



CARACTERIZACIÓN EXPERIMENTAL DE VEHÍCULO ELÉCTRICO DE LABORATORIO CERO ENERGÍAS NETAS

C. M. Flores, L. F. García, R. A. Hernández, E. O. Romero, J. J. Guzmán
Departamento de Ciencias Energéticas y Fluidicas, UCA, San Salvador, El Salvador
Teléfono (503) 22106600, E-mail: cmflores@uca.edu.sv

Resumen — La introducción de los vehículos eléctricos en el sistema de transporte vial de El Salvador traerá grandes beneficios en la reducción de las emisiones de CO₂ y los niveles de ruido, pero al no conocer la tecnología sobre la cantidad de piezas con respecto a uno de combustión interna, la autonomía real manejado en San Salvador, los tipos de cargadores y su tiempo de carga, surgirán impactos adversos para poder convencer a la población por la adquisición de uno. Para mitigar estas dudas, se realizaron pruebas de autonomía utilizando el Hyundai IONIQ basados en la normativa ISO 08715-2001 y utilizando el puerto OBD; mediciones de potencia, corriente de carga y descarga para poder determinar la eficiencia de los cargadores. Los resultados muestran que los datos difieren respecto a los del fabricante debido a la topografía de San Salvador, su alto congestionamiento y el país está ubicado en la zona tropical.

Palabras claves — carro eléctrico, batería, sistemas anti bloqueo, autonomía, caracterización.

Abstract — The introduction of electric vehicles in the road transport system of El Salvador will bring great benefits in reducing CO₂ emissions and noise levels, but not knowing the technology on the number of parts with respect to one of internal combustion, the real autonomy managed in San Salvador, the types of chargers and their loading time, adverse impacts will arise in order to convince the population to acquire one. To mitigate these doubts, autonomy tests were performed using the Hyundai IONIQ based on ISO 08715-2001 and using the OBD port; power, load and discharge current measurements to determine the efficiency of the chargers. The results show that the data differ from those of the manufacturer due to the topography of San Salvador, its high congestion and the country is located in the tropical zone.

Key words – electric vehicle, battery, characterization, autonomy, anti-lock braking system.

I. INTRODUCCION

El vehículo eléctrico de batería (BEV) son vehículo impulsado por uno o más motores eléctricos conectado a su sistema de tren de impulsión, donde su única fuente de alimentación es la energía eléctrica que está almacenada en el paquete de baterías de iones de litio. Por lo tanto, el rango de estos vehículos depende de la capacidad de las baterías que, por lo general, la autonomía de un automóvil convencional varía entre los 100 km a 250 km con una carga completa. Los vehículos de gamas más elevada pueden tener una autonomía que ronda de 300 km a 500 km. [1, 8]. Como se puede observar en la Fig.1a se muestra

un despiece de los sistemas que conforman el motor eléctrico, contrastando el despiece de los diferentes elementos de los que consta un motor de combustión interna. Los BEV a diferencia de los motores de combustión interna, Fig. 1b, sólo constan de una parte móvil que es el motor el cual puede dividirse en 3 subsistemas: propulsión, fuente de energía y engrane auxiliar, accionado por medio de diferentes sistemas de control eléctrico, conectado por medio de cables que pueden estar distribuidos en cualquier parte del chasis del vehículo. Esto supone una libertad para que el fabricante seleccione la posición más óptima de todos los sistemas.

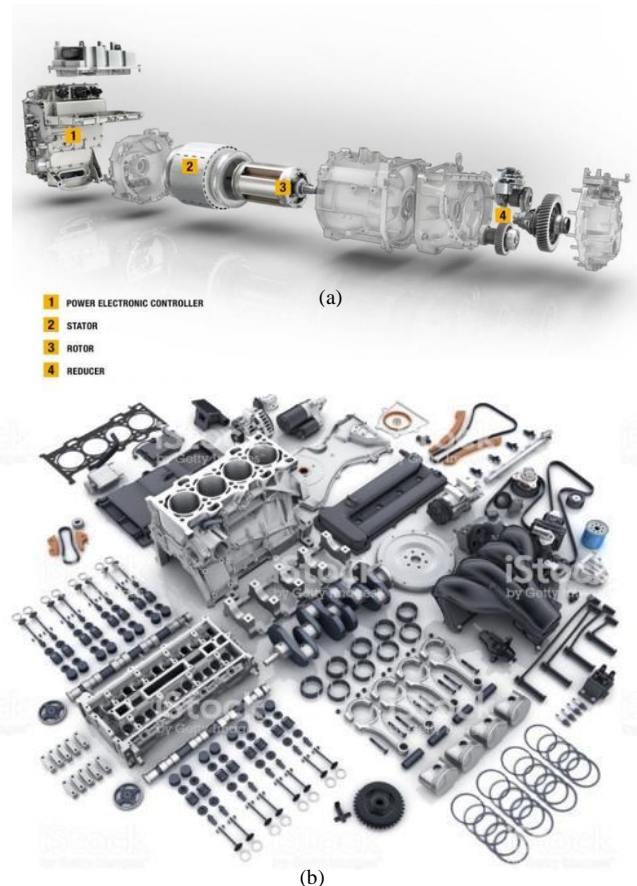


Fig.1 Esquemas de Motor Eléctrico y Motor de Combustión Interna [3, 5,13]

Dada la simplicidad de los sistemas BEV se pueden



realizar diferentes configuraciones de trenes de impulsión. Sin embargo, en este trabajo de investigación se clasificarán en 2 tipos de configuraciones, la primera como se mostró anteriormente remplazando el motor de combustión interna por el motor eléctrico, en la segunda configuración se tienen motores directamente conectados a las ruedas.

Dado que los fabricantes de vehículos eléctricos también desarrollan todo tipo de vehículos, se tomó la decisión de aprovechar el espacio que se tenía en el chasis del carro para colocar el motor eléctrico en donde debería de estar el motor de combustión. [8]

La primera configuración se muestra en la Fig. 2a, con una configuración de tracción delantera con el motor eléctrico en la posición convencional de un motor de combustión interna, teniendo una caja de cambios y un embrague que permite una relación de alto torque a bajas velocidades y un bajo torque a altas velocidades, manteniendo el sistema de diferencial para que las ruedas puedan girar a diferentes velocidades.

Con la segunda configuración, en la Fig. 2b, se utiliza el motor eléctrico en la misma posición. Sin embargo, ya no se cuenta con el sistema de embrague, sustituyéndolo por un engrane fijo que elimina la posibilidad de tener la relación torque-velocidad.

2

Finalmente se observa una de las configuraciones más utilizadas, Fig. 2c, alguno de los fabricantes que la utilizan son: Nissan Leaf, Chevrolet Spark y Hyundai Ioniq. Todos están contruidos con el motor eléctrico montado en la parte delantera para poder accionar el eje delantero utilizando el engranaje y el diferencial como una sola unidad.

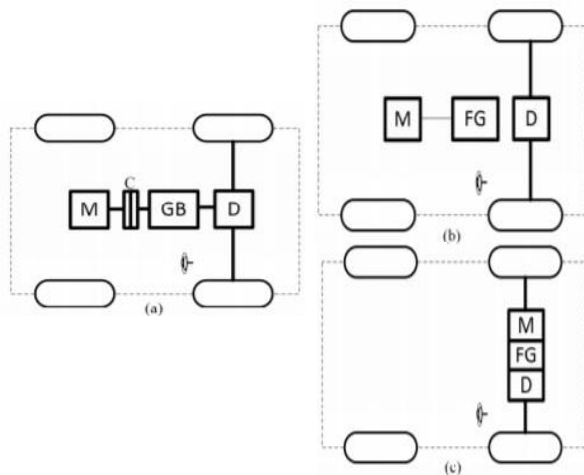


Fig.2 Tipos de Configuraciones de Posición de Motor [8, 15]

Dado que el motor eléctrico utiliza menos espacio, es un

sistema más compacto, permite tener una optimización en la posición de los demás sistemas como el de refrigeración para un sistema de aire acondicionado, radiador para enfriamiento de baterías principales, sistema de dirección asistida entre otros elementos que permiten su funcionamiento [10, 11, 15]

Uno de los grandes desafíos para la adopción del vehículo eléctrico es su cargado. La carga implica que la energía eléctrica de la red a un nivel de potencia adecuado se inyecta a la batería. Los tiempos de carga dependen de la batería y del nivel de potencia de cargador. Otro inconveniente es que cargadores de batería pueden producir efectos armónicos perjudiciales en sistemas de distribución de servicios eléctricos, aunque cargadores con un rectificador activo, puede mitigar este impacto. [2, 4]

El cargado de la batería del vehículo eléctrico se realiza principalmente por tres métodos: método de carga conductiva, método de carga inductiva y técnica de intercambio de batería, Fig. 3.

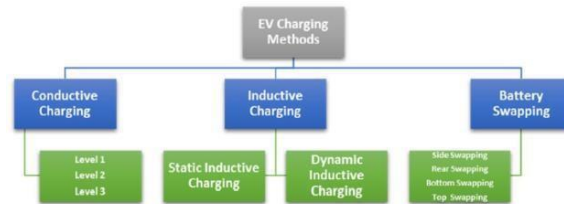


Fig.3 Técnicas de Cargado para EV. [16]

- Carga Conductiva.

Este tipo de carga es la más común. El vehículo se carga a través de un cable conectado a la red eléctrica. Este método es eficiente, ligero, compacto y permite flujos de energía bidireccionales [16]. Sin embargo, se han planteado problemas de seguridad. El cable entre el enchufe y el vehículo, en lugares públicos y garajes, podría resultar peligroso para la seguridad al tropezar con peatones o propietarios de automóviles.

El cargado conductivo consiste en un rectificador y un convertidor con corrección del factor de potencia. Se pueden clasificar como cargador “on board” y “off board”. El cargador “on board” contiene el regulador y la regulación de la batería dentro del vehículo, mientras que el cargador externo tiene afuera del vehículo, en el cargador en sí.

- Hay tres estándares diferentes de carga conductiva e infraestructura.

El nivel 1 es de 220 V AC en Europa y de 15 a 20 A (120 V AC en los Estados Unidos). Es la solución más



común, ya que corresponde a voltajes residenciales y comerciales y no requiere la instalación de nuevas redes. Puede cargar completamente un vehículo en 5 a 28 h. usa un tomacorriente con conexión a tierra monofásica estándar de 120 V/15 A, como un NEMA 5-15R. La conexión puede usar un conector J1772 estándar en el puerto de CA EV [9].

El nivel 2 ofrece una carga de 240 V (hasta 80 A, 19.2 kW). Puede requerir equipo dedicado y una instalación de conexión para unidades domésticas o públicas. Este nivel puede cargar una batería EV típica durante la noche. Un medidor de facturación por separado es típico. Se informa que un cargador de Nivel 2 tiene un costo incluyendo la instalación de entre \$1000 y \$3000. [6]

La carga de nivel 3, también llamada carga rápida, podría ser de 480 V AC y circuito trifásico con una potencia entre 60 y 150 kW. Requiere una red específica y estrictas medidas de seguridad. Su objetivo es cargar la batería en menos de 10 min. Puede instalarse en áreas de descanso de carreteras y puntos de reabastecimiento de combustible de la ciudad, de forma análoga a gasolineras. La infraestructura de carga de Nivel 3 tiene un costo de instalación de entre \$30,000 y \$160,000, sumándole el mantenimiento de las estaciones de carga que es otro factor de costo. [6]

En términos de actividades formales de normalización, la Comisión Internacional Electrotécnica (IEC) es el actor más importante con respecto a las normas electrotécnicas. En 2009, el IEC publicó un conjunto de criterios que debe cumplir un diseño de enchufe estándar de EV Común. Como resultado de los esfuerzos de la IEC, en 2011 se lanzó un complemento a la norma IEC 62196 anterior (de 2003). Mientras que la norma de 2003 solo especificaba una serie de requisitos, la segunda parte recientemente lanzada (IEC 62196-2) especificó tres diseños de enchufes físicos (formalmente referidos como Tipos 1, 2 y 3 por el IEC) que habían surgido en ese momento. Fig. 4.

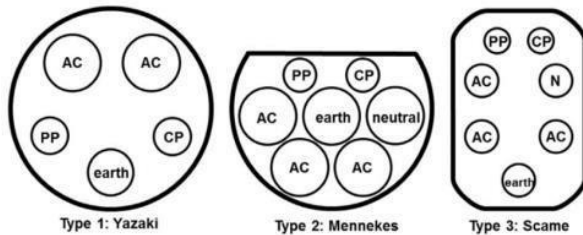


Fig.4 Dibujos esquemáticos de los Tres Enchufes AC [5]

Dónde: AC representa las clavijas de la fuente de alimentación en AC, PP es el piloto de proximidad que detecta si el enchufe esta insertado correctamente, CP es el piloto de control que se utiliza para la comunicación entre el vehículo y la estación de carga.

La trayectoria de carga de DC surgió más tarde que la trayectoria de AC y las dos trayectorias han visto una dinámica de estandarización muy distinta. Fig. 5, mientras que la trayectoria de AC comenzó con muchos proyectos y diseños locales, la trayectoria de DC comenzó con la definición de un estándar antes de instalar cualquier equipo.

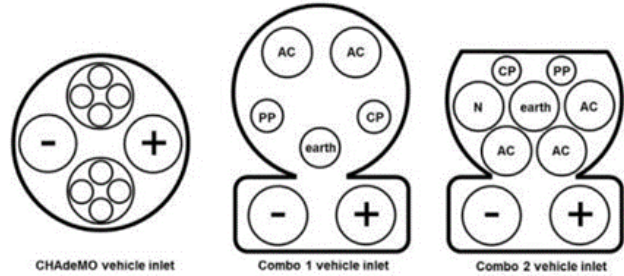


Fig.5. Esquemáticos de las Tres Entradas de Vehículos de Corriente Continua. [5]

II. RESULTADOS

A. Prueba de Autonomía Norma ISO 08714-2002

La siguiente prueba se realizó en el Autódromo el Jabalí, realizándose el precalentamiento de los componentes mecánicos según el procedimiento establecido en la norma complementaria para pruebas de desempeño de vehículos eléctricos ISO 08715-2001. Se recorrieron 5000 metros de la pista con este propósito y se aprovecharon estos para realizar el reconocimiento de la pista. Se observó durante este recorrido que la pista no ofrecía las condiciones de longitud y radio de curvatura necesarios para poder cumplir con los perfiles de velocidad estipulados por la normativa para el ciclo de conducción extraurbano por lo que se tomó la decisión de aproximar este ciclo a la máxima velocidad que los pasajeros considerarán prudente para cada tramo de la pista. En esta prueba se obtuvieron los siguientes resultados mostrados en la tabla.

Tabla 1. Resultados prueba de autonomía

Tiempo de Autonomía	Distancia de Autonomía	Autonomía estante a Alerta de Batería	Tiempo en Movimiento	Tiempo Detenido
6 h. 46 min.	151 km.	19 km.	4 h. 35 min.	2 h. 11 min.

B. Prueba de Eficiencia Sistema Electromecánico.

Para la siguiente prueba se llevó el vehículo a la empresa Dynotec SV para hacer uso del equipo de dinamómetro de chasis para obtener la potencia máxima que el carro puede entregar. Esto con el



propósito de compararlo con el valor de potencia máxima dada por el fabricante. Durante esta prueba se pretendía también obtener la eficiencia junto con la curva de torque – revoluciones por minuto del sistema electromecánico, sin embargo, por limitaciones del equipo con el que se contaba no se pudo obtener esos resultados. Los resultados de esta prueba se presentan a continuación. La potencia máxima obtenida durante la prueba es de 138 HP a una velocidad de 51.2 mi/h. La potencia nominal dada por el fabricante es de 118 HP, por lo que se puede observar que el vehículo Hyundai Ioniq es capaz de entregar una potencia máxima 15% mayor a su potencia nominal.

C. Prueba de Autonomía para Recorridos Fuera del Área Metropolitana de San Salvador

Con el objetivo de obtener el comportamiento del vehículo eléctrico para recorridos de larga distancia se visitaron los siguientes destinos: Parque Nacional Puerta del Diablo, Parque Nacional El Boquerón, Aeropuerto Internacional de El Salvador, Lago de Coatepeque, Playa Costa del Sol y Cámara de Comercio e Industria Santa Ana. Estos recorridos permitieron observar el efecto de la regeneración en la autonomía del vehículo y el efecto de la pendiente en la autonomía del vehículo. Se utilizó el programa Google Earth para calcular el valor de pendiente promedio para cada uno de los recorridos, observándose que para el recorrido hacia el Parque Nacional El Boquerón se tuvo el mayor consumo de autonomía en la batería. Los resultados obtenidos para esta prueba se presentan a continuación.

Tabla 2. Resultados recorridos fuera de San Salvador

Destino	Autonomía Consumida	Kilómetros Recorridos	Pendiente Promedio
Parque Nacional Puerta del Diablo	24 km.	33 km.	6.4 %
Parque Nacional El Boquerón	30 km.	36 km	7.1 %
Aeropuerto Internacional de El Salvador	78 km.	87 km	3.8 %
Lago de Coatepeque	99 km.	103.6 km	0.2 %
Costa del Sol	153 km	153 km	2.4 %
Cámara de Comercio e Industria de Santa Ana	102 km.	118 km	2.5 %

D. Prueba de Autonomía Recorridos Urbanos

Durante la presente prueba se realizó un recorrido dentro del Área Metropolitana de San Salvador durante las horas de mayor afluencia vehicular. El objetivo de esta prueba fue comparar los tres diferentes modos de conducción que posee

el vehículo Hyundai Ioniq. La ruta tomada al igual que la prueba de autonomía ISO 08714-2002 posee tanto recorridos urbanos y extraurbanos, en donde la distancia del recorrido extraurbano es 1/5 de la distancia urbana. El recorrido consta de 22 km circulando sobre el Boulevard Los Próceres, 49 Avenida Sur, Alameda Manuel Enrique Araujo, Boulevard Monseñor Romero y Carretera Panamericana. Durante estos recorridos se observó que el uso de sistemas auxiliares tales como el aire acondicionado utilizado en todos los recorridos tuvo una gran influencia en la autonomía de la batería obtenida. La pérdida de autonomía debido a los sistemas auxiliares se presenta a continuación.

Tabla 3. Autonomía reducida por sistemas auxiliares

	Potencia	Autonomía Perdida ECO	Autonomía Perdida Sport	Autonomía Perdida Normal
Aire Acondicionado	0.264 kW	16.23 km.	11.67 km	21.0 km
Limpia Parabrisas	0.110 kW	6.76 km	4.86 km	8.8 km
Radio	0.200 kW	12.29 km	8.84 km	15.9 km

Se calculó el porcentaje de regeneración que se tuvo para cada uno de los modos de conducción, el resultado se muestra como un gráfico donde se puede observar el promedio de regeneración junto con los máximos y mínimos de regeneración. Este porcentaje, es calculado por medio de la diferencia de los kilómetros recorridos menos los kilómetros consumidos de autonomía dividido entre los kilómetros recorridos.

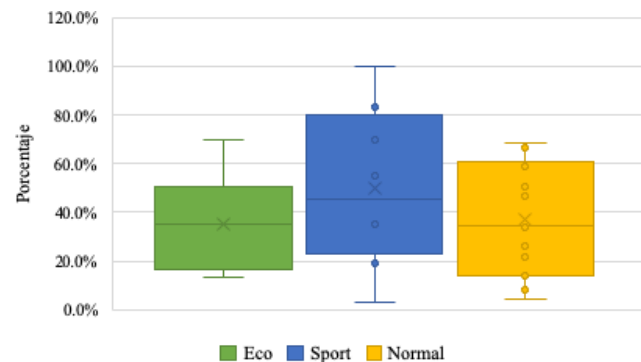


Fig. 6. Porcentaje de Regeneración para cada modo de conducción.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para la prueba de autonomía urbana en los diferentes modos de conducción, Fig.6. Durante el desarrollo de la prueba de los modos ECO y Sport la temperatura ambiente a la que se realizaron ambas



pruebas incidieron de forma negativa en la autonomía final, debido a que el vehículo eléctrico tuvo que utilizar su sistema de refrigerado de baterías, aunque el carro no fue utilizado en ese momento. Como se puede observar en la figura 2, la autonomía obtenida con el modo Normal y el modo Eco son similares Sin embargo el modo Eco perdió 15 kilómetros de autonomía debido a la temperatura ambiente de 32°C que se registró durante esta prueba.

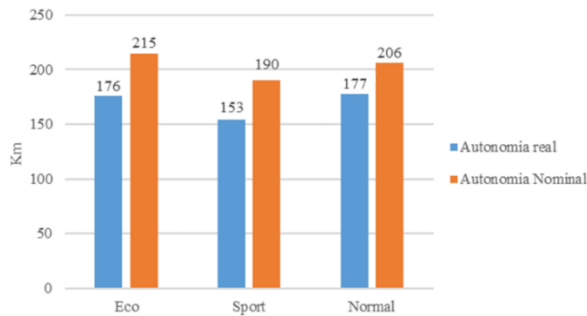


Fig. 6. Resultados de la prueba de autonomía para los distintos modos de operación del BEV.

E. Prueba de Eficiencia de Cargadores. [7]

Se presenta a continuación una tabla comparativa de los modelos junto con su precio de adquisición. Como se puede observar el cargador eHome TIC32 es el cargador con la mayor eficiencia, sin embargo, su precio de adquisición elevado no logra justificar la diferencia de eficiencia en cuanto al costo de recarga. Tabla 4.

Tabla 4. Comparativa de modelos de cargadores

Modelo de Cargador	E-Home TIC32	Hyundai IONIQ	BS- PCD040
Nivel de Carga	2	1	2
Potencia Consumida	28.33 kWh	33.66 kWh	29.73 kWh
Eficiencia (%)	98.82	83.18	94.18
Costo de Adquisición	\$1056.26	\$0.00	\$321.55
Tiempo de Recarga	243 min	1520 min	258 min
Costo de Recarga	\$5.31	\$6.30	\$5.57

III. CONCLUSIONES

- El vehículo eléctrico utilizado en este estudio, presenta una gran calidad de diseño y construcción en sus componentes mecánicos principales. Esto se observó en la prueba realizada por ANCAP, donde los sistemas electromecánicos obtuvieron una potencia de salida de 138 HP, la cual es mayor que la potencia de 118 caballos de fuerza dada por el fabricante. La calidad de los

componentes de estos sistemas es clave para la duración de estos vehículos, ya que su precio inicial de compra y producción es mayor que un vehículo de combustión interna. Dado que estos sistemas mecánicos se encuentran sujetos a situaciones de desgaste debido a la fricción y ciclos de conducción atípicos o de alta exigencia, cabe la posibilidad de que estos presenten alguna falla. Esto supone un potencial problema en El Salvador ya que no se cuenta con especialistas capacitados para la reparación y mantenimiento de estos sistemas internos de alto costo, logrando garantizar la calidad en sus componentes principales y su rendimiento con el paso del tiempo.

- La variable con mayor impacto en la economía kWh/100 km del vehículo para los recorridos extraurbanos, es la pendiente con respecto a una determinada distancia. Esto se ve reflejado en la prueba realizada al Parque Nacional El Boquerón, donde se tiene la mayor pendiente promedio de 7.1% para estos recorridos, obteniéndose un consumo de 34.2 kWh/100 km. Sin embargo, la mejor economía, kWh/100 km, se presenta para la prueba hacia el Aeropuerto Internacional de El Salvador, donde se tiene una pendiente negativa -3.8% que genera una economía de 5 kWh/100 km. Para los demás recorridos extra-urbanos, el efecto de la regeneración causada por las secciones con pendientes negativas, ayuda a que se consuma una menor cantidad de kilómetros de autonomía en la batería que los kilómetros reales recorridos.
- Para los recorridos urbanos se comprueba que la variable de mayor impacto en la economía del vehículo son los sistemas auxiliares, ya que su aporte al consumo del vehículo depende del tiempo que estos sean utilizados. Este fenómeno se puede observar para las pruebas urbanas en donde la economía, kWh/100 km, para los recorridos en donde se estuvo mayor tiempo en tráfico, fueron los recorridos con los valores de economía más elevados. Existe otro factor cuya incidencia afecta de manera negativa en la economía, kWh /100 km, y autonomía del vehículo eléctrico, este factor es la temperatura ambiente. Se observa que, durante los recorridos de la prueba urbana de la semana del 25 de junio al 5 de julio, las condiciones ambientales obligaron al sistema de aire acondicionado, a tener una mayor tasa de rechazo de calor durante los recorridos.
- El vehículo eléctrico posee una autonomía promedio real para el ciclo de conducción urbana de 169 km debido a las condiciones de la estructura vial del área metropolitana de San Salvador. Se constató que el rango de autonomía del vehículo eléctrico tiene una relación directa con variables como: la topografía de la ruta, el tráfico de la ruta,



el tiempo de uso de los sistemas auxiliares y condiciones ambientales como temperatura.

- Dada la gran eficiencia que se observa en los cargadores de nivel 2 estos son los más recomendados para realizar la carga de la batería de un vehículo eléctrico. A pesar que el modelo e-Home TIC32 es el cargador que presenta la mayor eficiencia de las pruebas a cargadores, su alto costo de adquisición e importación limitan su competitividad ante el cargador modelo BS-PCD040. La diferencia en eficiencia entre estos dos modelos es de tan solo 4.64% y la diferencia monetaria para cada recarga completa entre estos dos modelos es de US\$ 0.26. Dada la diferencia en el precio de adquisición de \$734.71 se necesitan realizar 2,826 ciclos de recarga para que esta diferencia de eficiencia tenga un impacto significativo en la decisión de adquisición y dado que la batería según el fabricante del Hyundai IONIQ solo entrega 1,000 ciclos de carga y descarga no se logra igualar los ciclos necesarios para justificar la compra del modelo e-Home por su mejor eficiencia. El costo elevado de este cargador está dado por tener un sistema de filtrado de armónicos y un controlador de corriente con el cual se puede regular el tiempo de recarga del vehículo. El cargador incluido por el fabricante y su alto tiempo de recarga no es considerado tampoco como una opción viable, ya que se espera que la recarga del vehículo se desarrolle durante la noche.

- [10] Ebert, D. A.-K. (2011). Lohner-Porsche electric vehicle, 1900. Obtenido de Vienna Technical Museum: <https://www.technischesmuseum.at/object/elektrofahrzeug-lohner-porsche-1900>
- [11] Element Energy, Ecolane and University of Aberdeen. (2013). Pathways to High Penetration of Electric Vehicles. Obtenido de http://www.theccc.org.uk/wp-content/uploads/2013/12/CCC-EV-pathways_FINAL-REPORT_17-12-13-Final.pdf
- [12] EV Specifications. (2019). EV Specifications. Obtenido de Hyundai Ioniq Electric 28 kW - Specifications: <https://www.evspecifications.com/en/model/f21a6d>
- [13] Helmolt, D. U. (2010). Sustainable transportation based on electric vehicle concepts: a brief overview. *Energy & Environmental Science*, 689-699 [13]Hyundai Motor Group. (2018). Manteinance Manual. Korea. IEA. (2019). Global EV Outlook 2019. Paris: IEA.
- [14] López, D. (15 de Enero de 2015). Schneider busca inyectar energía a los autos eléctricos. (E. Financiero, Entrevistador)
- [15] M. Zeraouila, M. B. (2015). Electric motor drive selection issues for HEV propulsion systems: a comparative study. 2005 IEEE Conference, 8 -I S. [16]Matjaz Knez, G. K. (2019). A review of available chargers for electric vehicles: United States of T America, European Union, and Asia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 284–293.

REFERENCIAS

- [1] Dadashnialehi, A. B.-H. (2014). Intelligent sensorless ABS for in-wheel electric vehicles. *IEEE Trans. Industrial Electronics*, 1957–1969.
- [2] Anders Nordelöf, M. M.-M. (2014). Environmental impacts of hybrid, plug-in hybrid, and battery electric vehicles—what can we learn from life cycle assessment? *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 1866–1890.
- [3] Asaei, N. H. (2008). Comparative study of using different electric motors in the electric vehicles. *Proceedings of the 2008 International Conference on Electrical Machines*.
- [4] B. Singh, B. N.-H. (1 de Junio de 2004). A review of three-phase improved power quality AC-DC converters. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 641-660. Obtenido de IEEE: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1302341/authors#autho>
[rs](https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1302341/authors#autho)
- [5] Bakker, S., Leguijt, P., & van Lente, H. (2015). Niche accumulation and standardization e the case of electric vehicle. *Journal of Cleaner Production*, 155-164. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.01.069>
- [6] Bjørn Utgård, M. A. (2017). Electrifying emerging markets: The case of Costa Rica. Stuttgart, Germany: EVS30 Symposium. Brushless Direct-Current Motors. *energies*, 99-114.
- [7] Burke A, J. B. (2007). Battery electric vehicles: an assessment of the technology and factors influencing
- [8] Chan, C., & Chau, K. (Feb de 1997). *IEEE*. Obtenido de IEEE: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/557493/authors#autho>
[rs](https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/557493/authors#autho)
- [9] De Usera, J. (3 de Junio de 2018). Hardzone. Obtenido de Hardzone: <https://hardzone.es/2018/06/03/pfc-fuente-alimentacion-mejora-eficiencia/>