



Ingeniería Energética

ISSN: 1815-5901

Instituto Superior Politécnico José A. Echeverría.Cujae

Villasol López, Antonio; Díaz Santos, Raynel; Castro
Fernández, Miguel; Villarroel Castro, José Miguel
Vehículos eléctricos en Cuba: un caso de estudio de la empresa de CUBATAXI de La Habana
Ingeniería Energética, vol. XLIII, núm. 1, 2022, Enero-Abril, pp. 93-102
Instituto Superior Politécnico José A. Echeverría.Cujae

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=329170676009>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

UAEH  redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto



APLICACIONES INDUSTRIALES

Vehículos eléctricos en Cuba: un caso de estudio de la empresa de CUBATAXI de La Habana

Electrical vehicles in Cuba: a study case into the CUBATAXI company in the Havana

Antonio Villasol López¹, Raynel Díaz Santos^{1,*}, Miguel Castro Fernández¹, José Miguel Villarroel Castro² †

¹ Universidad Tecnológica de la Habana (CUJAE), La Habana, Cuba.

² Centro de Investigación y Manejo Ambiental del Transporte (Cimab), La Habana, Cuba.

* Autor de correspondencia: raynellds@electronica.cujae.edu.cu

Recibido: 28 de septiembre del 2021

Aprobado: 4 de enero del 2022

Licencia de uso y distribución Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 Internacional 

RESUMEN/ABSTRACT

En este trabajo se aborda el tema de la introducción de vehículos eléctricos de forma parcial en el sector del transporte público, con el objetivo de analizar la posible reducción de la contaminación del medio ambiente y el consumo de combustibles fósiles al reemplazar parte de la flota real. Partiendo de los análisis previos y de la caracterización de un parque automotor perteneciente a una base de taxis, se propone una sustitución basada en los cambios que habría que realizar en el sistema eléctrico asociado, así como la propia tecnología de los vehículos eléctricos mediante una evaluación técnica, económica y ambiental, de dos prototipos que están trabajando en la actualidad. Los resultados de la investigación demuestran los beneficios de la sustitución de autos de combustión interna por eléctricos, sustentado en los ahorros que se obtienen en la operación y mantenimiento, así como la reducción emisiones de gases de efecto invernadero.

Palabras clave: contaminación del medio ambiente; efecto invernadero; reducción de emisiones; vehículos eléctricos.

This paper approaches the issue of the partial introduction of electric vehicles in the public transport sector, analyzing the possible reduction of environmental pollution and fossil fuel consumption by replacing part of the real fleet as the main aim. Starting from the previous analyzes and the characterization of the vehicles fleet belonging to the company, a substitution is proposed based on the changes that would be made in the associated electrical system, as well as the electric vehicle technology itself through the technical, economic and environmental evaluation, taking into account two prototypes that are currently working. The results of the research show the benefits of replacing internal combustion cars with electric ones, based on the savings obtained in operation and maintenance, as well as the reduction of greenhouse emissions.

Key words: environmental pollution; electrical vehicles; reduction of greenhouse emissions.

INTRODUCCIÓN

El agotamiento a nivel internacional de los combustibles fósiles y el aumento de la emisión de gases contaminantes a la atmósfera, ha propiciado que los fabricantes de vehículos desarrollen nuevas tecnologías en busca de la reducción de los efectos nocivos que provocan los vehículos de combustión interna al medio ambiente, así como de la dependencia de los combustibles tradicionales requeridos para su funcionamiento [1–5]. De ahí la importancia de realizar estudios acerca de los últimos avances alcanzados en la industria automotor para la posterior toma de decisiones en cuanto a propuestas de introducción de dichas tecnologías en el país. Cuba, en los últimos años ha comenzado a fomentar el uso de estas nuevas tecnologías, por lo que tomando como base la introducción de vehículos eléctricos (VE) en el país a partir del año 2016 y los resultados obtenidos de la evaluación ejecutada a los mismos a lo largo de los últimos años, se comenzó a hablar de la posibilidad de realizar la sustitución del parque automotor de una base de taxis (al menos parcialmente) por autos eléctricos.

Cómo citar este artículo:

Antonio Villasol López, et al. Vehículos eléctricos en Cuba: un caso de estudio de la empresa de CUBATAXI de La Habana. 2022, vol. 43, n. 1, enero/abril. ISSN:1815-5901.

Sitio de la revista: <http://rie.cujae.edu.cu/index.php/RIE>

Por tal razón, fue necesario realizar un análisis del parque de automóviles de la Cooperativa de Taxis Ruterios No.1, donde se comprobó que la misma cuenta con un total de 111 vehículos de combustión interna, todos destinados al transporte público dentro de rutas determinadas en la ciudad.

La idea del presente trabajo es analizar la posible sustitución de dichos vehículos de combustión interna por autos eléctricos que permitan disminuir el consumo de portadores energéticos, así como la emisión de gases contaminantes a la atmósfera, sustentado en la evaluación técnico, económico y ambiental de dos prototipos a prueba que se encuentran en explotación en el servicio de Taxis Ruterios.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización del estudio de la posible sustitución, es obligatorio efectuar una valoración de carácter general al diseño eléctrico actual de la Cooperativa de Taxis Ruterios No. 1, así como un análisis del comportamiento de los vehículos de combustión interna durante un tiempo determinado. En este sentido se evaluó el funcionamiento del parque vehicular durante el año 2019 y se ejecutó una comparación técnico, económico y ambiental con dos prototipos eléctricos que prestan servicio en la misma modalidad de trabajo. Así mismo, se elaboró el diseño del experimento que se llevó a cabo que cuenta con las siguientes premisas que se deben realizar para la obtención de la información necesaria:

1. Caracterización del parque automotor de la Cooperativa de Taxis Ruterio No. 1
2. Estudio del sistema eléctrico de la Cooperativa de Taxis Ruterios No. 1.
3. Elaboración del procedimiento de pruebas a realizar a los vehículos eléctricos.

A continuación se realiza un breve descripción del diseño de experimento en cada una de sus premisas.

Caracterización del parque automotor de la cooperativa de taxis ruterio no. 1

De los 111 vehículos del parque automotor de la Cooperativa de Taxis Ruterio No.1 el 91.9 % posee más de 10 años de explotación y el otro 8.1 % oscila entre 3 y 4 años. Los automóviles en este tipo de servicio recorren más de 220 km diarios, lo que equivale a un promedio anual por vehículo de 60 000 km. Esta cantidad de kilómetros recorridos, de conjunto con la potencia mecánica asociada y el índice de consumo de combustible de cada auto, representa al país un gasto total por concepto de consumo de combustible en un año de trabajo de 465 MUSD y emite un total de 2478.73 toneladas equivalentes de CO₂ a la atmósfera. Por tal razón, en este caso de estudio se seleccionaron 50 autos pertenecientes al grupo de más de una década de trabajo (Hyundai Accent).

Estudio del sistema eléctrico de la cooperativa de taxis ruterios no.1

Como punto de partida para el análisis del sistema eléctrico de la instalación, fue necesario la ejecución de un estudio integral a cada uno de los elementos que conforman el mismo, con el objetivo de determinar si este era capaz de soportar la nueva carga a instalar, y a su vez, poder establecer los cambios necesarios a realizar para lograrlo. En este sentido se llevaron a cabo las tareas que se relacionan a continuación siguiendo el procedimiento establecido en [6]:

1. Levantamiento eléctrico general del sistema eléctrico de la base.
2. Descripción de la Protección General de Distribución (PGD).
3. Estudio del banco de transformadores.
4. Cálculo del porcentaje de carga del banco de transformadores.
5. Cálculo de la nueva carga a instalar.
6. Estudio de la nueva carga a asumir.
7. Cálculo de la potencia aparente incluyendo la distorsión armónica.
8. Selección del banco de transformadores más conveniente para asimilar la nueva carga.

Los trabajos de campo efectuados para la obtención de los resultados se ejecutaron mediante un seguimiento diario al comportamiento de los vehículos en esta modalidad de trabajo, así como la realización de una serie de pruebas con el objetivo de evaluar dicho comportamiento en un régimen intensivo de explotación según el procedimiento elaborado por Cimab [Protocolo de Evaluación de Vehículos Eléctricos, CIMAB, La Habana, 2020].

Procedimiento para evaluar el comportamiento de los vehículos eléctricos

A continuación se describe brevemente el procedimiento elaborado por Cimab para la realización de este tipo de análisis:

1. Diagnóstico general del diseño de los vehículos: Se ejecuta con el objetivo de verificar el cumplimiento de los parámetros establecidos en diferentes documentos normativos y reguladores, tales como la Ley 109 [7], la Resolución 382/2013 [8] y manuales de los vehículos que sirvan de base para el estudio. Dicho análisis se lleva a cabo durante la inspección de los autos en el proceso de recepción y en el transcurso del período de evaluación, comparándose los resultados con los diferentes parámetros normados y establecidos.
2. Determinación del rendimiento energético: Se realiza para establecer el índice de consumo de combustible para el caso de los autos de combustión interna, así como el de energía eléctrica para los vehículos eléctricos en esta modalidad de trabajo, y en función de obtener dicho rendimiento energético se controló el kilometraje recorrido diariamente y si se encontraban trabajando con o sin el empleo del sistema de climatización.
3. Evaluación de confort: Se lleva a cabo con el objetivo de valorar los parámetros de sensación de confort de los autos, mediante la ejecución de encuestas a los usuarios de los mismos. Los parámetros a evaluar (28 aspectos subjetivos), se dividen en tres categorías: Bueno, Regular y Malo. El resultado es definido en función de la cantidad de parámetros calificados de Bueno por los encuestadores (≥ 22 se califica de Bueno, entre 14 y 21 de Regular y $\leq$ de Malo).
4. Valoración de manejabilidad de los vehículos: Se determina de manera cualitativa el desempeño del tren de fuerza y las condiciones de conducción y operación, con la implementación de una calificación del 1 al 10 establecida según SAE Practicas Recomendadas J1441 [9], ascendente en calidad, a los conductores de los autos (de 1 a 2 se califica de Muy mal, de 3 a 4 de Mal, de 5 a 6 de Aceptable, entre 7 y 8 de Bueno y de 9 a 10 se otorga la calificación de excelente).
5. Determinación de la capacidad de aceleración: Se cuantifica el tiempo requerido por cada auto para alcanzar 40, 80, 100 y 120 km/h, desde la posición de reposo. Además se midió el tiempo que los vehículos requieren para cubrir 400 m ($\approx 1/4$ milla) y la velocidad máxima alcanzada.
6. Control y evaluación del proceso de abastecimiento de energía eléctrica: Se efectúa mediante la ejecución de un control diario de los kWh consumidos, así como del tiempo requerido para que las baterías de los autos eléctricos se recarguen del 15 al 100% de su capacidad [10].
7. Evaluación económica: Se lleva a cabo mediante la comparación de los resultados obtenidos en la evaluación de los autos eléctricos (BYD) y los de cuatro de combustión interna (LADA Vesta, Hyundai Accent, BAIC SENOVA y JAC j4), en las mismas condiciones de explotación y con similares características tractivas, teniendo en cuenta los gastos por concepto de mantenimiento, adicionando las inversiones requeridas para la compra de los mismos y los gastos por concepto de consumo de combustibles. Los gastos por concepto de mantenimiento, se obtuvieron a partir de la cantidad de tareas de mantenimiento a realizar en un año de explotación según el kilometraje recorrido y del costo de realización de las mismas para cada vehículo. Los gastos por concepto de consumo de combustibles, se obtienen mediante la comparación de consumos específicos, en el caso de los de combustión interna será en litros de combustible por cada 100 kilómetros y en el caso de los eléctricos en kWh cada 100 kilómetros. A la hora de establecer la comparación, se consideraran los gastos monetarios por consumo de combustibles y de realización de mantenimientos en que se incurren durante un período de 10 años de explotación, calculándose el punto de equilibrio de las erogaciones para las mismas cantidades de kilómetros recorridos diariamente y los precios de compra de dichos autos. Dentro de los cálculos no son consideradas las tarifas de servicio, como fuente formadora de ingresos, ya que son las mismas para los seis automóviles (5, 10 y 15 cup por persona, dependiendo de la extensión del recorrido).
8. Evaluación ambiental: Se lleva a cabo mediante la determinación de forma aproximada del por ciento de los gases que los vehículos en cuestión propagan a la atmósfera, mediante la metodología establecida por el Grupo Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC-2006) [11], Directrices revisadas (1996) [Mecanismos de control de las emisiones de gases contaminantes a la atmosfera, CIMAB, La Habana, 1996], Biart R. (2006) [Manual de control de emisiones en la Ciudad de la Habana, CIMAB, La Habana, 2006], Martínez M. (2012) y correcciones establecidas al efecto por Cimab para el caso de vehículos de combustión interna y para las emisiones de las plantas generadas. Revista Cubana de Meteorología (2018).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir del análisis de las premisas antes expuestas se obtiene la caracterización del sistema eléctrico del lugar donde van a radicar los vehículos eléctricos. En este sentido se puede decir que, el banco de transformadores está conformado por dos transformadores monofásicos de 75 kVA cada uno. La tensión en el devanado del primario es de 13,2 kV y de 0,216 kV por el secundario, con una conexión estrella/delta. El mismo sostiene una carga actual de 64,9 kW, conformada por el servicio trifásico que alimenta a los cargadores de los vehículos eléctricos a prueba y el resto de los elementos consumidores de la base, elementos que indican que el banco está siendo subutilizado como se puede observar en la tabla 1.

Tabla 1. Datos del banco de transformadores y de la carga conectada al mismo			
Potencia total del banco de transformadores (kVA)	Potencia total instalada (kVA)	Porcentaje de utilización del banco (%)	Condición de trabajo del banco
150	69,62	46,41	Subcargado

Fuente: Elaboración propia.

Cada estación de carga demanda 42.11 kVA, y teniendo en cuenta el tiempo de duración del proceso de reabastecimiento de energía de los VE (véase tabla 2), implica un incremento de la capacidad a instalar de 2126.58 kVA, por lo que se hace necesario sustituir el banco de transformadores por otro de 1800 kVA (3 transformadores monofásicos de 600 kVA), con el cual no se sobrepasa el 30% de sobrecarga normado.

Tabla 2. Tiempo de duración del proceso de reabastecimiento de energía de los VE		
Tipo de carga	Duración del proceso de carga	Tipo de servicio energético
Carga semi-rápida (63 A)	1 hora y media, del 15 al 100% de la capacidad de carga de las baterías	Trifásico a 380 V

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados expuestos en la tabla 2, evidencian que el auto y el panel consumen 0,53 y 0,56 kW por 1% de carga respectivamente.

Los vehículos objeto de estudio, cumplen con los parámetros establecidos en la Ley 109 [7], en lo referente a las dimensiones, la existencia de luces corta y larga, roja de posición en la parte delantera y trasera, roja de frenado y en la matrícula, dispositivos rojos reflectantes en la parte trasera, intermitentes amarillos indicadores de dirección e indicadores blancos. Cuentan con los medios de protección estipulados: bolsas de aire para el conductor y para el acompañante delantero, cinturones de seguridad para todos los pasajeros, señalizador de no abrochado de los cinturones de seguridad para el chofer y acompañante, así como dispositivos de bloqueo de apertura de las puertas traseras para los niños, están provistos de cierre centralizado, llave para las puertas delanteras, cierre del maletero independiente, interruptor desde el interior del vehículo para la apertura del conector de carga, freno de emergencia electrónico, espejos retrovisores regulables electrónicamente y el volante puede ser regulado por el conductor en dirección horizontal.

En el caso de los autos eléctricos, estos se equipan con un paquete de baterías de Litio Fosfato Hierro (LiFePO₄) a una tensión de corriente directa de 653.4 V y una capacidad en materia de energía de 48 kWh [Propuesta de política para el uso y desarrollo perspectivo de los vehículos eléctricos en el transporte automotor 2020-2030], con un motor sincrónico de imanes permanentes para la tracción con una potencia nominal de 80 kW o lo que es lo mismo 107.24 hp, una potencia máxima de 160 kW o 214.56 hp y un torque máximo de 310 Nm. Se encuentran dotados de una razón de transmisión de 3.158 automatizada, que permite combinar la eficiencia del auto con la comodidad para el conductor de que las transiciones de marchas sean realizadas por la unidad de control de acuerdo con la carga-posición del pedal de aceleración.

De acuerdo con la escala definida en el procedimiento del presente trabajo y según el sistema de valoración de los parámetros de la encuesta, se califica el confort de los vehículos de Bueno. Asimismo, se realiza la evaluación de la manejabilidad, los vehículos merecen la calificación de excelente, lo que se traduce en un alto nivel de aceptación de los autos en estudio de acuerdo a los criterios de manejabilidad.

Los resultados alcanzados en la prueba de aceleración desde la posición de reposo, hasta alcanzar 40, 80 y 120 km/h, se presentan en la tabla 3. En ella puede observarse que el desempeño del auto eléctrico es superior al de los de combustión interna a lo largo de la evaluación, computando un 47, 46 y 28% de superioridad por cada velocidad respectivamente.

Tabla 3. Resultados alcanzados en la prueba de aceleración			
Vehículos	Tiempo en alcanzar las velocidades (en segundos)		
	40 km/h	80 km/h	120 km/h
Auto eléctrico	2.28	5.50	14.5
Panel eléctrico	8.28	11.50	20.5
LADA VESTA	3.60	9.34	19.44
BAIC SENOVA	4.01	10.11	20.97
JAC j4	3.83	9.38	19.25
Hyundai Accent	3.91	10.50	20.31

Fuente: Elaboración propia.

Con la finalidad de comparar el tiempo de aceleración de 0 a 100 km/h de los VE, ofrecido por el fabricante, se llevó a cabo una prueba en este sentido, cuyos resultados se muestran en la tabla 4, donde se demuestra que el tiempo de aceleración de los vehículos es superior al declarado por el fabricante en un 0.1%.

Tabla 4. Aceleración de 0 a 100 km/h				
Vehículos eléctricos	Tiempo y velocidad en alcanzar 400 m			
	Según el fabricante	Pruebas	Diferencia	% de diferencia
Auto	14.0	13.99	0.01	0.1
Panel	20.0	19.99	0.01	0.1

Fuente: Elaboración propia.

La tercera prueba con relación a la dinámica consistió en cubrir una distancia de 400 m ($\approx \frac{1}{4}$ milla), donde se determina el tiempo y máxima velocidad alcanzada. Los valores obtenidos se exponen en la tabla 5, donde se mantienen congruentemente de acuerdo con las pruebas anteriores.

Tabla 5. Tiempo y velocidad utilizada en alcanzar 400 m			
Tiempo y velocidad en 400 m			
Vehículos	Distancia (m)	Tiempo (s)	Velocidad (km/h)
Auto eléctrico	400	15.13	120
Panel eléctrico	400	21.13	120
LADA VESTA	400	20.03	115
BAIC SENOVA	400	21.16	115
JAC j4	400	20.10	115
Hyundai Accent	400	20.55	115

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados índices de consumo determinados como parte del seguimiento en la modalidad de Taxis rutero para cada uno de los autos con y sin el empleo del sistema de climatización, se muestran en la tabla 6.

Tabla 6. Rendimiento energético de los vehículos			
Vehículos	Condición de confort	Índice de consumo	
		kWh/100km	km/l
Auto eléctrico	Sin climatización	18.85	54.48 (equivalentes)
	Con climatización	21.37	48.06 (equivalentes)
Panel eléctrico	Sin climatización	20.24	50.74 (equivalentes)
	Con climatización	25.30	40.59 (equivalentes)
LADA VESTA	Sin climatización	----	10.25
	Con climatización	----	9.15
BAIC SENOVA	Sin climatización	----	11.6
	Con climatización	----	9.10
JAC j4	Sin climatización	----	11.60
	Con climatización	----	8.76
Hyundai Accent	Sin climatización	----	9.01

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar los VE muestran mejores indicadores energéticos trabajando con o sin el sistema de climatización.

Para la realización de una valoración económica, se tiene en cuenta la peor condición de explotación (circulación de los vehículos con el sistema de climatización) y las premisas que se relacionan a continuación:

1. Precio de adquisición de los vehículos en MUSD (véase tabla 7).
2. El proceso de carga de los autos eléctricos se realiza después de las 10:00 pm, o sea, en horas del valle eléctrico, según lo establecido en las Bases Conceptuales para la Introducción y Desarrollo de vehículos eléctricos en Cuba [Propuesta de política para el uso y desarrollo prospectivo de los vehículos eléctricos en el transporte automotor 2020-2030].
3. La generación de energía eléctrica en el horario nocturno se realiza mediante la quema de crudo nacional y fuel oil, siendo considerada la carga de los autos eléctricos, como un incremento marginal, por lo que la energía requerida será generada por las plantas de fuel oil.
4. Se considera que, en la red energética del país, en horas nocturnas, existen unas pérdidas totales en transmisión, distribución y en insumo del 17%, de acuerdo a los datos suministrados por DPEEN-MINEM. Por esta razón, para obtener un kWh en el banco de transformadores de alimentación de la base, se requieren 265.1 gramos de fuel oil/kWh.
5. Kilometraje recorrido diariamente por los autos durante su explotación en la misma ruta de circulación (245 km).
6. Total de días trabajados en un mes (26 días).
7. En el caso de los vehículos de combustión interna, no se consideran pérdidas durante el consumo de gasolina.
8. Gastos anuales por concepto de mantenimientos.

Tabla 7. Precio de importación de los vehículos		
Marca	Tipo de combustible	Precio de Importación (MUSD)
BYD	Electricidad	35
LADA VESTA	Gasolina	9
BAIC SENOVA	Gasolina	10
JAC j4	Gasolina	10
Hyundai Accent	Gasolina	9

Fuente: Elaboración propia.

Como puede observar, la inversión inicial en la compra de los vehículos eléctricos es de 3.5 a 3.9 veces superior a la requerida para la compra de cualquiera de los autos de combustión interna mostrados en la tabla anterior.

Al comparar los gastos requeridos para la realización de mantenimientos de los autos eléctricos con los de los coches de combustión interna, en un año de explotación en la misma modalidad de trabajo, se logra un ahorro de aproximadamente un 40% (véase figura 1).

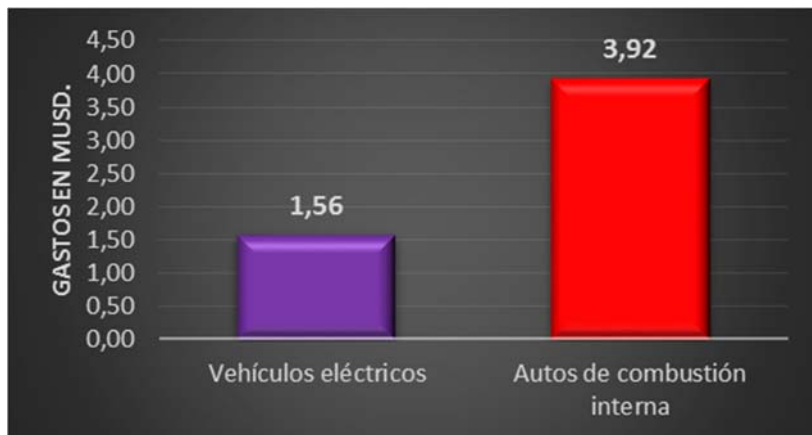


Fig. 1. Gastos anuales por concepto de mantenimientos.

A partir del rendimiento energético determinado, se obtuvo el gasto por concepto de consumo de combustible en un año de trabajo, mostrándose los resultados en la figura 2.

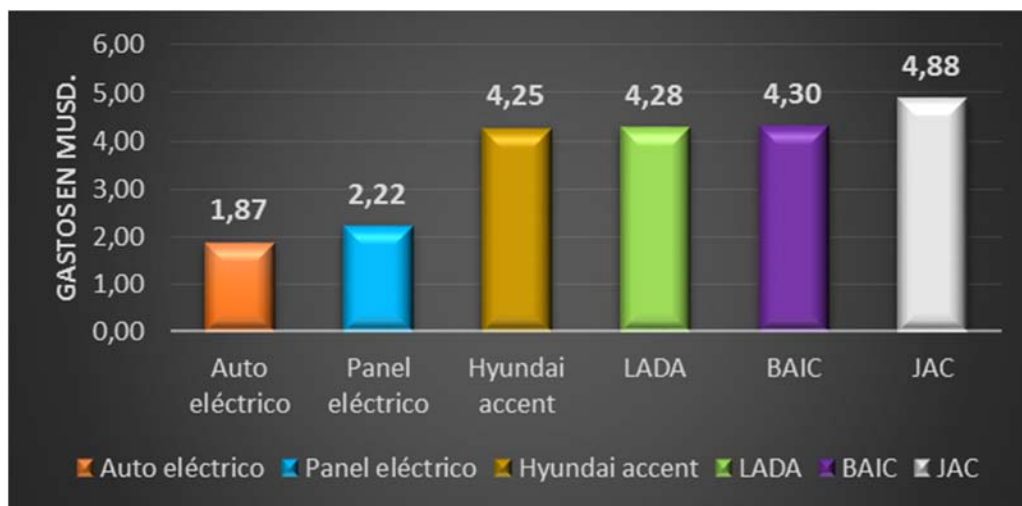


Fig. 2. Gastos anuales por concepto de consumo de combustibles.

Como se puede apreciar, en un año de explotación, el empleo de VE le proporciona al país un ahorro de más de un 50% en cuanto a consumo de combustible frente a autos similares de combustión interna.

Al analizar cada uno de los resultados, se observa que el auto y el panel eléctrico durante un año de explotación, le proporcionan al país un ahorro aproximado de un 90% en cuanto a gastos de explotación frente a automóviles de combustión interna de similares características tractivas y en la misma modalidad de trabajo.

Por otra parte, al comparar las inversiones iniciales y los gastos totales de explotación por cada tipo de vehículo, se llega a la conclusión de que la introducción de VE en esta modalidad de trabajo, resulta rentable (véase de la figura 3 a la 6), ya que el tiempo de recuperación de la inversión inicial es de 5 a 7 años y la suma de los ahorros anuales durante un década (período de vida útil de las baterías de los autos eléctricos establecido por el fabricante), subsidiaría la compra de otros dos autos eléctricos y aun sobrarían 10.09, 9.68, 10.44 y 18.92 MUSD frente a los autos LADA, Hyundai accent, BAIC y JAC respectivamente.



Fig. 3. Recuperación de la inversión inicial de los VE vs LADA VESTA.



Fig. 4. Recuperación de la inversión inicial de los VE vs Hyundai Accent.



Fig. 5. Recuperación de la inversión inicial de los VE vs BAIC SENOA.

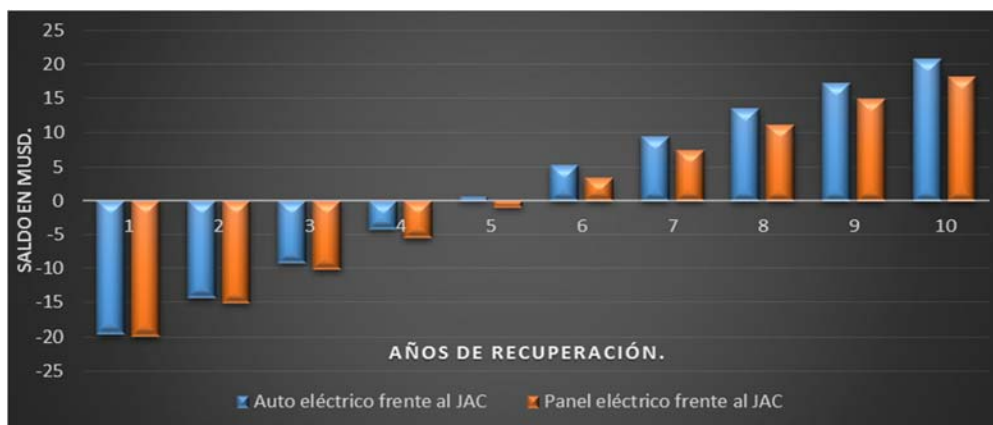


Fig. 6. Recuperación de la inversión inicial de los VE vs JAC j4.

Los resultados alcanzados en la evaluación ambiental se muestran en la tabla 8, donde se exponen las disminuciones de las emisiones de gases a la atmósfera que se obtienen de la utilización de VE frente a autos de combustión interna de similares características tractivas y en la misma modalidad de trabajo.

Tabla 8. Disminución de las emisiones de gases a la atmósfera con el empleo de VE		
Comparación respecto al vehículo	Disminución de las emisiones en toneladas equivalentes de CO₂	
	Auto eléctrico	Panel eléctrico
LADA VESTA	6,06	3,51
BAIC SENOVA	6,17	3,62
JAC j4	8,85	6,29
Hyundai Accent	5,93	3,38

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la tabla anterior, con el uso tanto del panel como del auto eléctrico en este tipo de explotación, se reducen las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera aproximadamente en un 20 y un 32% respectivamente.

En la figura 7, se muestran los porcentajes de disminución de las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera de los VE frente a cada uno de los autos de combustión interna analizados.

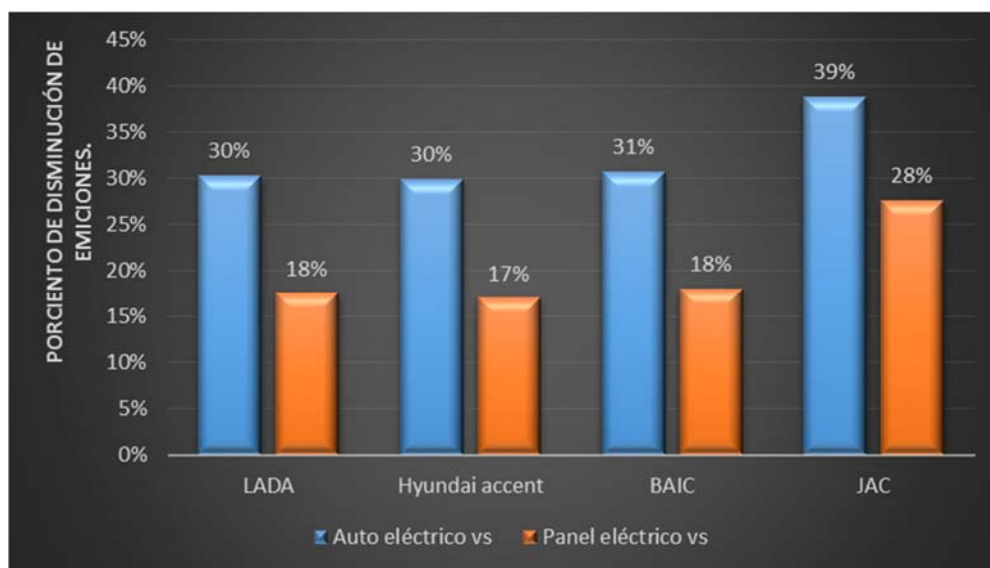


Fig. 7. Porcentaje de disminución de la emisión de gases contaminantes a la atmósfera de los VE vs a los autos de combustión interna.

CONCLUSIONES

En el estudio se demostró a partir del análisis de los costos, y tomando como punto de partida la caracterización del parque automotor de la base No. 1 de Taxis Rutero, que la introducción parcial o masiva de autos eléctricos en Cuba es factible gracias a los ahorros por concepto de consumo de combustible y de insumos para la realización de mantenimientos que generan, así como la correspondiente reducción de las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera.

REFERENCIAS

- [1] CASTRO FERNÁNDEZ, Miguel, Miriam Vilaragut LLanes a Raynel Díaz Santos. ``Vehículos Eléctricos: algunos elementos de interés para su introducción en Cuba``. In: *Congreso Internacional de Electrónica y Computación, CUBA INDUSTRIA 2018: ResearchGate* [En línea]. 2018 [Visitado: 2020-03-10]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/339826962_Vehiculos_Electricos_algunos_elementos_de_interes_para_su_introduccion_en_Cuba
- [2] UL-HAQ, Azhar, Carlo Cecati a Ehab El-Saadany. ``Probabilistic modeling of electric vehicle charging pattern in a residential distribution network``. *Electric Power Systems Research* [En línea]. 2018, vol. 157, 126–133. ISSN 0378-7796. Disponible en: doi:10.1016/j.epsr.2017.12.005
- [3] LI, Xinzhou, *et al.* ``A cost-benefit analysis of V2G electric vehicles supporting peak shaving in Shanghai``. *Electric Power Systems Research* [En línea]. 2020, vol. 179, 106058. ISSN 0378-7796. Disponible en: doi:10.1016/j.epsr.2019.106058
- [4] WANG, Yu, Thomas John a Binyu Xiong. ``A two-level coordinated voltage control scheme of electric vehicle chargers in low-voltage distribution networks``. *Electric Power Systems Research* [En línea]. 2019, vol. 168, p. 218–227. ISSN 0378-7796. Disponible en: doi:10.1016/j.epsr.2018.12.005
- [5] SHAMSHIRBAND, Mehdi, Javad Salehi a Farhad Samadi Gazijahani. ``Look-ahead risk-averse power scheduling of heterogeneous electric vehicles aggregations enabling V2G and G2V systems based on information gap decision theory``. *Electric Power Systems Research* [En línea]. 2019, vol. 173, p. 56–70. ISSN 0378-7796. Disponible en: doi:10.1016/j.epsr.2019.04.018
- [6] BÁEZ MATOS, José Felipe, Liset Valdés Abreu a Raúl Arturo Jiménez Rodríguez. ``Configuraciones de las redes eléctricas de distribución primaria que deterioran su eficiencia energética``. *Revista Granmense de Desarrollo Local. julio-septiembre 2018. RNPS: 2448* [En línea]. 2018, Vol.2 (No.3). ISSN 2664-3065. Disponible en: <https://revistas.udg.co.cu/index.php/redel/article/download/117/162/>
- [7] FERNÁNDEZ PÉREZ, Yosney, Ramón Caballero Arbelo a Eugenio Fco. Sagués Díaz. *LEY No. 109. Código de Seguridad Vial*. B.m.: My. Gral. „Ignacio Agramonte y Loynaz"
- [8] MINISTERIO DE JUSTICIA. Gaceta Oficial No. 11 Extraordinaria de 2013 [En línea]. 2013 [Visitado: 2020-03-10]. ISSN 1682-7511. Disponible en: <https://www.gacetaoficial.gob.cu/es/gaceta-oficial-no-11-extraordinaria-de-2013>
- [9] VEHICLE DYNAMICS STANDARDS COMMITTEE. ``Subjective Rating Scale for Vehicle Ride and Handling`` [En línea]. 23 de septiembre de 2016. Disponible en: https://www.sae.org/standards/content/j1441_201609/
- [10] ARAGÓN, Esther de. ``Qué necesito saber sobre modos y tipos de carga de un vehículo eléctrico``. *Movilidad Eléctrica* [En línea]. 27 de julio de 2018 [Visitado: 2020-02-03]. Disponible en: <https://movilidadelectrica.com/modos-y-tipos-de-carga-de-un-vehiculo-electrico/>
- [11] IPCC - ``Intergovernmental Panel on Climate Change`` [En línea]. 3 de febrero de 2020 [Visitado: 2020-02-03]. Disponible en: https://archive.ipcc.ch/home_languages_main_spanish.shtml

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Antonio Villasol López: <https://orcid.org/0000-0002-1854-1716>

Conformación de la idea de la Investigación. Recopilación de los datos necesarios, simulaciones, diseños y redacción del artículo. Participación de los análisis de los resultados, redacción del borrador del artículo, revisión crítica de su contenido y aprobación final.

Raynel Díaz Santos: <https://orcid.org/0000-0003-3134-1871>

Diseño de la investigación, recolección de datos y modelación matemática. Participó en el análisis de los resultados, redacción del borrador del artículo, la revisión crítica de su contenido y en la aprobación final.

Miguel Castro Fernández: <https://orcid.org/0000-0002-3983-469X>

Conformación de la idea de la Investigación. Recopilación de los datos necesarios, simulaciones, diseños y redacción del artículo. Participación de los análisis de los resultados, redacción del borrador del artículo, revisión crítica de su contenido y aprobación final.

José Miguel Villarroel Castro² †

Doctor en Ciencias, Investigador Auxiliar, Director Div. Tecnología, Centro de Investigaciones y Manejo Ambiental del Transporte, Cimab. La Habana. Cuba.