Rodríguez, Bohórquez y Díez [3] estudiaron el comportamiento de diversos vehículos eléctricos sobre la topología de Medellín. González et

al. [4] describieron la metodología usada para convertir un vehículo térmico a uno eléctrico sin análisis del comportamiento del sistema. Otros estudios [5] han analizado diferentes maneras estandarizadas para medir la autonomía de un vehículo, pero no incorporaron el análisis de la potencia de tracción. Otras investigaciones [6] analizaron la conversión de un vehículo convencional a uno híbrido. Sin embargo, no hay estudios que impliquen análisis teóricos y pruebas experimentales para la validación del comportamiento de la dinámica de tracción de un vehículo eléctrico transformado.

2. Vehículos eléctricos

Los vehículos eléctricos existen desde hace 50 años, pero en gran parte, por intereses económicos, no había sido posible masificarlos en el mercado, con un adecuado desarrollo tecnológico. Actualmente, con las nuevas políticas de mitigación al cambio climático y las innovaciones tecnológicas han renacido los vehículos eléctricos. Compañías como Tesla vienen invirtiendo en investigación y desarrollo tecnológico que han permitido expandir las características técnicas (autonomía, potencia y velocidad) y reducir el costo total, con lo cual se ha podido equiparar y superar (en algunos aspectos) el desempeño de un vehículo de combustión.

En Latinoamérica, los vehículos eléctricos aún tienen un alto costo para un usuario final, influenciado principalmente por el precio original de fábrica y los costes de importación implicados. Ejemplo de esto es el Nissan Leaf (modelo 24 kWh), que cuesta 16.607 euros en Japón, 29.460 euros en España y 34.300 euros en Colombia (equivalentes a 120.000.000 millones de pesos). Con estos costos, convertir un vehículo de motor de combustión a un vehículo eléctrico podría ser una opción con viabilidad tanto técnica como económica.

3. Conversión del vehículo eléctrico

Se seleccionó un vehículo Chevrolet Sprint (Suzuki Swift en Estados Unidos) para la conversión, debido a su bajo peso y la amplitud en su cavidad frontal (figura 2).

Las características técnicas del vehículo base de conversión son:

Tara: 675 kg, Potencia: 46,8 kW, Relación peso/potencia: 14,43. Cilindraje: 993 cm³.



Figura 2. Vehículo base de transformación

También se analizó la dinámica de tracción del vehículo [7]-[9] para establecer los requerimientos de potencia en función de los diferentes parámetros, incluyendo la pendiente (normalmente alta en la geografía latinoamericana). La ecuación 1 [4] determina la potencia requerida para un vehículo, involucrando los componentes pendientes, rodadura, efecto aerodinámico y aceleración.

$$\dot{W} = \left[W \sin \theta + C_r W \cos \theta + \frac{1}{2} \rho S K_a V^2 + m a \right] V \quad (1)$$

Donde W (peso), θ (pendiente de la carretera), C_r (coeficiente de rodadura), ρ (densidad del aire), S (sección transversal del vehículo), K_a (coeficiente de arrastre), m (masa), a (aceleración) y V (velocidad) [10][11].

La figura 3 presenta el comportamiento de la potencia en función de la velocidad del vehículo eléctrico proyectado, tomando como valores:

$m = 1025$ kg (675 kg del vehículo + 5 pasajeros de 70 kg); $C_r = 0,03$; $\rho = 1,2$ kg/m³; $K_a = 1,2$; $a = 0$ (velocidad constante); $S = 1,7$ m²; $\theta = 0$, y 10 % (terreno plano y alta pendiente).

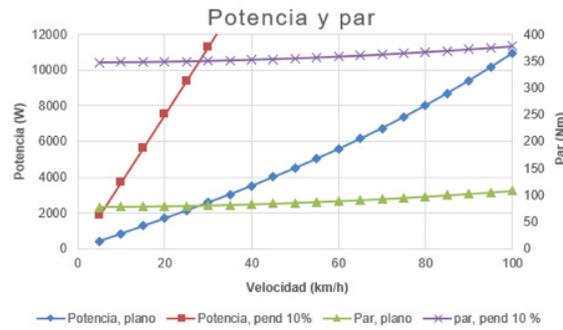


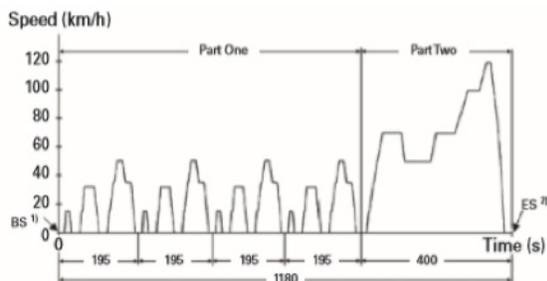
Figura 3. Potencia y par como función de la velocidad en terreno plano y pendiente 10 %

Se espera que el vehículo supere velocidades de 70 km/h en condiciones favorables (terreno plano). Un motor eléctrico de 10 HP (7,5 kW) puede satisfacer estas condiciones (figura 3). No obstante, con una pendiente alta (10%), este motor moverá el vehículo a 20 km/h. En las carreteras colombianas (promedio Latinoamérica) es necesario contar con caja de velocidades para entregar el par de torsión requerido bajo condiciones exigentes de carga. Tal como se observa en la figura 3, en una pendiente del 10 %, el par de torsión requerido asciende a 350 Nm. Las características propias de un motor eléctrico no permiten satisfacer este nivel de par, por lo que requiere una caja de transmisión que amplifique el torque original del motor.

3.1. Prueba del vehículo base

Antes de modificar el vehículo, es importante efectuar pruebas de combustión, a efectos de determinar el nivel de polución que emite el vehículo a la atmósfera. Para esto, se desarrollaron las pruebas dinámicas con base en el protocolo New European Driving Cycle (NEDC), con el propósito de evaluar el consumo de combustible y las emisiones contaminantes. La figura 4 presenta el ciclo empleado.

Figura 4. Ciclo de conducción con el protocolo NEDC



Estas pruebas se desarrollaron en el laboratorio de pruebas dinámicas de la Universidad Tecnológica de Pereira, con el vehículo sobre rodillos y empleando sensores de gases de escape y sensor de consumo volumétrico del combustible.

Durante las pruebas, el consumo de combustible promedio fue de 57,78 km/galón (6,54 l/100 km). Los gases de combustión obtenidos fueron CO: 1,808 g/km; THC + NOx: 0,652 g/km.

Los valores sobrepasan los límites internacionales establecidos, los cuales, para este tipo de vehículos y de acuerdo con los estándares (Euro 4) [5], son: CO: 1,0 g/km y HC + NOx: 0,3 g/km.

En Colombia, los vehículos se evalúan según el protocolo Euro 2 (Resolución 910 de 2008), que establece límites como CO: 2,20 g/km y HC + NOx: 0,50 g/km. Teniendo en cuenta los resultados de impacto ambiental, el vehículo seleccionado es propicio para la conversión.

3.2. Sistema eléctrico

El motor eléctrico requerido según el análisis de la dinámica de tracción (figura 3) es de 10 HP (7,5 kW). Un motor de esta capacidad necesita un sistema eléctrico de 72 V, con los siguientes componentes (figura 5):

- ◆ Controlador AC de 72 V y 400 A.
- ◆ Convertidor DC-DC 12 Vdc-72 Vdc
- ◆ Cargador CH4100 72 V y 25 A.
- ◆ Acelerador electrónico.
- ◆ Motor AC HPQ7.5YBE-72
- ◆ Bomba de vacío para freno: 12 V.
- ◆ Batería de litio con carcasa y control BMS (Battery Management System).

El costo de este kit es de 1200 dólares, y el de la batería, de 3000, siendo esta la de mayor costo, por sus características (litio y control BMS).



Figura 5. Componentes del sistema eléctrico

La figura 6 ilustra las curvas del motor aportadas por el proveedor. La curva de potencia muestra que el motor entrega un máximo de 8 kW con una eficiencia cercana al 90% y entrega un par de 30 Nm.

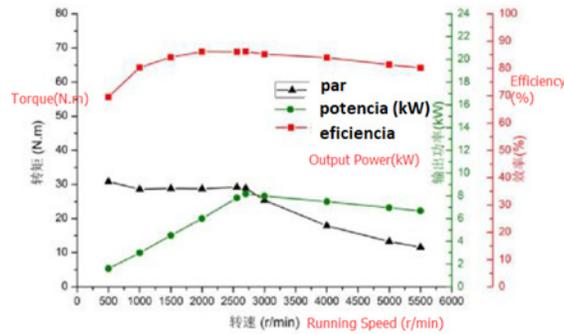


图1 额定特性曲线 Rated Characteristic Curve

Figura 6. Curvas características del motor (fabricante Empower-China)

A diferencia de un motor de combustión, el máximo par en un motor eléctrico se entrega a bajas revoluciones; esto permite satisfacer demandas altas de par en arranques sin incrementos altos de potencia. No obstante, para elevadas pendientes, es necesario contar con la caja de velocidades original del vehículo. La tabla 1 presenta la relación de transmisión en las diferentes marchas del vehículo.

Tabla 1. Relaciones de transmisión para las marchas del vehículo

Marcha	Relación de transmisión
1	3,41
2	1,89
3	1,28
4	0,91
5	0,75
reversa	2,91
Eje de salida	4,38

Para lograr los pares requeridos en pendientes elevadas (figura 3), es preciso usar la caja de velocidades. En marcha, la primera, por ejemplo, se puede ampliar el par motriz de 30 Nm (figura 6) a 448 Nm para satisfacer demandas de par con pendiente del 10%.

3.2. Pruebas preliminares del kit eléctrico

Antes de instalar el sistema, se efectuaron las pruebas del motor (sin carga) para verificar que fueran adecuados el estado de los componentes y el funcionamiento del sistema. Se midió la potencia del motor en vacío, con el propósito de establecer la referencia para las mediciones futuras con carga. La figura 7 esquematiza las conexiones eléctricas del sistema.

La batería principal debe ser conectada a la batería auxiliar de 12 VDC (puede usarse del vehículo original) para cargarla continuamente, reemplazando la función del alternador.

La corriente eléctrica demandada por el motor en las pruebas sin carga registró picos de 40 A (72 Vac), lo que representa un consumo de 2880 W, con una velocidad de rotación del motor de 3000 RPM. Las pruebas iniciales permitieron identificar conectores, cables, protecciones necesarias y rango de trabajo del acelerador. La figura 8 muestra una imagen del sistema ensamblado.

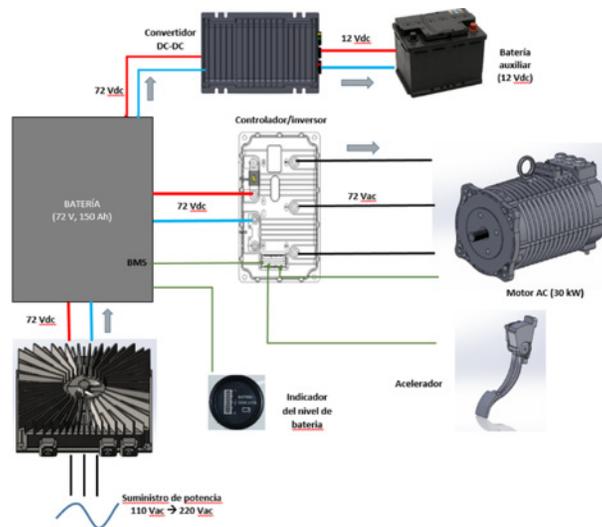


Figura 7. Esquema unifilar de conexiones



Figura 8. Ensamblaje para pruebas (en vacío) iniciales del motor

Para las pruebas de carga de la batería, esta se conectó a una red eléctrica de 120 Vac (red local en Colombia), con consumos de 14 A (1700 W). En estas pruebas iniciales, la batería principal está prácticamente cargada, suponiendo demandas mayores cuando esté descargada.

3.3 Etapas del proceso de conversión

3.3.1. Desmontaje del motor de combustión

Inicialmente, el motor de combustión se removió del vehículo de manera cuidadosa, para mantener su estado de funcionamiento.



Figura 9. Proceso de desmontaje del motor de combustión (de izquierda a derecha: motor ensamblado, retirada del motor y habitáculo sin motor)

Inicialmente, se hizo necesario el diseño y fabricación del acople entre motor eléctrico y caja de velocidad. En esta conversión no se usará embrague. Esto genera condiciones similares a un vehículo automático, donde solo se requiere aplicar freno y acelerador. No obstante, en condiciones de alto par de torsión (arranques en ascenso, por ejemplo) se podrá usar la caja de cambios acoplada. Para garantizar la concentricidad entre el eje del motor y el eje de la caja de velocidad, se debió fabricar un acople y una placa de centrado. La figura 10 muestra las partes diseñadas y una imagen de la placa ensamblada al motor.



Figura 10. Acople y placa de centrado

El agujero estriado del disco del embrague se aprovechó para acoplar los dos ejes (motor y caja). Esta parte del acople se une a un agujero estriado que ajustará en el eje del motor eléctrico. Este acople se diseñó para garantizar el ajuste necesario sin pérdida de potencia por desalineación de los componentes. La placa fabricada de aluminio de 10 mm no incrementa considerablemente el peso del sistema y cuenta con un agujero para centrar y ajustar el motor eléctrico. El borde de la placa se define con base en la cara frontal plana de la caja de velocidades y las perforaciones sirven de guía para los tornillos sujeción.

Se efectuaron pruebas de movimiento y medición de potencia con motor y caja de velocidades acoplados. La corriente incrementó el 10 %, debido a la fricción normal entre ruedas dentadas de la caja, comprobando un correcto ajuste y funcionalidad del acople. La figura 11 presenta motor y caja acoplados y el montaje en un habitáculo del vehículo.



Figura 11. Ensamble y montaje de motor eléctrico y caja acoplados

3.3.2. Montaje de motor-caja y componentes

El ensamble caja-motor se acopló en el vehículo, empleando los soportes del motor de combustión original. Para la proyección de montaje, teniendo en cuenta dimensiones y optimización del sistema, se emplearon herramientas de modelado 3D (figura 12). La batería y el cargador se ubicaron en el baúl del vehículo, teniendo en cuenta las dimensiones y pesos y la cercanía del conector de carga, previsto en el mismo lugar de la entrada (original) de combustible. La figura 13 presenta imágenes de ubicación de los componentes.

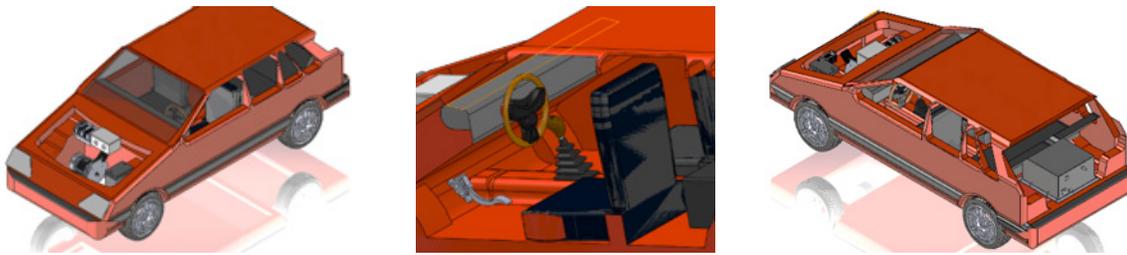


Figura 12. Proyección del montaje de los componentes con el modelo a escala del vehículo



Figura 13. Ubicación de la batería de litio y demás componentes

La caja de conexiones eléctricas (figura 13) se ha empleado para implementar protecciones de sobrecorriente y tensión e incorporar un relé (o relevador) para suministrar acceso de señales al sistema con la activación de la señal del interruptor principal del vehículo.

La figura 14 esquematiza el circuito empleado, manteniendo la ubicación de los componentes en el vehículo (vista superior).

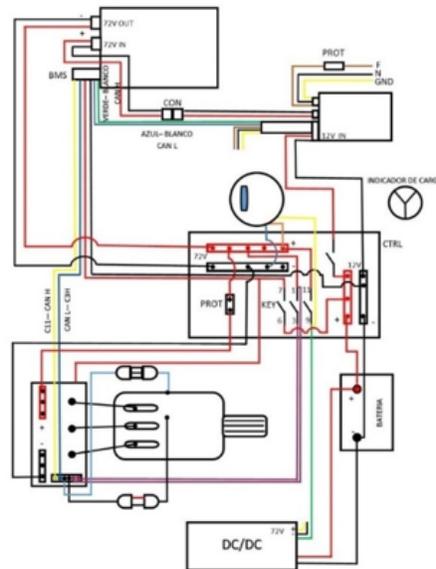


Figura 14. Esquema del circuito eléctrico

3.3.3. Balance de masas

Se compararon la masa del vehículo antes (combustión) y después de la transformación (eléctrico). Además, se tomaron los pesos de los diferentes componentes (figura 15) en cada uno de los sistemas. La tabla 2 presenta los resultados.



Figura 15. Medición de la masa del motor eléctrico

Tabla 2. Comparación del peso de componentes

Sistema eléctrico		Sistema motor térmico	
Componente	Masa (kg)	Componente	Masa (kg)
Motor eléctrico	40	Motor de Combustión	150
BATERÍA DE LITIO	90	Tanque de combustible (lleno)	30
Controlador	6	Radiador	5
Cargador	5	Tubo de escape	6
DC-DC Convertidor	1	Tubería y filtros	5
Total	142	Total	196

La transformación del vehículo en eléctrico representa una disminución del peso de alrededor del 30% (tabla 2), lo cual permite que la potencia demandada sea menor para las mismas condiciones de carretera.

4. Pruebas experimentales

Se realizaron pruebas de medición de potencia efectiva en el eje de salida (tracción) en el laboratorio de pruebas dinámicas de la Universidad Tecnológica de Pereira, empleando un equipo dinamómetro de cubos (Dynapack). De igual manera, se realizaron pruebas de autonomía en rodillos, siguiendo perfiles estándar NEDC (figura 4). La figura 16 incluye imágenes del montaje y resultados.

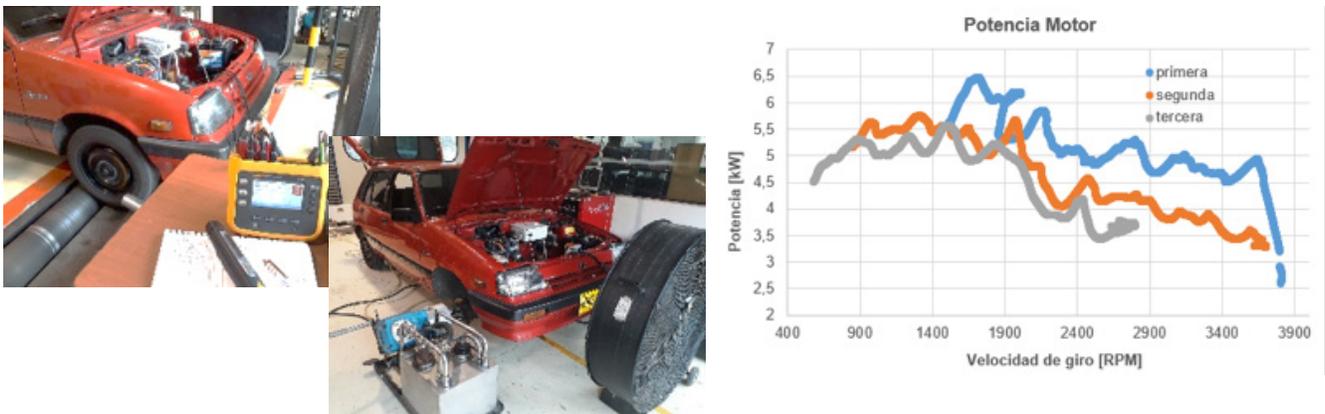


Figura 16. Montaje en rodillos, dinamómetro y resultados de potencia

Las potencias de salida se midieron empleando las marchas 1.^a, 2.^a y 3.^a con registros entre 5 y 6,5 kW, debido a la pérdida que representa la transmisión y eficiencia propia del motor. En los rodillos se encontraron valores de autonomía (descarga completa en la batería) equivalentes a 250 km. Comparando con un motor térmico, un tanque lleno (8 galones) dispone de una autonomía de 320 km, pero con un costo de 72.000 pesos, mayor al costo de la electricidad demandada por el vehículo eléctrico para el mismo recorrido, equivalente a 6000 pesos (15 kWh).

En carretera, se llevaron a cabo pruebas para acercarse más a las condiciones reales de carga. La figura 17 muestra las curvas típicas generadas en un recorrido; en este caso, un trayecto corto UTP-Condina-UTP.

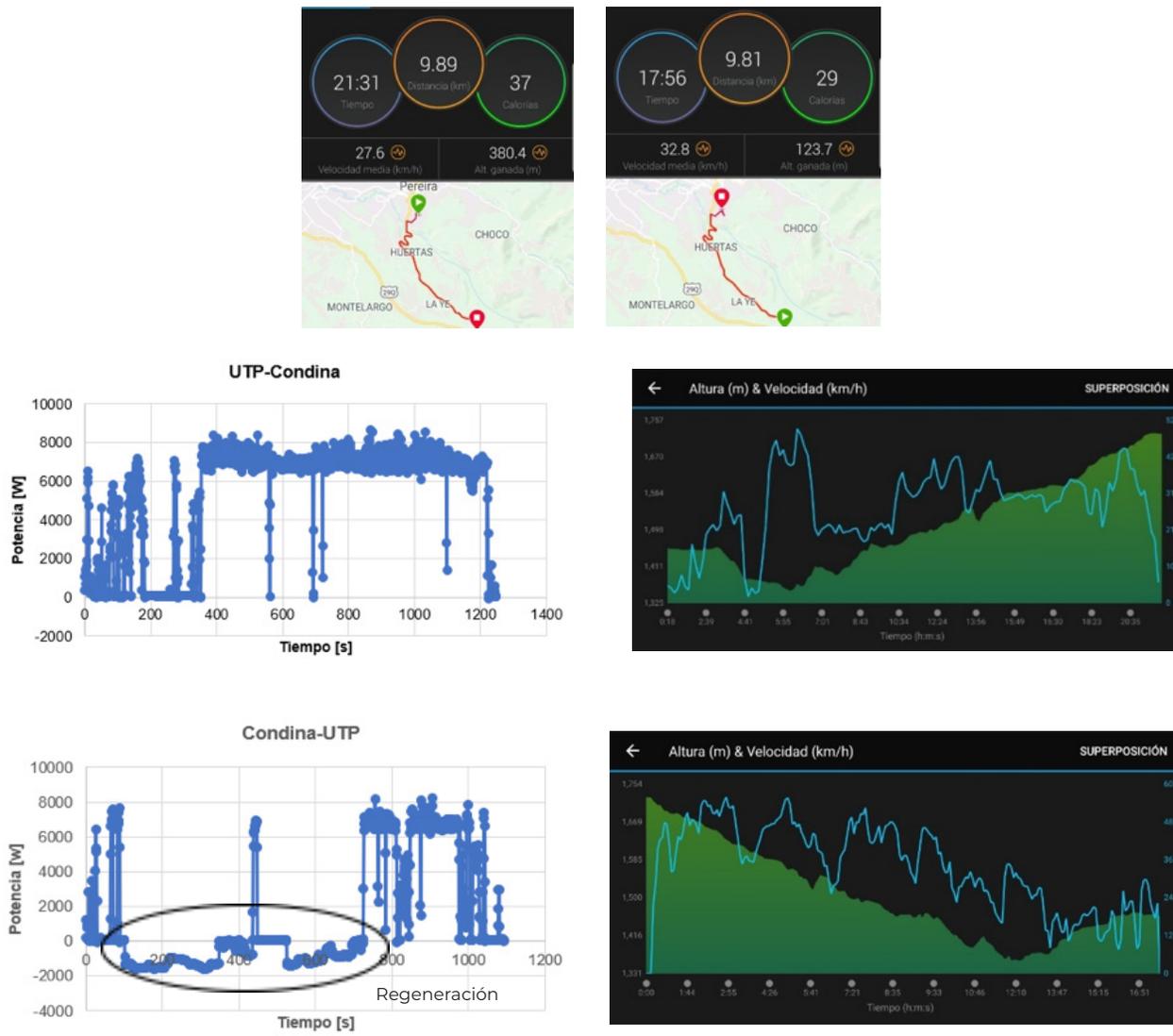


Figura 17. Pruebas en carretera en el recorrido UTP-Condina-UTP: kilómetros recorridos, potencia medida, altimetría y velocidad

La pendiente promedio en el ascenso UTP-Condina es del 6%, la energía consumida registrada fue de 1858 Wh con una reducción de tensión de 76,4 V a 75 V. Es de notar que la velocidad más alta en estos recorridos se presentó en los descensos, con demandas de potencias muy bajas y, por el contrario, las máximas potencias ocurrieron en los ascensos. En el descenso Condina-UTP

se aprovechó la inercia alcanzada para activar el freno regenerativo, con lo que se alcanzaron potencias a favor de 2 kW. El consumo energético demandado neto registrado fue de 402 Wh con pérdida de tensión solo de 0,5 V.

En ascenso, condiciones más exigentes de pendiente requieren mayores demandas de potencia y par de torsión, que concuerdan de manera aproximada con lo calculado en la dinámica de tracción. La tensión nominal en la batería es de 72 Vdc; sin embargo, puede ser cargada hasta 82 V (carga plena) y descargada hasta 62 Vdc. Esta reducción de tensión se genera con una descarga energética de 11 kWh. En condiciones de ascenso, el vehículo recorrió 9,89 km con un gasto energético de 1858 Wh. Esto supone que, manteniendo similares condiciones de pendiente y velocidad, el vehículo tendría una autonomía de 60 km si contamos con una energía plena disponible de 10800 Wh (150 Ah a 72 V). Por el contrario, en condiciones favorables, aún con mayores velocidades, la autonomía sería de 267 km con la regeneración posible en los descensos más pronunciados.

Conclusiones

- ◆ Pruebas experimentales han mostrado que la potencia depende de las condiciones de carga establecida, lo que valida el modelo planteado (1), figura 3. En un terreno plano (pendiente 0), el vehículo (con todos sus ocupantes) ha alcanzado velocidades de 80 km/h, con una potencia plena de 8 kW (velocidad constante). La batería se ha descargado bajo diferentes condiciones de carga y, así, ha mostrado valores de autonomía diversa. En las condiciones más favorables, el vehículo ha recorrido desde Pereira a Buga, consumiendo el total de su energía almacenada en la batería (10800 Wh, 82 a 62 Vdc).
- ◆ Pruebas llevadas a cabo en el vehículo de combustión (antes de la conversión) mostraron que el consumo de combustible fue de 6,54 L por cada 100 km, con niveles de contaminación altos (CO: 1,808 g/km, THC + NOx: 0,652 g/km), que sobrepasan los límites internacionales admisibles y generan un alto impacto en la huella de carbono.
- ◆ Análisis comparativos de masas mostraron que la transformación de un vehículo de combustión a uno eléctrico puede reducir la masa total, casi del 30% y, por ende, la carga demandada.
- ◆ El factor económico constituye una importante razón para este tipo de conversiones, principalmente en el contexto latinoamericano. En Colombia, por ejemplo, el costo total del sistema eléctrico oscila alrededor de 4000 dólares (12.000.000 de pesos aproximadamente). Un vehículo eléctrico nuevo cuesta cerca 100.000.000 de pesos (34.000 dólares), siendo la transformación una opción más favorable.
- ◆ Actualmente, el costo del combustible está cerca de los 9000 pesos por galón (3 dólares) o 0,7 dólares por litro. El costo del kilovatio por hora es aproximadamente de 500 pesos (0,17 dólares/kWh). Con un motor de combustión, un consumo promedio es 40 km/galón de combustible que cuesta 3 dólares, para 100 km el gasto será de 7,5 dólares. La carga total de la batería es 150 Ah-72 V (10800 Wh) con 250 km de autonomía. Por lo tanto, 100 km representan un consumo de 4000 Wh que cuestan 0,68 dólares. En síntesis, con un vehículo eléctrico, cada 100 km representan ahorros

de casi 7 dólares (21.000 pesos). Para un consumo anual de 20000 km el ahorro será de 1400 dólares (4.200.000 pesos), recuperando la inversión de kit eléctrico en solo 3 años.

- ◆ Respecto a la mitigación de gases efecto invernadero, con un vehículo eléctrico se dejan de enviar a la atmósfera anualmente 36,2 kg de CO, 13 kg de NOx + THC y 2,4 toneladas de CO₂.

Agradecimientos

Este proyecto ha sido financiado por la Universidad Tecnológica de Pereira (UTP). Se agradece a estudiantes y profesores del semillero de investigación en energías renovables de la Facultad de Tecnología, al taller AAE Atención Automotriz Especializada para efectuar desmontaje del motor de combustión, al SENA Industria en la fabricación de estrías acoples y al laboratorio de Pruebas dinámicas automotrices de la UTP.

Referencias

- [1] The Lancet Magazine. "The Lancet Commission on Pollution and Health" [en línea]. 19 de octubre de 2017. Disponible en: <https://www.thelancet.com/commissions/pollution-and-health>
- [2] The Guardian Magazine. "Air pollution rising at an 'alarming rate' in world's cities", 12 de mayo de 2016 [en línea]. Disponible en: <https://www.theguardian.com/environment/2016/may/12/air-pollution-rising-at-an-alarming-rate-in-worlds-cities>
- [3] M. Rodríguez, J. A. Bohórquez y Andrés Emiro Díez. "Estudios sobre el desempeño de vehículos eléctricos dependiendo de la arquitectura de su sistema de tracción", Thesis, Univ. Pontificia Bolivariana, Medellín, Colombia, 2015 [en línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/278666924_Estudios_sobre_el_desempeno_de_Vehiculos_Electricos_Dependiendo_de_La_Arquitectura_de_su_Sistema_de_Traccion/download.
- [4] S. J. González et al. "Proyecto de conversión de un automóvil de combustión interna en eléctrico", tesis, Univ. Las Palmas de Gran Canaria [en línea]. Disponible en: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKewjRlqeGo7TiAhVEvlkKHfGJDowQFJAAegQIABAC&url=https%3A%2F%2Facedacris.ulpgc.es%2Fbitstream%2F10553%2F4219%2F1%2F0586137_00000_0000.pdf&usg=AOvVaw3WU7J_samYAouTrikBYR-&cshid=1558704654776501
- [5] D. A. Duque y J. A. Rocano, "Determinación de la autonomía del vehículo eléctrico mediante ciclos controlados", tesis de pregrado, Univ. Politécnica Salesiana, sede Matriz Cuenca, Ecuador, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15067/1/UPS-CT007435.pdf>
- [6] A. P. Asimakopoulos et al. "Experience derived from the conversion of a conventional car to a hybrid electric vehicle -analysis of the powertrain". IEEE, 09 August. 2010. <https://doi.org/10.1109/SPEEDAM.2010.5542277>
- [7] T. D. Gillespie, Fundamentals of Vehicle Dynamics. s. l.: Society of Automotive Engineers, 2016.
- [8] Delphi Innovation for the Real World. Worldwide Emissions Standards (Passenger Cars and Light Duty) (2017-2018) [en línea]. Disponible en: <https://d2ou7ivda5raf2.cloudfront.net/sites/default/files/inline-files/2017%202018%20Worldwide%20Emissions%20Standards%20Passenger%20Cars%20Light%20Duty.pdf>
- [9] C. L. Dym y P. Little. Engineering Design, 3ª ed. London: Springer, 2007.
- [10] N. Cross, Engineering Design Methods: Strategies for Product Design. 4ª ed. London: John Wiley & Sons, 2008.
- [11] R. N. Jazar, Vehicle Dynamics, Theory and Application. Melbourne, Australia: Springer, 2016.