

Diseño del Sistema Motriz para un Vehículo Eléctrico

De Vos, Francisco A.^{a,*}; Denokhade, Sonia P.^a; Gelhorn, Jonhatan A.^a; Romero, Alejandro D.^a; Cabral, Roberto J.^{a,b}; Oliveira, Mario O.^{a,b}

^a Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.

^b Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Energía Eléctrica - LIDEE, FI-UNaM, Oberá, Misiones, Argentina.

e-mails: franciscodevos@gmail.com, sonia.denokhade@gmail.com, jonhatan.a.gelhorn@gmail.com, alejandroromero1741@gmail.com, robert_rjc@hotmail.com, ingenioli@gmail.com

Resumen

Este artículo presenta el diseño, cálculo y selección de componentes del sistema motriz para un vehículo eléctrico. El sistema motriz incluye tanto la selección del motor eléctrico como del banco de baterías donde se consideraron varias alternativas, tanto de diferentes tensiones del motor como de capacidades de batería y siempre teniendo en cuenta el peso del conjunto que aportarán al peso total del vehículo. Este trabajo se desarrolló dentro de la cátedra de Proyecto Electromecánico II de la carrera de Ingeniería Electromecánica, y representa una parte del diseño completo de un vehículo eléctrico realizado por otros equipos de trabajo. Para el diseño del sistema motriz se tuvo principal consideración a las normas y leyes que rigen en la República Argentina tanto para su fabricación como para su circulación y además se consideró que el vehículo será utilizado en la ciudad de Oberá, provincia de Misiones, la cual tiene un relieve caracterizado por la gran cantidad de pendientes del terreno. En este sentido, se calculó la potencia que requerirá aportar el motor eléctrico para cada tipo de situación de marcha del vehículo, y así se seleccionó el sistema más adecuado.

Palabras Clave – Vehículo eléctrico, Banco de baterías, Sistema motriz, Motor eléctrico.

1. Introducción

En los últimos tiempos hubo un gran avance en el desarrollo de vehículos eléctricos, lo que lleva a que muchas empresas automotrices ofrezcan uno o más modelos en su gama y las que no lo tienen seguramente lo tendrán en un futuro cercano. En Argentina, se encuentran radicadas tres empresas fabricantes de vehículos puramente eléctricos: el modelo TITO producido en la provincia de San Luis por el grupo CORADIR [1], el modelo VOLT producido en la provincia de Córdoba por el grupo PARODI [2], y el modelo SERO en la provincia de Buenos Aires producido por la empresa SEROELECTRIC [3]. El vehículo eléctrico será sin dudas, a largo plazo, el futuro de la movilidad debido a que con la tecnología existente se logra un funcionamiento silencioso y al no utilizar combustible de origen fósil no genera dióxido de carbono, lo cual quiere decir que su nivel de contaminación ambiental es muy bajo. Desde los inicios del vehículo eléctrico a fines del siglo XIX, la principal preocupación de los investigadores no era ni ambiental ni económica, sino más bien, se pensaba en su autonomía, y a pesar de los constantes avances en la tecnología de fabricación este problema persiste en la actualidad [4]. La importancia de implementar este tipo de tecnologías en la red de transporte del país y sobre todo en el ámbito urbano se da principalmente en el aspecto ambiental debido a su bajo impacto con respecto a su

*Autor en correspondencia.

contraparte (el motor de combustión interna). Además, permite seguir innovando en el desarrollo tecnológico para el mejor aprovechamiento de los recursos renovables.

En este trabajo se tiene como objetivo diseñar un sistema motriz para un vehículo eléctrico que atienda las irregularidades del relieve de la ciudad de Oberá, buscando además que se tenga una buena eficacia y eficiencia con el menor costo económico posible. En términos de eficiencia energética el vehículo eléctrico presenta más del doble frente al del motor de combustión interna tradicional [5]. El proyecto mejoraría la calidad de aire y la disminución de ruido en las carreteras y ciudades, contribuyendo a una mejora continua en la calidad de vida de los seres humanos y animales. El sistema motriz seleccionado consta de un motor trifásico tipo jaula de ardilla cuyo comportamiento posee la particularidad que permite al sistema de control variar la curva torque-potencia en función de la velocidad del rotor. De esta forma se evita el uso de una caja de transmisión de velocidades utilizada por los vehículos de combustión interna convencional nafta/diésel. El suministro de energía eléctrica de dicho motor es por medio de un banco de baterías con tecnología de litio-ion, cuya principal ventaja, frente a las que posee las baterías de plomo-acido, es su elevada relación capacidad/peso. De esta manera el conjunto motor/batería simplifica el mantenimiento, reduce el peso total del vehículo, y aumenta la autonomía final del automóvil. En particular para este proyecto se buscó que el vehículo eléctrico logre una autonomía de entre 40 km y 100 km, transportando una carga de 250 kg contemplando dos ocupantes y su equipaje, desarrollando una velocidad de acuerdo al uso urbano.

2. Estudio del Estado del Arte

2.1 Motor eléctrico

El motor es uno de los principales componentes del vehículo eléctrico y que influye directamente en su desempeño. Según como estén alimentados los motores que se utilizan en los vehículos eléctricos se los clasifica en dos tipos: el motor de Corriente Alterna (CA) que cuentan con un inversor el cual es el encargado de convertir la corriente continua proveniente de la batería a corriente alterna, y los de Corriente Continua (CC) que se alimentan directamente de la batería principal.

Dentro del grupo de los motores de CC, los que se utilizan en algunos modelos de vehículos eléctricos son: tipo serie, shunt, excitado separadamente. Estos motores se han utilizado tradicionalmente en los vehículos eléctricos pero la principal desventaja es el mantenimiento que demanda los conmutadores y escobillas.

Por otro lado, los motores de CA han avanzado tecnológicamente y mejoraron sus características en relación a los de CC presentando entre otras ventajas una mayor confiabilidad. Los más usados en tracción eléctrica son los de inducción y de imán permanente [6].

2.1.1 Motores asíncronos o de inducción

La principal característica de este motor es que el giro del rotor no se corresponde con la velocidad de giro del campo magnético producido por el estator. El motor está formado por un rotor que puede ser jaula de ardilla o rotor bobinado y un estator [7], cuyas ventajas son: bajo costo, poco ruido, bajas vibraciones, confiable y de elevada eficiencia.

2.1.2 Motores síncronos de imanes permanentes

La principal característica es que, tras haber sido magnetizados, retienen sus líneas de flujo. Estos motores no requieren de excitación externa, ni escobillas para generar el campo magnético en el rotor [7]. Pueden ser nombradas las siguientes ventajas: alto rendimiento, fácil control de velocidad, poco peso y tamaño, compactos, de diseño sencillo, pueden ser de flujo radial o axial.

La mayoría de los vehículos eléctricos están fabricados con motores síncronos, pero los fabricantes apuestan a desarrollar sus propios motores. Cada marca busca optimizar sus prestaciones utilizando para ello materiales ligeros, buscando nuevas alternativas de metales, con el objetivo de reducir costos debido a que los minerales indispensables en el desarrollo de electroimanes están cada vez más caros y escasos [8]. Para el Model 3, Tesla optó por motores con imanes permanentes, en cuanto que el Model X y Model S utilizan motores de inducción con electroimanes [9].

Tabla 1: Tipos de motores utilizados en vehículos eléctricos.

Vehículo	Motor eléctrico
Tito	*
Volt	*
Zero	*
Model 3	Imán permanente
Model X	Inducción
Model S	Inducción

**el fabricante no brinda suficiente información de la tecnología utilizada en sus vehículos.*

2.2 Baterías

Las baterías, son las encargadas de almacenar la energía eléctrica y proveer al motor de la misma para mantenerlo encendido e impulsarlo. A continuación, se describen algunos de los sucesos cronológicos y descubrimientos más importantes con respecto a su avance tecnológico.

En 1936, fueron descubiertas unas vasijas que contenían unos cilindros de cobre junto con una barra de hierro. Debido al óxido encontrado en las varillas, los investigadores concluyeron que se trataba de una especie de batería utilizada en la producción de joyas [10].

Por otro lado, la pila de volta estaba constituida por 3 discos apilados que medían aproximadamente 3 cm de diámetro y suministraba alrededor de 0,75V [8].

La pila Grove (1860), utilizada en las redes telegráficas de Estados Unidos, estaba compuesta por ánodo de platino y cátodo de cinc tratado con mercurio, y su rango de diferencia de potencial era entre 1,9 V a 2 V [9].

Planté (1960), construye el primer modelo de batería con aplicaciones en la industria automotriz que trata de las baterías de plomo-ácido con tecnología de celda húmeda. La diferencia principal con las dos antecesoras es que era recargable. Para conseguir una autonomía de 50 km con una velocidad punta de 70 km/h se necesitaban más de 400 kg de baterías de plomo-ácido y el periodo de recarga podía oscilar entre 8 y 10 horas [9].

Las baterías de Plomo Ácido (1970) fueron perfeccionándose con el paso de los años, reemplazándose las celdas húmedas por celdas de gel, producto de la mezcla entre el ácido sulfúrico y polvo de sílice, que en caso de accidente estas evitaban los derrames.

Las baterías AGM (1980), poseen una malla de fibra de vidrio absorbente que a diferencia de las anteriores aquí la sílice no se mezcla con el ácido para formar el gel. Este tipo de baterías aporta mayor potencia y vida útil [9].

El avance en la tecnología de la batería le permitió a vehículo eléctrico *Anderson Electric Car* alcanzar 129 km a una velocidad máxima de 32 km/h. Disponía de una densidad energética de unos 30 Wh/litro y un rango de energía específica de unos 20 a 25 Wh/kg [9].

Actualmente, la mayoría de los fabricantes apuestan en la tecnología de las baterías de litio, de iones o polímeros, con sus diferentes químicas de ánodo, cátodo y electrolito. Se impone en el mercado como la mejor opción en cuanto a sus prestaciones y relación peso, volumen, capacidad, durabilidad y precio [10].

En la Tabla 2 se presenta una comparativa de tecnologías entre las baterías actuales plomo-ácido vs. ion-litio disponibles en el mercado.

La tecnología en la fabricación de baterías avanza rápidamente, llevando a mejoras en diferentes características de las mismas. En este sentido, la

Tabla 3; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** presenta la evolución en términos de densidad energética para diferentes tipos de baterías.

Tabla 2: Tabla comparativa entre las baterías de plomo-ácido y las baterías de ion-litio [8].

Batería	Baterías de plomo-ácido	Baterías de litio
Profundidad de carga [%]	50-70	80-100
Número de ciclos	2000-3000	4000-6000
Peso para una instalación de 20kw/día[kg]	1560	365
Garantía[años]	2-3	10
Caudal eléctrico en un periodo breve en 12min [%]	8	90
Posibilidad de conexión en paralelo	8	32
Carga de la batería	Lenta	Rápida
Eficiencia [%]	80-85	98
Apropiada para instalaciones	Autoconsumo y aislada	Autoconsumo
Resistencia a temperaturas inadecuadas	Moderada	Superior
Emissiones de gases	Leves	Nula
Mantenimiento	Periódico	Mínimo
Reparaciones	Usuario	Servicio técnico
Adecuada para grandes instalaciones [400kW-1MW]	Si	No
Válida para todas las instalaciones de 12-24V tradicionales	Si	No
Material de base	Abundante	Escaso
Reciclaje	Susceptible	Complejo
Costo de adquisición	Bajo	Elevado
Vida útil [años]	6-7	11-15

Tabla 3: Evolución de la densidad energética y otros parámetros en distintos tipos de baterías [12].

Tipo de batería recargable	Energía [Wh/kg]	Energía/volumen [Wh/litro]	Potencia/peso [W/kg]	Numero de ciclos	Eficiencia energética [%]
Zebra (NaNiCl)	125	300		1000	92,5
Polímero de litio	200	300	>3000	1000	90
Iones de litio	125	270	1800	1000	90
Níquel-Hidruro metálico (NiMH)	70	140-300	250-1000	1350	70
Níquel cadmio (NiCd)	60	50-150	150	1350	72,5
Plomo-acido	40	60-75	150	500	82,5

Procedimientos Metodológicos

3.1 Cálculo de la potencia mecánica

Para poder determinar la potencia del motor eléctrico requerido por el vehículo que se pretende mover, se debe conocer en primer lugar la potencia mecánica necesaria en el eje motriz. Para ello se utiliza la metodología de cálculo planteada en [13]. En esta metodología el peso total del vehículo se determina sumando todos aquellos elementos que deben ser impulsados por el sistema motriz, tales como los presentados en la siguiente ecuación:

$$W_T = W_c + W_B + W_m + W_e \text{ [kgf]} \quad (1)$$

donde: W_T es el peso total del vehículo en kgf; W_c es el peso de la carga a transportar en kgf; W_B es el peso del banco de baterías en kgf; W_m es el peso del motor eléctrico en kgf; W_e es el peso de la estructura, ejes, amortiguadores, etc. en kgf.

El peso total del vehículo W_T influye en el cálculo de la resistencia a la rodadura a través de la siguiente ecuación:

$$F_{Ro} = 9,81 * W_T * f \text{ [N]} \quad (2)$$

donde: F_{Ro} es la resistencia a la rodadura en kgf; $9,81$ factor de conversión expresado en N/kgf; W_T es el peso total del vehículo en kgf; f es el coeficiente de resistencia a la rodadura adimensional.

La resistencia al aire también es un factor importante y depende de cuestiones del diseño aerodinámico del vehículo y se calcula con la siguiente ecuación:

$$F_L = 0,0386 * \rho * c_w * A * v^2 \text{ [N]} \quad (3)$$

donde: F_L es la resistencia al aire en N; ρ es la densidad del aire expresado en kg/m^3 ; c_w es el coeficiente de resistencia del aire adimensional; A es la superficie transversal del vehículo en m^2 ; v es la velocidad de desplazamiento expresado en km/h.

La resistencia a la subida (plano inclinado) es un parámetro muy importante cuando el vehículo se diseña para circulación en ciudades con terrenos irregulares tales como los que presenta la ciudad de Oberá, Misiones y por ello se consideró en este proyecto. Su valor se calcula con la siguiente ecuación:

$$F_{St} = 9,81 * W_T * \text{sen } \alpha \text{ [N]} \quad (4)$$

donde: F_{St} es la resistencia a la subida en N; W_T es el peso total en kgf; α es el ángulo de inclinación de pendiente en $^\circ$.

Una vez determinadas las resistencias anteriormente descritas, se procede al cálculo de la resistencia total a la marcha a través de la siguiente ecuación:

$$F_W = F_{Ro} + F_L + F_{St} \text{ [N]} \quad (5)$$

donde: F_W es la resistencia total a la marcha en N; F_{Ro} es la resistencia a la rodadura en N; F_L es la resistencia al aire en N; F_{St} es la resistencia a la subida en N.

La potencia de la resistencia total a la marcha es aquella que el motor eléctrico debe vencer para que el vehículo pueda circular venciendo todas las resistencias consideradas. Esta potencia se determina de la siguiente forma:

$$P_W = \frac{F_W * v}{3600} \text{ [kW]} \quad (6)$$

donde: P_W es la potencia de la resistencia total a la marcha en kW; F_W es la resistencia total a la marcha en N; v es la velocidad de desplazamiento expresado en km/h.

Cabe aclarar que la resistencia total en marcha depende de varios factores como: el peso total del conjunto batería-motor, la resistencia a la rodadura, la resistencia al viento y la resistencia a la subida (donde se consideraron los distintos niveles de pendientes de la zona estudiada). Por otro lado, se consideraron distintos valores de velocidades a la cual circularía el vehículo para determinar la potencia requerida en distintas circunstancias.

3.2 Cálculo de la cantidad, capacidad y peso de las baterías

La cantidad de baterías en serie y en paralelo que se colocarán dependerá tanto del voltaje del motor eléctrico como de la autonomía que se requerirá, las mismas se calculan con las siguientes expresiones (7) y (8) según [14]:

$$N_{BS} = \frac{U_M}{u_B} \quad (7)$$

$$N_{BP} = \frac{C_E}{c_B * f_{RF}} \quad (8)$$

donde: N_{BS} es el número de baterías en serie adimensional, U_M es el voltaje nominal del motor en V, u_B es el voltaje nominal de cada batería en V, N_{BP} es el número de baterías en paralelo adimensional, C_E es la capacidad necesaria estimada en Ah, c_B es la capacidad nominal de cada batería en Ah y f_{RF} es el factor de régimen de funcionamiento adimensional.

Conociendo el número de baterías conectadas en serie y paralelo se puede determinar tanto la capacidad del banco de baterías, como el peso total del conjunto a través de [15]:

$$C_B = N_{BP} * c_B [Ah] \quad (9)$$

$$W_B = N_{BS} * N_{BP} * w_B [kgf] \quad (10)$$

donde: C_B es la capacidad del banco de baterías en Ah, w_B es el peso de cada batería en kgf y W_B es el peso del conjunto total de baterías en kgf.

Para este análisis se consideraron dos tipos de baterías, Plomo y Litio, debido a que en el primer caso se cuenta con mayor disponibilidad de modelos y proveedores locales y en el segundo caso el peso de la misma juega un factor fundamental en el diseño. Este análisis se presenta en la sección 4.

3.3 Cálculo de la autonomía teórica

Al igual que con los vehículos convencionales a combustión interna, aquí se puede realizar un cálculo estimativo de la autonomía que tendrá el vehículo eléctrico, aunque a fin de cuentas la misma será en base al uso diario que tenga el vehículo, el lugar y la velocidad a la que circule, ya que todos juntos determinan la cantidad de potencia y energía que se utiliza.

Para calcular la autonomía teórica, previamente se debe determinar la potencia eléctrica a suministrar por el motor, junto con su respectiva corriente en bornes y la corriente eficaz que representa el equivalente en corriente continua [16]. Luego, con la corriente eficaz se determina el tiempo estimado de autonomía que se tendría para cada situación [15] como se observa en la ecuación (11):

$$t_a = \frac{C_B}{I_{Ef}} [h] \quad (11)$$

donde: t_a es el tiempo de autonomía en h; C_B es la capacidad del banco de baterías en Ah; I_{Ef} es la corriente eficaz en A.

Para finalizar se realiza el producto entre el tiempo de autonomía y la velocidad para cada uno de los valores adoptados y así determinar la autonomía teórica [18]:

$$d_t = v * t_a [km] \quad (12)$$

donde: d_t es la autonomía en km; v es la velocidad de desplazamiento expresado en km/h; t_a es el tiempo de autonomía en h.

3. Resultados y Selección de Componentes

4.1 Análisis de alternativas del conjunto de baterías y motores

Dada la diversidad de tecnologías en baterías, inicialmente se realizó un análisis para utilizar baterías de plomo, que ofrecen una gran variedad de capacidades y pesos. Por otro lado, el uso de baterías de litio es interesante ya que, debido a su menor peso, en relación a las baterías de Plomo, su consideración en el diseño es influyente. Por ello, con ayuda de una planilla de cálculos se cargaron los siguientes datos de fabricantes para realizar una selección: capacidad, voltaje, peso. El análisis se realizó buscando que se logre un mínimo peso y mayor autonomía posible.

En la Tabla 4 y Tabla 5, se observan los tipos de motores y baterías respectivamente considerados para el análisis técnico. Vale resaltar que las características técnicas de los motores y baterías aquí presentados surgen de los cálculos realizados en función de los parámetros presentados en la sección 3.

Tabla 4: Tipos de motores.

Potencia [kW]	Tensión [V]
40	72
17	48
4	220

Tabla 5: Tipos de baterías.

Batería	Tensión [V]	Capacidad [Ah]
Plomo ácido	12	*
Litio-ferrofosfato	3,2	72

**Se aclara que la capacidad no es una sola, sino que se utilizó un catálogo [14] con varios niveles de capacidad para un mismo nivel de voltaje.*

Para poder comparar y determinar el conjunto motor/baterías más adecuado se resumieron la cantidad de baterías para cada configuración en la Tabla 6.

Tabla 6: Resumen de cantidad de baterías para cada motor.

Motor		Banco de baterías					
[kW]	[V]	Tipo	N° Paralelo	N° Serie	Total	Peso [kg]	Capacidad [Ah]
40	72	Plomo	2	6	12	485	272
		Litio	5	23	115	207	288
17	48	Plomo	2	4	8	214	176
		Litio	2	15	30	54	144
4	220	Plomo	1	19	19	195	28
		Litio	1	69	69	124	58

Se realizaron comparaciones de las tecnologías de litio y plomo como se observa en la Fig. 1 la cual muestra el peso total del conjunto de baterías para alimentar al respectivo motor eléctrico.

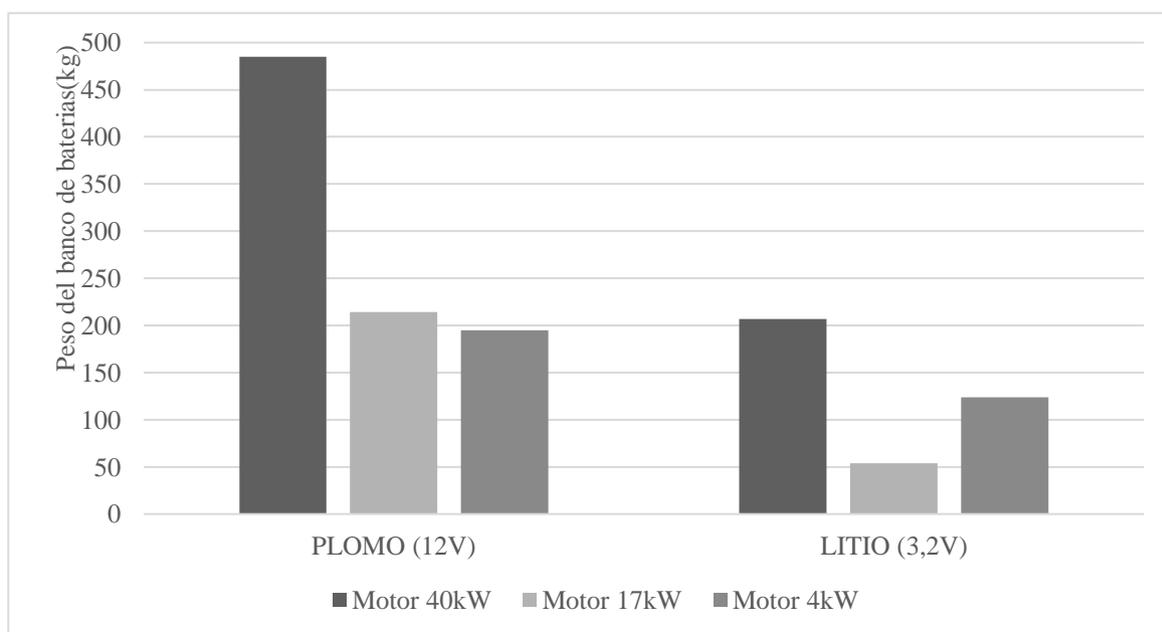


Fig. 1. Comparación de peso de conjunto de baterías y motores.

Se observa que el peso de las baterías de plomo es elevado frente a las baterías de litio, lo cual se traduce en decremento de las prestaciones finales del vehículo (autonomía, peso total, costo).

En la Fig. 1 se presenta las distintas combinaciones de conjunto batería/motores posibles de aplicar al vehículo eléctrico considerando una velocidad de 50 km/h y una pendiente de nivel de terreno de 0°.

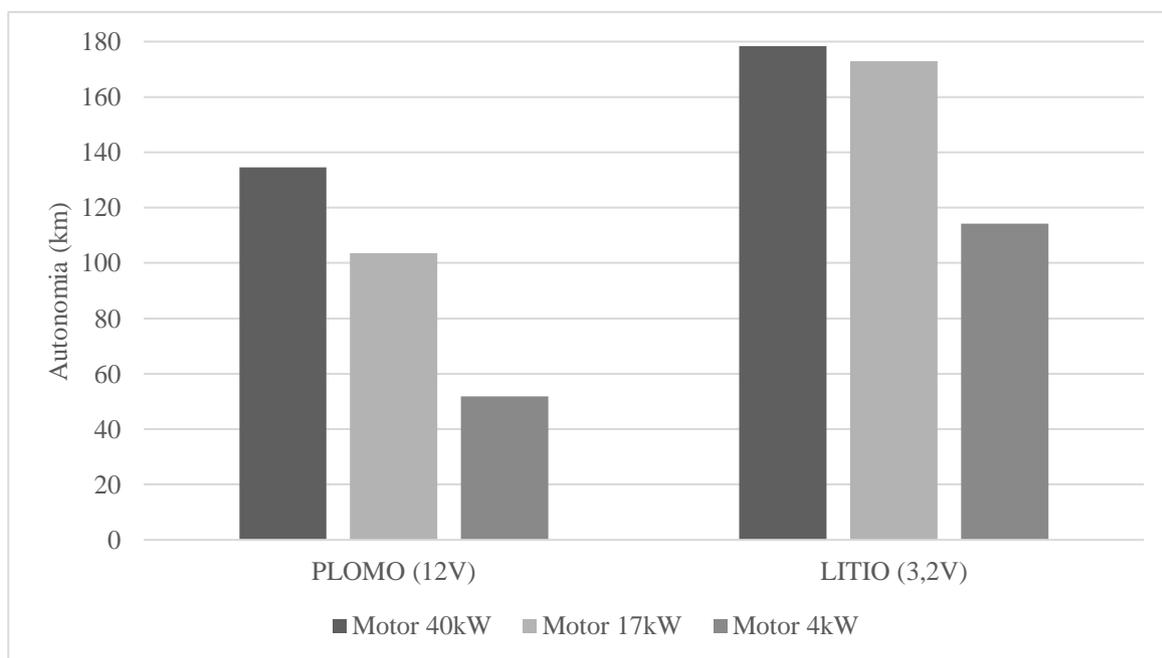


Fig. 1. Comparación de distintas autonomías de conjunto de baterías y motores.

En la comparación de las distintas autonomías el uso de baterías de litio proporciona una mayor autonomía final del vehículo debido a su elevada capacidad/peso frente a la de plomo ácido.

Para poder iniciar con el diseño del sistema motriz se tomó como referencia el motor más pequeño, en este caso el de 4 kW y el conjunto de baterías de plomo ácido que proporciona la mínima relación peso/capacidad. Las principales características de diseño del Vehículo Eléctrico (VE) se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7: Resumen de dimensiones y datos característicos del Vehículo Eléctrico (VE).

Motor 4kW y conjunto de baterías de plomo ácido					
Peso de carga	[kgf]	250	Coefficiente de resistencia a la rodadura		0,01
Peso de las baterías	[kgf]	195,13	Factor de conversión	[N/kgf]	9,81
Peso del motor eléctrico	[kgf]	23	Sección máxima transversal	[m ²]	1,66
Peso del VE sin baterías	[kgf]	500	Altura del VE	[m]	1,56
Peso total del VE	[kgf]	945,13	Largo del VE	[m]	2,7
Densidad del aire a 200 m SNM	[kg/m ³]	1,202	Ancho del VE	[m]	1,18
Coefficiente de resistencia al aire		0,3			

La Fig. 2 presenta la potencia eléctrica necesaria para distintos ángulos de pendientes considerando una velocidad constante de 50 km/h. Como se observa en dicha figura la potencia requerida para las pendientes de hasta 15° con una velocidad de 50 km/h son superiores a los 4 kW del motor elegido y el peso de estas baterías resulta excesivo y se vería reflejado en un decremento de la velocidad.

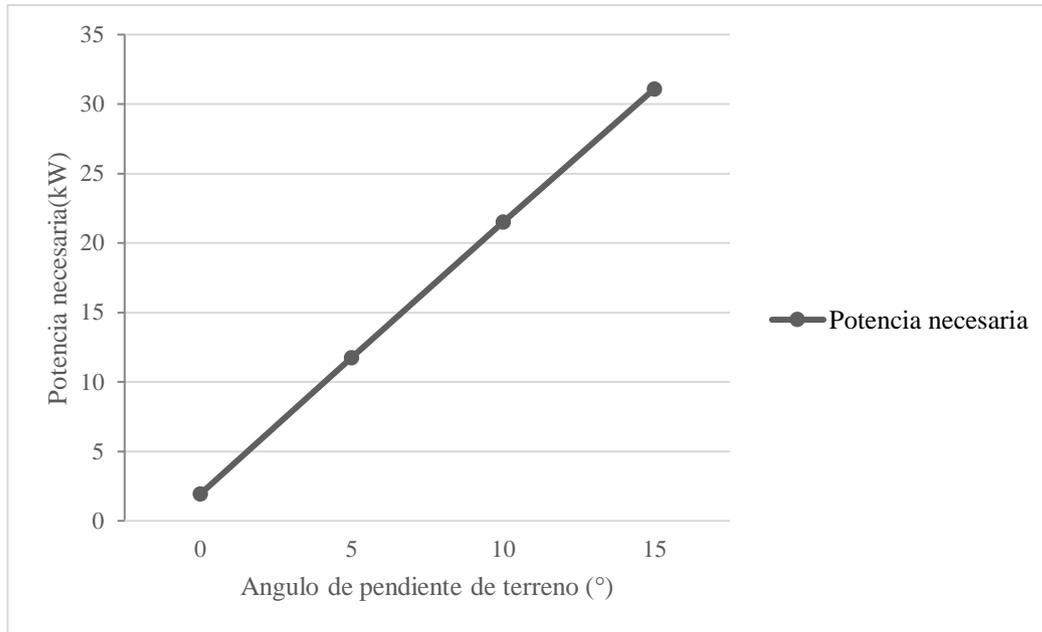


Fig. 2. Potencia necesaria a 50 km/h con motor 4 kW y conjunto de baterías de mínimo peso.

Una vez realizado los cálculos para todos los motores y las baterías se llevó a cabo una comparación entre las distintas combinaciones de potencia requerida por variación del ángulo de pendiente, y se determinó que se utilizará el motor de 17 kW con baterías de litio.

4.2 Análisis del conjunto batería y motor seleccionado

El motor seleccionado es el de 17 kW y el conjunto de baterías es de litio cuyas características se presentan a continuación en la Tabla 8.

Tabla 8: Características del conjunto de baterías de Litio.

Conjunto Baterías de Litio					
Velocidad máxima	[km/h]	50	Cantidad en serie		15
Autonomía objetivo	[km]	15	Cantidad en paralelo		2
Tiempo	[horas]	0,3	Cantidad total		30
Energía necesaria	[kWh]	5,1	Peso total	[kg]	54
Voltaje nominal	[V]	3,2	Capacidad máxima	[Ah]	144
Voltaje del motor	[V]	48	Régimen de funcionamiento	[%]	80
Capacidad necesaria	[Ah]	106,25	Factor de velocidad de descarga		1
Capacidad de batería	[Ah]	72	Capacidad ideal útil	[Ah]	144
Peso	[kg]	1,8			

Con los valores presentados en la Tabla 7 y Tabla 8 se calculó la potencia para distintas pendientes de terreno y diferentes velocidades. Los resultados se presentan en la Fig. 3 donde se observa que la máxima velocidad que podría alcanzar el vehículo con el motor de 17 kW en un terreno con pendiente de 15° es de aproximadamente 28 km/h, no cumpliendo con la velocidad mínima para avenidas (30km/h) establecida bajo Ley 24449 Artículos 51 y 52 [20].

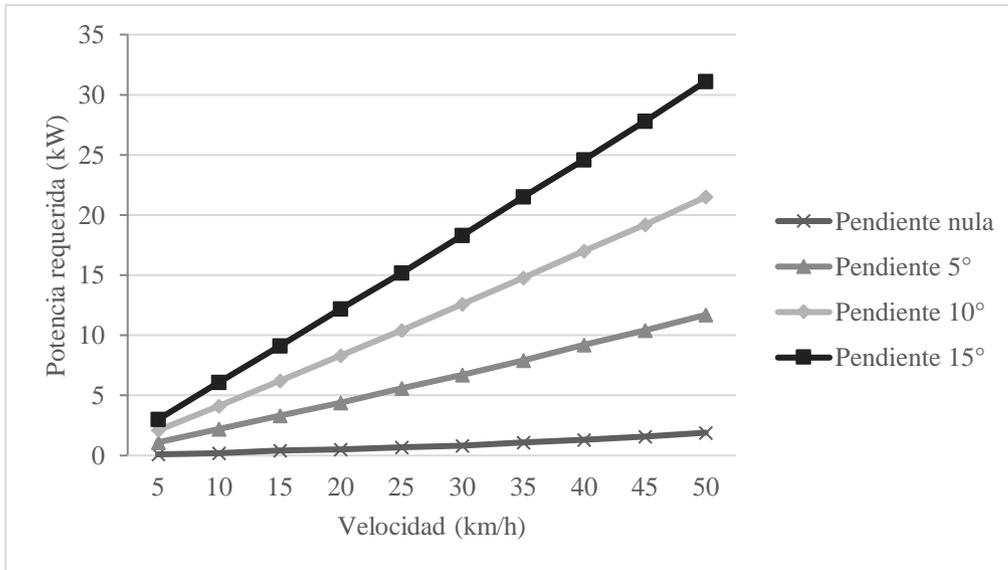


Fig. 3. Potencia requerida para distintas pendientes de terreno con motor de 17 kW y baterías de litio.

Cabe mencionar que se realizan las comparaciones a diferentes ángulos de pendiente de terreno debido a que como se observa en la Fig. 3, la potencia requerida es proporcional a la inclinación del terreno, teniendo en cuenta las pendientes de la Ciudad de Oberá.

Como se mencionó anteriormente el ángulo de pendiente es crucial tanto para la potencia demandada como para la autonomía final del automóvil. Esto último se observa en la Fig. 4, cuando consideramos un caso totalmente ideal con pendiente nula la autonomía es muy superior en contraste con otros valores de pendiente para esta configuración de motor y baterías seleccionado.

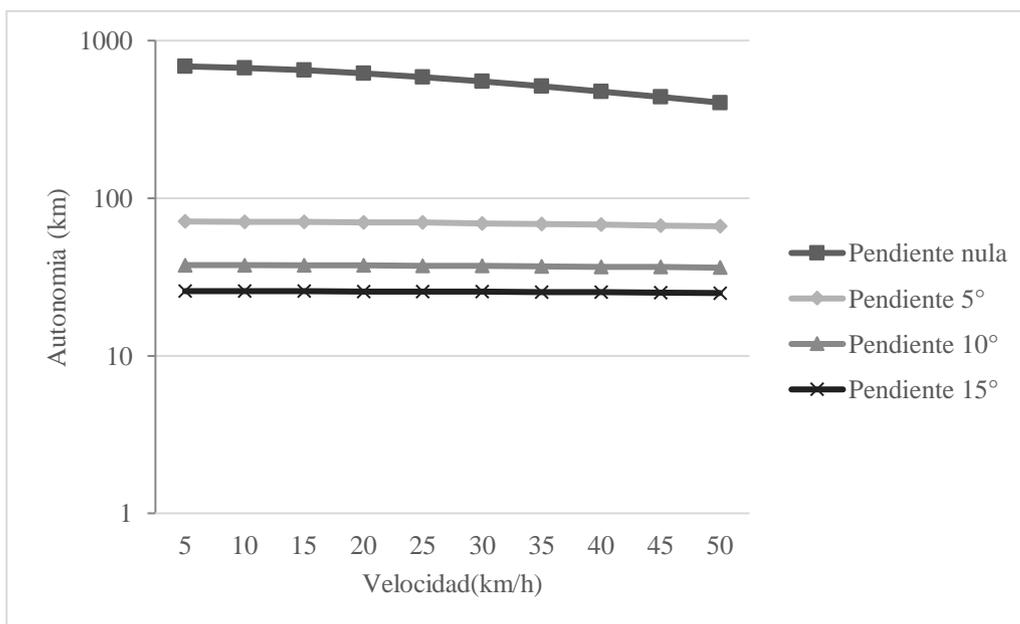


Fig. 4. Autonomía teórica conjunto motor 17 kW y baterías de litio para distintas velocidades/pendientes de terreno.

Finalmente, se calculó el promedio de todas las autonomías para cada ángulo de pendiente estudiado, y se determinó un promedio final entre los mismos para obtener la autonomía teórica, que se presenta en la Tabla 9 como el promedio general.

Tabla 9: Autonomía teórica

Angulo [°]	Promedio Parcial [km]	Promedio General [km]
0	559,6	172,9
5	69,2	
10	37,3	
15	25,6	

4. Conclusiones

Este trabajo presentó los parámetros y criterios de diseño adoptados para el desarrollo de un sistema motriz para un vehículo eléctrico considerando las condiciones de relieve de la ciudad de Oberá, Misiones, Argentina. El desarrollo del mismo permitió demostrar que es técnicamente viable generar una topología de componentes eléctricos adaptados de forma adecuada a la aplicación en cuestión.

Los resultados obtenidos demuestran que el sistema desarrollado con motor de 17 kW puede alcanzar velocidades de hasta 50 km/h con pendientes máximas de hasta 5°.

Las baterías de litio presentan una capacidad de corriente que permite una autonomía promedio de 172,9 km cuando el vehículo circule en condiciones de pendiente variable en el rango de 0° a 15°.

Sin mencionar las políticas comerciales del futuro, este proyecto incentiva la movilidad sustentable e intenta crear conciencia social y conocimiento acerca de las nuevas tecnologías. Debido a que los vehículos eléctricos no emiten gases y son sumamente silenciosos, tienden a contribuir con la mejora de la calidad del aire de la ciudad para las generaciones venideras.

Vale resaltar que el desarrollo técnico presentado en este documento solo hace referencia a la parte motriz del Vehículo Eléctrico, destacando que las demás partes (sistema de control y estructura mecánica) fueron desarrolladas por otros equipos de trabajo dentro de la Cátedra “Proyecto Electromecánico 2” de la carrera de ingeniería electromecánica de la Universidad Nacional de Misiones. Con esto se percibe que, la división del trabajo en partes/equipos facilita el análisis y permite concentrar esfuerzos en la búsqueda de soluciones que integren todos los bloques que contempla el proyecto completo, destacando la importancia de interactuar constantemente con los demás equipos de trabajo.

Tomando lo presentado en este artículo como punto de partida, queda pendiente culminar con el análisis medio ambiental y económico, y en un futuro tal vez llevar a cabo el desarrollo de un prototipo del vehículo eléctrico.

5. Agradecimientos

Los autores agradecen a los docentes de la cátedra Proyecto Electromecánico 2 de la Facultad de Ingeniería Oberá y en especial a los docentes tutores Dr. Ing. Oliveira Mario y el Dr. Ing. Cabral Roberto, por la predisposición y colaboración prestada en la preparación del artículo.

6. Referencias

-
- [1] CORADIR Automotores, Auto Eléctrico TITO. [Online]. Disponible en: <https://tito.coradir.com.ar/>, Accedido el: 4 de Agosto, 2020
 - [2] VOLT Motors. [Online]. Disponible en: <https://voltmotors.com.ar/pageCars/z1>, Accedido el: 4 de Agosto, 2020.
 - [3] Seroelectric. [Online]. Disponible en: <http://www.seroelectric.com/prensa/>, Accedido el: 4 de Agosto, 2020
 - [4] El coche eléctrico: una historia que se repite: Historia y vida. Febrero 2018. [Online]. Disponible en: <https://www.lavanguardia.com/historiayvida/historia-contemporanea/20180223/47311039683/el-coche-electrico-una-historia-que-se-repite.html>
 - [5] Energía y Sociedad. Las claves del sector energético. [Online]. Disponible en: <http://www.energiaysociedad.es/manenergia/4-2-la-eficiencia-energetica-del-vehiculo-electrico/>
 - [6] Holon Academic Institute of Technology, “Overview of power electronic drives for electric vehicles”, HAIT Journal of Science and Engineering B, Volume 2, 2005.
 - [7] Alexander S. Langsdorf, M. M. E., D. Sc. Dr. M.A. “Teoría de las máquinas de corriente alterna”. 2nd ed., Los talleres de offset universal, S. A. México D. F., 1970. [Online]. Disponible en: <https://ingenieria-unrc.webnode.com.ar/products/teoria-de-las-maquinas-de-ca-langsdorf/>
 - [8] Murrias, D. (2019). *Motor pasión*. [Online]. Disponible: <https://www.motorpasion.com/tecnologia/los-motores-son-tambien-clave-en-el-desarrollo-del-coche-electrico-no-todo-es-cuestion-de-baterias>
 - [9] Christian Tixce. La historia de la batería automotriz. Noviembre 2016. [Online]. Disponible en: <https://www.motoryracing.com/pruebas/noticias/la-historia-de-la-bateria-automoriz/>.
 - [10] Cueva, E. Lucero, J. Guzmán, A. Rocha, J. Espinoza, L. “Revisión del estado del arte de baterías para aplicaciones automotrices”. Versión On-line ISSN 1390-6542. Versión impresa ISSN 1390-9363. Enfoque UTE vol.9 no.1 Quito ene./mar. 2018. [Online]. Disponible en: http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-65422018000100166&lang=es
 - [11] HPEVS (Hi Performance Electric Vehicle Systems) “Instructions for Program and Diagnose Modes Primary and Secondary Controllers”. Motor 17 kW. Rev. A, 27 Marzo 2014. [Online]. Disponible: <https://evwest.com/support/Program%20Instructions%20REV%20A%20VER%205.14%20and%20up%203-27-14%20.pdf>
 - [12] A. Ceña y J. Santamarta., “El coche eléctrico: el futuro del transporte, la energía y el medio ambiente”. Revista “WorldWatch” 2. 2009. [Online].
 - [13] *Manual de la Técnica del Automóvil Bosch*, 3rd ed., Reverté, Barcelona, España, 1996, pp.330-335.
 - [14] Catálogo de baterías Bosch. [Online]. Disponible: <https://bateriasarmenia.com.ar/>, Accedido el: 4 de Agosto, 2020
 - [15] C. A. Oliva & S. G. Herranz, “Baterías y Acumuladores” en *Instalaciones Solares Fotovoltaicas*. Madrid, España: Editex, S.A., 2010, pp.73-82.

-
- [16] J. F. Mora, “Circuitos magnéticos y conversión de energía” en *Máquinas Eléctricas*, 6ta ed., Madrid, España: Mc Graw Hill, 2008, pp. 40-49.
- [17] Gutiérrez, J. A. Vehículo eléctrico: análisis y prospectiva de factores tecnológicos y económicos. Dept. de Ing. de Sist. y Aut., Univ. de Valladolid. Esc. de Ing. Ind., 2013.
- [18] H. D. Young & R. A. Freedman, “Movimiento en línea recta” en *Física Universitaria volumen 1*, 12da ed., vol. 1, México, México: Pearson Educación, 2009, pp. 36-39.
- [19] CALB (China Aviation Lithium Battery co, LTD) “Especificaciones de producto”. Batería prismática Litio-Ion. Agosto 2016. [Online]. Disponible: <https://www.dikho.com.ar/wp-content/uploads/2020/04/CALB-L135F72-spanish.pdf>
- [20] *Ley de Tránsito*, Ley N°24449. 1995.[Online]. Disponible en: <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/0-4999/818/texact.htm>