

MODELOS PRÁCTICOS DE ESTIMACIÓN DE CONSUMO ENERGÉTICO PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

PRACTICAL ENERGY CONSUMPTION MODELS FOR ELECTRIC VEHICLES

Villa Daniel ¹, Montoya Alejandro ²

^{1,2}Departamento de Ingeniería de Producción, Facultad de Ingeniería, Universidad EAFIT, Medellín, Colombia. jmonto36@eafit.edu.co²

Resumen. La movilidad eléctrica ha tomado fuerza en los últimos años debido a la necesidad de reducir el gran impacto ambiental de los vehículos de combustión interna. Sin embargo, hay ciertas características de los vehículos eléctricos que limitan su adopción. Estas características están ligadas, principalmente, a su limitada autonomía y a los prolongados tiempos de carga. De esta forma se hace importante contar con modelos que permitan estimar el consumo de los vehículos y tener una mejor planeación de su uso. En este artículo presentamos el análisis de algunos modelos de estimación de consumo, que se encuentran en la literatura, y cuyas características permiten una fácil implementación computacional.

Palabras Clave: Modelos de consumo, Vehículos eléctricos, Autonomía, Tiempos de carga, Estimación de consumo

Abstract. Electric mobility has gained strength in recent years due to the need to reduce the great environmental impact of internal combustion vehicles. However, there are certain characteristics of electric vehicles that limit their adoption. These characteristics are mainly linked to its limited autonomy and long loading times. In this way it is important to have models that require estimating the consumption of vehicles and have a better planning of their use. In this article we present the analysis of some models of consumption modifications, which are found in the literature, and the characteristics that allow easy computational implementation.

Keywords: Consumption models, Electric vehicles, Autonomy, Charging times, Consumption estimation

INTRODUCCIÓN

En los años recientes se ha visto un interés creciente por la movilidad eléctrica viéndola como alternativa al uso de vehículos de combustión interna (VCIs). Los VCIs hacen parte de los mayores contaminantes ambientales. En el contexto de Latinoamérica, el sector transporte fue el responsable del 34.1% de las emisiones de CO₂ en 2005 (Timilsina & Shrestha, 2009). Los vehículos eléctricos (VEs) suscitan un interés particular gracias a la ausencia de emisiones mientras se encuentran en operación. Adicionalmente, la energía con la que opera la batería del VE puede ser obtenida de una

fuentes limpias. Esto hace de los VEs una opción viable para la transición hacia el uso de las energías limpias.

No obstante, los VEs poseen ciertas limitaciones que impactan en su adopción, como lo son su poca autonomía (rango de manejo) y los prolongados tiempos de carga que, incluso en puntos de carga rápida, pueden superar los 20 minutos (Sadeghi-Barzani, et al., 2014). Esto conlleva al comportamiento denominado como ansiedad de carga en donde el usuario se mantiene tan preocupado por su nivel de carga (SoC, por sus siglas en inglés) que trata de realizar cargas cada vez que tiene la posibilidad. Esto tiene consecuencias en el funcionamiento del VE, en el largo plazo (Wang, et al., 2017). Como una herramienta para la ayuda en la toma de decisiones de carga al usuario se puede contar con modelos de estimación de consumo que permitan pronosticar la autonomía restante del vehículo, de acuerdo con la ruta que está ejecutando y su SoC actual.

Los modelos de estimación de consumo son una herramienta importante en la toma de decisiones con VEs. De hecho, para los profesionales en planificación de transporte son útiles para problemas de ruteo con VEs, ya que permiten tener una mayor precisión en la toma de decisiones. Villa & Montoya, (2018) presentan una taxonomía de los modelos de estimación de consumo en la literatura y resaltan algunos cuya implementación computacional es factible conociendo pocos parámetros del vehículo. Adicionalmente, de acuerdo con lo que concluyen los autores, no todos los modelos de estimación de consumo para VEs son viables de implementar. Esto se debe a que algunos de sus parámetros están directamente relacionados con mediciones en la batería, o que los parámetros fueron ajustados por una regresión lineal, por lo que los valores obtenidos sólo funcionan adecuadamente para unas condiciones específicas. En este trabajo nos enfocamos en estudiar, a profundidad, los modelos que permiten una fácil implementación. Para este caso, se entiende por facilidad de implementación la inmediatez y factibilidad con que pueden ser adquiridos los parámetros usados en las fórmulas. Esto gracias a que se trata de valores ambientales, características técnicas del VE o que se pueden adquirir por medio de sistemas de información geográfica (GIS). Además, se presentan unos experimentos computacionales donde se hace uso de una herramienta GIS para obtener las características de las rutas y se hacen estimaciones de consumo para un VE específico.

Este artículo está organizado como se menciona a continuación: en la Sección Modelos de estimación de consumo energético se presentan y describen a profundidad algunos modelos de estimación de consumo que son viables para su implementación computacional. En la Sección 3 se muestra un análisis de los experimentos computacionales donde se prueban los modelos de consumo en diferentes rutas con diferentes características. Finalmente, se presentan las conclusiones.

MARCO TEORICO

Modelos de estimación de consumo energético

El consumo energético de un VE está dado por la potencia mecánica requerida para su desplazamiento; esta a su vez es transformada en potencia eléctrica. La potencia eléctrica es

provista por la batería, de acuerdo con su eficiencia de transmisión interna y, finalmente, la potencia demandada a la batería se ve reflejada en un consumo energético (Goeke & Schneider, 2015). La potencia mecánica puede representarse por diferentes características del VE como pueden ser su masa, área frontal, entre otras. Adicionalmente, de características que varían según el uso en un tramo específico como son la velocidad y aceleración. A continuación, se presentan algunos modelos de estimación de consumo que permiten una fácil implementación con parámetros de fácil adquisición, como los mencionados anteriormente.

a. Modelo propuesto por Abousleiman & Rawaldesh (2015)

Abousleiman & Rawashdeh, (2015) presentan un modelo de estimación de consumo en donde parten de las características de estimación de potencia para un VCI y las extienden a un VE. Inicialmente usan la caracterización de las diferentes fuerzas que intervienen, teniendo:

$$\sum F = F_{roll} + F_{grade} + F_{air} + F_{acc} \quad (1)$$

Donde F_{roll} representa la fuerza debido a la rodadura, la cual se debe a la interacción entre las ruedas y el camino. F_{grade} es la fuerza debido al ángulo de la pendiente. F_{air} es la fuerza contra la resistencia del viento. Finalmente, F_{acc} es la fuerza de la aceleración actuando en el vehículo. Por su parte, la potencia está dada por la multiplicación de la suma de las fuerzas, por la velocidad a la que se mueve el vehículo en determinado momento. Se debe considerar entonces que los VEs cuentan con frenos regenerativos y que, por ende, la potencia puede ser tanto saliente como entrante. Se tiene entonces que la potencia saliente va a estar dada por:

$$P_{sale} = v \left(mg(f + \theta) + \frac{1}{2} \rho_a C_D A_f (v + v_{wind})^2 + m\delta a \right) \quad (2)$$

Donde v es la velocidad del VE, m su masa, g la aceleración gravitacional, f es la resistencia a la rodadura, θ es la pendiente, ρ_a es la densidad de masa del aire, C_D es el coeficiente aerodinámico del VE, A_f su área frontal, v_{wind} es la velocidad del aire, δ es el factor de inercia rotacional y a la aceleración del vehículo. Por su parte, la potencia que ingresa al VE se define como:

$$P_{entra} = \alpha P_{sale} \quad (3)$$

Donde α es la eficiencia de regeneración. Finalmente, se tendrá que el consumo total va a estar dado por la sumatoria de las potencias salientes, menos las entrantes, según sus tiempos.

b. Modelo propuesto por Yang et al., (2014)

Yang, et al., (2014) proponen un modelo de estimación de consumo y realizan un análisis para determinar el impacto de la pendiente y la longitud del tramo en el consumo energético. Los autores plantean las siguientes ecuaciones para estimar el consumo del VE en un determinado tramo. La potencia consumida y la de regeneración están dadas por:

Artículo No. 06. No. 11, Vol. VI, Año 6, 2019. Revista de divulgación y tecnología de la Red Internacional de Investigadores de Ingeniería Industrial <REDI4>

$$P_{total} = \frac{v}{\eta_{drivebelt}\eta_{bat}} \left(\delta m \frac{dv}{dt} + mg(f - \theta) + \frac{\rho C_D A_f}{2} v^2 \right) + P_{aux} \quad (4)$$

$$P_{regeneración} = \alpha v \eta_{te} \eta_e \left(\delta m \frac{dv}{dt} + mg(f - \theta) + \frac{\rho C_D A_f}{2} v^2 \right) + P_{aux} \quad (5)$$

Donde $\eta_{driveline}$ es la eficiencia de la transmisión del vehículo, η_{bat} es la eficiencia de conducción de la batería del VE, y P_{aux} es la potencia consumida por los auxiliares del VE (i.e. radio, aire acondicionado, calefacción...). Los autores adicionalmente consideran diferentes eficiencias de regeneración, de acuerdo con la velocidad del vehículo, obteniendo:

$$\alpha = \begin{cases} 0.5 * \frac{v}{5} & v < 5 \text{ m/s} \\ 0.5 + 0.3 \frac{v - 5}{20} & v \geq 5 \text{ m/s} \end{cases} \quad (6)$$

Con estas consideraciones se estima el consumo, que va a ser el producto de la potencia obtenida multiplicada por el tiempo del trayecto.

c. Modelo propuesto por Fiori et al., (2016)

Fiori, et al., (2016) proponen un modelo integral de consumo energético basado en potencia. Los autores computan la potencia requerida por las ruedas y, luego, consideran la eficiencia del motor eléctrico y de la línea de transmisión para computar la potencia total. La fórmula está dada por:

$$P_{total} = \frac{\left(ma + mg \cdot \cos(\theta) \frac{C_r}{1000} (C_1 v + C_2) + \frac{1}{2} \rho A_f C_D v^2 + mg \cdot \sin(\theta) \right) v}{\eta_{driveline} \cdot \eta_{electricmotor}} \quad (7)$$

En este modelo, la parte superior de la ecuación representa la potencia generada por las ruedas y la parte inferior representa el incremento en la potencia consumida debido a las eficiencias de la línea de transmisión y del motor eléctrico. Por otra parte, la expresión $\frac{C_r}{1000} (C_1 v + C_2)$ hace referencia a la resistencia a la rodadura. Para este caso los autores consideran un coeficiente dinámico que varía con características del camino y de las ruedas. Los valores típicos de los coeficientes se reportan en Rakha, Lucic, Demarchi, Setti, & Aerde, (2001)

Para el caso cuando la potencia es negativa (hay desaceleración) comienzan a funcionar los frenos regenerativos del vehículo. En este modelo, la eficiencia de regeneración es calculada como:

$$\alpha = \begin{cases} \left[e^{\left(\frac{0.0411}{|a|} \right)} \right]^{-1} & a < 0 \\ 0 & a \geq 0 \end{cases} \quad (8)$$

De manera posterior, para computar la potencia de regeneración se multiplica el valor obtenido de P_{total} por la eficiencia de regeneración. Finalmente, la energía consumida es calculada como el producto de la potencia por el tiempo.

d. Modelo propuesto por Jiménez et al., (2018)

En este trabajo Jiménez, et al., (2018) presentan un modelo de estimación de consumo en el que, adicionalmente, hacen uso de una aplicación móvil para la caracterización de los patrones de conducción. Aquí, para la aplicación del modelo se basan en la segunda ley de Newton para la dinámica longitudinal del VE. Para esto entonces presentan la fuerza requerida para superponerse a todas las fuerzas que ejercen resistencia:

$$F_t = F_i + F_{hc} + F_{rr} + F_{aero} \quad (9)$$

En esta ecuación, F_i es la fuerza inercial, F_{hc} es la fuerza requerida para subir una cuesta, F_{rr} como la fuerza ejercida por la resistencia a la rodadura, y F_{aero} representa la resistencia aerodinámica. Sus respectivas ecuaciones están dadas por:

$$F_i = C_{i0}(m_{car} + m_p)a \quad (10)$$

$$F_{hc} = (m_{car} + m_p)g \cdot \sin(\theta) \quad (11)$$

$$F_{rr} = \text{sign}(v)(m_{car} + m_p)g \cdot \cos(\theta) f \quad (12)$$

$$F_{aero} = \text{sign}(v + v_{wind}) \frac{1}{2} \rho A_f C_D (v + v_{wind})^2 \quad (13)$$

Aquí, m_{car} representa la masa del vehículo, mientras que m_p representa la masa de las personas a bordo. C_{i0} es un factor de corrección que se aplica a la ecuación y que para el caso del estudio lo consideran como 0.05. La función $\text{sign}()$ es la función signo y c_r es el coeficiente de resistencia a la rodadura y, para este caso, está representado por: $c_r = 0.01 \left(1 + \frac{v}{100}\right)$

En este escenario, la potencia que es demandada a la batería del vehículo se calcula como:

$$P_{bat} = \frac{F_t v}{\eta_{driveline} \cdot \eta_{electricmotor}} + P_{aux} \quad (14)$$

Cuando el vehículo se encuentra regenerando energía, el valor de la potencia ingresada a la batería se calcula como:

$$P_{bat} = \alpha \cdot \eta_{driveline} \cdot \eta_{electricmotor} \cdot F_t v + P_{aux} \quad (15)$$

Para el modo de regeneración se requiere que $|P_{aux}| < |\alpha \cdot \eta_{driveline} \cdot \eta_{electricmotor} \cdot F_t v| \rightarrow P_{bat} < 0$. Para el factor de regeneración se considera:

$$\alpha = \begin{cases} 0.5v & v < 5 \text{ m/s} \\ 0.5 + 0.015(v - 5) & v \geq 5 \text{ m/s} \end{cases} \quad (15)$$

Finalmente, el consumo estará dado por el producto de la potencia demandada a la batería (P_{bat}) con el tiempo, dividido entre la eficiencia de la batería (η_{bat}).

En el estudio seccionan el tiempo en pequeños intervalos, de acuerdo con las mediciones que realizaron a través de su aplicación y con esto computan el consumo total.

e. Parámetros usados en la implementación de los modelos

Como se ha recalado, los parámetros usados en los modelos que se presentan son de fácil acceso ya que no requieren intervenciones en la batería del VE y algunos son parte de las características técnicas de cada vehículo y del comportamiento del conductor. A continuación, en la Tabla 1 se presentan los parámetros presentados en los modelos y la relación con los que requieren dichos parámetros en su implementación. También se presentan las fuentes de información de donde se pueden obtener los valores de los parámetros. Información meteorológica se refiere a que se pueden obtener según las condiciones de una posición geográfica. Donde se indica GIS se asume que hay un sistema de información geográfica que provee información como distancia, altura en una determinada coordenada y tiempos normales de trayecto; esto también podría ser obtenido por sistemas de geoposicionamiento. Los elementos que se indican de la ficha técnica pueden ser considerados como parte de las características de un VE y en los que se indica como fuente revistas de VE, es porque pueden ser hallados en fuentes como Car and Driver, (2014) donde presentan información detallada de algunos VEs como el Nissan Leaf. Finalmente, donde se indica Modelo es porque los autores representan la forma de calcular dicho valor.

Tabla 1. Parámetros requeridos para implementación de modelos

Parámetro	Modelo Abousleiman & Rawaldesh, (2015)	Modelo Yang et al., (2014)	Modelo Fiori et al., (2016)	Modelo Jiménez et al., (2018)	# de modelos que lo requieren	Fuente de información
Velocidad (v)	x	x	x	x	4	GIS
Masa (m)	x	x	x	x	4	Ficha técnica
Aceleración gravitacional (g)	x	x	x	x	4	Constante
Resistencia a la rodadura (f)	x	x	x	x	4	Ficha técnica
Ángulo de la pendiente (θ)	x	x	x	x	4	GIS
Densidad del aire (ρ)	x	x	x	x	4	Inf. meteorológica
Coefficiente aerodinámico (C_D)	x	x	x	x	4	Ficha técnica
Área frontal (A_f)	x	x	x	x	4	Ficha técnica
Aceleración (a)	x	x	x	x	4	GIS
Eficiencia de regeneración (α)	x	x	x	x	4	Modelo
Potencia de los auxiliares (P_{aux})	x	x	x	x	4	Valores promedio

η de línea de transmisión ($\eta_{driveline}$)		x	x	x	3	Revistas de VE
Velocidad del viento (v_{wind})	x			x	2	Inf. Meteorológica
Factor de inercia rotacional (δ)	x	x			2	Modelo
η de la batería (η_{bat})		x		x	2	Revistas de VE
η del motor (η_{motor})			x	x	2	Revistas de VE
Coefficiente de corrección (C_{i0})				x	1	Modelo
Número de parámetros	13	14	13	16	17	

De la tabla 1 se puede ver que la mayoría de los parámetros son comunes a los 4 modelos. Solo 6 de los parámetros no están incluidos en todos los modelos. Esto es una muestra de la generalidad para la aplicación de estos modelos y de cómo se pueden extender fácilmente a cualquier tipo de VE, si se conocen sus especificaciones.

Experimentos computacionales

Con el fin de probar los modelos y comparar los resultados obtenidos para diferentes tipos de rutas, con cada uno de ellos, se ejecutaron diferentes rutas y se analizaron los resultados. Cada uno de los modelos fue implementado en un ambiente de Java. Los parámetros fueron extraídos para un Nissan Leaf V1. Se asume una masa de 1400 Kg para el VE y una masa adicional de 150 Kg para los pasajeros al interior. Una resistencia a la rodadura de 0.015, un coeficiente aerodinámico de 0.32, un área frontal de 2.27 m² y una batería de 16 kWh. Las características de la ruta son obtenidas a partir de consultas al servidor de google maps, donde se logra obtener distancia, tiempo de trayecto y altura en cada punto.

Para el análisis se consideran rutas con diferentes características. Se consideran 3 tipos de rutas: pendiente ascendente, descendente y plano. Tanto para las rutas con pendiente ascendente como descendente se tomaron segmentos con pendientes mayores al 5%. En el caso de las planas se consideraron pendientes en -1% y 1%. Por cada tipo de ruta (ascendente, descendente, plano) se tomaron 10 rutas distintas, para un total de 30. Considerando cada origen y destino se hicieron las consultas a google maps y se obtuvieron los datos de distancia, tiempo y pendiente. Con estos datos y los datos de caracterización del Nissan Leaf V1, se estimaron los valores de consumo energético por cada uno de los 4 modelos. Para todos los modelos se consideró el mismo valor de resistencia a la rodadura, incluido el de Fiori et al., (2016) donde se consideraba de forma dinámica. La velocidad del viento se consideró con valor de 0 m/s y no se tuvo en cuenta el consumo de los auxiliares.

En la Tabla 2 se presentan los resultados obtenidos para los 4 modelos. La primera columna muestra el modelo que se está evaluando. La segunda columna muestra los ítems en evaluación, para este caso se consideró la pendiente, la velocidad promedio del VE en las rutas y el consumo promedio obtenido por distancia (kWh). La columna 3 presenta los estadísticos que se están evaluando para cada ítem. Las columnas 5 a 7 muestran los valores obtenidos para cada estadístico, según el tipo de ruta.

Tabla 2. Resultados obtenidos para el consumo en diferentes rutas

Modelo por	Valores	Estadístico	Cuesta abajo	Cuesta arriba	Plano
	Pendiente de la ruta	Promedio	-8.78%	8.37%	0.17%
		Mínimo	13.17	15.31	15.38
	Velocidad promedio de ruta	Promedio	21.11	19.72	23.65
		Máximo	27.99	27.22	32.50
Abousleiman & Rawaldesh, (2015)	Consumo por distancia (kWh/Km)	Mínimo	-0.24	0.21	0.05
		Promedio	-0.13	0.38	0.09
		Máximo	-0.05	0.52	0.12
Fiori et al., (2016)	Consumo por distancia (kWh/Km)	Mínimo	-0.10	0.25	0.06
		Promedio	-0.01	0.45	0.10
		Máximo	0.04	0.61	0.14
Jiménez et al., (2018)	Consumo por distancia (kWh/Km)	Mínimo	-0.25	0.27	0.05
		Promedio	-0.09	0.50	0.09
		Máximo	0.01	0.70	0.14
Yang et al., (2014)	Consumo por distancia (kWh/Km)	Mínimo	-0.18	0.29	0.07
		Promedio	-0.09	0.53	0.12
		Máximo	-0.03	0.72	0.17

La tabla 2 muestra los resultados obtenidos para los experimentos realizados con diferentes tipos de rutas. Se puede observar que las pendientes en promedio para las rutas con pendientes ascendentes y descendientes estuvo alrededor de 8% (positivo y negativo). Las rutas planas estuvieron cercanas al 0% de pendiente. Se puede notar que, en general, las velocidades son mayores para las rutas que se encuentran sobre terrenos planos, lo cual puede impactar en el consumo ya que hay menor presencia de los frenos regenerativos. Se puede apreciar también que en todos los modelos hay un impacto de los frenos regenerativos, cuando se está cuesta abajo, teniendo un mayor impacto en los modelos de Abousleiman & Rawashdeh, (2015) y Jiménez et al., (2018). Se puede observar también que, para el caso de la superficie plana, los modelos presentan resultados muy similares para el consumo por Km. Sin embargo, cuando se tiene pendiente ascendente, hay modelos que toman su impacto de manera más significativa, como es el caso de Jiménez et al., (2018) y Yang et al., (2014).

En la tabla 3 se muestran los datos de consumo promedio por unidad de distancia (kWh/Km) para las diferentes características de ruta y se compara como esto impacta en la cantidad consumida. La columna 1 lista cada uno de los modelos. La columna 2 presenta el consumo promedio para la superficie plana. La columna 3 muestra el consumo para las rutas con pendiente negativa. La columna 4 muestra la diferencia en términos porcentuales. La columna 5 muestra los consumos para las rutas con pendiente ascendente. Finalmente, la columna 6 detalla la diferencia porcentual del consumo con pendiente ascendente, contra el consumo en superficies planas.

Tabla 3. Comparación de consumos según las características de la ruta

Modelo por	Plano	Consumo en kWh/Km			
		Cuesta abajo	Diferencia (%)	Cuesta arriba	Diferencia (%)
Abousleiman & Rawaldesh, (2015)	0.85	-1.28	-350%	3.82	248%
Fiori et al., (2016)	1.01	-0.13	-213%	4.49	246%
Jiménez et al., (2018)	0.90	-0.89	-298%	5.03	356%
Yang et al., (2014)	1.21	-0.88	-272%	5.30	238%

En la Tabla se detallan las diferencias en el consumo, según el tipo de ruta. Se nota el gran impacto de la pendiente en el consumo energético. Se puede observar que, para algunos casos, con las pendientes utilizadas en este estudio, los frenos regenerativos podrían compensar incluso la totalidad del consumo bajo condiciones de superficie plana; no obstante, comparando con las rutas de pendiente ascendente, la regeneración alcanza únicamente a cubrir el 33% del consumo por unidad de distancia, de acuerdo con el modelo de Abousleiman & Rawashdeh, (2015). En los demás modelos la compensación varía entre el 3% y el 17%. Se ve entonces como el afinar la cantidad regenerada es una característica importante, ya que esto puede tener un gran impacto en rutas que tengan grandes variaciones en su pendiente.

CONCLUSIONES

En este trabajo se presentan algunos modelos de estimación de consumo energético para VEs, de la literatura, cuyas características los hacen sencillos de implementar. Cada uno de los modelos es descrito de manera detallada y, luego, a partir de estos se presentan las características que se consideran en su formulación y que afectan las estimaciones de consumo.

Se presentan unos experimentos computacionales para una serie de rutas con diferentes características de pendiente y longitud. Los modelos se implementaron en Java y se hicieron consultas a Google maps. Con las características de un vehículo se estimaron los consumos con cada uno de los modelos y se realizó una serie de comparaciones. En los experimentos se puede evidenciar la alta variación que se presenta en el consumo, por unidad de distancia, según las características del camino. Se resalta además la similitud en las estimaciones de consumo para superficies planas. Por otra parte, se nota una variación significativa en la estimación para rutas con pendientes ascendentes y descendentes. Estas variaciones pueden afectar la precisión del cálculo en rutas con altas variaciones en pendientes. El trabajo futuro puede estar enfocado en la validación de los datos obtenidos contra un consumo real y revisar la precisión de cada uno de los modelos antes las diferentes características del camino.

Agradecimientos: Los autores desean agradecer a la Universidad EAFIT por apoyar esta investigación a través de la beca de investigación del proyecto 828- 000068. Esta investigación también se realiza en el marco del programa de investigación “ENERGÉTICA 2030”, con código 28667 dentro de la iniciativa Colombia Científica, financiada por el Banco Mundial a través del llamado 778-2017 Ecosistemas Científicos, gestionado por el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (Colciencias).

REFERENCIAS

Abousleiman, R., & Rawashdeh, O. (2015). Energy consumption model of an electric vehicle. IEEE, (1).

Car and Driver. (2014). Drag Queens: Aerodynamics Compared. Retrieved July 29, 2019, from <https://www.caranddriver.com/features/a15108689/drag-queens-aerodynamicscompared-comparison-test/>

Fiori, C., Ahn, K., & Rakha, H. A. (2016). Power-based electric vehicle energy consumption model: Model development and validation. Applied Energy, 168, 257–268. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.01.097>

Goeke, D., & Schneider, M. (2015). Routing a mixed fleet of electric and conventional vehicles. European Journal of Operational Research, 245(1), 81–99. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.01.049>

Jiménez, D., Hernández, S., Fraile-Ardanuy, J., Fernández, R., & Álvarez, F. (2018). Modelling the effect of driving events on electrical vehicle energy consumption using inertial sensors. Energies, 11(2), 412. <https://doi.org/10.3390/en11020412>

Rakha, H., Lucic, I., Demarchi, S. H., Setti, J. R., & Aerde, M. Van. (2001). Vehicle dynamics model for predicting maximum truck acceleration levels. Journal of Transportation Engineering, 127(5), 418–425. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-947X\(2001\)127:5\(418\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(2001)127:5(418))

Sadeghi-Barzani, P., Rajabi-Ghahnavieh, A., & Kazemi-Karegar, H. (2014). Optimal fast charging placing and sizing. Applied Energy, 125, 289–299. Timilsina, G. R., & Shrestha, A. (2009). Factors affecting transport sector CO2 emissions growth in Latin American and Caribbean countries: an LMDI decomposition analysis. International Journal of Energy Research, 33(4), 396–414.

Villa, D., & Montoya, A. (2018). A Taxonomy of Energy Consumption Models for Electric Vehicles on. In MOVICI-MOYCOT 2018: Joint Conference for Urban Mobility in the Smart City.

Wang, J., Liu, K., & Yamamoto, T. (2017). Improving electricity consumption estimation for electric vehicles based on sparse GPS observations. Energies, 10(1), 19–22. <https://doi.org/10.3390/en10010129>

Yang, S. C., Li, M., Lin, Y., & Tang, T. Q. (2014). Electric vehicle's electricity consumption on a road with different slope. Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications, 402, 41–48. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2014.01.062>