

SELECCIÓN DEL MOTOR Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL FEM DEL VEHÍCULO TIPO VOLKSROD DE PROPULSIÓN ELÉCTRICA

SELECTION OF THE ENGINE AND STRUCTURAL ANALYSIS FEM OF THE VEHICLE TYPE VOLKSROD OF ELECTRIC PROPULSION

Juan Ballesteros Lopez ^{1*}

¹ Carrera de Mecánica Automotriz. Instituto Superior Tecnológico Tungurahua. Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1759-512X>. Correo: jballesteros.istt@gmail.com

Orlando Miranda Reyes ²

² Carrera de Mecánica Automotriz. Instituto Superior Tecnológico Tungurahua. Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1413-1119>. Correo: omiranda.istt@gmail.com

Cristina Sánchez Lara ³

³ Carrera de Mecánica Automotriz. Instituto Superior Tecnológico Tungurahua. Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2525-3613>. Correo: csanchez.istt@gmail.com

Angel Guillermo Masaquiza Yanzapanta ⁴

⁴ Carrera de Mecánica Automotriz. Instituto Superior Tecnológico Tungurahua. Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1592-0822>. Correo: amasaquiza.istt@gmail.com

* Autor para correspondencia: jballesteros.istt@gmail.com

Resumen

El presente artículo tiene como objetivo principal el proceso de selección del motor eléctrico y el diseño de la nueva carrocería para la modificación del Volkswagen tipo 1 en uno tipo Volksrod. La elección está fundamentada en costo, eficiencia, adaptabilidad, se utiliza las curvas de tiempo de carga sobre corriente de descarga y el método ordinal corregido de los factores ponderados, adicional la carrocería deber ser capaz de albergar los componentes necesarios para la propulsión eléctrica del vehículo modificado, sin perder con esto seguridad y confort. La modificación estructural e implementación del motor eléctrico en el Volkswagen tipo uno, pone en práctica las competencias del saber hacer, la instalación de nuevos sistemas tecnológicos complementa el resto de los saberes. Se presenta la aplicación de nuevas propuestas de automoción, por motivo de abordar el tema de la contaminación ambiental que producen los automóviles hoy en día y es

catalogado como un problema a nivel global, para esto se han presentado distintas soluciones, dentro de las cuales destaca el vehículo eléctrico. El resultado permite aprovechar vehículos equipados con motores de combustión interna para dar paso a automotores con propulsión eléctrica totalmente funcionales.

Palabras clave: Motor eléctrico; adaptabilidad; volksrod; modificación; elementos finitos; modelación

Abstract

The main objective of this article is the selection process of the electric motor and the design of the new body for the modification of the Volkswagen type 1 into a Volksrod type. The choice is based on cost, efficiency, adaptability, the charge time curves on discharge current and the corrected ordinal method of weighted factors are used, additionally the body must be capable of housing the necessary components for the electric propulsion of the vehicle modified, without losing with this security and comfort. The structural modification and implementation of the electric motor in the Volkswagen type one, puts into practice the skills of know-how, the installation of new technological systems complements the rest of the knowledge. The application of new automotive proposals is presented, in order to address the issue of environmental pollution produced by cars today and it is classified as a global problem, for these different solutions have been presented, among which stands out the electric vehicle. The result makes it possible to take advantage of vehicles equipped with internal combustion engines to give way to fully functional electric propulsion vehicles.

Keywords: Electric engine; adaptability; volksrod; Design, modification; finite elements

Fecha de recibido: 07/02/2023

Fecha de aceptado: 23/05/2023

Fecha de publicado: 09/06/2023

Introducción

La exigencia mundial por el cuidado ambiental repercute en el campo automotriz, según un informe de la Organización de las Naciones Unidas ONU en 2019 manifiesta: Las carreteras del mundo están repletas de vehículos, y la mayoría de estos utiliza combustibles fósiles. Los barcos que llevan mercancías y los aviones en los que viajamos funcionan con estos combustibles. Las emisiones de gases de efecto invernadero del sector del transporte han aumentado más del doble desde 1970, y aproximadamente un 80 % de ese incremento proviene de los vehículos de carretera (ONU, 2019).

La tendencia es la implementación de los vehículos eléctricos que permita paliar los efectos de la contaminación. El estudio hace referencia a la adaptabilidad del motor eléctrico y el refuerzo requerido en la construcción propia del vehículo desde el análisis estructural cuyo objetivo se enmarque en la transformación de un sector de automóviles lo que eliminaría la reducción drástica de automotores con tecnología de combustión interna y el aprovechamiento de recursos ya construidos y funcionales.

Los motores eléctricos son los encargados de convertir la energía eléctrica en fuerza de giro por la acción originada por campos magnéticos, donde sus velocidades son constantes, soportan grandes sobrecargas, con una construcción sencilla y fácil de arrancar. (Daniel, 2019). Además, permiten generar un continuo impulso mecánico cuya fuerza hace girar las ruedas y pone el vehículo en marcha; donde se descubre que el magnetismo produce electricidad a través del movimiento en base a teorías de electromagnetismo, donde dos imanes rechazan o atraen en función de las alineaciones de sus polos, que se opongan entre sí, donde la parte giratoria, llamada rotor, se mueve frente a la parte estática, usada para crear campos eléctricos. (Soto, 2013).

Los motores eléctricos tienen una eficiencia mayor que los de combustión interna en un rango del 40 al 70%, son más ecológicos por no contener aceites ni líquidos refrigerantes, así como ningún elemento derivado del petróleo con una estructura simple y facilidad de conducción y mínimo nivel de ruido teniendo menores costes de mantenimiento, freno regenerativo y el par, en los motores eléctricos es constante como desventaja su elevado precio, mínima autonomía de una recarga completa, peso de las baterías, problemas de rendimiento en bajas temperaturas (leaseplan, 2017).

Un coche eléctrico puede llegar a usar diferentes tecnologías de propulsión y por lo general se compone básicamente de los siguientes elementos: La unidad de recarga interna, Las baterías. El motor eléctrico, Conversores e inversores. Donde, el motor:

Asíncrono o de Inducción (AC) está formado por un rotor que puede ser de tipo jaula de ardilla o bobinado, en el estátor (anillo cilíndrico de chapa magnética) se encuentran las bobinas inductoras que son trifásicas, desfasadas entre sí a 120°, las ventajas encontramos la alta eficiencia, coste bajo, fiabilidad, bajo ruido y vibraciones y par constante en cambio sus contras son su baja densidad de potencia el bajo par en el arranque y el riesgo de sobrecarga es uno de los motores más utilizados en la industria del VE por ello Tesla Motors lo usa en todos sus modelos al igual que los pequeños fabricantes Reva o Tazzari.

Síncrono de imanes permanentes (AC) creado por el estátor el motor síncrono de imanes permanentes puede ser de dos tipos; de flujo radial o de flujo axial, dependiendo de la posición del campo magnético de inducción que puede ser perpendicular o paralelo al eje de giro del rotor. Son más usados los de flujo radial, en cambio los de flujo axial permiten ser integrados directamente en la rueda del vehículo, optimizando el espacio en el vehículo y simplificando los acoplamientos mecánicos entre motor y rueda, son los conocidos como «*in-wheel motor*».

Síncrono de reluctancia conmutada o variable. (AC) el rotor, que está hecho con un material magnético con polos salientes, son influenciados por el campo magnético, atrayéndose y creando un par que mantiene el rotor moviéndose a velocidad síncrona. Estos motores no necesitan imanes permanentes ni escobillas, y tienen a favor su elevado par, robustez y bajo coste, mientras que en contra tiene su baja potencia y la complejidad de su diseño. Renault y su departamento «*Electric Powertrain*» desarrollaron el modelo 5A, un modelo de motor síncrono más eficiente que los de imanes permanentes.

Sin escobillas de imanes permanentes (DC) conocidos con «*brushless*», estos motores poseen imanes permanentes situados en el rotor que funcionan mediante la alimentación secuencial de cada una de las fases del estátor. Pueden ser «*inrunner*», mayor velocidad de giro y menor par, o «*outrunner*» menor velocidad y mayor par. Aunque son usados mayormente en vehículos híbridos. (Guillermo, 2020).

Referente a las baterías existen muchos tipos, pero las de litio-ion se han impuesto como la tecnología de referencia por sus características que las hacen idóneas: no presentan memoria, son muy duraderas y pueden soportar muchos ciclos de cargar; las baterías de litio-ion almacenan la energía que le cede el cargador (conectado a una red de corriente alterna) en forma de corriente continua. Esta batería principal es el medio por el que se alimenta todo el coche eléctrico por ello en los coches que tienen un motor eléctrico de corriente continua esta batería va directamente conectada al motor; en cambio en los coches eléctricos que tienen un motor eléctrico de corriente alterna la batería va conectada a un inversor un equipo que transforma la corriente continua en corriente alterna (Guillermo, 2020).

El análisis previo enfatiza los elementos considerables en los vehículos eléctricos la selección de los mismo considera además de lo expuesto los cambios estructurales a los que debe ser sometido el automotor al tener que soportar mayor esfuerzo por efectos propios del peso donde se pone de manifiesto el diseño mecánico que consiste básicamente en aplicar conocimientos multidisciplinarios científicos y tecnológicos de frontera, a diferencia del diseño artesanal basado en conocimientos empíricos. El principal elemento del diseño es el cálculo que permite evitar la falla de los elementos mecánicos, además de garantizar la satisfacción de la necesidad de acuerdo a su destino de uso al menor costo posible (Guillermo, 2020).

El método de elementos finitos (MEF), es un método numérico generalmente utilizado para la solución de problemas con alto grado de dificultad, ya que involucran geometrías complejas, determinación de propiedades de materiales y cargas no distribuidas.

El análisis por elementos finitos es un método computarizado para predecir cómo un objeto real reacciona a fuerzas, calor, vibración, flujo de fluidos, fenómenos eléctricos y magnéticos, entre otros. En términos generales se refiere a si este se romperá, fallara o trabajara como fue diseñado (Yepez, 2019).

El MEF, por tanto, se basa en transformar un cuerpo de naturaleza continua en un modelo discreto aproximado, esta transformación se denomina discretización del modelo. El conocimiento de lo que sucede en el interior del cuerpo aproximado, se obtiene mediante la interpolación de los valores conocidos en los nodos. Es por tanto una aproximación de los valores de una función a partir del conocimiento de un número determinado y finito de puntos. (Daniel, 2019).

El proyecto se basa en la selección del vehículo Volkswagen escarabajo previamente modificado tipo Volksrod, en vista de la atracción sobre el tema en la transformación de vehículos clásicos a nivel nacional. El automotor seleccionado incorpora combustión interna provoca contaminación ambiental por los gases que son expulsados por el tubo de escape, perjudicando al medio ambiente y a la salud de la ciudadanía. (Salazar, 2008).

La solución óptima es la adaptación de un motor eléctrico a la carrocería del vehículo Volkswagen escarabajo modificado tipo Volksrod; donde se requiere la ejecución del proceso de selección del sistema de propulsión eléctrico, además, la incorporación del conjunto de baterías las cuales por efectos propios de su construcción ocasionan un aumento considerable del conjunto hacer instalado en el vehículo seleccionado (Simon, 2019).

El aumento en el peso que el vehículo va a soportar requiere hacer un análisis estructural que derive en el refuerzo de la estructura del automotor que permita la adaptación de los sistemas soportando los mismos de manera estática y dinámica asunto contemplado en el presente estudio por medio del análisis por elementos

finitos (J., 2012). La conciencia social en el cuidado ambiental obliga a acciones concretas que permitan remedaciones aprovechando los recursos ya disponibles para la movilización enmarcados a reducir el despilfarro de materiales. (Frias, 2004).

Materiales y métodos

Se utiliza el método ordinal corregido de criterios ponderados que permite realizar en las diferentes etapas del proceso de diseño, un despliegue de alternativas, corresponde hacer una evaluación de estas que sirva de base para la posterior toma de decisiones.

Estas evaluaciones en general no se centran sobre un determinado elemento, sino que se deben ponderar distintos aspectos del sistema en base a criterios que a menudo implican juicios de valor. Para tomar una decisión siempre deben estar presentes los dos elementos siguientes.

- a) Alternativas Como mínimo debe de disponerse de dos alternativas (lo más adecuado es entre 3 y 6) cuyas características deben ser diferentes.
- b) Criterios hay que establecer los criterios en base a los cuales las alternativas deberán ser evaluadas, así como también la ponderación relativa entre ellas. Dado que en todas las soluciones de ingeniería intervienen múltiples aspectos que hay que considerar de forma global, en todos los métodos de evaluación aparece el problema de la ponderación de criterios.

Existen numerosos métodos de evaluación que pueden agruparse en:

1. **Métodos ordinales.** El evaluador clasifica por orden las diferentes soluciones alternativas para cada criterio. El inconveniente de estos métodos consiste en la dificultad de integrar los resultados de los distintos criterios en una evaluación global, ya que no es sensible a las ponderaciones de los criterios.
2. **Métodos cardinales.** El evaluador debe cuantificar sus juicios en relación con la efectividad de las alternativas y a la importancia de los criterios. Estos métodos facilitan la integración de las evaluaciones parciales en un resultado global, pero a menudo la cuantificación puede resultar arbitraria, especialmente en las etapas iniciales de diseño.

Método ordinal corregido de criterios ponderados. La mayor parte de las veces, para decidir entre diversas soluciones (especialmente en la etapa de diseño conceptual) basta conocer el orden de preferencia de la evaluación global. Es por ello que se recomienda el método ordinal corregido de criterios ponderados que, sin la necesidad de evaluar los parámetros de cada propiedad y sin tener que estimar numéricamente el peso de cada criterio, permite obtener resultados globales suficientemente significativos. Se basa en unas tablas donde cada criterio (o solución, para un determinado criterio) se confronta con los restantes criterios (o soluciones) y se asignan los valores siguientes:

- 1 si el criterio (o solución) de las filas es superior (o mejor; $>$) que el de las columnas.
- 0,5 si el criterio (o solución) de las filas es equivalente ($=$) al de las columnas.
- 0 si el criterio (o solución) de las filas es inferior (o peor; $<$) que el de las columnas.

Luego, para cada criterio (o solución), se suman los valores asignados en relación a los restantes criterios (o soluciones) al que se le añade una unidad (para evitar que el criterio o solución menos favorable tenga una valoración nula); después, en otra columna se calculan los valores ponderados para cada criterio (o solución). Finalmente, la evaluación total para cada solución resulta de la suma de productos de los pesos específicos de cada solución por el peso específico del respectivo criterio.

A continuación, se procede a seleccionar la mejor alternativa de tres opciones planteadas.

- Alternativa 1: Motor Monternigy Drive
- Alternativa 2: Hepu Power Techonology Co. Ltda.
- Alternativa 3: Emrax 228

Características de las alternativas:

Alternativa 1. Motor Motenergy ME-1003 Fuente

Tabla 1. Características del motor Motorenergy

Eficiencia	90%
Voltaje	48 – 72 V
Peso 1	8 kg
Corriente continua máxima	400 A/1min
Torque máximo	240 lb/in o 16 Nm a 48V
Rotación Máxima	5000 rom a 72 V y 2600 rpm a 48 V
Diámetro	28 cm
Máxima temperatura de funcionamiento	155°C
Dirección de rotación	Bi.Direccional
Capacidad de carga	600 kg máx
Potencia 6	-9,5 KW

Alternativa 2. HEPU POWER TECHONOLOGYCO., LTDA.

Tabla 2. Características motor HEPU.

El modelo	HPQ 15 – 96V
La tensión nominal (CC)	96
La potencia nominal (KW)	15
Pico de potencia (KW)	120
La velocidad nominal (rpm)	3000 r/min
Peso de velocidad (RPM)	6500 R/min
Amperios (A)	170
Frecuencia (Hz)	102

Alternativa 3. EMRAX 228

Tabla 3. Características del motor EMRAX

Peso del motor eléctrico	11,5 kg
Controlador DC/AC	SAC-40
Potencia máxima del motor	40KW – 68 HP
Tensión nominal	200 V DC
Par continuo pico	130 Nm / 250 Nm
Velocidad del motor	1900 rpm
Capacidad de energía	KW

Criterios:

- **Costo:** Este parámetro permite evaluar los costos originados, de tipo monetario, representado en la adquisición de los productos.
- **Eficiencia:** Es la capacidad que se da para cumplir y trabajar al máximo rendimiento en una función adecuada.
- **Adaptabilidad:** Es la calidad de ajuste y acoplamiento, que se da, de un elemento en otro.
- **Facilidad de mantenimiento:** Es el mantenimiento que se debe dar a un producto delimitado.
- **Voltaje Pico:** Es la máxima capacidad física que se da en un circuito eléctrico, de un determinado elemento o producto.

Los criterios de valoración que se consideraron son:

1. Al adquirir tecnología de punta para el desarrollo del proyecto los costos son elevados y es una fuerte limitante para alcanzar los resultados esperados.
2. Alta eficiencia considera los aspectos que permitan la obtención de la autonomía requerida.
3. Voltaje pico adecuado que garantice el funcionamiento del sistema.
4. Procesos de mantenimiento que procuren la fiabilidad del automotor.
5. El objetivo del proyecto es la adaptabilidad del motor eléctrico al vehículo modificado.

Una vez definido todos los criterios se procede a jerarquizar en el siguiente orden:

1. Costo
2. Eficiencia
3. Voltaje Pico
4. Facilidad de mantenimiento
5. Adaptabilidad

Costo > Eficiencia > Voltaje Pico > Facilidad de mantenimiento = Adaptabilidad

Se continúa con la evaluación a través del método de criterios ponderados en orden de tipo jerárquico:

Tabla 4. Evaluación por criterios.

Criterio	Costo	Eficiencia	Voltaje Pico	Facilidad de mantenimiento	Adaptabilidad	$\Sigma+1$	Promedio
Costo		1	1	1	1	5	0,333
Eficiencia	0		1	1	1	4	0,267
Voltaje Pico	0	0		1	1	3	0,200
Facilidad de mantenimiento	0	0	0		0,5	1,5	0,100
Adaptabilidad	0	0	0	0,5		1,5	0,100
TOTAL						15	1

Evaluación del criterio Costo

Según la evaluación del criterio de costo, la alternativa 2, Tiene una ponderación mayor que la alternativa 1 y que la 3, concluyendo que el motor de Marca HEPU POWER TECHNOLOGY CO, LTDA, es más accesible que las otras dos alternativas:

Tabla 5. Evaluación criterio costo

Costo	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderado
Alternativa 1		0	0,5	1,5	0,25
Alternativa 2	1		1	3	0,5
Alternativa 3	0	0,5		1,5	0,25
TOTAL				6	1

Evaluación del criterio Eficiencia

Según la evaluación planteada referente al criterio de Eficiencia, se concluye que las 3 alternativas tienen eficiencias similares las cuales van del 95 – 90%

Tabla 6. Evaluación criterio eficiencia

Eficiencia	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderado
Alternativa 1		0,5	0,5	2	0,333
Alternativa 2	0,5		0,5	2	0,333
Alternativa 3	0,5	0,5		2	0,333
TOTAL				6	1

Evaluación del criterio de Voltaje Pico

Según la evaluación propuesta la alternativa 2 y 3 tienen un voltaje pico similar, en tanto que la alternativa 1 es menor.

Tabla 7. Evaluación criterio voltaje pico

Voltaje Pico	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderado
Alternativa 1		0	0	2	0,166
Alternativa 2	1		0,5	2,5	0,417
Alternativa 3	1	0,5		2,5	0,417
TOTAL				6	1

Evaluación del criterio de Facilidad de Mantenimiento

Según la evaluación delimitada del criterio de Facilidad de Mantenimiento, la alternativa 1 y 2, tienen más facilidad de mantenimiento que la 3, detallados como la limpieza, acoplamiento y cambios de repuestos.

Tabla 8. Evaluación criterio Facilidad de Mantenimiento

Mantenimiento	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderado
Alternativa 1		0,5	1	2,5	0,417
Alternativa 2	0,5		1	2,5	0,417
Alternativa 3	0	0		1,0	0,166
TOTAL				6	1,000

Evaluación del criterio de Adaptabilidad

Según la propuesta planteada referente al criterio de Adaptabilidad, se concluye que las 3 alternativas tienen similares cualidades ya que estos motores son exclusivamente para la utilización en vehículos eléctricos a nivel mundial, por lo que tienen un acoplamiento a cualquier carrocería.

Tabla 9. Evaluación criterio Adaptabilidad

Adaptabilidad	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderado
Alternativa 1		0,5	0,5	2	0,333
Alternativa 2	0,5		0,5	2	0,333
Alternativa 3	0,5	0,5		2	0,333
TOTAL				6	1,000

Análisis del diseño de una carrocería Volkswagen tipo 1 original

El primer paso consiste en determinar las siguientes dimensiones:

- Longitud Total: 4070 mm
- Longitud entre Ejes: 2400 mm
- Ancho: 1540 mm
- Altura del Chasis: 1340.5 mm

Cálculo de cargas a aplicar en una carrocería Volkswagen tipo 1 original según la Norma (NTE - INEN 1323:2009)

Los cálculos de cargas utilizados son:

Carga Viva (CV): La Norma indica que las cargas vivas son las originadas por los pasajeros con una masa de 70 Kg por ocupante, por lo que, según las características técnicas del Volkswagen Tipo I, se tiene espacio para 5 plazas ósea para 350 Kg.

Carga Muerta (CM): La Norma indica que la carga muerta es el peso bruto del vehículo el cual es de 1740 Kg.

Carga de Giro (CG): Se detalla que la Carga de Giro “debe determinarse en función de la Fuerza Centrífuga que da un vehículo al ingresar en una curva a una velocidad definida en un radio de giro”.

La velocidad máxima a considerar para realizar el cálculo es de 120 km/h = 33.33 m/s, en vista que según la Policía Nacional del Ecuador existen vehículos que sobrepasan los límites permitidos en carretera.

El peso del vehículo según las características técnicas es de 1740 Kg.

Velocidad (del vehículo) (km/h)	Radio de curvatura de la carretera (m)	Peralte (%)
80	250	8
85	300	
90	350	
95	400	
100	450	
105	500	
110	550	
115	600	
120	700	7,51
125	800	
130	900	
135	1050	
140	1250	
145	1475	
150	1725	

Figura 1. Velocidades, Radios Mínimos y Perales en Carretera.

Según la tabla de la figura 1, expuesta se define que la Velocidad Crítica es de 120 km/h, originando un radio de curvatura de la carretera de 700 m, con un porcentaje del peralte del 8%. Por lo que el ángulo del peralte se determina como se muestra en la Figura 2:

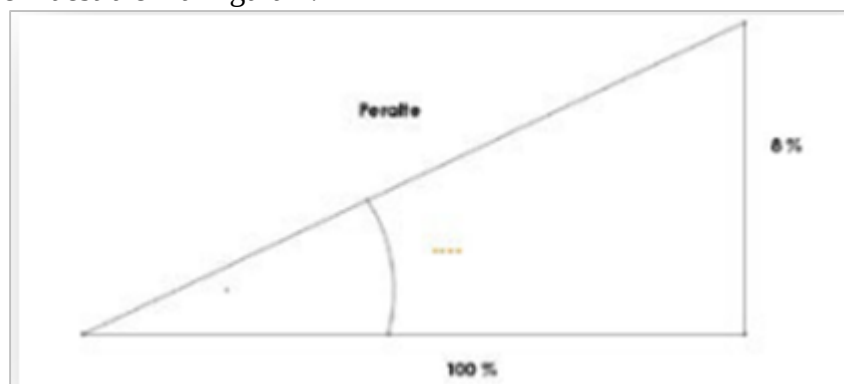


Figura 2. Ángulo de Peralte.

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{8 \%}{100 \%} = 4.57^{\circ}$$

Por lo que la carga de giro es:

$$(CG) = P * \frac{V^2}{r} + P * \operatorname{Sen}(\alpha_{\text{peralte}})$$

Donde:

CG = Carga de Giro

P = Peso en bruto del Vehículo = 1740 Kg

V = Velocidad Critica es de 120 km/h = 33.33 m/s

r = Radio de Curvatura es: 700 m = 4.57°

Por lo que:

$$\begin{aligned}(CG) &= 1740 \text{ Kg} * \frac{\left(33.33 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{700 \text{ m}} + 1740 \text{ Kg} * \operatorname{Sen}(4.57) \\(CG) &= 2761.35 \text{ N} + 138.64 \text{ Kgf} \\(CG) &= 2761.35 \text{ N} * \frac{1 \text{ Kgf}}{9.81 \text{ N}} + 138.64 \text{ Kgf} \\&= 420.12 \text{ Kgf}\end{aligned}$$

Carga de Frenado (CF)

La carga de frenado se determina de la siguiente manera:

d = Desaceleración de la Carga igual o mayor a 4 m /s

G = Gravedad = 9.81

P = Peso en bruto del Vehículo = 1740 Kg

CF = Carga de Frenado

$$\begin{aligned}CF &= \frac{P * d}{g} \\CF &= \frac{1740 \text{ Kg} * 4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 709.48 \text{ Kg}\end{aligned}$$

Carga de Aceleración Brusca (Ab)

Según la Norma la Carga de Aceleración Brusca se define bajo el mismo criterio que el del Frenado, pero en sentido contrario. Por lo que:

$$A_b = - CF = -709.48 \text{ Kg}$$

Carga por Resistencia del Aire Frontal (Raf)

Se define por la fuerza del aire actuante sobre la proyección de una determinada área correspondiente al plano perpendicular.

Donde:

$$R_{af} = \frac{1}{2} * C_x \times \rho \times Af \times v^2$$

Raf= Carga de Resistencia Aerodinámica

Cx= Coeficiente de resistencia frontal del aire = 0.7

ρ = Densidad del aire = condición más crítica = 1.225 kg/m

Af = Área correspondiente a la proyección

V = Velocidad del Aire = 25 m/s

Como no se tiene Af, se procede a determinar en base al:

B = Ancho: 1540 mm = 1.54 m

H = Altura del Chasis: 1340.5 mm = 1.3405 m

Af = B x H

Af = 1.54 m x 1.3405 m

Af = 2.064 m²

Una vez definido todos los parámetros se procede a determinar la Carga de Resistencia Aerodinámica de la siguiente manera:

$$R_{af} = \frac{1}{2} * 0.7 \times 1.225 \frac{kg}{m^3} \times 2.064 m^2 \times (25 \frac{m}{s})^2$$

$$R_{af} = 553.0875 N * \frac{1 Kgf}{9.81 N} = 53.38 Kgf$$

Combinaciones de Carga

Se debe tener en cuenta que las carrocerías según Norma deben ser diseñadas en función de la resistencia de los esfuerzos, por lo que se recomienda las siguientes combinaciones de las cargas básicas.

Por el Método LRFD (Load Resistance Factor Design)

1.4 M + V

1.2 M + 1.6 V + 0.5 G

1.2 M + 0.5 V + 1.6 G

1.2 M + 1.6 F + 0.8 Raf

1.2 M + 0.5 V + 0.5 F + 1.3 R

1.2 M + 1.5 Ab + 0.5 V

0.9 M – 1.3 Raf

0.9 M + 1.3 Raf

Por lo que los resultados de los análisis son:

$1.4 * 1740 \text{ Kg} + 350 \text{ Kg}$

$1.2 * 1740 \text{ Kg} + 1.6 * 350 \text{ Kg} + 0.5 * 420.12 \text{ Kg}$

$1.2 * 1740 \text{ Kg} + 0.5 * 350 \text{ Kg} + 1.6 * 420.12 \text{ Kg}$

$1.2 * 1740 \text{ Kg} + 1.6 * 709.48 \text{ Kg} + 0.8 * 53.38 \text{ Kg}$

$1.2 * 1740 \text{ Kg} + 0.5 * 350 \text{ Kg} + 0.5 * 709.48 \text{ Kg} +$

$1.3 * 53.38 \text{ Kg}$

$1.2 * 1740 \text{ Kg} + 1.5 * (-709.48) + 0.5 * 350 \text{ Kg}$

$0.9 * 1740 \text{ Kg} + 1.3 * 53.38 \text{ Kg}$

$0.9 * 1740 \text{ Kg} - 1.3 * 53.38 \text{ Kg}$

Por lo que los resultados originados de las combinaciones que generan mayor carga son:

2786 kg

2858.06 Kg

2935.12 Kg

3265.87 Kg

2687.134 Kg

1198.78 Kg

1635.39 Kg

1496.61 Kg

Según los datos originados la combinación que más genera resultados es la cuarta combinación.

Por lo que con esta combinación se procede a analizar la estructura.

1.2 M + 1.6 F + 0.8 Raf

$1.2 * 1740 \text{ Kg} + 1.6 * 709.48 \text{ Kg} + 0.8 * 53.38 \text{ Kg}$

Resultados y discusión

Al analizar los criterios de selección se toma como prioridad la alternativa 2 - Hepu Power Techonology Co., Ltda., con mejor costo, eficiencia voltaje pico, facilidad de mantenimiento y adaptabilidad.

Tabla 10. Resumen de Criterios.

Selección de motor	Costo	Eficiencia	Voltaje Pico	Facilidad de Mantenimiento	Adaptabilidad	Sumatoria	Promedio
Alternativa 1	0,08325	0,08891	0,0332	0,0417	0,0333	1,28036	0,32
Alternativa 2	0,1665	0,08891	0,0834	0,0417	0,0333	1,41381	0,35
Alternativa 3	0,08325	0,08891	0,0834	0,0166	0,0333	1,30546	0,33
TOTAL						4	1,00

Selección de motor

El motor se selecciona en base a la potencia generada de la siguiente manera.

$$P_{max} = F_{max} + V_{max}$$

Donde:

P_{max} = Potencia Máxima

F_{max} = 1050 Kg dato originado del peso muerto del auto

V_{max} = Velocidad máxima en las zonas urbanas 50 km/h = 13.889 m/s (ANT, 2019)

Por lo que:

$$\begin{aligned} \sum F_Y &= 0 \\ N - m \cdot g &= 0 \\ N &= m \cdot g \\ N &= 1050 \text{ kg} \cdot 9.8 \text{ m/s}^2 \\ N &= 10290 \text{ N} \\ \sum F_X &= 0 \\ T - F_r &= 0 \\ T &= \mu \cdot N \\ T &= 0.9 \cdot 10290 \text{ N} \\ T &= 9261 \text{ N} = 944.4 \text{ kgf} \\ &= 944.4 \text{ kg} \cdot 13.889 \text{ m/seg.} \\ &= 13116.77 \text{ W} \\ &= 13.116 \text{ KW} \end{aligned}$$

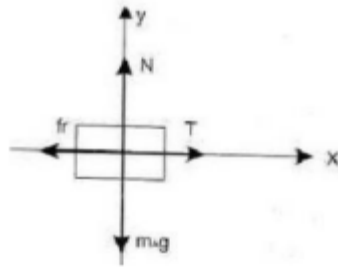


Figura 3. Diagrama del cuerpo libre.

Para que no se genere inconvenientes o falta de potencia seleccionamos un motor de 15 KW con las siguientes características:

Tabla 11. Características del motor HEPU

MODEL	HPQ 15 -96	SERIAL N°	
Potencia (kw)	15	VOLTS	96 DC
Rated speed	3000	AMPS	170
Max speed	6500	HZ	102
Ins class	H	PHASE	3
Duty	S2-60min	AMB	400

Selección de baterías

La selección de la batería se da en función de los siguientes parámetros:

P_{motor} = Potencia nominal = 15KW

V_{motor} = Voltaje nominal = 96 V

$I_{bateria}$ = Capacidad (Ah)

η_{motor} = Eficiencia del motor = 85%

%descarga = Porcentaje de descarga = 90%

$$I_{bateria} = \frac{P_{motor} * \eta_{motor}}{v_{motor} * \%descarga}$$

$$I_{bateria} = \frac{15000w * 0.85}{96V * 0.90} = 147.56 Ah \approx 150Ah$$

Por lo expuesto anteriormente se selecciona una batería con las siguientes características:



Figura 4. Batería de ciclo profundo.

Número de baterías

Se selecciona la cantidad de baterías en base al voltaje nominal del motor:

V = voltaje del motor = 96 voltios

V = voltaje de cada batería = 12 voltios

N = Número de baterías

Mediante la relación:

$$N = \frac{V}{v} = \frac{96 \text{ Voltios}}{12 \text{ Voltios}} = 8$$

Por lo tanto, se adquirió 8 baterías de ciclo profundo

La autonomía se determina de la siguiente manera:

V_{máx.} = Velocidad máxima en las zonas urbanas es de 50 km/h = 13.889 m/seg. Valor referencial tomado de la Agencia Nacional de Tránsito del Ecuador

C: Corriente de cada batería (A): 37.5 A

Capacidad Nominal de la Batería: 150 Ah

T: Tiempo de Autonomía (s)

d: Distancia de Autonomía (m)

Como no se tiene el tiempo de autonomía se procede a determinar de la siguiente manera, tal y como lo muestra la Figura:

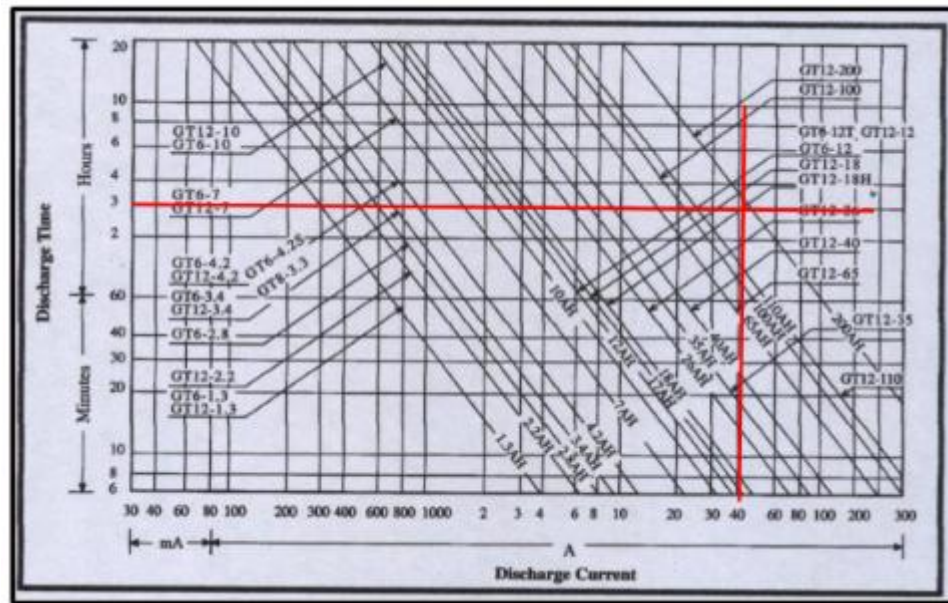


Figura 5. Corriente vs Tiempo de Descarga para motores.

En base a la corriente de descarga que es de 37,5 A y la Capacidad Nominal de la batería de 150 Ah, se determina que el tiempo de descarga de la batería es de 3 horas.

Una vez determinado el tiempo de autonomía, se procede a determinar la distancia de autonomía de la siguiente manera:

$$T = \frac{d}{V}$$

$$d = T \times V$$

$$d = 3 \text{ h} \times \frac{3600 \text{ seg}}{1 \text{ h}} \times 13.889 \frac{\text{m}}{\text{seg}} = 150001.2 \text{ m} = 150.0 \text{ Km}$$

El vehículo tendrá una autonomía de 150 km.

Relación consumo de energía vs tiempo de carga

La relación consumo de energía vs tiempo de demora de carga de baterías se da de la siguiente manera:

$$W_{atio1} = 110 \text{ w}$$

$$W_{atio2} = 220 \text{ w}$$

$$T_{iempo1} = 4 \text{ horas} = 14400 \text{ s}$$

$$T_{iempo2} = 6 \text{ horas} = 21600 \text{ s}$$

$$E_{c1} = 110 \text{ W} * 14400 \text{ s} = 1584000 \text{ J}$$

$$E_{c2} = 220 \text{ W} * 21600 \text{ s} = 4752000 \text{ J}$$

Según los resultados obtenidos podemos determinar que con las baterías a 110W se necesita 1584000 J y a 220 W requiere más energía como es 4752000 J.

Análisis de diseño de una carrocería Volkswagen modificado en un vehículo eléctrico modelo Volksrod

El primer paso a determinar es determinar las siguientes dimensiones:

- Longitud Total: 4070 mm
- Longitud entre Ejes: 2400 mm
- Ancho: 1540 mm
- Altura del Chasis: 1180 m

Cálculo de cargas:

Los cálculos de cargas utilizados son:

Carga Viva (CV): La Norma indica que las cargas vivas son las originadas por los pasajeros con una masa de 70 Kg por ocupante, por lo que, según las características técnicas del Volkswagen Tipo I, se tiene espacio para 5 plazas ósea para 350 Kg.

Carga Muerta (CM): La Norma indica que la carga muerta es el peso bruto del vehículo el cual es de 1050 Kg.

Carga de Giro (CG): Se detalla que la Carga de Giro “debe determinarse en función de la Fuerza Centrífuga que da un vehículo al ingresar en una curva a una velocidad definida en un radio de giro.

La velocidad máxima a considerar para realizar el cálculo es de 120 km/h = 33.33 m/s, en vista que según la Policía Nacional del Ecuador existen vehículos que sobrepasan los límites permitidos en carretera.

El peso del vehículo según las características técnicas es de 1050 Kg.

Por lo expuesto anteriormente se define que la Velocidad Crítica es de 120 km/h, originando un radio de curvatura de la carretera de 700 m, con un porcentaje del peralte del 8%.

Por lo que el ángulo del peralte es 4.57° .

Por lo que la carga de giro es:

$$(CG) = P * \frac{V^2}{r} + P * \text{Sen}(\alpha_{\text{Peralte}})$$

Donde:

CG = Carga de Giro

P = Peso en bruto del Vehículo = 1050 Kg

V = Velocidad Critica es de 120 km/h = 33.33 m/s

r = Radio de Curvatura es: 700 m

Por lo que:

$$\alpha_{\text{Peralte}} = 4.57^\circ$$

$$(CG) = 1050 \text{ Kg} * \frac{\left(33.33 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{700 \text{ m}} + 1050 \text{ K} * \text{Sen}(4.57)$$

$$(CG) = 1666.33 \text{ N} + 83.66 \text{ Kgf}$$

$$(CG) = 1666.33 \text{ N} * \frac{1 \text{ Kgf}}{9.81 \text{ N}} + 83.66 \text{ Kgf}$$

$$= 253.52 \text{ Kgf}$$

Carga de Frenado (CF)

La carga de frenado se determina de la siguiente manera:

d = Desaceleración de la Carga igual o mayor a 4 m/s^2

G = Gravedad = 9.81

P = Peso en bruto del Vehículo = 1050 Kg

CF = Carga de Frenado

Por lo que:

$$CF = \frac{P * d}{g}$$

$$CF = \frac{1050 \text{ Kg} * 4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 428.13 \text{ Kg}$$

Carga de Aceleración Brusca (Ab)

Según la Norma la Carga de Aceleración Brusca se define bajo el mismo criterio que el del Frenado, pero en sentido contrario.

Por lo que:

$$A_b = - CF = -428.13 \text{ Kg}$$

Carga por Resistencia del Aire Frontal (Raf)

Se define por la fuerza del aire actuante sobre la proyección de una determinada área correspondiente al plano perpendicular.

Donde:

$$R_{af} = \frac{1}{2} * C_x \times \rho \times A_f \times v^2$$

Raf= Carga de Resistencia Aerodinámica

Cx= Coeficiente de resistencia frontal del aire = 0.7

ρ = Densidad del aire = condición más crítica = 1.225 kg/m

Af = Área correspondiente a la proyección

V = Velocidad del Aire = 25 m/s

Como no se tiene Af, se procede a determinar en base al:

B = Ancho: 1540 mm = 1.54 m

H = Altura del Chasis: 1180 mm = 1.18 m

$$A_f = B \times H$$

$$A_f = 1.54 \text{ m} \times 1.18 \text{ m}$$

$$A_f = 1.817 \text{ m}^2$$

Una vez definido todos los parámetros se procede a determinar la Carga de Resistencia Aerodinámica de la siguiente manera:

$$R_{af} = \frac{1}{2} * 0.7 \times 1.225 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 1.817 \text{ m}^2 \times (25 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2$$

$$R_{af} = 486.9 \text{ N} * \frac{1 \text{ Kgf}}{9.81 \text{ N}} = 49.6 \text{ Kgf}$$

Según la combinación seleccionada anteriormente se procede de igual manera a analizar la estructura.

$$1.2 \text{ M} + 1.6 \text{ F} + 0.8 \text{ Raf}$$

$$1.2 * 1050 \text{ Kg} + 1.6 * 428.13 \text{ Kg} + 0.8 * 49.6 \text{ Kg}$$

Los resultados del análisis del diseño de la carrocería Volkswagen tipo 1 original son:

Tensiones equivalentes según VON Mises, es aceptable, en vista que se puede distinguir, que en la parte donde se genera mayor fuerza es en las secciones de los parabrisas frontal y laterales, con un color celeste, el cual originan valores de 238600 MPa, como se muestra en la Figura 6.



Figura 6. Tensiones Equivalentes del chasis Volkswagen

Desplazamiento en mm, según los datos originados la deformación máxima que se da por el desplazamiento es de 12.86 mm.

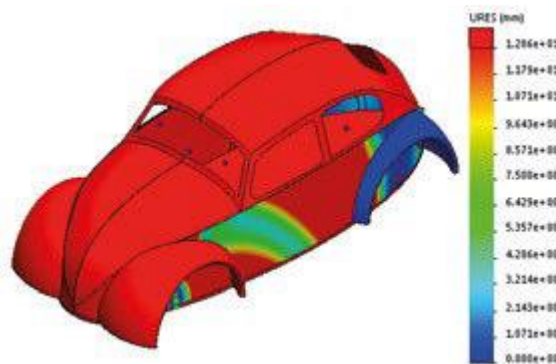


Figura 7. Desplazamiento en mm del chasis Volkswagen

Deformación Unitaria, al igual que las Tensiones originadas son aceptables, en vista que se puede distinguir, que en la parte donde se genera mayor deformación unitaria es de 0.6277 es en las secciones de los parabrisas frontal y laterales, marcando con un color celeste.

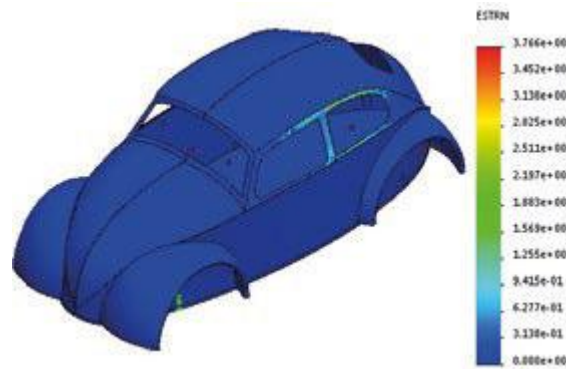


Figura 8. Deformación Unitaria del chasis Volkswagen

Factor de Seguridad, el FDS mínimo resultante bajo el criterio de Tensión Normal Máximo seleccionado es de 2.9 tal como muestra la Figura 9.

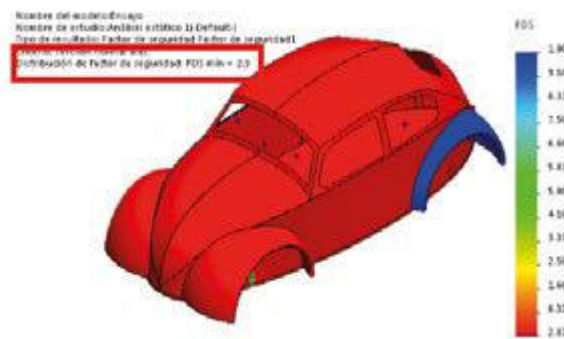


Figura 9. FDS del chasis Volkswagen

Los resultados del análisis del diseño de la carrocería Volkswagen modificado en un vehículo eléctrico modelo Volksrod son:

Tensiones equivalentes según VON Mises, es aceptable, en vista que se puede distinguir, que en la parte donde se genera mayor fuerza es en las secciones de los parabrisas frontal y techo, con un color celeste, el cual originan valores de 49180 MPa, ver Figura 10.

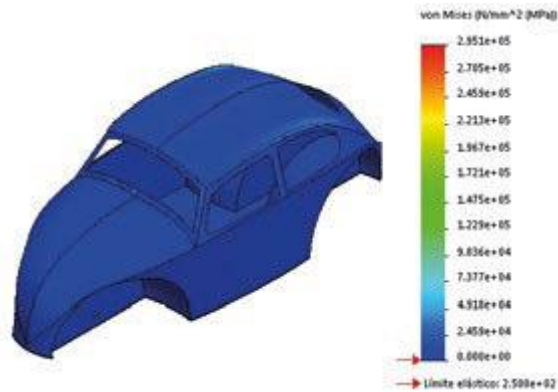


Figura 10. Tensiones Equivalentes del chasis Volksrod.

Desplazamiento en mm, según los datos originados la deformación máxima que se da por el desplazamiento es de 7.306 mm, como se detalla en la Figura 11.

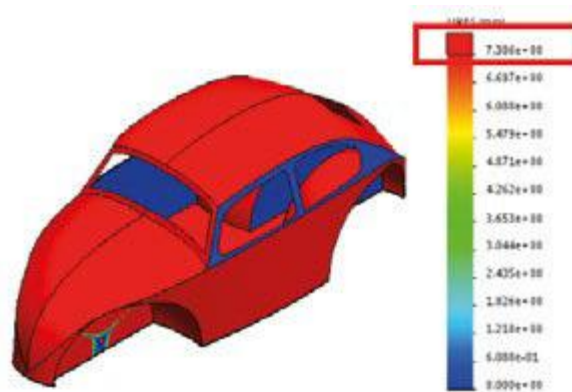


Figura 11. Desplazamiento en mm del chasis Volksrod

Deformación Unitaria, al igual que las Tensiones originadas son aceptables, en vista que se puede distinguir, que en la parte donde se genera mayor deformación unitaria es de 0.1895 es en las secciones de los parabrisas frontal y techo, marcando con un color celeste, como evidencia la Figura 12.

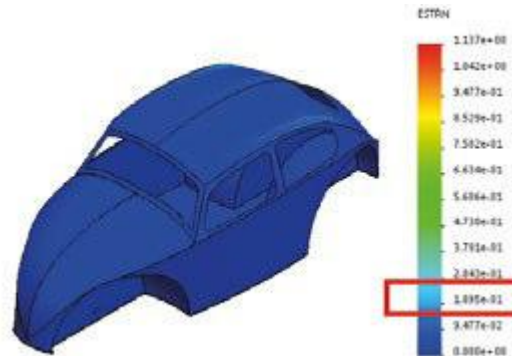


Figura 12. Deformación Unitaria del chasis Volksrod.

Factor de Seguridad, el FDS mínimo resultante bajo el criterio de Tensión Normal Máximo seleccionado es de 10.37

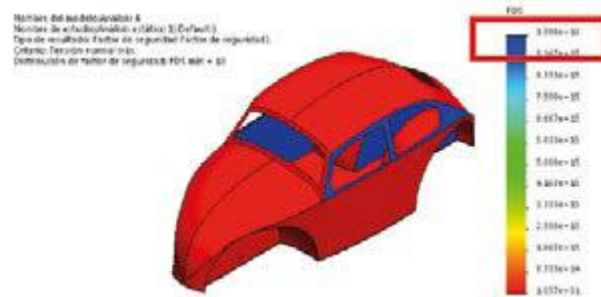


Figura 13. FDS del chasis Volksrod

Comparación de resultados

Los datos resultantes se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 12: Tabla de comparaciones.

Ensayo	Vw Tipo 1	Volksrod
Tensión Mpa	238600	49180
Desplazamiento	12,86	7,306
Deformación Unitaria	0,6277	0,1895
Factor de seguridad	2.9	10.37

Finalmente se ha modificado la estructura completa del vehículo original, sin afectar la seguridad que brinda la carrocería al momento de desplazarse por carretera.

Conclusiones

Basados en los criterios de selección costo, eficiencia, adaptabilidad, mantenimiento y voltaje pico, determinamos que la fuente con mayor poder para el vehículo Volksrod es el motor marca Hepu Power Techonology Co., Ltda.

Se consideró distintos tipos de escenarios en las pruebas de ruta, obteniendo que en 21 Km de recorrido las baterías evidenciaron un 25% de desgaste, permitiendo determinar que el vehículo en terreno plano podrá llegar a los 84 Km antes de una descarga total de las baterías y en tramos sinuosos en un recorrido de 26 Km un desgaste del 40%, por lo que a los 65 Km de recorrido las baterías requieren carga.

Las 8 baterías permitirán alcanzar distancias cortas como Ambato - Baños, dentro de los márgenes establecidos de velocidad en un rango promedio de 50 km/h, con una potencia máxima de 15 KWy durabilidad de 3 horas, para lo cual se tiene tres opciones de abastecimiento de energía, la primera con una toma directa con un tiempo de carga de 2 horas, la segunda con una toma a 220v con un tiempo de carga de 4 horas y la tercera con una toma de 110v con el tiempo de carga de 6 horas.

El Volksrod por poseer una Tensión, Desplazamiento y Deformación Unitaria menor que la original presenta. Un Factor de Seguridad mayor en el rango 10.37, por lo que Mott (2006), recomienda que el diseño de estructuras estáticas bajo cargas dinámicas con algunas combinaciones debe ser de 4 o más.

Agradecimientos

El presente trabajo de investigación es el fruto del trabajo colaborativo de estudiantes de la carrera de Mecánica Automotriz junto a los docentes que imparten los conocimientos adecuados en el área, que permitió el desarrollo, construcción fabricación del volksrod que servirá como un instrumento educativo en la mejora constante del conocimiento avances en el área automotriz, sin más agradecer a la institución de cual se es participe que ha permitido esos temas sean llevados a ser tangibles.

Referencias

- A., M. C. (2016). Análisis estructural basado en simulación por el método de elementos finitos de una carrocería de bus interprovincial sometida a prueba de impacto lateral para determinar la geometría y materiales aplicables que garanticen la seguridad de los pasajeros. Latacunga - Cotopaxi.
- ANT. (2019). Manual De Seguridad Vial Urbana Del Ecuador. Quito, Pichinca, Ecuador: Ant.
- Cedeño, L. . (2020). Análisis Estructural de un bus por le método de elementos finitos.
- Daniel, M. (12 de 12 de 2019). motorpasión. Obtenido de www.motorpasión.comcom/tecnologia/los-motores-son-tambien-claveen-el-desarrollo-del-coche-eléctrico-no-todoes-cuestion-de-baterías.

- Erazo, C. J. (2020). Instalación de un motor eléctrico de un vehículo y acople a su sistema de transmisión. Tech Carlos Cisneros.
- Frias, E. (20 de 03 de 2004). El método de los elementos finitos FEM o MF.
- Guillermo, U. C. (16 de 02 de 2020). Electromovilidad. Obtenido de <http://electromovilidad.net/tipos-de-motoreselectricos/>
- Herrera, C. V. (2016). Análisis estructural y optimización aerodinámica de la carrocería de un bus interprovincial modelo GR de la Empresa olimpica Quito. Quito.
- J., C. P. (2012). Análisis estructural con el método de elementos finitos asistidos por computador .
- Leaseplan. (12 de 12 de 2017). leaseplango. Obtenido de <https://www.leaseplango.es/>
- ONU. (2019). El estilo de vida de hoy en día es insostenible.
- R., C. P. (12 de 03 de 2016). Universida Politécnica Salesiana.
- Ramirez, D. M. (2009). Determinación de los requerimientos de par, velocidad angular y potencia para el motor de un vehículo eléctrico.
- Rios, I. (13 de 06 de 2016). policía Ecuador . Obtenido de <http://www.policiaecuador.gob.ec/control-para-evitar-accidentes-de-tránsito-serefuera-en-los-rios/>.
- Salazar, H. G. (2008). Análisis y diseño de experimentos. Mexico: McGraw-Hill Interamericana.
- Sanmillan Blasco, M. (2020). Concepción y desarrollo de la tracción eléctrica de un vehículo Formula Student. Doctoral dissertation.
- Simon, S. (2 de 12 de 2019). simonelectric. Obtenido de <https://www.simonelectric.com/blog>
- Soto, A. R. (02 de 05 de 2013). Propuesta del prototipo de un vehículo eléctrico sustentable. Obtenido de <https://forococheselectricos.com/2011/11/motorelectrico-versus-motor-de.html>.
- UDLA, U. d. (20 de 03 de 2019). UDLA. Obtenido de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/florian_m_a/capitulo4.pdf.
- Verucchi, C. B. (2007). Algunas pautas para la selección de motores de propulsión en vehículos eléctricos. Rio: Ruschetti.
- W., R.-H. J. (02 de 05 de 2017). Evaluación del sistema de tracción en un Vehículo Eléctrico Biplaza de Estructura Tubular. Latacunga: Ayabaca.
- Yepez, V. (15 de 06 de 2019). Universidad Politecnica de Valencia. Obtenido de <https://victoryepes.blogs.upv.es/2013/04/24/>