



Uso de motores eléctricos en sistemas de transporte
Use of electric motors in transportation systems

Evelyn Reyes^{1*} epreyes.mee@uisek.edu.ec https://orcid.org/0000-0001-8503-1073	Cristina Recalde¹ cmcrecalde.mee@uisek.edu.ec https://orcid.org/0000-0003-4250-2271	Paúl López¹ aplopez.mee@uisek.edu.ec https://orcid.org/0000-0002-8695-3325
	Francisco Cárdenas¹ gfcardenas.mee@uisek.edu.ec https://orcid.org/0000-0001-7286-6231	
¹ Maestría Ecoeficiencia Industrial, Universidad SEK, Quito, Ecuador		

*Autor de correspondencia

Recibido 1 de septiembre de 2025; revisión aceptada 25 de septiembre de 2025

RESUMEN:

Este trabajo realiza una recopilación bibliográfica con respecto al uso de los motores eléctricos en los diferentes sistemas de transporte a nivel local e internacional, considerando el desarrollo de los mismos desde sus inicios hasta las últimas tecnologías, con sus ventajas y desventajas, además de evaluar la implicación que esto tiene para la eficiencia energética y la innovación tecnológica en estos equipos a fin de mejorar las condiciones ambientales; también se analiza una visión económica y ambiental para la implementación de estos motores, estableciendo las tecnologías actuales y futuras que presenta el transporte eléctrico. A su vez esto resulta importante para la sostenibilidad y la calidad de vida en las ciudades, con la reducción de emisiones contaminantes y la mejora en la calidad del aire, con ventajas económicas en la reducción del costo de combustible y el mantenimiento del transporte.

Palabras claves: motor eléctrico, electromovilidad, tecnologías.

ABSTRACT:

This work makes a bibliographic compilation regarding the use of electric motors in different transportation systems at local and international level, considering their development from their beginnings to the latest technologies, with their advantages and disadvantages, in addition to considering the implication that this has for energy efficiency and technological innovation in this equipment in order to improve environmental conditions; it also analyzes an economic and environmental vision for the implementation of these engines, establishing the current and future technologies that electric transportation presents. In turn, this is important for sustainability and quality of life in cities, with the reduction of polluting emissions and improvement of air quality, with economic advantages in the reduction of fuel costs and maintenance of transport.

Keywords: electric motor, electromobility, technologies

1. INTRODUCCIÓN

Por medio de una recopilación de información basada en la búsqueda de documentos indexados, se pretende exponer un tema innovador como es el motor eléctrico en el transporte, dando un breve vistazo a los conceptos, componentes, clasificación, ventajas y desventajas, la aplicabilidad, progreso en



sistemas de transporte y sus mejoras, la eficiencia energética, su impacto y la aplicación mundial, así como en el Ecuador. La electrificación de los motores en vehículos puede llevar a una mejora en su rendimiento, además de la optimización de recursos energéticos, la reducción en las emisiones de gases de efecto de invernadero y el ruido ambiental.

¿Utilizar motores eléctricos o de combustión interna en los sistemas de transporte? Esta pregunta en los últimos años ha generado varios comentarios debatibles, donde muchas veces se imponen puntos de vista subjetivos sobre justificaciones técnicas, donde cabe indicar que cada tecnología será apropiada según el sitio y condiciones económicas, ambientales y técnicas donde se requiere su aplicación.

Para un cambio a tecnologías eléctricas en la transportación es de suma importancia tener en cuenta el crecimiento de la contaminación ambiental, el precio de los combustibles fósiles, además de las reservas que van disminuyendo debido a la sobreexplotación de las mismas, lo que ha llevado al estudio de nuevas alternativas en la transportación como es la electricidad, existiendo grandes avances en países como España, Estados Unidos, Francia, China y Noruega [1]. Por otra parte, se debe tener en cuenta que los motores de combustión interna a largo plazo deben ser reemplazados por una mejor elección, puesto que al utilizarse combustibles fósiles esta tecnología tiende a ser insostenible, por ello la alternativa más confiable y próxima son los motores eléctricos.

Varios de los avances en motores eléctricos para autos, tienen que ver con el uso y el mejoramiento de las baterías en su autonomía, la conversión de corriente continua a corriente alterna y viceversa, tecnología híbrida, y la conexión a red (V2G vehicle-to-Grid), además del estudio de factibilidad en el cambio de motores de combustión interna a eléctricos debe evaluar el crecimiento en la demanda de pasajeros en la transportación pública y el uso de sistemas con mayor capacidad de transporte. El estudio se ha dividido en varias etapas donde se inicia por abordar los motores eléctricos, sus generalidades, clasificación, ventajas y desventajas, se analizan las aplicaciones de estos en la transportación y se evalúa el desarrollo tecnológico de estos en los sistemas de transporte. También se evalúa la mejora en la eficiencia energética de este tipo de motor y finalmente se analiza su introducción en Ecuador con el objetivo de poder tener un panorama global de las perspectivas y aplicaciones del motor eléctrico en los sistemas de transporte moderno.

La figura 1 muestra la línea de tiempo del desarrollo de los vehículos eléctricos hasta el año 2016, donde su desarrollo antes de esta fecha no fue muy acelerado, el mismo comienza a inicios del siglo XIX con la aparición de las baterías y el uso de las pilas no recargables en vehículos, luego la introducción del motor de combustión a gran escala, ralentizó el desarrollo de este tipo de transporte y nuevamente a partir de 1970 se impulsa la tecnología de electromovilidad, que dió lugar a que en el 2016 se creara el auto eléctrico con conexión a red para su recarga. Tesla a inicios de los años 2000 lanza el modelo EV-1 y en el año 2008 presenta el modelo Roadster que llevó al vehículo eléctrico al siglo XXI. Esta evolución del transporte eléctrico ha estado supeditada por el avance de las tecnologías de acumulación de energía, donde las nuevas baterías de ion litio, y las de estado sólido, ofrecen mayor densidad energética y seguridad, también las baterías de litio-azufre, que tienen una densidad energética aún mayor a pesar de presentar problemas de deterioro de los electrodos, han permitido mejorar el kilometraje de recorrido a límites desconocidos hasta el momento, pasando de una autonomía de 300 km a más de 400 km en la actualidad.

Si bien los motores eléctricos fueron los primeros en inventarse para poder reemplazar a los de tracción animal, ya que estos presentaban varios inconvenientes como la lentitud, problemas en el transbordo de mercancías y la manutención de los caballos; pero sin embargo, en el siglo pasado los autos de motor de combustión interna se apoderaron del mercado y dejaron de lado a los eléctricos, ya que estos

presentaban un problema de autonomía, siendo así que en la década de los 70 dejaron de producirse prácticamente [2] y se los reemplazó con el pretexto de dicha autonomía, pero más bien esta decisión puede acusarse hacia al lado macro-económico mundial y el interés de las fuerzas políticas que apostaron por la explotación petrolera, puesto que el mismo esfuerzo e inversión se pudo haber dado a las tecnologías eléctricas, teniendo en cuenta que , hoy en día otra es la cara de la historia al resurgir la necesidad de vehículos eléctricos por la búsqueda de recursos no renovables que reemplacen las fuentes convencionales de energía utilizadas en los motores de combustión interna, sabiendo que el nuevo desarrollo de los motores eléctricos está relacionado con el avance de la tecnología para la creación de mejores baterías y la preocupación mundial de las emisiones de carbono, a pesar de la presión de ubicaciones geopolíticas, los intereses comerciales y económicos que dan mucho que pensar en el tema de la preocupación de la ecología [3].

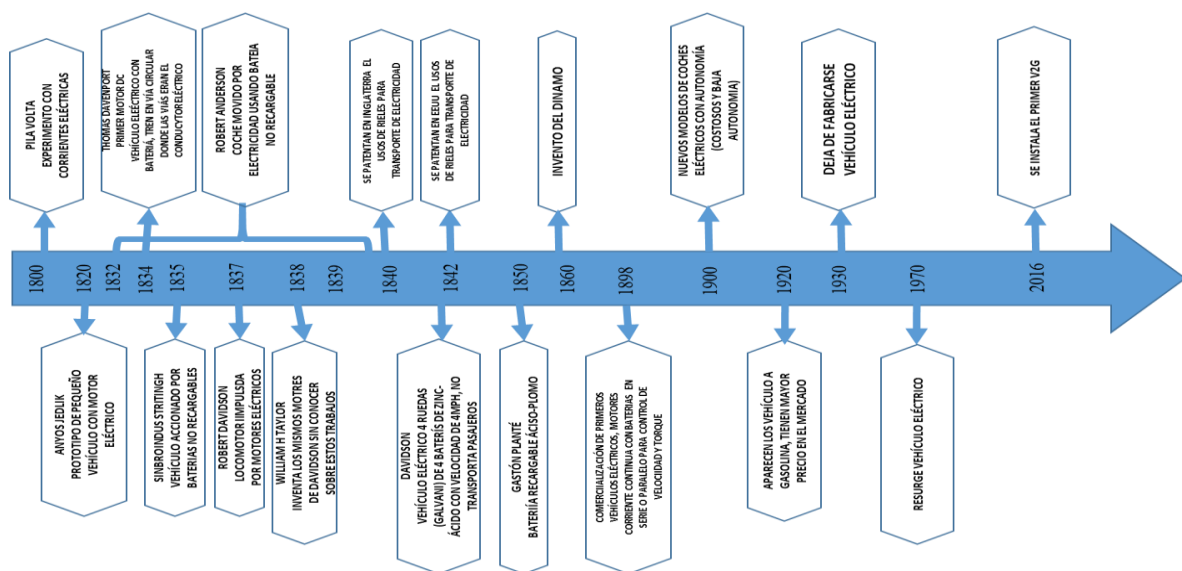


Figura 1. Línea del tiempo de los vehículos eléctricos hasta el año 2016

Para un mejor entendimiento de los tipos de motores eléctricos utilizados en vehículos, es necesario conocer previamente sus partes, las cuales son: el motor propiamente dicho/freno regenerativo, el reductor de velocidad, el diferencial y el sistema regulador que está conformado por un bloque electrónico de potencia, el inversor, el rectificador, transformador y el controlador, tomando en cuenta que para su correcto funcionamiento necesita de baterías. [4]. Existen dos grandes grupos de motores, los de corriente continua (DC), y los motores de corriente alterna (AC), que a su vez se subdividen en:

1. Motor de inducción o asíncronico: es aquel donde el campo magnético del estator no va a la misma velocidad de giro del rotor, se lo usa para bajar costos, tener pocas vibraciones y por lo tanto ruido, ya que un motor debe ser fiable y tener la máxima eficiencia.
2. Motor sincrónico de imanes permanentes: poseen alto rendimiento, con un fácil control de velocidad, livianos y pequeños comparados con los otros motores, en esta máquina la velocidad del rotor no cambia cuando coincide con el campo magnético del estator.
3. Los motores síncronos de reluctancia variable o conmutada: son macizos, de bajo precio y alto par, pero de baja potencia y no poseen imanes permanentes, por lo que la corriente conmuta por medio de las bobinas al crear un campo magnético giratorio.
4. Motor de corriente continua de imanes permanentes sin escobillas: son muy utilizados en sistemas híbridos, funcionando a través de imanes permanentes localizados en el rotor y se alimentan



secuencialmente de cada fase del estator. Su costo es más elevado y presentan baja potencia, pueden ser robustos, sin ruido y de poco mantenimiento [5].

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó una investigación documental donde se recopiló y analizó la información relevante disponible en los últimos años sobre el uso y perspectivas de introducción del transporte con el uso de motores eléctricos, la revisión de información se dividió en varias etapas, comenzando por la clasificación y tipos de transporte eléctrico, sus aplicaciones, tecnologías y culminando con su incidencia en la eficiencia energética y el medio ambiente.

2.1. Clasificación de los diferentes tipos de vehículos eléctricos

Para entender la importancia y el desarrollo de los vehículos eléctricos es imprescindible conocer su clasificación, que de forma resumida se presenta en la tabla 1, teniendo en cuenta que los vehículos que funcionan con motores eléctricos pueden ser con máquinas DC (pequeños vehículos, bicicletas, sillas de ruedas), AC (los autos modernos normalmente), teniendo en cuenta que los más usados son los motores sincrónicos [6].

Tabla 1. Clasificación vehículos eléctricos [2], [6].

Tipo	Definición
Vehículo Híbrido (HEV)	Utiliza motor de combustión interna y motor eléctrico
Vehículo Eléctrico de Batería (BEV)	Uso de la energía acumulada en una o más baterías recargables.
Vehículo de célula de combustible (FECV)	Uso de pila de combustible (hidrógeno) en lugar de una batería
Vehículo eléctrico solar	Las baterías son recargadas mediante celdas fotovoltaicas, se utilizan en vehículos y aviones ultraligeros

Al comparar los motores eléctricos con los de combustión interna, se puede definir un grupo de ventajas y desventajas que depende de los diferentes tipos de máquinas como se puede apreciar en las tablas 2 y 3.

Tabla 2. Ventajas y desventajas de los motores eléctricos frente a los de combustión interna [2], [6], [7]

Ventajas	Desventajas
Cero emisiones contaminantes	Precio elevado de vehículos
Posible uso de energía renovable	Tiempo requerido de recarga
Sostenibilidad medioambiental	Autonomía
Reduce la dependencia al petróleo	
Reducción de contaminación acústica	
Bajo precio energía (carga nocturna)	

Tabla 3. Ventajas y desventajas entre tipos de motores eléctricos [7].

Motor DC	
Ventajas	Desventajas
Se pueden controlar de forma fácil con equipos electrónicos	Costo elevado
Permiten el control de posición y velocidad.	Requieren equipos para control y arranque especiales
Par de giro elevado	Presentan inestabilidad con la variación de la carga
Abundante variedad de velocidades	Necesitan mayor mantenimiento
Excelente rendimiento	Presentan más averías
Regulación de la velocidad.	
Se puede realizar la inversión de giro y frenado especial	
Resultados satisfactorios en vehículos pequeños	
Motor asincrónico	
Ventajas	Desventajas
Mecánicamente sencillos de construir	Son motores que tienen bajos pares de arranque



Requieren poco mantenimiento	Tienen una zona inestable de funcionamiento
Económicos respecto a otros tipos de motor	El control de velocidad es complejo para grandes rangos
Los motores trifásicos, no necesitan arrancadores	
Como la potencia instantánea es absorbida por la carga trifásica constante a través de la potencia activa, no se encuentran sometidos a vibraciones a causa de transformar la energía eléctrica en mecánica.	
Motor sincrónico con imanes permanentes	
Ventajas	Desventajas
Tienen un regulador electrónico para la conmutación de la corriente en el arranque del motor y puede regular el par de salida. A pesar de presentar costos adicionales por el control, esto facilita una regulación similar a la servorregulación que no está presente en los motores de inducción	Tendencia de acumular magnetismo
Mayor rendimiento que el motor de inducción	Falta de control del campo
Se consigue una regulación de velocidad más precisa	Las sobrecargas pueden causar desmagnetización
Mayor densidad de potencia y temperatura de trabajo reducida	Más costosos que un motor con características similares
Con el sincronismo presente cuando el rotor gira a la misma velocidad que el campo magnético generado por los devanados del estator, se mejoran las prestaciones dinámicas para la regulación de velocidad	
Presenta una gama de velocidades mucho más amplia que en el motor de inducción	
Las pérdidas son del 15% al 20% menores que las del motor de inducción.	
Alta eficiencia para cargas bajas en el motor	
Par alto a bajas velocidades	
Menores problemas de mantenimiento	
Motor sin escobillas (brushless)	
Ventajas	Desventajas
Funcionamiento más eficiente y menor emisión de ruido.	Mayor costo de construcción
Mayor eficiencia (menos pérdida por calor)	Controlado por circuito de alto costo y complejidad
Un rendimiento más alto por la mayor duración de las baterías para la misma potencia	Debe tener un control electrónico para funcionar, lo que aumenta su costo.
Presenta un peso menor para una misma potencia	
Como no tiene escobillas, requieren de menos mantenimiento	
Un valor casi constante de la relación velocidad/par motor	
Tiene una mayor potencia para el mismo tamaño	
Disipa calor con mayor facilidad	
Elevado rango de velocidad por no tener limitación mecánica	
Bajo ruido electrónico (menos interferencias en otros circuitos)	
Motor flujo axial	
Ventajas	Desventajas
Poseen una gran densidad de par	Genera esfuerzos radiales
Se pueden integrar a las ruedas del vehículo, con lo que optimizan espacio y los acoplamientos son simples entre motor y rueda	Mayores costos que otros tipos de motor
Igual rendimiento que otros motores, pero con menor tamaño	

2.2. Selección de Motores para vehículos eléctricos

En la selección adecuada del motor eléctrico del vehículo se necesita considerar un conjunto de variables que son comparadas en la tabla 4 (con valores puntuados de diferentes ítems de cero a cinco que dan una mayor valoración al motor de inducción), como: potencia de corriente continua y alterna, así como el torque del motor [7], [8]. También se requiere tener en cuenta la forma en que estas se relacionan para obtener las características requeridas de los motores para su accionamiento, pudiendo destacar: la alta densidad de potencia para reducir el volumen ocupado por el motor y minimizar el peso a transportar por el vehículo, un alto torque a bajas velocidades para obtener una alta aceleración



y poder superar las pendientes, extensa variación de velocidades, inercia baja para cambios en la velocidad, aumento de la autonomía y la mejora de costos [8].

Tabla 4. Evaluación por puntos de alternativas para motores de vehículos eléctricos [8].

FACTOR	MOTOR CORRIENTE CONTINUA	MOTOR INDUCCIÓN	MOTOR IMANES PERMANENTES	MOTOR RELUCTANCIA
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

El desarrollo económico mundial [9], ha generado un aumento en la contaminación ambiental, derivado entre otros, por el agotamiento de los recursos debido al ritmo acelerado de extracción de reservas que, en el caso del petróleo se estima sea de aproximadamente 60 años más para suplir la demanda. Esto incide en los niveles de gases contaminantes ya generado en la atmósfera, donde se acumula el dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero, donde en gran medida la causa se relaciona con la quema de combustibles fósiles [7], [10] y el subsiguiente calentamiento global. Para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), se requiere un coeficiente de emisión menor, donde el transporte eléctrico es considerado un factor clave entre las vías para la mitigación del impacto ambiental en la transición hacia otros energéticos renovables no convencionales, con vista a reducir el impacto ambiental a través de la eficiencia, la sustitución energética en el sector del transporte y por su aporte favorable en el crecimiento de la economía [9].

Los precios actuales del petróleo, aunque inferiores a los de los años 80 complican esta situación, y los desequilibrios entre el Norte y el Sur, han requerido la búsqueda de nuevas alternativas de combustible para la movilidad, obligando a tener que crear nuevas políticas energéticas, incrementar la eficiencia energética y el desarrollo de energías alternativas que permitan resolver los grandes retos del futuro. Entre las diferentes alternativas presentes, se encuentran los vehículos eléctricos como una de las opciones más representativas y por ello países como China, Noruega, Francia, Alemania, Estados Unidos y España incrementan el número de vehículos eléctricos como parte de su política energética [11].

2.3. A continuación, se relacionan las características más importantes de los diferentes vehículos eléctricos:

A. Vehículo Eléctrico

Los vehículos eléctricos se caracterizan por utilizar uno o varios motores eléctricos en un sistema de tracción con la energía eléctrica almacenada en baterías o acumuladores que pueden ser recargados en la red eléctrica. Las baterías permiten almacenar la energía de forma química para su posterior transformación en energía eléctrica a través del motor eléctrico que la convierte en energía mecánica.

Durante la recarga de las baterías, el vehículo eléctrico se conecta a un toma de corriente eléctrica, que puede ser de baja intensidad de corriente de recarga lenta, media intensidad o alta intensidad (recarga



rápida) [11]. Como principal ventaja del transporte eléctrico se encuentra que este no genera emisiones directas de contaminantes, baja contaminación acústica, así como la reducción de costos en el mantenimiento y el uso. [6].

B. Motos eléctricas

Es el vehículo preferido por aquellas personas que necesitan un transporte, pero que adicionalmente les preocupa el ambiente y generar el mínimo impacto. Tiene grandes ventajas económicas adicionales como es el bajo costo de mantenimiento, no requiere la compra de combustible, ni frecuentes reparaciones, muchas empresas las prefieren y resultan muy útiles para el trabajo, por ejemplo: en el reparto de comidas a domicilio, mensajería, policía o empresas de vigilancia. Usan uno o dos motores eléctricos, pueden ser a inducción AC de 20 a 25Kw, también existen con motor trifásico de corriente alterna, se recargan en dos horas y otros a 8 horas con el voltaje de 110 V ó 220 V, pueden usar frenos regenerativos que ayudan a cargar la batería cuando se frena y alcanzan distancias de 60 Km a 300 Km, transmisión con sistemas CVT (continuously variable transmission), las baterías pueden ser con litio de 12 Kwh, torque 129 Nm de 40 a 200 Km/h, puede soportar peso de hasta 200 Kg, transporte de uno a dos pasajeros con un peso que va desde 120 Kg a 200kg y vida útil de 550 ciclos, debido a la fabricación bajo estrictas normas de calidad que se comenzó desde el inicio del año 2000 [6].

C. Metro

El metro es un medio de transporte eléctrico que moviliza a gran cantidad de personas, el sistema cuenta con una serie de estaciones a distancias relativamente cortas, al igual que los sistemas de transportes interurbanos. Los caminos por donde circula pueden ser subterráneos, a nivel del suelo o también en vías elevadas que se hallan a cinco o seis metros del suelo. El sistema de tracción que utiliza generalmente es de corriente continua DC, con un sistema de alimentación que se caracteriza por el nivel de tensión, la configuración de la red eléctrica, el tipo de conductor de alimentación (catenaria, tercer riel o conductor rígido aéreo) y los niveles de potencia de las subestaciones. Este sistema de tracción se puede alimentar a través de un conjunto de subestaciones rectificadores AC/DC, donde cada subestación suministra una parte de la energía total requerida en el sistema.

Para la alimentación del metro se utilizan puentes rectificadores de 6, 12, 24 o más pulsos, donde los armónicos inyectados a la red de AC son proporcionales al número de pulsos. Se utilizan subestaciones de alimentación de tracción con potencias que generalmente, varían entre 1,5 MW y 10 MW con una distancia entre subestaciones de aproximadamente 3 km para 600 V, en 10 km con una tensión de 1,5 kV y para 20 km de 3 kV. Los niveles de tensión y la localización de las subestaciones de alimentación a lo largo del sistema, así como las tecnologías empleadas, requieren de un estudio detallado que considere las características de demanda y la dimensión del sistema de metro [6].

D. Trolebús

Este transporte masivo trae un grupo de beneficios económicos y ambientales en comparación con el transporte que utiliza combustible fósil, este tipo de transporte es muy utilizado gracias a los avances tecnológicos de la actualidad en electrónica de potencia, que están siendo aplicados en la operación de motores de CA con el uso de inversores para generar tensiones alternas de diferente amplitud y frecuencia a partir de una alimentación de CC. Con el proceso inverso a la rectificación de onda completa monofásica o trifásica en los convertidores CC/CA se originan grandes ventajas para el trolebús, debido a la simplicidad en la operación y control del sistema, su versatilidad en el uso de las líneas de alimentación externa en CA o en CC, y menores riesgos de fallas en los sistemas de control del motor y en el propio motor. La figura 2 muestra el uso de estos inversores en el bus alimentado en

una red en CC que emplea el inversor independiente para cada rueda, de esta forma la aceleración y frenado podría hacerse con controles independientes para mejorar la eficiencia. Este sistema elimina transmisiones mecánicas con un solo motor principal que reduce los daños mecánicos [12].

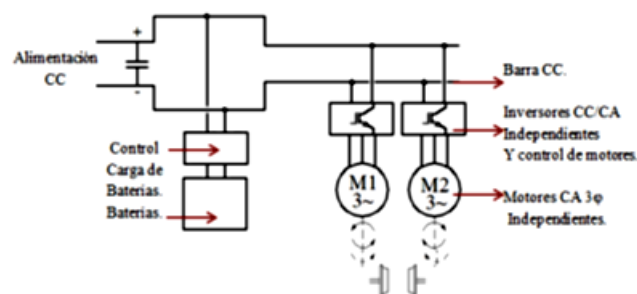


Figura 2. Opción motores CA con inversor propio, alimentación CC. [12]

La mayor vida útil y la reducción en la frecuencia de mantenimiento representan una ventaja significativa en los sistemas trolebús que utilizan motores CA, además de tener la posibilidad de utilizar sistemas de frenado regenerativos para reducir riesgos mecánicos [12, 13].

E. Transporte aéreo

Actualmente se están utilizando motores híbridos en aviones eléctricos de menos de 1000 kg., siendo un logro entre las marcas Siemens y Airbus, de romper un récord mundial que fue el tiempo de ascenso, utilizando un motor eléctrico, para de esta forma plantearse como meta hasta el 2030; poder posicionar aeronaves de esta tecnología a nivel de mercado con capacidad de evolución y adaptarse a innovaciones tecnológicas para mejorar eficiencia, además de mejorar la relación productividad-costos [14].

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Desarrollo tecnológico de los motores eléctricos en los sistemas de transporte

En los últimos años los motores eléctricos para los sistemas de transporte han venido perfeccionándose, además de las innovaciones e introducción de nuevas tecnologías que serán descritas a continuación:

3.1.1. Sistemas de funcionamiento vehículos eléctricos

1) Vehículos eléctricos con batería (BEVs): Este transporte es propulsado por la cantidad de energía almacenada en una batería de larga duración, que son diseñadas especialmente para este tipo de vehículo, estas baterías pueden ser de Li-Ion o níquel-hierro. Como la principal fuente de propulsión en este caso es la electricidad, esto elimina las emisiones de CO₂ del surtidor a las ruedas, desde luego que las emisiones para generar electricidad, producir y reciclar los vehículos, no se contabilizan en esta última afirmación. La batería se carga de la red eléctrica convencional o en puntos de carga públicas que son diseñados especialmente para este fin [15], [16].

El uso de una interfaz directa entre las baterías y las ruedas del vehículo para la propulsión eléctrica, transfiere toda la energía en la dirección requerida, con muy alta eficiencia y controlando la etapa de potencia todo el tiempo. El sistema de propulsión eléctrico se puede dividir en 2 partes, una eléctrica y otra mecánica, donde la parte eléctrica incluye el motor, el convertidor de potencia, y el controlador electrónico, mientras que la parte mecánica se forma por un dispositivo de transmisión y las ruedas. En algunos casos el dispositivo de transmisión es opcional. El núcleo del motor, se considera el límite entre las partes eléctrica y mecánica y es aquí donde se realiza la conversión de energía electromecánica [17], [18]. A modo de ejemplo en [19] se representa el esquema de funcionamiento



con la interconexión entre la batería, el controlador eléctrico, convertidor de potencia, el motor y la transmisión con los dispositivos diferenciales.

2) Vehículos híbridos eléctricos (HEV): Los híbridos son quizás los vehículos eléctricos más comunes y difundidos en el mercado mundial actualmente. Estos llegan a combinar automáticamente entre un motor de combustión interna eficiente y un motor eléctrico para maximizar la eficiencia del combustible y recorrer mayor cantidad de kilómetros. El motor de combustión interna es encargado de generar electricidad para la carga de la batería. De este modo es posible recorrer varios kilómetros en estos vehículos usando motores eléctricos únicamente. Algunos modelos más actuales pueden combinar los dos tipos de motores en momentos en que se requiere mucha potencia como en fuertes aceleraciones, otros tienen un motor eléctrico que acciona las ruedas traseras, que ayuda a tener mayor tracción en las cuatro ruedas, que además permiten aportar más economía en su desplazamiento [16], [15].

Para entender el funcionamiento de este tipo de vehículo es necesario comprender los diferentes sistemas con que estos pueden trabajar:

- Sistema Serie: En los sistemas de vehículos híbridos de configuración serie, el motor eléctrico es el medio de transmisión de la tracción hacia las ruedas. El motor generador eléctrico es capaz de obtener la corriente ya sea de una batería o de un generador, que en este caso es accionado por un motor de combustión interna a gasolina o diésel, el mismo que se constituye en un conjunto motor/generador. Una determinada unidad de control define la distribución de la potencia entre la batería y el conjunto motor/generador. El conjunto de baterías de un vehículo híbrido en serie, se recarga tanto por el conjunto motor/generador, o también por el almacenamiento de parte de la energía que acumula normalmente por el conjunto del sistema de freno regenerativo [17] [18].
- Sistema Paralelo: Los sistemas en paralelo de los vehículos híbridos son mecánicamente más complejos que los sistemas ya mencionados en serie, por lo que se tiene como factor principal, el requerimiento de una transmisión para permitir que el motor de combustión interna pueda movilizar las ruedas, en este sistema el motor de combustión interna, los motores generadores eléctricos y la transmisión, tienen como finalidad estar acoplados unos con otros. Por otro lado, es fundamental una unidad de control necesaria para hacer que todos estos componentes trabajen conjuntamente, y ello es posible apreciarlo en las diferentes configuraciones mostradas en la figura 3. El Sistema híbrido en paralelo posee un motor de combustión interna más pequeño que el de un vehículo convencional, es un motor un poco diferente y más costoso que el convencional, debido a que posee otra tecnología distinta a la del sistema híbrido en serie. Al igual que en los sistemas híbridos serie, las baterías pueden ser recargadas a través del sistema de freno regenerativo, en este sistema el paquete de baterías es más pequeño, por lo que gran parte de la recarga se realiza mediante esa vía [18], [20].
- Sistema serie-paralelo: En este caso, el sistema en sí aprovecha los motores eléctricos de bajo consumo cuando el coche funciona en el rango de baja velocidad, y pide a los motores de combustión cuando el vehículo funcione en el rango de velocidad más alta. En conclusión, el sistema puede llegar a controlar ambas fuentes, tanto el motor de combustión interna como el motor eléctrico, proporcionando así un rango de operación óptima para cualquier condición de manejo. Los componentes básicos del sistema son los motores eléctricos, el motor de combustión, el generador, el dispositivo repartidor de potencia y la unidad de control de potencia o también llamado inversor/convertidor. En el caso del reparto de la potencia, el dispositivo transfiere parte de la energía producida por el motor de combustión interna para generar el movimiento de las

ruedas, y el resto de la energía es enviada al generador para suministrar energía eléctrica a los motores eléctricos o para enviarla a recargar la batería [21].

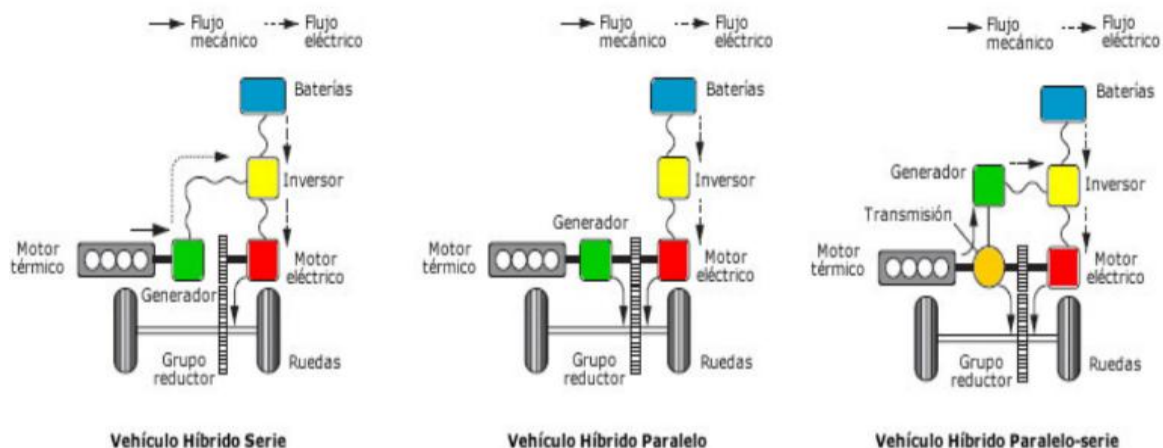


Figura 3. Sistemas de vehículos híbridos [15]

- Componentes de un sistema híbrido: está integrado por el motor de combustión interna, transeje híbrido, moto generadores MG1, MG2, (para el caso de los 4WD MGR), Inversor/conversor, batería de alta tensión y sistema freno regenerativo.

3.1.2. Características de los diferentes tipos de vehículos eléctricos:

- Vehículos eléctricos de autonomía extendida o Extended- (E-REV):
Estos vehículos son similares a los vehículos BEV, pero en este caso disponen de un motor de combustión interna solo para aportar gran cantidad de carga a la batería. Para viajes de hasta 80 km y el vehículo puede funcionar solo con electricidad, la batería se recarga mediante el motor de combustión interna o toma de corriente. Una vez que se agota la carga de la batería, el motor de combustión interna empieza a hacer funcionar un generador que suministra energía eléctrica para el proceso de recarga de la batería. La principal diferencia con un híbrido, el motor de combustión interna nunca proporciona potencia en forma directa a hacia las ruedas [16], [15].
- Vehículos paneles solares. Existen tres tipos de categoría de vehículos solares:
Los que pueden funcionar prácticamente con el sol, sin requerir baterías. Este tipo tiene el lógico inconveniente que si pasa por lugares con sombras o si se nubla se reduce en gran medida sus prestaciones o se detiene [22]. Los que usan los paneles para acumular energía en una o varias baterías y el motor se alimenta de ellas, los paneles aportan una gran parte de la energía que se requiere para su funcionamiento [23]. Existen vehículos eléctricos que llevan un pequeño panel, capaz de mantener la batería o efectuar pequeñas recargas o no llevan panel y básicamente son cargados en la red eléctrica. Se consideran vehículos solares a los que presentan una instalación de energía solar para proporcionar la energía necesaria. Esta instalación puede ser autónoma (con baterías) o con conexión a la red eléctrica, que es más eficiente. De esta forma, aunque no coincidan los momentos de mayor radiación con las horas de recarga del vehículo se puede realizar el balance energético. En esta categoría se encuentran los vehículos diseñados hoy para lograr sus bajos costos y un desarrollo sencillo [24]. En la figura 5 se muestra ejemplo de estación de carga con sistema fotovoltaico.
- Vehículos de Hidrógeno:
- A la celda de combustible se le inyecta el gas hidrógeno por un conducto, y el oxígeno o aire por otro; estos dos gases entran a la celda y mediante reacciones electroquímicas, donde una parte se

convierte en vapor de agua o agua caliente y la otra en energía eléctrica. La energía eléctrica se va a una batería pequeña en forma directa, como en todos los automóviles, para el arranque; pero la celda de combustible provee la energía y potencia necesarias para mover el o los motores eléctricos, que pueden estar, gracias a la flexibilidad del motor, en cada una de las ruedas traseras o en las cuatro ruedas. Aparte, desde luego, se tiene un tanque en el que vamos a llevar el hidrógeno a alta presión para que el automóvil tenga un suficiente alcance [25]. En relación al peso, el problema se debe a los tanques de almacenamiento y no al propio hidrógeno. Es posible que estos sistemas mejoren en el futuro, pero no es probable que lleguen a ofrecer las mismas prestaciones que un depósito de gasolina [26].

3.1.3. Conexión de Vehículos Eléctricos a la red eléctrica, V2G.

Esta tecnología permite que los vehículos puedan almacenar energía en las horas de baja demanda y recuperar electricidad en las horas pico, mediante las baterías, es decir en las horas valle las baterías se cargan, tomando en cuenta que el kWh es más económico y pueden suministrar energía a la red en las horas de alta demanda cuando el costo del Kwh aumenta [27], [28]. La figura 4 representa el diagrama de flujo asociado al consumo de energía en su recorrido por kilómetro en función de la velocidad para un automóvil compacto moderno.

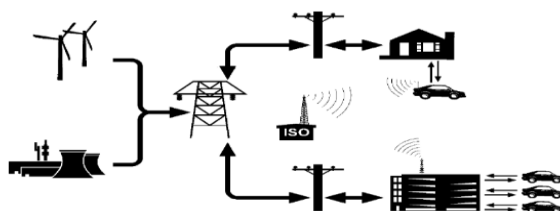


Figura 4. Diagrama esquemático del consumo de energía, como función de la velocidad para un automóvil compacto moderno [29].

Es importante mencionar que para el V2G existen principalmente cuatro mercados importantes:

1. Carga base (activa la mayor parte del tiempo)
2. Peak (energía usada en periodos de demandas pico)
3. Reservas de giro (entregada por generadores en caso de fallas en la red)
4. Regulación (mantenimiento de voltaje y frecuencia de red estable)

Hay que tener en cuenta que en las dos primeras formas de carga, se paga por kWh generado y las dos últimas por la capacidad que exista disponible [30]. Esta tecnología se encuentra en constante desarrollo, aún así ya fue implementada por primera vez por Nissan, Enel y Nuvve, en Dinamarca desde el 31 de agosto del 2016, teniendo en cuenta que es un sistema totalmente comercial [12]. El surgimiento de las redes inteligentes de la actualidad, también han dado paso a la recarga inteligente que es mostrada en la figura 5, donde se combinan diferentes fuentes de energía para mejorar costos y reducir el impacto ambiental.

3.2. Eficiencia energética en motores

La eficiencia en motores para un determinado medio de transporte, considera como este realiza el mismo trabajo o lo mejora en relación a los motores a base de combustibles fósiles, con la diferencia de consumir menos energía [31].

La relación de la eficiencia de un motor eléctrico con uno de combustión interna es cuatro a uno, esto está ligado a sus componentes, fundamentalmente en las baterías [21] y desde el punto de vista del

medio ambiente, quiere decir que se ha reducido en esta misma proporción la emanación de CO₂. El enfoque de los conceptos de la eficiencia del motor eléctrico, de acuerdo a [32] se indica que el rendimiento del motor eléctrico se lo valida mediante un laboratorio acreditado. Adicionalmente la eficiencia en los vehículos eléctricos se denota en la reducción de ruido producido por el motor, en estudios realizados se ha determinado que esta reducción de decibeles producido por el motor, se da a partir de los 50 Km/h [29]. Para la eficiencia energética de los vehículos se debe tomar en cuenta las pérdidas a las que están expuestas, como la pérdida de energía en ruta que está relacionada con la fricción del aire y la fricción de rodamiento; lo que se puede contrarrestar mediante un diseño aerodinámico adecuado y con la utilización de neumáticos de baja resistencia de rodadura con la presión adecuada [17]. La velocidad representa un elemento importante en el consumo de energía y ello lo podemos apreciar en la figura 6 que refleja el crecimiento del consumo en función de la velocidad en los autos modernos.

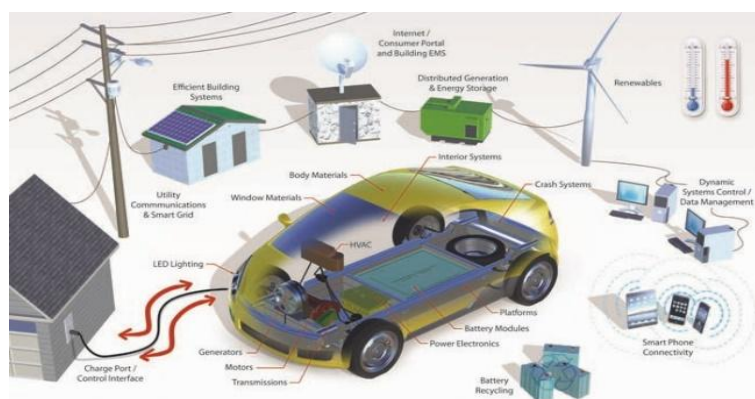


Figura 5. Esquema de Recarga inteligente V2G.

En [30] se señala que la eficiencia de la combustión interna del motor, actualmente está alrededor del 20% y con la incorporación de nuevas tecnologías y componentes, puede alcanzar del 30% a 40%, no obstante la eficiencia del motor eléctrico puede ser de 90% actualmente, y en función del avance tecnológico podría llegar a 98%. Por otra parte, en [33] se analiza el tema de los principales materiales requeridos en las baterías para mejorar su eficiencia, entre ellos se encuentra litio, níquel y cobalto, que generan una minería en territorio como elemento en contra en cuanto al medio ambiente, debido a los procesos extractivos requeridos. El esquema de la cadena energética relativa al vehículo eléctrico se basa en la denominación de los rendimientos de sus componentes, es así que se tiene el sistema mixto generador (η_g), transporte de distribución (η_t), convertidor electrónico y batería ($\eta_c * \eta_b$), motor eléctrico (η_m), sistema mecánico del vehículo ($\eta_{mec} = 80\%$). y con estos elementos se expresa el rendimiento representativo de la eficiencia energética para vehículos. En países como España producto del avance tecnológico [34] se construyen motores de alta eficiencia con rendimiento del 90 % que supera el 87.4 % de rendimiento del motor estándar. Mientras que los motores Premium logran valores de eficiencia superiores al 90 %.

3.3. Aplicaciones actuales del motor eléctrico en los sistemas de transporte

En los últimos años la demanda de petróleo ha venido en aumento en el sector transporte, lo que ha generado gran dependencia de este recurso con el aumento exponencial del parque automotor en el mundo [1]. En la actualidad, los países desarrollados y miembros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, están haciendo esfuerzos para crear políticas de apoyo y fomento a la masificación de vehículos eléctricos, que permitan mejorar la eficiencia energética, la

reducción de emisiones de CO₂ y fortalecer la independencia energética del exterior. Estados Unidos ha sido el pionero en esta materia con la Zero Emission Vehicle Mandatory (1990) donde se debe garantizar vehículos con emisiones de 0 g de CO₂. General Motors, Toyota, Tesla y BYD entre otras empresas chinas, comercializan hoy vehículos totalmente eléctricos de forma significativa y en la actualidad casi todos los fabricantes de autos han incluido en sus líneas de producción los vehículos eléctricos. A nivel mundial, Estados Unidos, Europa, Japón y China son los que más se han destacado en adoptar estas líneas.

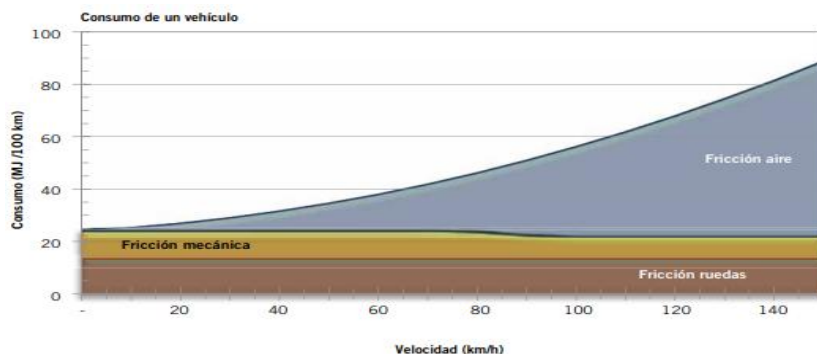


Figura 6. Comportamiento del consumo de energía en función de la velocidad para un automóvil compacto moderno. [16]

Las estimaciones en la venta de vehículos eléctricos en el mundo para el 2020 estaban alrededor del 10 %, mientras que fuentes como Standard & Poors, aseguran que en el 2025 la venta de autos eléctricos debe ser al menos un 30% a nivel global y con ello el auto eléctrico estará representando un 16.7% del mercado automotriz.

3.3.1. Aplicabilidad de motores eléctricos en sistemas de transporte en Ecuador

Uno de los más importantes usos de energía en el Ecuador está relacionado con el transporte, ya que es un servicio esencial para el desarrollo económico del país, sin embargo, tiene efectos negativos por el impacto ambiental que aporta a nivel local y global. El transporte está asociado directamente a las emisiones de gases de efecto invernadero ya que más del 60% del consumo global de petróleo es usado en transporte [35]. El Ecuador ha invertido más de 4,2 mil millones de dólares desde el año 2007, con el objetivo de obtener más del 95% de su electricidad, que es generada por plantas hidroeléctricas. Una vez instalada, la producción de energía a través de hidroeléctricas, esta resulta barata y no depende de los combustibles fósiles. Por lo tanto, podría decirse que es de interés para el país hacer una transición de la demanda de energía de los combustibles fósiles a la eléctrica en el transporte [32].

En el año 2010 Ecuador presentó un consumo anual de 74 MBEP, de ellos 41.44 MBEP que representan el 56%, fue utilizado en el sector transporte. Donde el 14% del consumo en el sector transporte está distribuido entre los sectores de navegación, aéreo y ferroviario, mientras que el 86% del consumo se concentra en el transporte automotor. Los camiones de carga pesada llegan a representar un 11%, pero constituyen el 45.7% del consumo total. El sector ferroviario del Ecuador por estar enfocado fundamentalmente al turismo y presentar una baja demanda no tiene un consumo representativo ya que en la actualidad no está operativo. Este escenario nos indica claramente que el transporte de carga en el sector terrestre representa el rubro de mayor consumo en el país. Esto pone de manifiesto la importancia de implementar medidas de eficiencia energética y la transición del transporte para reducir las emisiones



de gases de efecto invernadero, como la sustitución de combustibles fósiles por electricidad a partir de las fuentes renovables [31].

El vehículo eléctrico es una nueva forma de movilidad en el Ecuador y su repercusión en el medio ambiente es algo que se debe abordar de forma multidimensional, ya que en la construcción de baterías eficientes se requieren recursos naturales limitados como el litio y el cobalto, que generan una minería de impacto al medio, por otra parte, se necesitan políticas públicas acertadas que desempeñen un papel crucial en esta transición, donde será necesario que el gobierno implemente incentivos fiscales. [33] Dentro de las principales ciudades del país, Quito se caracteriza por ser un territorio alargado y delgado; con 80 km de largo y 5 km de ancho, que presenta una elevada afluencia de pasajeros diarios procedentes de los valles circundantes en la ciudad y se prevé que los viajes diarios del transporte público aumenten a 76.000 en el 2025 [31]. La ciudad cuenta con tres líneas de Tránsito Rápido de Bus (TRB) que abarcan el Norte-Sur de la ciudad a través de las rutas Central Norte, Corredor Central y Noreste a Sur-Este, existe un metro subterráneo de transporte masivo con capacidad de 377 mil pasajeros al día, que recorre alrededor de 22 km desde el sur de la ciudad en Quitumbe hasta El Labrador en el norte. Los trenes del metro operan con energía eléctrica, esto hace necesario un sistema eléctrico propio que es abastecido por la red de la Empresa Eléctrica Quito [33].

En la ciudad de Guayaquil también existe un sistema TRB llamado Metrovía, el cual cuenta con tres líneas: Troncal 1 (Guasmo – Río Daule) que transporta 2924,53 pasajeros por bus al día, Troncal 2 (25 de Julio – Río Daule) y Troncal 3 (Río Daule – Centro) que moviliza 2312,86 ciudadanos. En la localidad de Cuenca, existe un servicio de tranvía inaugurado en el año 2020, haciendo a la ciudad, pionera en la introducción de esta tecnología en la región Andina. Este sistema con 14 unidades puede transportar 300 pasajeros con una proyección diaria de 120 000 pasajeros. El siguiente paso es evaluar cómo se relaciona con la demanda potencial de energía durante una transición hacia los autos eléctricos en las tres ciudades más pobladas del país. Donde el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos plantea que el 48% de los vehículos que se encuentran en estas tres ciudades, podrían demandar 6.145,94 GWh de energía. El Ecuador en particular tiene un interés marcado en la transición al transporte eléctrico para poder reducir el principal consumo nacional de energía que se relaciona con la gasolina refinada importada [31].

Un elemento crítico dentro del transporte eléctrico, es el lugar de carga del vehículo, actualmente el 90% de los taxis eléctricos que existen en Loja realizan su carga en el domicilio, debido a la falta de electrolinerías, lo que provoca congestión entre los usuarios, generando problemas de autonomía y de recarga para los propietarios. En general, se concluye que los vehículos eléctricos producen un alto grado de beneficios al medio ambiente y a la sociedad, no obstante, aún presentan problemas, sobre todo en las piezas de repuesto de las unidades y la disponibilidad de políticas efectivas que posibiliten la distribución eficiente de energía para la implementación generalizada.

La transportación pública en la ciudad de Loja, como en muchas ciudades del país y el mundo, va creciendo con base a la demanda de la ciudadanía, sin embargo, esto trae inconvenientes con la emisión de gases de efecto invernadero, perjudicando la salud de la población y el ambiente. A pesar del crecimiento sostenido del parque automotor ecuatoriano y de la importancia económica del sector automotriz, la gran cantidad de vehículos tiene impactos negativos que se reflejan en la situación ambiental de varias ciudades. Así mismo, el uso de combustibles subsidiados tiene una importante repercusión en la economía nacional [36]. Es necesario considerar que el suministro de energía eléctrica en la actualidad en muchas provincias del país no está acondicionado para abastecer los requerimientos de carga rápida de las baterías de autos eléctricos [24]. El desarrollo de nuevas tecnologías de



cargadores y baterías para vehículos eléctricos en la actualidad, se ha revolucionado para incrementar el kilometraje de autonomía y reducir el tiempo de carga de forma significativa a tiempos inferiores a los 40 minutos.

4. CONCLUSIONES

El previo conocimiento de los diferentes tipos de motores eléctricos, sus ventajas y desventajas son de gran importancia para su aplicación en las distintas clases de transporte o vehículos que utilizan la tecnología eléctrica como fuente de energía, donde el motor de inducción ha mostrado un mejor desempeño durante las diferentes evaluaciones realizadas.

Los sistemas eléctricos han tenido una importante evolución hasta llegar a los Smart Grid, gracias a la mejora continua de las tecnologías, la instrumentación y la implementación de técnicas para su optimización. Donde la generación distribuida y el uso de las energías alternativas han sido un factor importante en el empeño por lograr una disminución de la contaminación del medio ambiente y la sostenibilidad energética para lograr un sistema de transporte ecológicamente sostenible. En los países donde más se impulsa la tecnología del vehículo eléctrico existe un mayor interés por desarrollar el uso del modelo V2G acompañado del uso de las energías renovables con sistema de almacenamiento y la entrega de energía a la red sobre todo en el horario pico. La implementación de sistemas de transporte eléctrico favorece no solo en el tema ambiental, por la conservación de recursos no renovables, y evitar la generación de gases de efectos invernadero originados por la quema de combustibles fósiles, sino que tienen ventajas económicas significativas. En nuestro país esto nos favorece aún más al dirigirnos por esta línea, ya que contamos con generación de electricidad a través de centrales hidroeléctricas.

Desde el punto de vista medio ambiental, se señala que la comparación del motor eléctrico con el de combustión interna en cuanto a las emisiones de CO₂, es una relación de cuatro a uno, además esta transformación del transporte favorece no solo el tema ambiental por la conservación de recursos no renovables, y evitar la generación de gases de efectos invernadero, sino que tiene ventajas económicas significativas. Sin embargo la transición al vehículo eléctrico es un proceso complejo que requiere un enfoque multidimensional, atendiendo a que la minería de algunos componentes requeridos en su construcción (como es el litio, níquel y cobalto) genera impactos negativos sobre el medio. También el diseño eficiente de un vehículo, debe considerar entre sus principales características, la reducción de pérdidas a fin de obtener un mejor aprovechamiento del medio de transporte y el rendimiento del motor, que en ocasiones se ve afectado por la aplicación de sistemas mixtos con generadores, convertidores y sistema de almacenamiento.

Bibliografía

- [1] B. M. Quintana, «Modelo de masificación de vehículos eléctricos en Bogotá D.C.» Tesis de maestría, Dep. Ing. Eléctrica y Electrónica, Uni. Nac. Colombia, Bogotá, 2014.
- [2] F. Moreno, «Vehículos Eléctricos. Historia, Estado Actual Y Retos,» de *2nd Pan-American Interdisciplinary Conference*, Buenos Aires, 2016.
- [3] M. Freyssenet, «Lo más dudoso no es lo más improbable: el coche eléctrico. La nueva revolución del automóvil,» *Jorn. Int. "Movilidad Sosten. y Veh. eléctrico, el Mot. la innovación Soc.*, 2011.



- [4] Renault, «Tecnología eléctrica y componentes del motor,» Renault, 2018. [En línea]. Available: <https://www.renault.es/electricos.html>.
- [5] Occident, «Tipos de motores eléctricos: ¿Cuáles son? ¿Cuáles son las averías más habituales?,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.occident.com/blog/tipos-funcionamiento-coche-electrico/>.
- [6] J. Picardo y A. Prieto, «Vehículo Eléctrico de Producción Nacional,» Bueno Aires, 2012.
- [7] M. Suarez, «Revisión bibliográfica y caracterización de motores para vehículos,» 2017.
- [8] C. Verucchi, G. Bossio, G. Garcia y C. Ruschetti, «Algunas pautas para la selección de motores de propulsión en vehículos eléctricos,» de *XII Reunión en Procesamiento de la Información y Control (RPIC'07)*, 2007.
- [9] A. C. Espinosa, D. A. Ordóñez, A. Nieto, W. Wills, G. Romero, S. Calderón, G. Hernández, R. Argüello y R. Delgado, «Evaluación económica de los compromisos de Colombia en el marco de COP21 Vol. 1 Economic Evaluation of Colombia's Commitment at COP21,» vol. 79, pp. 15–54, 2017. <https://doi.org/10.13043/dys.79.1>,» de *Rev. Desarrollo y Sociedad*, 2017.
- [10] J. Santamarta, «Las energías renovables son el futuro,» *WORLD•WATCH*, vol. 22, pp. 34-40, 2004.
- [11] C. Paipa, J. Ramirez, C. Trujillo, J. Alarcón y A. Jaramillo, «Diseño de cargador de baterías con baja distorsión armónica de corriente para aplicación en vehículos eléctricos,» *Ingeniare. Rev. Chil. Ing. Arica*, vol. 28, n° 4, 2020.
- [12] A. Hincapie, E. D. Andrés y B. Cortázar, «Masivo trolleybus risk and insurance assesment for a trolleybus,» vol. 9, n° 1, pp. 44-56, 2015.
- [13] M. W. D. R. (H.-d. S. I. E. W. M. W. D. R. (Ecker W., *Hardware-dependent Software*, Springer, Dordrecht, 2009.
- [14] R. Schafhauser y J. Afonso, «Un análisis sobre la posibilidad de uso de los motores electricos en aeronaves comerciales,» *Rev. bras. Av. civil. ci. Aeron.*, vol. 1, n° 2, pp. 112-141, 2021.
- [15] F. Q. Morales, G. M. A. B. Graniel, E. Peralta y J. Guerrero, «Simulation "Hartware in the loop" del control de velocidsd de un vehículo con motores de imna permanente,» *Pistas Educativas*, n° 120, pp. 533-551, 2016.
- [16] I. Nicole, G. Ungureanu, L. Acqualagna, R. Strungaru y B. Blankertz, «Spectral perturbations reflect the depth of cognitive processing for brain-computer interface systems,» de *E-Health and Bioengineering Conference (EHB)*, Lasi, Rumania, 2015.
- [17] S. Hardman, E. Shiu y S. Steinberger, «Changing the fate of Fuel Cell Vehicles: Can lessons be learnt from Tesla Motors?,» *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 40, n° 4, pp. 1625-1638, 2015.
- [18] C. C. Monroy, C. A. Siachoque, I. C. Duran y A. R. Marulanda, «Estudio Comparativo de un Sistema de Freno Regenerativo y Regeneración con Energía Cinética Constante en Vehículos Eléctricos de Batería,» *Ingeniería*, vol. 25, n° 3, pp. 11-, 2020.
- [19] J. E. C. Delgado, E. C. Bravo y S. O. Arango, «Una Propuesta Metodológica para Dimensionar el Impacto de los Vehículos Eléctricos sobre la Red Eléctrica,» *Ingeniería*, vol. 21, n° 2, pp. 154-175, 2016.



- [20] J. E. C. Delgado, E. C. Bravo y S. Ospina Arango, «Una Propuesta Metodológica para Dimensionar el Impacto de los Vehículos Eléctricos sobre la Red Eléctrica,» *Ingeniería*, vol. 21, n° 2, pp. 154-175, 2016.
- [21] C. Gonzalez, R. V. C. Ponce y D. Atayde, «Selección de un sistema solar fotovoltaico para un vehículo eléctrico,» *CULCyT*, vol. 50, n° Esp. 2, pp. 11-26, 2013.
- [22] E. P. Carreño, E. Vacca y I. Lugo, «Diseño y fabricación de un vehículo autónomo impulsado por energía solar 2012.,» *Rev. Tecnura*, vol. 16, n° 32, p. 91–106, 2012.
- [23] A. Moreno, J. Ruiz y D. Borja, «Automóviles impulsados por energía solar: una revisión,» *IISTCT / Revista Investigación Tecnológica*, vol. 2, n° 2, pp. 31-39, 2020.
- [24] J. Alonso, «El hidrógeno: un combustible para el futuro,» *Rev. Española de Física*, vol. 38, n° 2, 2024.
- [25] S. Das, P. Acharjee y A. Bhattacharya, «Charging Scheduling of Electric Vehicle Incorporating Grid-to-Vehicle and Vehicle-to-Grid Technology Considering in Smart Grid Iarch-,» *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 57, n° 2, pp. 688-1702, 2021.
- [26] C. Rodríguez, C. Vidal, M. Díaz, E. Contreras y I. R. G. Guggisberg, «An Overview of Challenges and Benefits Associated to the Development of Vehicle to Grid Technology,» de *IEEE Chilean Conference on Electrical, Electronics Engineering, Informati*, Valparaiso, 2021.
- [27] W. K. a. J. Tomic, «Vehicle-to-grid power fundamentals: Calculating capacity and net revenue,» *J. Power Sources*, vol. 144, n° 1, p. 268–279, 2005.
- [28] A. Osvaldo, P. Castro y P. Rodríguez, «Prospectiva sobre la integración energética de sistemas de generación distribuida y vehículos eléctricos en Mendoza, Argentina,» *RECIAMUC*, vol. 7, n° 2, pp. 375-389, 2023.
- [29] M. Rafael-Morales, J. C. D. Gortari y A. L. Guzmán, «Eficiencia Energetica Del Tren Motriz De Vehiculos Pesados Con Reduccion De CO2,» de *Memorias del XVI Congreso internacional anual de la SOMIM*, Monterrey, Mexico, 2010.
- [30] J. A. Bombon, N. R. Z. M. F. Murillo y M. Toapanta, «Análisis de Eficiencia Eléctrica en motores de 3/4 Hp con bobinado de cobre y aluminio: Analysis of electrical efficiency in 3/4 Hp motors with copper and aluminum windings". Científica Multidisciplinar,» *G-nerando*, vol. 5, n° 1, p. 351–360, 2024.
- [31] F. Izurieta, A. Corral y V. Guayanlema, «Assessment opportunities for energy efficiency in Ecuadorian road transport,» *Dyna*, vol. 84, n° 200, pp. 309-315, 2017.
- [32] M. Maks, «Más allá del petróleo: Una mirada al impacto de los autos eléctricos en las tres principales ciudades de Ecuador,» vol. 6, n° 10, pp. 151-158, 2017.
- [33] M. Jurado, J. Marín, F. Pérez, H. Arcos y F. Quilumba, «Análisis del Sistema Metro de Quito y su impacto en la Red de la Empresa Eléctrica Quito,» *Energía*, n° 13, pp. 15-25, 2017.
- [34] R. Bargalló, J. Llaverías y H. Martín, «El vehículo eléctrico y la eficiencia energética global,» 2010.
- [35] H. Ritchie, «Automóviles, aviones, trenes: ¿de dónde provienen las emisiones de CO₂ del transporte?,» 2020.
- [36] A. M. I. Puig, Z. Vicuña, G. Córdova y P. Álvarez, «SUBSIDIOS A LOS COMBUSTIBLES FÓSILES EN ECUADOR: Diagnosis y Opciones para su Progresiva Reducción,» *RevistaIberoamericana de Economía Ecológica*, vol. 28, n° 1, pp. 87-106, 2018.

