



*La importancia de las características principales de seleccionar un motor para la propulsión de vehículos eléctricos*

*The importance of the main characteristics of selecting an engine for the propulsion of electric vehicles*

*A importância das principais características da seleção de um motor para a propulsão de veículos elétricos*

Jairo Edison Guasumba-Maila<sup>I</sup>  
[jguasumba@tecnocuatoriano.edu.ec](mailto:jguasumba@tecnocuatoriano.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-0533-0397>

Neysler Rolando Camacho-Quille<sup>III</sup>  
[rquille@hotmail.com](mailto:rquille@hotmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0002-6662-2158>

Víctor Alfonso Garay-Cisneros<sup>II</sup>  
[vgaray@tecnocuatoriano.edu.ec](mailto:vgaray@tecnocuatoriano.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0001-6739-9309>

Cristopher Alexander Córdova-Vergara<sup>III</sup>  
[cris199764@hotmail.com](mailto:cris199764@hotmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0001-8180-9175>

**Correspondencia:** [jguasumba@tecnocuatoriano.edu.ec](mailto:jguasumba@tecnocuatoriano.edu.ec)

Ciencias de la Técnicas y Aplicadas  
Artículos de investigación

\***Recibido:** 16 de julio de 2021 \***Aceptado:** 30 de agosto de 2021 \* **Publicado:** 08 de septiembre de 2021

- I. Magíster en Diseño Mecánico, Docente Investigador, Coordinador de Carrera de Mecánica y Electromecánica Automotriz, Instituto Superior Tecnológico Tecnocuatoriano, Ecuador.
- II. Magister en Educación Mención Gestión del Aprendizaje. Mediado por Tic, Docente investigador. Director de Vinculación con la sociedad, Miembro del Consejo Académico Superior ISTTE, Instituto Superior Tecnológico Tecnocuatoriano, Ecuador.
- III. Participante Investigador, Estudiante Tecnología Superior en Mecánica Automotriz, Instituto Superior Tecnológico Tecnocuatoriano, Ecuador.
- IV. Participante Investigador, Estudiante Tecnología Superior en Electromecánica Automotriz, Instituto Superior Tecnológico Tecnocuatoriano, Ecuador.



## Resumen

Un vehículo eléctrico es un vehículo accionado por un motor eléctrico y funciona utilizando la energía almacenada en las baterías a partir del controlador de acuerdo con la potencia requerida por el usuario y fabricante ya que aporta como factor de sostenibilidad en las grandes ciudades. El objetivo de este trabajo fue caracterizar las características en lo que respecta a la creciente innovación en el sistema del motor eléctrico, ha resultado fundamental obtener una comprensión de gran alcance de los criterios relacionados con la determinación de los motores eléctricos. Se observa que el uso de motor eléctrico ha variado de un fabricante a otro en busca de la optimización y mayor rendimiento. En conclusión, se presentó las aplicaciones, y los resultados de los motores más utilizados en el mercado acorde a diversas fuentes de información sus principales características aplicativas como constructivas, además de sus alcances de eficiencia.

**Palabras clave:** Vehículo eléctrico; motor eléctrico; eficiencia; fiabilidad; industria automotriz.

## Abstract

An electric vehicle is a vehicle powered by an electric motor and works using the energy stored in the batteries from the controller in accordance with the power required by the user and manufacturer as it contributes as a sustainability factor in large cities. The objective of this work was to characterize the characteristics in regard to the increasing innovation in the electric motor system, it has been essential to obtain a wide-ranging understanding of the criteria related to the determination of electric motors. It is observed that the use of electric motor has varied from one manufacturer to another in search of optimization and greater performance. In conclusion, the applications and the results of the most widely used motors in the market were presented according to various sources of information, their main application and constructive characteristics, in addition to their efficiency ranges.

**Keywords:** Electric vehicle; electric motor; efficiency; reliability; Automotive industry.

## Resumo

O veículo elétrico é um veículo movido a motor elétrico e funciona utilizando a energia armazenada nas baterias do controlador de acordo com a potência exigida pelo usuário e pelo fabricante, pois contribui como fator de sustentabilidade nas grandes cidades. O objetivo deste

trabalho foi caracterizar as características no que diz respeito à crescente inovação no sistema de motores elétricos, sendo essencial obter uma compreensão abrangente dos critérios relacionados à determinação de motores elétricos. Observa-se que o uso de motor elétrico tem variado de um fabricante para outro em busca de otimização e maior desempenho. Em conclusão, foram apresentadas as aplicações e os resultados dos motores mais utilizados no mercado segundo várias fontes de informação, a sua principal aplicação e características construtivas, bem como as suas gamas de rendimento.

**Palavras-chave:** Veículo elétrico; motor elétrico; eficiência; confiabilidade; indústria automotiva.

### **Introducción**

Los vehículos híbridos y completamente eléctricos son cada vez más populares como vehículos de pasajeros. Una parte clave del tren de transmisión de vehículos híbridos y totalmente eléctricos es la máquina eléctrica. Mantener los vehículos eléctricos híbridos (HEV) competitivos en costo y rendimiento para sus Contrapartes del motor de combustión interna tradicional (ICE), el motor de tracción debe tener una alta eficiencia en todo el rango de velocidad, una buena relación peso-potencia y ser lo más bajo posible (Walker et al., 2015). Los motores eléctricos están destinados a su uso particular en vehículos eléctricos. Los vehículos eléctricos pueden encender motores AC / DC según la configuración o dependiendo de la utilización esperada del vehículo eléctrico. Ha habido una inmensa investigación en el aspecto de los motores eléctricos y se han creado tipos distintivos de motores de CC y CA a lo largo de los años (Bhatt et al., 2019).

Las características tales como peso, eficiencia, fiabilidad y factor costo (entre otras) son relevantes al estudio de los motores, así como las baterías comúnmente ocupadas para alimentar a este tipo de motores. Acorde a este tema se puede apreciar cómo, al momento de seleccionar un motor, se toman en cuenta varios factores, calificados en varios rangos y acorde a diversos parámetros. En la actualidad podemos encontrar múltiples y variadas propuestas a la hora de seleccionar un motor para la propulsión de vehículos eléctricos. Debido a esto se ha logrado recopilar una gran cantidad de información, en la cual podremos observar las comparaciones entre los motores existentes en el mercado y optar por la que más nos convenga.

El análisis técnico y comparativo de algunos motores es para la formula SAE eléctrico es de corriente continua de 100 Kw, controlador electrónico de 50 –450 V / 340 A, además el paquete

de baterías de eBaracus “Módulo LIFEP04 20Ah con celdas A123” nos brinda 178.2 V y una capacidad de 20Ah, y una energía nominal de 3.51 KW, para cubrir con las exigencias se instalaran dos de éstos paquetes dispuestos en serie que nos brindaran un voltaje nominal de 356.4 V y una energía de 7.02 KW, por lo que abastecerá todos los sistemas eléctricos y electrónicos del vehículo permitiendo el mejor rendimiento del mismo en cada una de las pruebas de pista. Este tipo de batería es de Litio-Ferrofosfato. (CABRERA, A., CALLE, C. 2016). Por otro lado, el motor seleccionado luego de realizar los análisis pertinentes es el UQM Powerphase 100 Traction System de corriente alterna síncrono de imanes permanentes. Este inversor presenta una limitación de tensión de 425 VDC. Además se ha seleccionado un paquete de baterías CALB CA100FI 100Ah LiFePo4 Cell, se necesitaran 108 celdas para cumplir con los 335 VDC y tienen una capacidad de 100Ah. Este tipo de batería es de Litio-Ferrofosfato (Christian Abarca Aguilar. 2019; Cuesta Capellan. 2017).

Para ello, se hace necesario en primera instancia conocer que tipos de motores se pueden utilizar en vehículos eléctricos. Acto seguido, se deben definir y comprender, así como conocer las características propias de cada motor. De esta manera, se podrá seleccionar con mayor facilidad y certeza el motor más adecuado para nuestro vehículo eléctrico, sacándole así el máximo provecho a sus características y capacidades. El presente documento expone las características principales a tener en cuenta a la hora de seleccionar un motor para la propulsión de vehículos eléctricos. Para ello, se ha escogido y comparado información de distintas fuentes.

## **2. Diferentes motores eléctricos**

La finalidad del motor consiste en entregar el par a las ruedas de tracción, garantizando en la mayor medida posible que existan el menor número de pérdidas mecánicas posibles, con un nivel de empuje constante. Al existir estas pérdidas se podría asumir que el motor resulta poco fiable aunque esté cumpliendo con su función correctamente y trabajando dentro de los rangos establecidos. Dada la dificultad en conseguir determinados repuestos para diferentes modelos de vehículos eléctricos no muy conocidos en el mercado (marcas poco comerciales), resulta muy importante conocer la ubicación donde poder conseguir esos motores concretos, la asequibilidad de estos, los precios y que tanto se dificulta la obtención de los repuestos.

En palabras de Zeraoulia (2006) respecto a las características de accionamiento y aquellas que deben tener los motores empleados para propulsión de VE, estas se resumen de la siguiente manera: Alta densidad de potencia con el fin de minimizar el volumen ocupado por los motores y reducir el peso adicional que debe transportar el VE; Alto par motor a bajas velocidades con el fin de lograr rápida aceleración y disponer de alta capacidad para superar pendientes; Amplio rango de variación de velocidad; Baja inercia para lograr respuestas rápidas ante cambios en la consigna de velocidad; Alto rendimiento en todo el rango de velocidades con el fin de aumentar la autonomía del VE; Buena capacidad de sobrecarga con el fin de poder superar requerimientos adicionales durante breves períodos; Costo razonable (Zeraoulia et al., 2006; Verucchi, Bossió, García y Ruschetti., 2015)

Una detallada descripción de las máquinas eléctricas utilizadas para tracción respecto a los principales modelos de vehículos eléctricos híbridos, orientado estos motores a su uso en vehículos eléctricos (Zeraoulia et al., 2006). Además, Walker, Galea y Gerada (2015) se describen las diferentes tecnologías y topologías de máquinas que se han considerado para alcanzar los objetivos de FreedomCar (programa de la Oficina Nacional de Eficiencia Energética y Energía Renovable de EE. UU). A continuación se muestra distintos motores en base a la descripción de su funcionamiento.

Motor de imán permanente de montaje en superficie: Las máquinas SMPM (Choi y Jahns, 2013) tienen PM (Permanent Magnet) en la superficie del rotor, que proporcionan el flujo de campo. Si bien tener los PM lo más cerca posible del espacio de aire proporciona el factor de utilización máximo del imán que resulta en una alta densidad de torque, tiene algunas desventajas. Solo se ha encontrado un intento documentado de usar 36 SMPM de 30 polos de ranura. Los diseños exceden ligeramente el límite del diámetro del estator. También se muestra que para el par máximo, la corriente debe exceder el límite del objetivo.

Motor de imán permanente interior: La máquina IPM funciona según el mismo principio que la SPM pero tiene los PM enterrados debajo de la superficie del rotor (Vagati, Pellegrino y Guglielmi, 2010). Esto proporciona una densidad de torsión de alineación magnética y de potencia casi tan buena como el SPM y también mejora la robustez del rotor, incluso a velocidades más alta. Puede alcanzar velocidades más altas que la máquina SMPM, aunque el rendimiento (en términos de eficiencia y par) no es óptimo a estas velocidades más altas.

Esta máquina es el estándar actual de la industria para la tracción automotriz, ya que tiene una alta densidad de torque y capacidades moderadas de alta velocidad. Los IPM se utilizan en muchas aplicaciones actuales de vehículos híbridos, como muchos de los modelos Toyota Prius (El-Refaie, 2013) y Cummins de tracción híbrida de Generator Technologies.

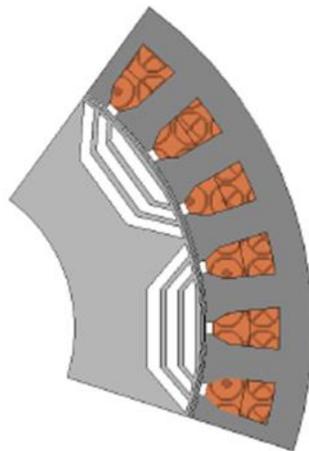
Motores de inducción: Los IM utilizan los principios de la inducción electromagnética para generar un flujo de campo a partir de barras de rotor conductoras de electricidad. Esto mantiene uno de los beneficios de las máquinas PM, es decir, que solo el estator debe recibir corriente. Son baratos, confiables y resistentes y tienen un rendimiento lo suficientemente bueno como para producir una tracción adecuada (Jalalifar, Payam, Mirzaeian, y Nezhad, 2006) Una ventaja notable de los IM es que el flujo del rotor puede regularse mediante un control orientado al campo. Esto los hace bastante competitivos contra las máquinas PM en la región de alta velocidad. Pueden ser motores de inducción con jaula de ardilla destacan por su bajo costo, robustez, gran confiabilidad (por técnicas de control con un alto nivel de evolución y experiencia) y bajo mantenimiento, ofreciendo además un buen servicio en cuanto a variación de velocidades. Cabe destacar, que pese a su buen servicio en velocidades, si estas se incrementan por encima de la nominal, el rendimiento se reducirá en gran medida (presentando bajo factor de potencia, bajo rendimiento y un bajo factor de utilización del inversor). El funcionamiento de este presenta una gran ventaja, pues es reversible. Aún así, es aplicado tanto aparatos elevadores y vehículos eléctricos como cintas transportadoras y grúas, entre otros. Una de las características principales de este motor es que presenta corriente alterna trifásica en la que la velocidad de giro del rotor es levemente inferior a la velocidad del campo magnético que se genera en el estator, velocidad de sincronismo (Palacios, 2017). Además las características deseadas de dicho sistema de propulsión son (Faiz et al, 2003): Altos cocientes par/inercia y potencia/peso, es decir, ofrece una gran eficiencia en cuanto a sus características mecánicas y sus prestaciones; Alto par máximo (300 a 400% del par nominal); Alta eficiencia en un amplio rango de velocidades; Recuperación de energía durante el frenado.

Motores de reluctancia conmutada: Las máquinas SR producen un par basado únicamente en la resistencia del rotor. Los SR se definen por tener una estructura de rotor simple, robusta y de bajo costo y capacidad para rotación de alta velocidad (Nakamura, Murota y Ichinokura, 2007); Esto proviene de que el rotor está hecho de acero laminado (con una forma dentada para producir la

resistencia). El movimiento es más discreto que otras máquinas y, por lo tanto, genera vibraciones más altas que causan ruido acústico y ondulación de par. El rotor simple también significa menor potencia y densidad de par, por lo que las máquinas de alto par deben ser muy grandes (Zeraoulia et al., 2006; Verucchi, Bossió, García y Ruschetti., 2015). Debido a la baja densidad de torque de la mayoría de los diseños SR.

Motores de renuencia síncrona: Las máquinas SynRel son un híbrido entre la máquina SR y la máquina síncrona. Esta máquina solo produce un par de retencia, en función de la prominencia de la máquina. El rotor está hecho de acero laminado, con barreras de flujo colocadas dentro del rotor, como se ve en la Figura 1, para crear una diferencia en las retencias de los ejes  $d$  y  $q$ .

**Figura 1** sección del rotor



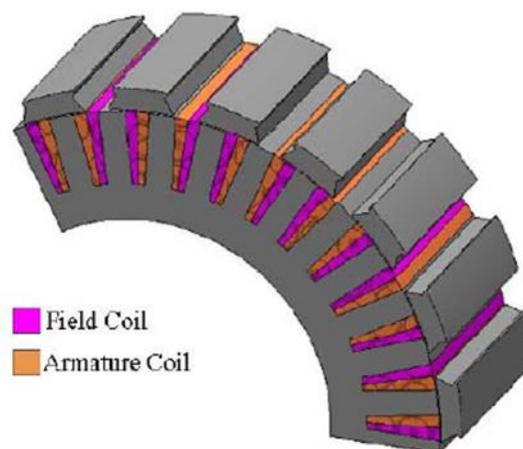
Debido a la falta de PM o devanados, el rotor de un SynRel tiene los beneficios del rotor SR, ya que es barato y robusto y, si está diseñado correctamente, puede alcanzar altas velocidades (Malan, Kamper y Williams, 1998). Si bien se puede lograr un nivel aceptable de densidad de par (considerando que no incluye PM), su rendimiento no se puede comparar con el de una máquina de PM y, por lo tanto, es improbable que los requisitos del par máximo y nominal de Se llegará a la aplicación en cuestión. El SynRel, particularmente con asistencia PM, ha sido sugerido para aplicaciones HEV y EV.

Motores de cambio de flujo: Uno de los principales beneficios de las máquinas FS es que pueden desarrollarse para producir el flujo puramente en el estator, que comprende tanto los devanados del inducido como la disposición de producción en el campo. Este último puede ser PM (PMFS)

o con un campo de herida (WFFS) para producir el flujo de campo, o podría tener ambos. El rotor es generalmente un diseño similar a un rotor SR y, por lo tanto, ofrece los mismos beneficios de robustez y bajo costo (Raminosa, Gerada y Galea, 2011).

El uso de bobinados de campo proporciona más control del flujo de campo, pero requiere un d.c. entrada actual; en la Figura 2 se muestra una máquina de rotor externo que usa esto. Si se usan PMs, no se requiere entrada de corriente de campo y, por lo tanto, se producen menos pérdidas, sin embargo, se deberá emplear el debilitamiento de campo a velocidades más altas para reducir y reducir el flujo de campo niveles aceptables. La ventaja de tener tanto MP como bobinados de campo es que los MP pueden producir la mayor parte del flujo, pero los bobinados pueden controlar esto para fortalecer o debilitar el campo.

**Figura 2** máquina de rotor externo

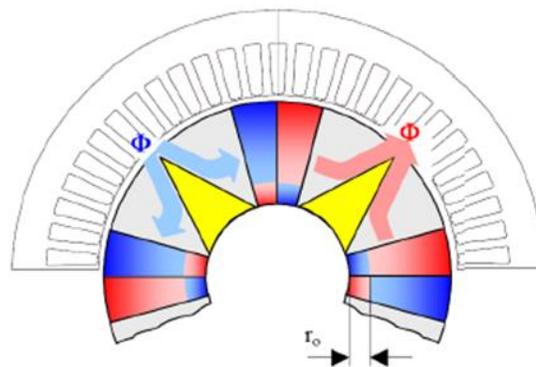


Si bien la densidad de potencia de las máquinas PMFS es comparable a la de una máquina síncrona de PM, la relación de utilización de PM es menor que la de la máquina Toyota Prius IPM, por lo que se necesitaría una masa de PM más grande para obtener esta densidad de potencia similar a Un diseño de IPM (Ruiwu, Mi y Ming, 2012). Sin embargo, debido a que las PM estarían en el estator, estarían más cerca del sistema de enfriamiento, esto significa que se requeriría menos disprosio (necesario para mejorar la temperatura máxima de operación de NdFeB), posiblemente reduciendo el costo total del material de PM. Otra ventaja de los PM en el estator es que no hay problemas con la retención del imán.

Motores de memoria de flujo: Los motores FM son una variante de una máquina IPM de polo radial, que utiliza la desmagnetización parcial reversible de las PM para controlar el flujo que fluye a través del entrehierro. Esto proporciona una región de debilitamiento de campo más amplia, lo que resulta en mejores rendimientos a alta velocidad. El rotor generalmente usa PM radiales, con una dirección de magnetización tangencial (Ostovic, 2001), como en la Figura 3. La desmagnetización de las PM debe ser controlada.

Esto puede hacerse con un control muy cuidadoso de la corriente del eje d, o empleando un segundo conjunto de devanados (en el rotor o estator). Se utilizan PM trapezoidales (con el área más amplia más cerca del radio exterior del rotor) porque esto proporciona control espacial sobre la desmagnetización de PM (Ostovic, 2001).

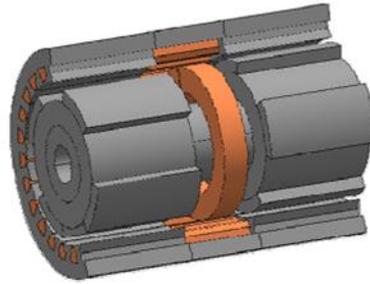
**Figura 3.** El rotor generalmente usa PMs radiales



Este tipo de máquina se ha sugerido para aplicaciones de tracción automotriz como generador de arranque integrado (ISG) debido al control preciso del flujo y la alta eficiencia de la máquina. La máquina utilizada para esto es de baja potencia, 2.2kW, en comparación con los objetivos DoE, por lo que el problema de escalar los imanes sigue siendo un problema.

Motores homopolares: Hay un renovado interés en esta tecnología debido al diseño libre de PM y al control preciso del flujo. El rotor es dos secciones de postes de hierro salientes rotados 180° eléctricamente entre sí como se aprecia en la figura 4 (Severson, Nilssen, Undeland y Mohan, 2012). No tiene devanados ni PM en el rotor ofrece ventajas similares a las máquinas SR. La bobina de campo separada permite una excitación de campo controlable que es muy beneficiosa cuando se debilita el campo. La bobina de excitación de campo es simple, confiable y su ubicación ayuda a protegerla de las fuerzas sobre el rotor.

**Figura 4** Diseño de bajo par, con una velocidad mucho mayor.



Esta tecnología nunca se ha considerado para aplicaciones de tracción automotriz de alto par, pero se ha diseñado como un volante de alta velocidad adecuado para vehículos eléctricos híbridos (Tsao, Senesky y Sanders, 2002).

Motores de flujo axial: Las máquinas axiales generalmente tienen un volumen más pequeño para la misma potencia que sus contrapartes radiales. El principal beneficio de las máquinas de flujo axial son los valores de densidad de torque extremadamente altos que se pueden lograr.

Estas máquinas son más difíciles de escalar que las radiales porque el par es proporcional al cubo del diámetro e independiente de la longitud de la pila, por lo que para aumentar el par producido, se debe aumentar el diámetro y se deben fabricar laminaciones de diferentes tamaños. Esta incapacidad para escalar fácilmente es un gran problema al considerar las máquinas de tracción, que probablemente se producirán para una gama de diferentes vehículos. Las máquinas de flujo axial a menudo están diseñadas para aplicaciones de tracción debido a su alta densidad de torque.

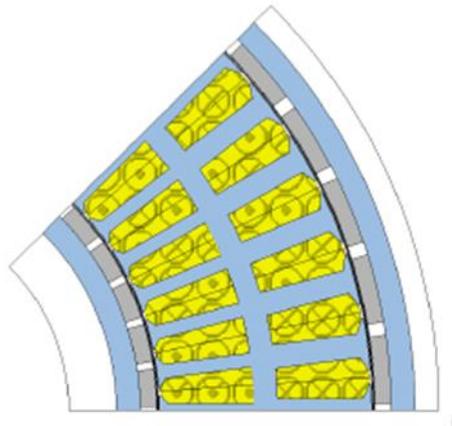
Motores de flujo transversal: Los TFM tienen flujo en la dirección transversal. Este tipo de máquina utiliza un devanado de fase homopolar, un núcleo de estator formado por núcleos C laminados y un rotor provisto de PM heteropolares. Cada TFM es monofásico, por lo que para múltiples fases, se necesitan múltiples máquinas, en la Figura 7 se muestra un TFM con dos fases.

Las principales ventajas de TFM son la alta densidad de par potencial y la alta carga eléctrica (Wei et al., 2009). Aumentar el número de polos aumenta la potencia y reduce la velocidad de la máquina; esto significa que el par aumenta en una cantidad considerable. Los principales inconvenientes de esta máquina son que, similar a una máquina de flujo axial, su construcción es muy compleja y la escala también es problemática.

Motores de espacios múltiples de aire: Las máquinas con espacio de aire múltiple normalmente se basan en SMPM e IPM, pero existen otras, como SR o IM y combinaciones entre dos topologías.

Las máquinas de doble rotor (DR) tienen dos rotores, que pueden ser un rotor interno y externo con un estator en el medio (que se muestra en la Figura 5) o un rotor interno, luego un rotor alrededor de este, luego un estator externo alrededor de este. Un inconveniente de las máquinas con múltiples espacios de aire es la mayor complejidad del diseño y los devanados que no se pueden enfriar fácilmente con las camisas de agua convencionales (Yunyun, Li, Xiaoyong, Hua y Wang, 2012)

**Figura 5** un rotor interno y externo con un estator en el medio



### 3. Aplicaciones de motores eléctricos para vehículos

Existen muchos tipos de motores eléctricos, no solamente AC y DC, sino que se clasifican en diferentes tipos de motor según su característica específicas (pueden ser de escobillas, de inducción, monofásicos, de jaula de ardilla, brushless, entre otros). Así se menciona Suarez Montoya (2017). Además, Suarez (2017) en vehículos eléctricos menciona no se utiliza un tipo de motor específico sino que cada fabricante o marca utiliza el tipo de motor que más considere conveniente, según sus prestaciones, su capacidad, sus características, el mantenimiento y el precio para poder ser competitivos en el mercado, entre otros; A continuación se presenta un listado de las diferentes marcas y modelos de vehículos eléctricos existentes en el mercado con sus respectivos los motores (Tabla 1)

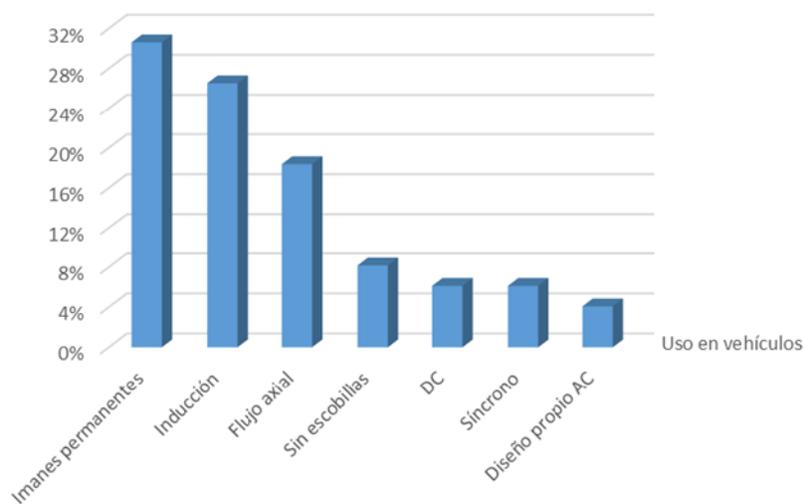
**Tabla 1:** Listado de vehículos eléctricos

MARCA	MODELO	MOTOR
Aixam	Aixam Mega e-city	DC
Audi	E-tron Quatro	Flujo Axial
BMW	i-3	Diseño propio AC
BYD	E6	Imanes Permanentes
Chevrolet	Bolt	Imanes Permanentes
Chevrolet	Volt	Imanes Permanentes
Citroen	Berlingo Electric	Induccion
Citroen	C-zero	Imanes Permanentes
Citroen	e-mehari	Imanes Permanentes
Eve	M1.lle	Sin escobillas
Faraday Future	FF91	Sin escobillas
Ford	Focus electric	Imanes Permanentes
Hyundai	Ioniq	Imanes Permanentes
KIA	Soul EV	Imanes Permanentes
Little	Ebox 2	Induccion
Little	Ebox 6	Sin escobillas
Little	Little 4	Induccion
Little	Panter 4	Induccion
Mahindra	REVAi	Induccion
Mercedes Benz	Clase B ED	DC
Mercedes Benz	SLS AMG electric drive	Flujo Axial
Mitsubishi	i-Miev	Imanes Permanentes
Nissan	e-NV200	Flujo Axial
Nissan	e-NV200 evalia	Induccion
Nissan	leaf	Induccion
Noun Electric	Nosmoke	Sin escobillas
Opel	Ampera	Flujo Axial
Opel	Ampera-e	Imanes Permanentes
Peugeot	iOn	Imanes Permanentes
Peugeot	Partner electric	Imanes Permanentes
Porsche	Misión E	Imanes Permanentes
Renault	Fluence ZE	Induccion
Renault	Kangoo ZE	Sincrono
Renault	Twizy	Induccion
Renault	zoe	Diseño propio AC
Rimac	Concept-one	Flujo Axial
Rimac	Concept-s	Flujo Axial
Seat	e-Mii	Induccion

Smart	Forfour electric drive	Sincrono
Smart	Fortwo electric drive	Imanes Permanentes
Smart	Fortwo electric drive 2017	Imanes Permanentes
Sukoy	L6E	DC
Tazzari	EM1	Induccion
Tesla	Model III	Sincrono
Tesla	Model s	Induccion
Tesla	Model x	Induccion
Tesla	roadster	Flujo Axial
Think	city	Flujo Axial
Volkswagen	e-golf	Flujo Axial

Una vez definidos los diferentes tipos de motores que se utilizan en vehículos eléctricos, se deduce que el motor de imanes permanentes y de inducción son los más empleados en este tipo de vehículos, Ver Figura 6. Como se puede apreciar en el listado de vehículos eléctricos (Tabla 1) estos son usados en marcas como KIA, BYD, Mercedes Benz, Mitsubishi, Nissan principalmente, además de marcas como Chevrolet, Ford, Citroën y Opel (utilizando motor síncrono de imanes permanentes, debido a sus excelentes características). El siguiente motor más utilizado en el mercado se encuentra en marcas líderes en el mercado de vehículos eléctricos e híbridos (Aixam, Mahindra y Tesla) siendo este el motor sin escobillas (o brushless).

**Figura 6.** Tipos de motores más utilizados en el mercado



#### 4. Análisis de variables de selección en los motores eléctricos

Zeraoulia (2005) realizan una comparación entre las cuatro alternativas citadas, asignando como se muestra en la Tabla 2, una puntuación entre 0 y 5 en distintos ítems (densidad de potencia, eficiencia, facilidades de control, confiabilidad, madurez tecnológica y costo) seleccionados por ser considerados los más idóneos para vehículos eléctricos. En base a la tabla se puede concluir que los motores con más ventajas son los motores de inducción y los de imanes permanentes, siendo estas las alternativas más pertinentes (debiendo optimizar el costo del accionamiento). Así, estas dos alternativas se definen como: Motor de inducción estándar de cuatro polos con el estator rebobinado para un voltaje de 25 V, con velocidad nominal de 1500 RPM, funcionando entre 0 y 6000 RPM: Motor de imanes permanentes construido a partir de un motor de inducción estándar al que se le elimina la jaula de ardilla y se le incorporan imanes permanentes en la superficie del rotor. Velocidad nominal de 1500 RPM, funcionando entre 0 y la velocidad nominal.

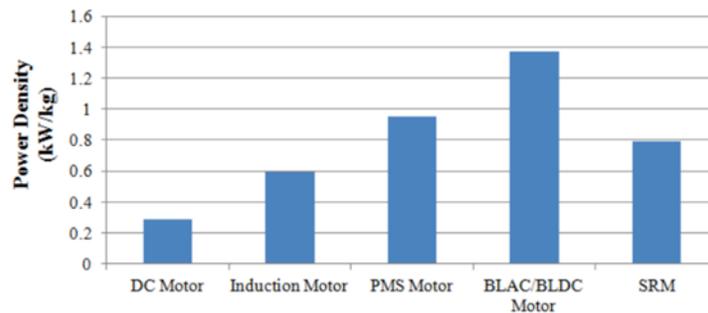
**Tabla 2** Evaluación de alternativas para propulsión de Vehículos Eléctricos (VE)

	MCC	MI	MIP	MR
Densidad de potencia	2.5	3.5	5	3.5
Eficiencia	2.5	3.5	5	3.5
Facilidades de control	5	5	4	3
Confiabilidad	3	5	4	5
Madurez tecnológica	5	5	4	4
Costo	4	5	3	4
TOTAL	22	27	25	23

En la comparación de cinco motores para su aplicación en vehículos eléctricos en diferentes ámbitos, Bhatt, Mehar y Sahajwani (2010) iniciaron un análisis teórico para evaluar individualmente según las características más destacables, cada uno de los cinco motores. Entre ellas, se encuentran: Los motores de corriente continua (DC) son difíciles de controlar. Aunque proporcionan un gran par a bajas velocidades, son ineficaces y con un costo de soporte importante; Los motores eléctricos sin escobillas (BLDC), a pesar de tener una gran potencia y

productividad, además de ser relativamente compactos, su valor es elevado en cuanto a mantenimiento y control; Los motores de inducción trifásicos (3-phase IM) proporcionan una productividad superior al 91%. Resultan altamente confiables, además de poseer una baja densidad de potencia y una aceleración promedio. Este motor junto con el motor eléctrico sin escobillas son los preferidos por los fabricantes de vehículos eléctricos; El motor síncrono (PMS) se favorece siempre que se necesita un par constante. Este tipo de motores optimizan el uso de la batería, además de tener una mayor competencia a menores aceleraciones; El motor de reluctancia conmutado (SRM), además de ser confiable, eficiente y adaptable a la capacidad de falla interna, resulta una gran opción ya que el costo del motor es muy menor. Como se aprecia en las figuras 7,8 y 9 respectivamente.

**Figura 7** Densidad de potencia (Bhatt, Mehar y Sahajwani, 2010)



**Figura 8** Eficiencia de los motores (Bhatt, Mehar y Sahajwani, 2010)

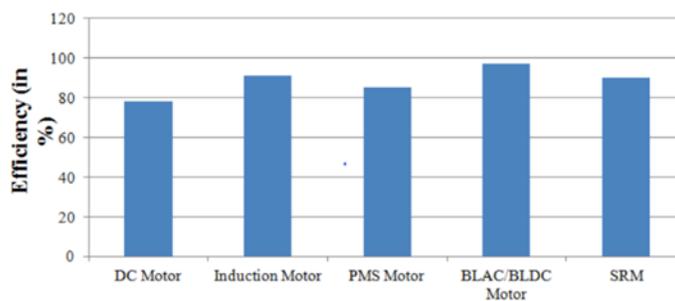


Figure 1.2 Cumulative Correlations of IM, SRM and BLDC/BLAC Motors – Efficiency

**Figura 9.** Fiabilidad de motores (Bhatt, Mehar y Sahajwani, 2010)

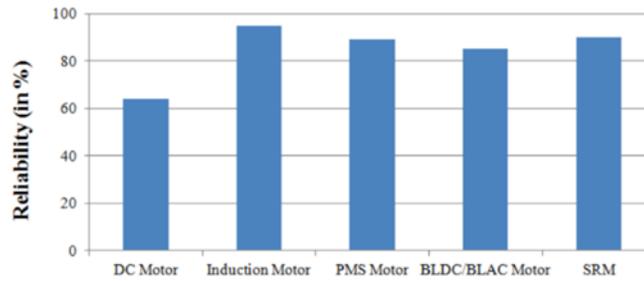


Figure 1.3 Cumulative Correlations of IM, SRM and BLDC/BLAC Motors – Reliability

Para identificar la tecnología se aplicaron índices cualitativos relativos (QI) a cada tecnología, en relación a distintas bibliografías. (Walker, Galea y Gerada, 2015) La Tabla 3 proporciona el QI de la capacidad de fabricación de las máquinas para esta aplicación específica. Se establecieron rangos de puntuación fluctuando de 1 a 10 (1 el mínimo, 10 el máximo) para los 6 factores clave (costo, volumen, masa, escalabilidad, economía de combustible equivalente, expectativa de vida y ponderación total). Al asignar los valores de QI, un valor alto se refiere a una máquina más pequeña (o una mayor densidad de potencia / par). Se ha incorporado un sistema de ponderación al total para representar qué factores son más críticos para la comparación. El costo fue visto como el QI más crítico y, por lo tanto, recibió una ponderación de 3. El volumen y la masa fueron los siguientes más importantes, por lo que su ponderación es 2. Los otros tres QI fueron dados un valor de 1, ya que todavía son significativos, pero no tanto como el costo, el volumen y la masa . (Walker, Galea y Gerada, 2015)

**Tabla 3** Escala de motores QI

Motor Type	Cost	Volume	Mass	Scalability	Equivalent fuel economy	Expected Life	Weighted Total
SMPM	5	9	8	8	9	7	73
IPM	6	9	9	8	9	7	78
IM	8	7	7	8	6	7	73
SR	10	3	4	7	4	7	62
SynRel	9	5	6	8	7	7	71
FS	7	6	7	7	5	7	66
FM	5	5	4	4	7	4	48
Homopolar	8	5	6	7	7	7	67
Axial	5	9	8	4	9	6	68
TFM	5	9	8	3	8	6	66
DS PM	4	10	7	6	10	6	68

De la tabla 3 está claro que el mejor rendimiento lo logra la máquina IPM, seguida de cerca por la tecnología SMPM. El estator doble y las máquinas alternativas de dirección de flujo también funcionan bien, pero generalmente tienen inconvenientes importantes (complejidad del diseño, el costo y la escasa escalabilidad)

En Tabla 4 se puede ver una comparación de las máquinas y su rendimiento para que se pueda mantener en ellos una adecuada y alta eficiencia (destacando el potencial para alcanzar el par máximo y el ancho del rango de velocidad). Algunas de las máquinas (como la dirección de flujo alternativa y las máquinas DS) se han eliminado de la tabla, debido a que su funcionamiento es muy similar a otras máquinas, además de presentar otras grandes desventajas como problemas térmicos o falta de escalabilidad (Walker, Galea y Gerada, 2015).

**Tabla 4** Comparación de eficiencia

Machine Type	Permanent Magnet Mass	Torque density	Field Weakening Range
SMPM	High	High	V. Poor
IPM	High	High	Poor
IM	None	Medium	Medium
SR	None	Poor	Very Wide
SynRel	None	Medium	Wide
FS	Medium	Medium	Wide
FM	Medium	Medium	Medium
Homopolar	None	Medium	Wide

Como se puede observar en la Tabla 4, las tecnologías SMPM e IPM pueden lograr mejores rendimientos de densidad de torque, pero no funcionan tan bien en los rangos de debilitamiento del campo. Por otro lado, la máquina SR tiene una baja densidad de torque pero muy alta velocidad.

Según Bhatt, Mehar y Sahajwani (2010) se realizó un estudio para determinar los motores más adecuados según el vehículo eléctrico, ya que como comentan: “La elección del motor eléctrico para la estructura de un vehículo eléctrico (EV) es un avance significativo ”(p.01). En la actualidad, la mayoría de los vehículos eléctricos utilizan motores de corriente continua (4 kW y menos potencia). El motor de inducción es un Motor AC excepcionalmente conocido. Una gran

parte del vehículo eléctrico (EV) avanzado de potencia (más de 5kW), utiliza motores de inducción.

La batería es un dispositivo de depósito de energía primaria en EV. Actualmente la partícula de litio se está utilizando en los nuevos vehículos eléctricos (EV). Los distintos tipos de motores muestran diversas cualidades, por lo que es vital evaluar los motores. Algunos criterios fundamentales para elegir el motor más adecuado para el vehículo eléctrico vendrán determinados según posean alta vitalidad, bajo mantenimiento costo y gran control. Cabe destacar que, generalmente los motores más usados por los fabricantes de dicho tipo de vehículo, son motores de corriente continua, motores de inducción, motores síncronos, motores de reluctancia conmutada y motores sin escobillas de imanes permanentes (Bhatt, Mehar y Sahajwani, 2010) En la tabla 5 se puede observar el tipo de motor y las marcas más comercializada en el mercado actual.

**Tabla 5** Vehículo eléctrico fabricado por los principales productores y los motores eléctricos utilizados

Product Name	Manufacturer	Year	Types of Motors used
Chevrolet Bolt EV	Chevrolet	2018	Permanent magnet motor
Focus Electric	Ford	2018	Permanent magnet motor
Mitsubishi i-MiEV ES	Mitsubishi	2017	Permanent magnet Synchronous motor
Nissan Leaf	Nissan	2017	Permanent magnet Synchronous motor
Volkswagen Golf Electric	Volkswagen	2014	Permanent magnet motor
Fiat 500e	Fiat	2014	Permanent magnet motor
Tesla Model S	Tesla	2012	Induction motor
Toyota Prius	Toyota	1997	Permanent magnet motor

## 5. Características desde la capacidad de batería

El motor seleccionado es el LMC LEM-200, fabricado por la compañía inglesa Lynch Motors Company Ltd. Además, se utilizó 24 baterías del modelo LEV50, cuentan con un voltaje nominal de 30 V y una capacidad nominal de 50 Ah. Este tipo de batería es de Ion-Litio. (Fco. De Borja Soler Jorba. 2015). También, el motor seleccionado en este artículo es el ME0708 de 4,8 Kw, con un controlador electrónico de 24 -48 V a 135 A. Además, se utilizó el modelo de baterías LG ICR18650HE2 2500mAh el cual tiene un voltaje de 3.60 V y una capacidad nominal de 2.5 Ah. Este tipo de baterías es de Ion-Litio. (JHONATAN DAMIÁN JIBAJA RAMÍREZ. 2016). Además un motor de 5 Kw con su respectivo controlador electrónico de 48 V a 96 A. Además, se

utilizó un paquete de baterías 18650 el cual tiene 3.7 V y una capacidad de 2 Ah. Este tipo de baterías es de Ion-Litio. (Felipe Rodrigo Solís Cascante. 2018). En suma el motor seleccionado en in-wheel motor o hub motor, son motores síncronos de imanes permanentes de 54 Kw, con un controlador electrónico de 200-400 V. Además, se utilizó el modelo de baterías Boston-Power Swing 5300 la cual tiene un voltaje nominal de 3.65 V y una capacidad nominal 5.3 Ah. Este tipo de baterías es de Ion-Litio (Artés A., Casañé M., Ezequiel M. 2015).

Por otro lado, el Motor Magnax AXF225 fue seleccionado en el cual nos brinda un pico de 170 Kw. La batería seleccionada es LG Chem con una tensión total de 400 V y una capacidad útil de 40 Kwh. Este tipo de baterías es de Ion-Litio. (Caballo F., Cabero R. 2019). Además, el motor seleccionado para el modelo RT-200 de C.C con escobillas cuenta con 11.5 Kw, con un controlador electrónico de 72 V a 200 A. Además, se utilizó el modelo de batería LFP040AH de la marca Thundersky el cual nos da un voltaje nominal de 3.65 V y una capacidad de 40 Ah. Este tipo de baterías es de Litio-Ferrofosfato. (Xavier Bassons Castellà. 2010). También el motor seleccionado es el BLDC Motor es un motor de corriente continua sin escobillas de 48 V, con un controlador electrónico de 48V/72V/96V a 600A/500A/400A. Además utiliza unas baterías de 48 V con una capacidad de 30 Ah. Este tipo de baterías es de Litio-Ferrofosfato. (Aguirre P., Hidalgo D., Panamá J., Padilla J., Veintimilla D. 2014).

Finalmente, se ha seleccionado un Motor Brushless sin Escobillas su modelo es Single Shaft Hub Motor Electric Wheelchair Motor 24 V 180 W, con un controlador electrónico de 24 V a 7 A. La batería seleccionada es Bottle ebike battery con una tensión normal de 24 V y una capacidad de 20 A. Este tipo de baterías es de Litio-Ferrofosfato. (CUASQUI A., DEFAS M. 2018). También, el motor seleccionado en este artículo es el QS12-E de UU Motor. Este es un motor “Brushless” de imanes permanentes de tipo In-Wheel con rotor externo, este motor de 4 Kw y una tensión de 60 V. Además, se utilizó un módulo de 20 baterías Prismatic Battery 60 V 100 Ah producida por AA Portable Power Corp, las cuales cuenta con una 60 V y una capacidad de 100 Ah. Este tipo de baterías es de LiFeMnPO<sub>4</sub>. (Santiago García Solé. 2017).

## 6. Prototipos de vehículos eléctricos

El análisis dinámico del vehículo permitió la selección de los principales componentes del vehículo eléctrico biplaza de estructura tubular, tales como el motor de corriente continua de imanes permanentes con escobillas de 9 Kw, controlador electrónico de 48 VDC / 120 A y su

adaptación de trabajo a un sistema de freno regenerativo, además de un sistema de baterías de 48 V con una capacidad de 12.1 Ah, permitiendo al prototipo alcanzar una velocidad media de 50 km/h, desplazar una carga máxima de 420 kg y vencer pendientes de 14% evaluadas en el recorrido de prueba además tiene una autonomía de 15.6 Km y la batería es del tipo Níquel Metal Hidruro. (Juan Rocha-Hoyos, Luis E. Tipanluisa, Salvatore W. Reina y César R. Ayabaca. 2017). El motor seleccionado en este artículo que cumple con todas las especificaciones requeridas es el LEM 200-127, de tipo escobilla, controlador electrónico de 48 V a 400 A. Además, se utilizaron baterías de Ni MH recicladas en el mejor estado posible. (ANTHONY DAVID LUZURIAGA DELGADO. 2018).

El motor eléctrico seleccionado en este artículo es el 1PV5138-4WS20, de 70 Kw de la compañía Siemens, del tipo inducción AC, controlador electrónico de 500v a 170 A. Además, se utilizó un paquete de 14 baterías del modelo U27-36XP estas cuentan con un voltaje nominal por batería de 38.4 V y una capacidad nominal de 46 Ah. Este tipo de baterías es de Hierro-Magnesio. (DIEGO ALBERTO GARCÍA CHIRTALA. 2016).

La aplicación para la que se seleccionan los motores consiste en el VE urbano (figura 10) y cuyas características principales se resumen en la tabla 6.

**Figura 10:** Vehículo eléctrico urbano



**Tabla 6** Características del Vehículo Eléctrico urbano

Peso Total (carga incluida)	750 Kg.
Velocidad máxima	50 Km/h
Aceleración pretendida	De 0 a 50 Km/h en 25 seg.
Coefficiente de resistencia a la rodadura ( $f$ )	0.015
Coefficiente aerodinámico ( $C_{\pi}$ )	0.5
Area frontal ( $A$ )	1.6 m <sup>2</sup>

También se reviso acerca de la selección de un motor asíncrono utilizado en el diseño del vehículo formula SAE, tomando en cuenta las características de diseño de dicho vehículo. Dicha revisión se realizó en base al trabajo de titulación de Cabrera y Calle (2016). En ella, podemos apreciar la Tabla 7

**Tabla 7:** Características de diseño del vehículo Formula SAE

<i>Tipo de motor</i>	<i>Un solo motor eléctrico síncrono</i>
<i>Sistema de transmisión</i>	<i>Diferencial, catalina, cadena y piñón</i>
<i>Ancho de vía frontal</i>	<i>1200 mm</i>
<i>Ancho de vía posterior</i>	<i>1180 mm</i>
<i>Batalla</i>	<i>1570 mm</i>
<i>Velocidad máxima</i>	<i>27.77 m/s</i>
<i>Aceleración de 0 a 100 km/h</i>	<i>4 seg</i>
<i>Peso del vehículo con piloto</i>	<i>225 + 77 = 302 kg</i>
<i>Medida del neumático</i>	<i>18 x 7,5 / R10</i>
<i>Área frontal</i>	<i>0.73 m<sup>2</sup></i>
<i>Tipo de batería HV</i>	<i>Ion-litio</i>

El motor seleccionado después de realizar el análisis técnico y comparativo para dicho trabajo de titulación es el EMRAX 228 de la empresa ENSTROJ. La herramienta principal para seleccionar este motor fue la matriz de selección en la que se compararon dos motores eléctricos de altas prestaciones. Cabe destacar en el motor EMRAX 228 su alta potencia y su eficiencia de hasta 98%. Sus respectivas características se muestran a continuación en la tabla 8

**Tabla 8** Datos técnicos del motor EMRAX 228

MOTOR EMRAX 228 DE MEDIO VOLTAJE	
<i>Protección internacional</i>	<i>IP21</i>
<i>Tipo de refrigeración</i>	<i>Líquido</i>
<i>Peso [kg]</i>	<i>12.3</i>
<i>Diámetro / Ancho [mm]</i>	<i>228 / 86</i>
<i>Rango de voltaje de la batería [Vdc]</i>	<i>50 – 450</i>
<i>Potencia pico [KW]</i>	<i>100</i>
<i>Potencia continua [KW]</i>	<i>28 – 42</i>
<i>Velocidad de rotación máxima [rpm]</i>	<i>5500 (6500 pico)</i>
<i>Corriente máxima [Arms]</i>	<i>340</i>
<i>Corriente continua [Arms]</i>	<i>160</i>
<i>Torque máximo [Nm]</i>	<i>240</i>
<i>Torque continuo [Nm]</i>	<i>125</i>
<i>Temperatura máxima [°C]</i>	<i>120</i>
<i>Eficiencia [%]</i>	<i>93 – 98</i>

Para llegar a la selección de la batería óptima para el vehículo Formula SAE en el trabajo de titulación de Cabrera y Calle (2016), no solo se investigó acerca de las propiedades y ventajas de dicha tecnología, sino que también se analizaron las celdas de Ion-Li / Polímero y los distintos paquetes de baterías existentes en el mercado. Como resultado se seleccionó un paquete de baterías de la empresa eBaracus, el Módulo LIFEPO4 de 20Ah con celdas Al23, pudiéndose conectar en serie para obtener un voltaje nominal de 356V (además contienen un sistema BMS basado en comunicación CAN).

## 5. Conclusiones y recomendaciones

En este artículo se presentó las aplicaciones, las pruebas y los resultados de los motores más utilizados en el mercado acorde a diversas fuentes de información sus principales características aplicativas como constructivas, además de sus alcances de eficiencia a la hora de ser aplicados en los vehículos eléctricos.

En esta revisión se muestra las diferentes marcas y modelos de vehículos eléctricos, se determina que se utilizan principalmente cinco tipos de motor: DC, motor asíncrono o de inducción, motor síncrono de flujo axial, motor síncrono de imanes permanentes y motor tipo brushless o sin

escobillas. Esto dependerá tanto del diseño como del fabricante, proporcionando distintas ventajas o desventajas.

Determinamos que la batería es un dispositivo de depósito de energía que debe corresponder a los nuevos vehículos eléctricos. Los distintos tipos de motores muestran diversas cualidades, por lo que es vital evaluar los motores, desde varios criterios para elegir el motor más adecuado según posean alta vitalidad, bajo mantenimiento, costo y gran control para un mejor desempeño.

## Referencias

1. Aguirre P., Hidalgo D., Panamá J., Padilla J., Veintimilla D. (2014). DISEÑO DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO PROTOTIPO MONOPLAZA PARA UNA PERSONA PARAPLEJICA Y CONSTRUCCIÓN DE SU CHASIS. Recuperado de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/10466>
2. ANTHONY DAVID LUZURIAGA DELGADO. (2018). Adecuación de un tren motriz de un go kart de combustión interna a una de propulsión eléctrica provista de baterías de Ni MH. Recuperado de <http://201.159.222.99/bitstream/datos/8350/1/14071.pdf>
3. Artés A., Casañé M., Ezequiel M. (2015). BORN Vehículo comercial eléctrico hecho en Barcelona. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/309240125\\_BORN\\_Vehiculo\\_comercial\\_electri-co\\_hecho\\_en\\_Barcelona](https://www.researchgate.net/publication/309240125_BORN_Vehiculo_comercial_electri-co_hecho_en_Barcelona)
4. Bhatt, P., Mehar, H., & Sahajwani, M. (2019). Electrical Motors for Electric Vehicle–A Comparative Study. Proceedings of Recent Advances in Interdisciplinary Trends in Engineering & Applications (RAITEA).
5. Bhatt, P.; Mehar, H; Sahajwani, M. (2010) Electrical Motors for Electric Vehicle - A Comparative Study” en la International Conference on “Recent Advances in Interdisciplinary Trends in Engineering & Applications” PG Scholar (Power Electronics), IPS Academy, Institute of Engineering and Science, Electrical and Electronics Engineering Department, Indore(M.P.)
6. C. Ruiwu, C. Mi, and C. Ming, "Quantitative Comparison of Flux-Switching Permanent-Magnet Motors With Interior Permanent Magnet Motor for EV, HEV, and PHEV Applications," *Magnetics, IEEE Transactions on*, vol. 48, pp. 2374-2384, 2012.

7. C. Yunyun, Q. Li, Z. Xiaoyong, W. Hua, and Z. Wang, "Electromagnetic Performance Analysis of Double-Rotor Stator Permanent Magnet Motor for Hybrid Electric Vehicle," *Magnetics*, IEEE Transactions on, vol. 48, pp. 4204-4207, 2012.
8. Caballo F., Cabero R. (2019). DISEÑO Y ANÁLISIS DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO LIGERO PARA MOVILIDAD URBANA E INTERURBANA. Recuperado de [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/175944/TFE\\_Caballo\\_Cabero.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/175944/TFE_Caballo_Cabero.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
9. CABRERA, A., CALLE, C. (2016). SELECCIÓN DEL MOTOR ELÉCTRICO, CONTROLADOR Y BATERÍA PARA EL VEHÍCULO FORMULA SAE DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA. Recuperado de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/12753/1/UPS-CT006618.pdf>
10. Cabrera, A.; Calle, C. (2016) Selección del motor eléctrico, controlador y batería para el vehículo formula SAE de la Universidad Politécnica Salesiana” Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico Automotriz. Universidad Politécnica Salesiana. Sede Matriz Cuenca. Cuenca, Ecuador.
11. Choi, G., & Jahns, T. M. (2013, May). Design of electric machines for electric vehicles based on driving schedules. In 2013 International Electric Machines & Drives Conference (pp. 54-61). IEEE.
12. Christian Abarca Aguilar. (2019). Motorización eléctrica y homologación de un coche deportivo monoplaza para que pueda circular por ciudad. Recuperado de <http://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/184587/TFG%20CHRISTIAN%20EDER%20ABARCA%20AGUILAR.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
13. CUASQUI A., DEFAS M. (2018). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE SILLA DE RUEDAS ELÉCTRICA, APLICANDO MOTORES BRUSHLESS SIN ESCOBILLAS(OUTRUNNER). Recuperado de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/8565/1/04%20MEL%20037%20TRABAJO%20DE%20GRADO%20.pdf>
14. Cummins Generator Technologies. (2012, 31/10/2014). Cummins Motor Generator with CorePlus™ Technology.

15. DIEGO ALBERTO GARCÍA CHIRTALA. (2016). DISEÑO Y SIMULACIÓN PARA REEMPLAZAR EL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA POR UN MOTOR ELÉCTRICO DE UNA CAMIONETA CHEVROLET LUV 4X4 CON MOTOR DE 2800CC. Recuperado de [http://192.188.51.77/bitstream/123456789/14129/1/65949\\_1.pdf](http://192.188.51.77/bitstream/123456789/14129/1/65949_1.pdf)
16. E. Severson, R. Nilssen, T. Undeland, and N. Mohan, "Analysis of the bearingless AC homopolar motor," in *Electrical Machines (ICEM), 2012 XXth International Conference on*, 2012, pp. 570-576.
17. El-Refaie, "Motors/Generators for Traction/Propulsion Applications: A Review," *Vehicular Technology Magazine, IEEE*, vol. 8, pp. 90-99, 2013.
18. Faiz, J., Sharifian, M., Keyhani, A. y Proca, A. B. (2003). Sensorless Direct Torque Control of Induction Motors Used in Electric Vehicle. *IEEE Transactions on Energy Conversion*. pp 1-10
19. Fco. De Borja Soler Jorba. (2015). Diseño de un vehículo eléctrico puro.
20. Felipe Rodrigo Solís Cascante. (2018). Diseño y construcción de un Pack de Baterías de Litio para una Motocicleta Eléctrica con un Motor de 5KW. Recuperado de <http://186.5.25.90/bitstream/123456789/3078/1/tesis%20FELIPE%20SOL%c3%8dS%20DISE%c3%91O%20Y%20CONSTRUCCI%c3%93N.pdf>
21. Guillermo Cuesta Capellan. (2017). Caracterización del tren de potencia de un vehículo eléctrico de categoría L7 tipo Smart. Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/108997/tfmguillermocuestafinal.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
22. Jalalifar, A. F. Payam, B. Mirzaeian, and S. M. S. Nezhad, "Dynamic Modeling and Simulation of an Induction Motor with Adaptive Backstepping Design of an Input-Output Feedback Linearization Controller in Series Hybrid Electric Vehicle," in
23. JHONATAN DAMIÁN JIBAJA RAMÍREZ. (2016). DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA MOTRIZ ELÉCTRICO PLUG IN EN UN KART BASE REEMPLAZANDO EL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA. Recuperado de [http://192.188.51.77/bitstream/123456789/14183/1/66753\\_1.pdf](http://192.188.51.77/bitstream/123456789/14183/1/66753_1.pdf)
24. Juan Rocha-Hoyos, Luis E. Tipanluisa, Salvatore W. Reina y César R. Ayabaca. (2017). Evaluación del Sistema de Tracción en un Vehículo Eléctrico Biplaza de Estructura Tubular. *Inf. tecnol.* vol.28 no.2 La Serena.

25. Malan, M. J. Kamper, and P. N. T. Williams, "Reluctance synchronous machine drive for hybrid electric vehicle," in *Industrial Electronics*, 1998. Proceedings. ISIE '98. IEEE International Symposium on, 1998, pp. 367-372 vol.2.
26. Nakamura, K. Murota, and O. Ichinokura, "Characteristics of a novel switched reluctance motor having permanent magnets between the stator pole-tips," in *Power Electronics and Applications*, 2007 European Conference on, 2007, pp. 1-5.
27. P. Tsao, M. Senesky, and S. Sanders, "A synchronous homopolar machine for high-speed applications," in *Industry Applications Conference*, 2002. 37th IAS Annual Meeting. Conference Record of the, 2002, pp. 406-416 vol.1.
28. Palacios, I. (2017) Análisis del par mecánico desarrollado por los motores de inducción trifásicos. Grado de Ingeniería eléctrica. Universitat Rovira i Virgili, Tarragona. Recuperado de: <https://sauron.etsr.urv.es/public/PROPOSTES/pub/pdf/2452pub.pdf>
29. *Power Electronics, Drives and Energy Systems*, 2006. PEDES '06. International Conference on, 2006, pp. 1-6.
30. Santiago García Solé. (2017). Caracterización del powertrain de un vehículo pequeño eléctrico modular de 3 ruedas. Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/108405>
31. Suarez, M. (2017) Revisión bibliográfica y caracterización de motores para vehículos eléctricos. Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de tecnología mecánica.
32. T. Raminosa, C. Gerada, and M. Galea, "Design Considerations for a Fault-Tolerant Flux-Switching Permanent- Magnet Machine," *Industrial Electronics*, IEEE Transactions on, vol. 58, pp. 2818-2825, 2011.
33. V. Ostovic, "Memory motors-a new class of controllable flux PM machines for a true wide speed operation," in *Industry Applications Conference*, 2001. Thirty-Sixth IAS Annual Meeting. Conference Record of the 2001 IEEE, 2001, pp. 2577- 2584 vol.4.
34. Vagati, G. Pellegrino, and P. Guglielmi, "Comparison between SPM and IPM motor drives for EV application," in *Electrical Machines (ICEM)*, 2010 XIX International Conference on, 2010, pp. 1-6.
35. Verucchi, C., Ruschetti, C., & Benger, F. (2015). Efficiency measurements in induction motors: comparison of standards. *IEEE Latin America Transactions*, 13(8), 2602-2607.

36. Walker, A., Galea, M., Gerada, C., Mebarki, A., & Gerada, D. (2015, March). A topology selection consideration of electrical machines for traction applications: towards the FreedomCar 2020 targets. In 2015 Tenth International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER) (pp. 1-10). IEEE.
37. X. Wei, Z. Jianguo, G. Youguang, W. Shuhong, W. Yi, and S. Zhanghai, "Survey on electrical machines in electrical vehicles," in Applied Superconductivity and Electromagnetic Devices, 2009. ASEMD 2009. International Conference on, 2009, pp. 167-170.
38. Xavier Bassons Castellà. (2010). Adaptación de un kart convencional a propulsión alternativa. Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/15214/MEMORIA%20PFC.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
39. Zeraoulia, M., Benbouzid, M. E. H., & Diallo, D. (2006). Electric motor drive selection issues for HEV propulsion systems: A comparative study. IEEE Transactions on Vehicular technology, 55(6), 1756-1764.