

Medición de parámetros energéticos durante el proceso de carga de vehículos eléctricos

Measurement of energy parameters during the charging process of electric vehicles

Pablo Tomás Herrera Basabe^{1,*}, Orestes Hernández Areu¹, Dailen García del Sol¹, Ernesto Díaz Alfonso¹

¹Universidad Tecnológica de La Habana “Jose Antonio Echeverría”, CUJAE. La Habana, Cuba

*Autor de la correspondencia: pablotohe@electronica.cujae.edu.cu

Recibido: 4 de septiembre de 2024

Aprobado: 2 de diciembre de 2024

Este documento posee una [licenciaCreativeCommonsReconocimiento-NoComercial4.0internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) 

RESUMEN/ABSTRACT

La transformación de la matriz como parte de la transición energética en Cuba, contempla la incorporación de los vehículos eléctricos en la sociedad y la economía. El crecimiento acelerado de esta tecnología, sin la existencia de infraestructuras públicas (estaciones de carga) para el reaprovisionamiento de estos vehículos, propician las condiciones para que se originen situaciones no deseadas en el sistema eléctrico nacional. Es sabido que el proceso de carga de los vehículos movidos por baterías eléctricas es una fuente de contaminación armónica para el sistema de suministro eléctrico que lo alimenta. Como resultado del análisis del comportamiento de las mediciones de los parámetros eléctricos durante el proceso de carga a una motocicleta eléctrica marca Mizhosuki y un auto de tecnología híbrida marca Sunyu S8/C, se concluye que son fuentes de contaminantes armónicas de corrientes, siendo los de mayores incidencias los armónicos 3^{ero}, 5^{to}, 7^{mo} y 9^{no}.

Palabras clave: vehículos eléctricos, carga de baterías, calidad de la energía, armónicos.

The transformation of the matrix as part of the energy transition in Cuba contemplates the incorporation of electric vehicles into society and the economy. The accelerated growth of this technology, without the existence of public infrastructures (charging stations) for the refueling of these vehicles, provide the conditions for unwanted situations to arise in the national electricity system. It is known that the charging process of vehicles powered by electric batteries is a source of harmonic pollution for the electrical supply system that powers it. As a result of the analysis of the behavior of the measurements of the electrical parameters during the charging process of a Mizhosuki electric motorcycle and a Sunyu S8/C hybrid technology car, it is concluded that they are sources of ammonium current pollutants, being the ones with the highest incidences the 3rd, 5th, 7th and 9th harmonics.

Key words: electric vehicles, battery charging, energy quality, harmonics.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, los diferentes problemas ambientales que se han venido presentando son ocasionados en gran parte por la contaminación generada por los diferentes medios de transporte. A nivel mundial, el sector del transporte contribuye con aproximadamente el 20% de las emisiones de carbono negro (hollín), de las cuales cerca del 95% son aportadas por la combustión de diésel [1]. El país en los últimos años ha incentivado el desarrollo de la electromovilidad como alternativa limpia en la transportación pública con la incorporación de disímiles variantes de vehículos eléctricos.

Cómo citar este artículo:

Pablo Tomás Herrera Basabe y otros. Medición de parámetros energéticos durante el proceso de carga de vehículos eléctricos. Ingeniería Energética. 2024. 45 (3), septiembre/diciembre. ISSN 1815-5901.

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

El vehículo eléctrico está llamado a formar parte de la movilidad diaria, debido a sus beneficios en materia de eficiencia energética y reducción de la dependencia de los combustibles fósiles [2]. Así como por la reducción de emisiones contaminantes y de efecto invernadero, en un momento en el que el transporte representa la cuarta parte de las emisiones de estos gases [3-5]. Sin embargo, la asimilación de estos valiosos medios ha sido más rápida que la construcción de las infraestructuras públicas para su operación, lo que ha conllevado a la creación de forma improvisada por los propietarios de estos vehículos de condiciones de cargas en sus hogares, desconociendo el comportamiento de estos y su influencia para el sistema de suministro de energía.

El trabajo que se presenta tiene como objetivo ilustrar el comportamiento de la incorporación de armónicos al sistema eléctrico durante el proceso de carga de dos vehículos eléctricos en las condiciones de los propietarios en sus hogares. En la actualidad, la electricidad se ha consolidado como uno de los servicios esenciales para el desarrollo de la sociedad, junto con el transporte, las comunicaciones y el suministro de agua. Por tanto, resulta innegable que aquellos países que carecen de acceso a este recurso se ven más propensos a estancarse en su proceso de desarrollo. En las últimas décadas, la electrificación ha sido uno de los principales objetivos a nivel mundial, con el propósito de satisfacer la creciente demanda energética.

Mediante la sustitución de los combustibles fósiles por electricidad generada a partir de fuentes renovables, se logra una reducción significativa de las emisiones de gases de efecto invernadero. Este enfoque se propone como un factor clave en la lucha contra el cambio climático [6]. Caracterizar la electricidad en un punto dado de una red de energía eléctrica, se hace a partir de la continuidad del suministro, relativa al número y duración de las interrupciones y de las características de la onda de tensión y de corriente [7]. Con la introducción de cargas no lineales en los sistemas de distribución secundario, los efectos negativos en la calidad de la energía se han manifestado con mayor frecuencia [8-11]. Es por ello que la introducción de los vehículos eléctricos en el mercado, genera variaciones significativas en la demanda de energía y potencia [12, 13].

El efecto más notable de la influencia de los vehículos eléctricos está dado por su carga. Los cargadores emplean fuentes conmutadas, por lo que son vistos desde la red como cargas no lineales [14]. Las cargas no lineales en las redes de distribución empobrecen los indicadores de calidad, incrementando las pérdidas en líneas y transformadores y provocan otros efectos no deseados [15]. Los vehículos eléctricos cargan sus baterías conectados a la red de distribución y, dado que son efectivamente cargas con interfaz de electrónica de potencia, existe el riesgo de que los vehículos eléctricos inyecten corrientes armónicas en la red que podrían afectar la calidad de la energía [14]. Todos los consumidores se conectan a la misma red, por lo que los usuarios que conecten vehículos que generen armónicos pueden afectar a los demás consumidores [6].

El impacto en la red de distribución eléctrica, puede clasificarse en positivo y negativo, entre los efectos negativos, destaca la afectación del perfil de tensión, saturación de los componentes del sistema eléctrico, desequilibrio de tensión, inyección de armónicos y aumento de pérdidas de energía, entre otros; y, en cuanto a los efectos positivos, destacan las técnicas a utilizar para llevar a efecto una correcta administración de la energía, también conocidas como técnicas de gestión de demanda [16-19]. La afectación a la red está enlazada con la forma de carga que se aplique al vehículo eléctrico, el tipo de carga puede clasificarse de tres maneras: carga de nivel I o carga lenta, carga de nivel II o semi rápida y carga de nivel III o rápida (electrolinera). El tipo de carga va de la mano con la velocidad de carga de la batería, y generalmente, el tipo II y III se utiliza en entornos públicos y privados, a diferencia del tipo I que está identificado como carga doméstica o de garaje [13, 15].

La tabla 1, muestra la clasificación de los tipos de carga de las baterías según las características de los Vehículos Eléctricos [13, 16].

Tabla 1. Niveles de carga de baterías de vehículos eléctricos

Nivel de carga	Tipo de carga	Uso típico	Corriente máxima esperada	Tiempo de carga
Nivel I	Lenta	Casa	12 A	6 a 24 horas
Nivel II	Semi rápida	Sector privado y público	32 A	2-6 horas
Nivel III	Rápida	Electrolineras	250 A CA; 400 A CC	0,5 horas

La evaluación de la calidad de la onda se realiza a partir de indicadores de calidad. Entre los indicadores más importantes a considerar para el caso de las redes monofásicas de baja tensión (BT) están los siguientes [5, 20]:

- Desviación de la tensión (Ud).
- Desviación de la frecuencia (Δf).
- Distorsión armónica (DA) individual de corriente y de tensión.
- Distorsión armónica total (THD) de corriente y de tensión.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio, se desarrolla a partir de los registros obtenidos a través del analizador de redes modelo METREL PowerQ+ Fw9.2. Los vehículos que se analizan son un cuatriciclo híbrido y una moto eléctrica cuyas características se exponen en la tabla 2.

Tabla 2. Características de los vehículos

Vehículo 1. Cuatriciclo eléctrico híbrido			
Características generales dadas por el fabricante			
Marca:	Braval	Cargador de batería	
Modelo:	Sunyu S8/C	Modelo:	Monofásico, portátil
Batería:	17.28 kWh, L_iPO_4	Entrada:	AC, 250 V, 32 A
Panel solar:	S_i monocristalino de 300 W	Salida:	CD, 32-EV-P5
Motor y controlador eléctrico:	15 kW		
Vehículo 2. Moto eléctrica			
Características generales dadas por el fabricante			
Modelo:	Scotter	Cargador de la batería	
Marca:	Mizhosuki	Modelo:	72V5A
Batería:	72V-35AH, L_i	Entrada:	110V, 3A, 50/60Hz
		Salida:	84V,5A CD

Para el estudio del vehículo 1, se tomaron los registros de parámetros eléctricos instantáneos en tres momentos diferentes del proceso de carga: al inicio con carga baja ($< 20\%$), en un momento intermedio al 40% de la carga de las baterías y al final, próximo a la carga total de las baterías (98.2%). Para la realización de la medición se procedió como sigue: se instala el analizador de redes METREL PowerQ+ Fw9.2 en un esquema de medición trifásico a 3H (el equipo no tiene la posibilidad de la programación de conexiones monofásicas). Para ello se emplean una pinza de corriente: 1x1000 A y 2 tomas de tensión. De esta forma se realiza la conexión del esquema monofásico, registrando la corriente de línea (I_1) y la tensión de línea (U_{12}).

De igual manera para el estudio del vehículo 2, se tomaron los registros de parámetros eléctricos instantáneos en 2 momentos diferentes del proceso de carga. Para ello se procedió como sigue: se instala el analizador de redes METREL PowerQ+ Fw9.2 en un esquema de medición trifásico a 4H (el equipo no tiene la posibilidad de la programación de conexiones monofásicas). Para ello se emplean una pinza de corriente: 1x1000 A y 2 tomas de tensión. De esta forma se realiza la conexión del esquema monofásico, registrando la corriente de línea (I_1) y la tensión de fase (U_1). En ambos casos, los valores de P, Q y S se corresponden con la potencia activa, reactiva y aparente respectivamente. Además, los valores picos que se registran se corresponden con los valores instantáneos mínimos y máximos de cada parámetro.

RESULTADOS y(o) DISCUSIÓN

Registro de parámetros durante el proceso de carga del Vehículo 1

En la tabla 3, se muestran las variables registradas al comienzo del proceso de carga del sistema de baterías ($<20\%$).

Tabla 3. Registro de parámetros al inicio del proceso de carga del vehículo 1

Símbolo	Parámetro	Unidad	Valores	
			Fase	Total
I_1	Corriente	A	14.94	-
THD I	THD de Corriente	A	0.292	-
THD I	THD de Corriente	%	1.953	
P	Potencia Activa	W	-	1935.9
Q	Potencia Reactiva	Var	-	29.38
S	Potencia Aparente	VA	-	1936.1
fp	Factor de Potencia	-	1.0 Ind	-
I_{min}	Pico mínimo de corriente	A	-21.8	-
I_{max}	Pico máximo de corriente	A	22.1	-
U_{12}	Tensión	V	250.3	-
THD U	THD de Tensión	V	4.415	-
THD U	THD de Tensión	%	1.764	
U_{min}	Pico mínimo de tensión	V	-351.1	-
U_{max}	Pico máximo de tensión	V	351.5	-

Análisis del registro en el momento inicial de la carga

De los registros obtenidos en el comienzo de la carga del vehículo 1 (con baja carga en la batería), se observa que se demanda de la red una potencia instantánea aparente de 1936 VA. Al analizar los valores del factor de potencia ($fp=1.0$ inductivo), el término inductivo, se atribuye al tipo de carga. El valor del factor de potencia igual a 1, se considera que es debido a que este es elevado y los ajustes internos del equipo de medición, lo redondea a uno. Por otro lado, tanto el THD de corriente (1.953 %) como el de tensión (1.76 %) permanecen inferiores al 2 %. Otro aspecto a destacar es que, la corriente instantánea mantiene valores máximos de 22.06 A y de tensión de 351,5 V, siendo los valores efectivos de 14.94 A y 250.3 V respectivamente.

Análisis de los registros de mediciones al 40% de carga de las baterías

Del análisis de los datos registrados, se observa (ver Tabla 4) que la corriente de línea es de 8.09 A, correspondiéndose con la potencia demandada de la red de aproximadamente el 60 % de la potencia instantánea total del sistema descargado. Se aprecia, un incremento en el THD de corriente (3.6 %) de un 46%, aunque prevalece la armónica fundamental. Se mantiene con poca variación el THD de tensión (1.8 %) con relación al sistema descargado. Además, el valor máximo de la tensión instantánea es de 353,2 V y el de la corriente máxima 13.53 A. El factor de potencia, aunque se mantiene en la unidad pasa a ser capacitivo, aportando a la red 9.6 Var. El valor modular, se considera que es producto al redondeo interno del analizador de redes.

Tabla 4. Registro de parámetros al 40% de la carga de la batería

Símbolo	Parámetro	Unidad	Valores	
			Fase	Total
I	Corriente	A	8.905	-
THD I	THD de Corriente	A	0.323	-
THD I	THD de Corriente	%	3.626	
P	Potencia Activa	W	-	1154.3
Q	Potencia Reactiva	Var	-	-9.6
S	Potencia Aparente	VA	-	1154.3
fp	Factor de Potencia	-	1.0 Cap	-
I_{min}	Pico mínimo de corriente	A	-13.3	-
I_{max}	Pico máximo de corriente	A	13.57	-
U	Tensión	V	251.9	-
THD U	THD de Tensión	V	4.514	-
THD U	THD de Tensión	%	1.792	
U_{min}	Pico mínimo de tensión	V	-352.0	-
U_{max}	Pico máximo de tensión	V	353.2	-

Análisis de los registros de mediciones momentos antes de la carga total de las baterías

A partir de los datos registrados (ver tabla 5), se infiere que: el sistema de baterías se encuentra prácticamente cargado (98.2 %). La corriente demandada de la red es de 0.806 A (5.4 % de la corriente demandada de la red por el sistema de baterías descargado). Se aprecia, además que la tensión y corriente máxima es de 2.714 A y 355.8 V respectivamente. El valor efectivo de la tensión es de 253.6 V y el factor de potencia se reduce bruscamente a 0.5 capacitivo. En este momento el sistema inyecta a la red 61.2 VAr. Por otro lado, los niveles de armónicos en la corriente se elevan 51.17 %, manteniéndose prácticamente invariable los armónicos de tensión (1.762 %). Los armónicos de corrientes (ver Fig. 1) que más influyen en el incremento del THD de corriente son: el 3^{er}o (15.7%), el 5^o (13.8%), el 7^{mo} (11,3 %) y el 9^{no} (10.2%).

Tabla 5. Registro de mediciones momentos antes de la carga total de la batería

Símbolo	Parámetro	Unidad	Valores	
			Fase	Total
I	Corriente	A	0.806	-
THD I	THD de Corriente	A	0.294	-
THD I	THD de Corriente	%	51.17	
P	Potencia Activa	W	-	35.2
Q	Potencia Reactiva	Var	-	-61.2
S	Potencia Aparente	VA	-	70.63
fp	Factor de Potencia	-	0.53 Cap	-
I_{min}	Pico mínimo de corriente	A	-2.48	-
I_{max}	Pico máximo de corriente	A	2.714	-
U	Tensión	V	253.6	-
THD U	THD de Tensión	V	4.469	-
THD U	THD de Tensión	%	1.762	-
U_{min}	Pico mínimo de tensión	V	-354.5	-
U_{max}	Pico máximo de tensión	V	355.8	-

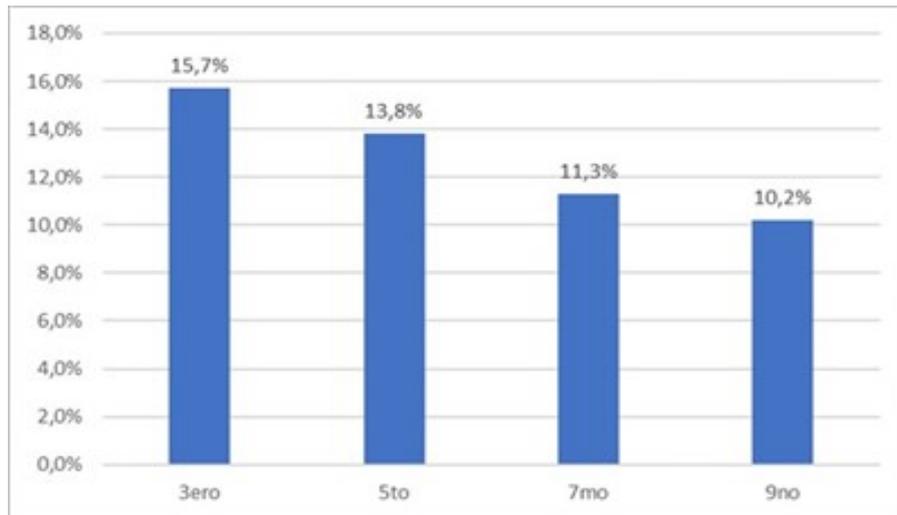


Fig. 1. Armónicos que más contribuyen al THD de corriente al final del proceso de carga del vehículo 1

Conclusiones parciales

Del análisis en el comportamiento del proceso de carga del sistema de baterías en el vehículo 1, se concluye que:

- Se introducen armónicos de corrientes a la red que afectan la calidad de la energía y el nivel de afectación es proporcional al estado de carga de las baterías, inyectando mayor nivel de armónico cuando más se acerque al completamiento de la carga de las baterías.
- Los armónicos que más prevalecen son los de 3^{ero}, 5^{to}, 7^{mo} y 9^{no}.
- Los niveles de armónicos de la tensión permanecen prácticamente invariables y menores al 2 %.
- El banco de baterías durante el proceso de carga transita por comportarse como una carga casi resistiva al inicio del proceso de carga y finaliza comportándose como una carga capacitiva inyectando reactivo a la red de suministro.
- El valor efectivo de la corriente en el inicio del proceso de carga alcanza un valor máximo de 14.94 A y disminuye a su mínimo valor cuando la batería queda completamente cargada.

Vehículo 2

Análisis del registro en el momento inicial de la carga de las baterías

De los registros obtenidos en el comienzo de la carga del vehículo 2 (ver tabla 6), se observa que se demanda de la red una potencia instantánea aparente de 658 VA. Al analizar los valores del factor de potencia ($fp=0.71$ Cap), se evidencia que se comporta como una carga capacitiva inyectando a la red 462.5 VAR. Por otro lado, el THD de corriente (92.95 %) alcanza un alto valor. Los armónicos individuales que más afectan (ver Fig.2) son el 3^{ero} (75.7%), 5^{to} (42.3%), 7^{mo} (25.6 %) y 9^{no} (23.6 %), superando el porcentaje permitido para los armónicos individuales de corrientes del 7% según la IEEE 519-2022. El armónico de la tensión (3.829 %), se mantiene por debajo del 8% normado según la IEEE 519-2022. Se destaca además que la corriente instantánea mantiene valores máximos de 23.2 A y de tensión de 155 V, siendo los valores efectivos de 5.984 A y 109.8 V respectivamente.

Tabla 6. Registro de parámetros al inicio del proceso de carga Vehículo 2

Símbolo	Parámetro	Unidad	Valores	
			Fase	Total
I	Corriente	A	5.984	-
THD I	THD de Corriente	A	4.252	-
THD I	THD de Corriente	%	92.95	-
P	Potencia Activa	W	-	468.0
Q	Potencia Reactiva	Var	-	-462.5
S	Potencia Aparente	VA	-	658
fp	Factor de Potencia	-	0.71 Cap	-
I_{min}	Pico mínimo de corriente	A	-23.2	-
I_{max}	Pico máximo de corriente	A	23.2	-
U	Tensión	V	109.8	-
THD U	THD de Tensión	V	4.2	-
THD U	THD de Tensión	%	3.829	-
U_{min}	Pico mínimo de tensión	V	-154.0	-
U_{max}	Pico máximo de tensión	V	155.0	-

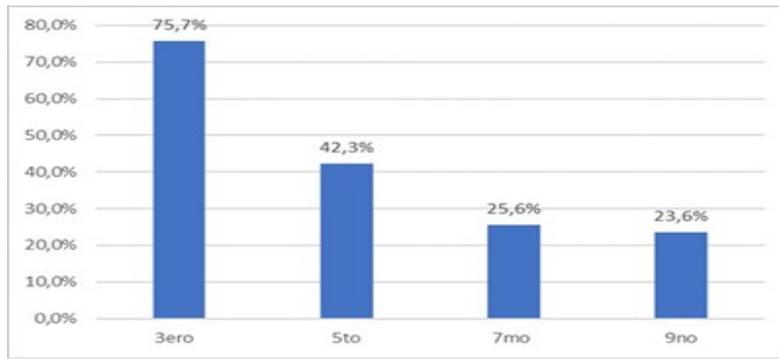


Fig. 2. Armónicos que más contribuyen al THD de corriente al inicio del proceso de carga del vehículo 2

Análisis de los registros de mediciones del vehículo 2 al 17% de carga de las baterías

Del análisis de los datos registrados (ver tabla 7), se observa que la corriente de línea se disminuye a 4.988 A. Se aprecia en la fig. 3, un incremento en el THD de corriente (110.9 %), contribuyendo en mayor proporción los armónicos 3^{ero} (76.7%), 5^{to} (43.7%), 13^{ero} (38 %) , 9^{no} (19.4 %) y 7^{mo} (19.2 %). El THD de tensión se mantiene con poca variación (3.724 %) con relación al momento inicial. Además, el valor máximo de la tensión instantánea es de 157.2 V y el de la corriente máxima permanece constante en 23.2 A. El factor de potencia, se reduce a 0.64 capacitivo, aportando a la red 425.5 VAR.

Tabla 7. Registro de parámetros al 17 % de la carga de la batería

Símbolo	Parámetro	Unidad	Valores	
			Fase	Total
I	Corriente	A	4.988	-
THD I	THD de Corriente	A	3.843	-
THD I	THD de Corriente	%	110.9	
P	Potencia Activa	W	-	364.2
Q	Potencia Reactiva	Var	-	-425.5
S	Potencia Aparente	VA	-	560.1
fp	Factor de Potencia	-	0.65 Cap	-
I _{min}	Pico mínimo de corriente	A	-18.6	-
I _{max}	Pico máximo de corriente	A	23.2	-
U	Tensión	V	112.1	-
THD U	THD de Tensión	V	4.170	-
THD U	THD de Tensión	%	3.724	
U _{min}	Pico mínimo de tensión	V	-156.3	-
U _{max}	Pico máximo de tensión	V	157.2	-

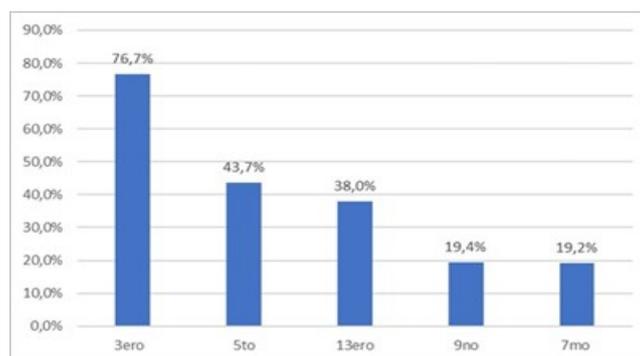


Fig. 3. Amónicos que más contribuyes al THD de corriente en el vehículo 2 al 17 % de carga de las baterías

Conclusiones parciales

Del análisis en los resultados durante el proceso de carga del sistema de baterías en el vehículo 2, se concluye que:

- Los THD de los armónicos de corriente y tensión que se introducen a la red a causa del proceso de carga del vehículo 2 alcanzan valores de 110.9 % y 3.8 % respectivamente.
- Los armónicos que más contribuyendo al incremento del THD de corriente son: el 3^{ero} (76.7%), 5^{to} (43.7%), 13^{ero} (38 %) , 9^{no} (19.4 %) y 7^{mo} (19.2 %).
- Los niveles de armónicos de la tensión permanecen prácticamente invariables, aunque no superan los valores normados del 8 %, no comportándose de igual manera los armónicos individuales de corrientes los cuales superan el valor normado del 7% según establece la IEEE 519-2022.

- El banco de baterías durante el proceso de carga se comporta como una carga capacitiva inyectando reactivo a la red de suministro.
- El valor efectivo de la corriente en el inicio del proceso de carga alcanza un valor máximo de 23.2 A.

CONCLUSIONES

Se realizan las mediciones de los parámetros eléctricos durante el proceso de carga de los vehículos identificados 1 y 2, arribando a las siguientes conclusiones generales.

1. En ambos casos durante el proceso de carga, se generan armónicos de corrientes que son inyectados a la red de suministro.
2. Los niveles de armónicos de la tensión permanecen prácticamente invariables y son de menores magnitudes que los de corrientes.
3. Los bancos de baterías se comportan como cargas capacitivas en momentos del proceso de carga inyectando reactivo a la red.
4. El valor efectivo de la corriente en el inicio del proceso de carga alcanza un valor máximo que disminuye a su mínimo valor cuando la batería aumenta su nivel de carga.
5. El nivel del indicador THD de corrientes, denotan una relación directa con el estado de carga de los bancos de baterías en ambos vehículos, aumentando estos mientras aumenta el porcentaje de carga de las baterías.

REFERENCIAS

- [1]. Sanchez, W., Tolosa, J. “Modelado y rendimiento de una estación de carga para vehículos eléctricos”. Tesis de grado. Universidad Distrital “Francisco José de Caldas, Colombia, 2024. Disponible en: <https://repository.udistrital.edu.co/items/ce9f3cb7-144f-41bf-a246-560fdaf0fd35>
- [2]. Chandru Lin. “Enhancing EV Charging Station Reliability and RAS Safety”. Qeios. May 6, 2024. ISSN 2632-3834. Disponible en: https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://www.qeios.com/read/PQUJEL.2/pdf&ved=2ahUKEwj_pZnwy7aKAxUsTDABHTIUAmYQFnoECDIQAQ&usg=AOvVaw0WufeVi-4_gqeZIMNdrynG
- [3]. López, A., *et al.* “Vehículos eléctricos en Cuba: un caso de estudio de la empresa de CUBATAXI de La Habana”. Ingeniería Energética. 2022, vol. 43, n. 1. ISSN 1815-5901. Disponible en: <https://rie.cujae.edu.cu/index.php/RIE/article/view/652/800>
- [4]. Olvera, J., *et al.* “Gestión de gobierno por una transición de movilidad baja en carbono para la ciudad de Cienfuegos, Cuba”. Revista Universidad y Sociedad. 2022, vol. 14, n. 5, p. 489-502. ISSN 2218- 3620. Disponible en: <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/3246>
- [5]. Grau, F., *et al.* “Influencia de la carga de los vehículos eléctricos en las redes de distribución secundarias”. Ingeniería Energética. 2023, vol. 44, n. 3. ISSN 1815-5901. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1815-59012023000300094&script=sci_arttext&tlng=pt
- [6]. Contreras., Alberto. “Análisis de las inyecciones armónicas de la carga de vehículos eléctricos en las instalaciones de la Escuela”. Tesis de grado. E.T.S.I. Industriales (UPM), Madrid, España, 2023. Disponible en: <https://oa.upm.es/74842/>
- [7]. Pulgar, J. “Costos de la calidad en las empresas del sector eléctrico”. Revista Digital de Investigación y Postgrado. 2011, vol. 1, n. 1, p. 70-78. ISSN-e 2244-7393. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3895323>
- [8]. Suárez, J., *et al.* “Análisis de la calidad de la energía en un centro de Cómputos”. Ingeniare Revista chilena de ingeniería. 2013, vol. 21, n. 1, p. 30-40. ISSN 0718-3305. Disponible en: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052013000100004tversion
- [9]. Berenguer, R., *et al.* “Gestión de la Calidad de la energía eléctrica”. Ingeniería Energética. 2018, vol. 39, n. 1. ISSN 1815-5901. Disponible en: <https://rie.cujae.edu.cu/index.php/RIE/article/view/527>
- [10]. Arjun, M., *et al.* “Impact of Electric Vehicle Charging Station on Power Quality”. International Journal of Applied Power Engineering (IJAPE). March 2024, vol. 13, n. 1, p. 186-193. ISSN 2252-8792. Disponible en: <https://ijape.iaescore.com/index.php/IJAPE/article/view/20701/13130>
- [11]. Ram, S., *et al.* “Analysis of the Impact of Electric Vehicle Charging Station on Power Quality Issues”. Journal of Energy Engineering and Thermodynamics. Jan 2024, vol. 4, n. 1. ISSN 2815-0945 . Disponible en: <https://journal.hmjournals.com/index.php/JEET/article/view/3275/2713>
- [12]. Sandoval, D. and Torres, G. “Respuesta de demanda de energía por introducción de vehículos eléctricos: estado del arte”. Revista de I+D Tecnológico. 2020, vol. 16, n. 1, p. 5–11. ISSN 2219-6714. Disponible en: <https://doi.org/10.33412/idt.v16.1.2433>
- [13]. Tubay, A., *et al.* “Los vehículos eléctricos y su impacto en el sistema eléctrico de distribución: caso de estudio: Alimentador urbano de la ciudad de Portoviejo”. Revista de Ciencia y Tecnología Ingenius. Julio 2024, n. 32. ISSN 1390-860X. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/381912349>
- [14]. Fernandez, D., *et al.* “Electrical vehicles impact analysis for distribution systems with THD and load profile study”. In 2015 IEEE Workshop on Power Electronics and Power Quality Applications (PEPQA), Bogota, Colombia, 2015. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7168240>

- [15]. Miranda, M., *et al.* “Las infraestructuras de recarga y el despegue del vehículo eléctrico”. *Obs Medio ambiente*. 2015, vol. 18, p. 57–85. ISSN 2310-2799. Disponible en: http://dx.doi.org/10.5209/rev_obmd.2015.v18.51285
- [16]. Das, H., *et al.* “Electric vehicles standards, charging infrastructure, and impact on grid integration: A technological review”. *Renew Sustain Energy Rev*. 2020, vol. 20. ISSN 1879-0690. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032119308251>
- [17]. Habib, S., *et al.* “A comprehensive study of implemented international standards, technical challenges, impacts and prospects for electric vehicles”. *IEE Acces*. 2018, vol. 6, p. 13866 - 13890. ISSN 2169-3536. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8307044>
- [18]. González, J., *et al.* “Efectos de los armónicos de corriente en las pérdidas de transformadores de distribución monofásicos”. *Ingeniería Energética*. 2019, vol. 40, n. 2. ISSN 1815-5901. Disponible en: https://scholar.google.cl/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=%5B18%5D+N.+Jimenez+P%3%A9rez%2C+%E2%80%9CAGRUPACION+DE+ARMONICOS+POR+CARGA+DE+VEHICULO+EL%3%89CTRICO+Y+SU+IMPLICACION+EN+EL+DIMENSIONAMINETO+DE+LOS+TRANSFORMADORES+DE+DISTRIBUCI%3%93N&btnG=
- [19]. Sharma, S., *et al.* “Storage technologies for electric vehicles”. *J Traffic Transp Eng (Engl Ed)*. 2020, vol. 7, n. 3, p. 340-361. ISSN 2051-3305. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095756420300647>
- [20]. Yu, H., *et al.* “Electric vehicles integration and vehicle-to-grid operation in active distribution grids: A comprehensive review on power architectures, grid connection standards and typical applications”. *Renew Sustain Energy*. 2022, vol. 168. ISSN 1364-0321. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032122006955>

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Pablo Tomás Herrera Basabe: <https://orcid.org/0009-0001-3884-7245>

Diseño de la investigación. Participó en la ejecución de los trabajos, el análisis de los resultados, la redacción del borrador del artículo, la revisión crítica de su contenido y en la aprobación final.

Orestes Hernández Areu: <https://orcid.org/0000-0002-2672-239X>

Diseño de la investigación. Participó en la ejecución de los trabajos, el análisis de los resultados, la redacción del borrador del artículo, la revisión crítica de su contenido y en la aprobación final.

Dailen García del Sol: <https://orcid.org/0000-0002-1425-7371>

Diseño de la investigación. Participó en la ejecución de los trabajos, el análisis de los resultados, la redacción del borrador del artículo, la revisión crítica de su contenido y en la aprobación final.

Ernesto Díaz Alfonso: <https://orcid.org/0000-0003-1837-058X>

Diseño de la investigación. Participó en la ejecución de los trabajos, el análisis de los resultados, la redacción del borrador del artículo, la revisión crítica de su contenido y en la aprobación final.