

ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE PROPULSIÓN DE UN TRICICLO MONOPLAZA ELÉCTRICO PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD EN SUS EXTREMIDADES INFERIORES”

AUTOR: WILSON VARGAS

DIRECTOR: ING. WILLIAM BONILLA

CODIRECTOR: ING. FREDDY SALAZAR



JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

La necesidad de transportarse y de ser independiente en su movilización siempre ha existido y ha sido de gran importancia para las personas con discapacidad en sus extremidades inferiores residentes en la Ciudad de Latacunga - Provincia de Cotopaxi se vio oportuno cubrir esta necesidad al crear un triciclo monoplaza 100% eléctrico como alternativa de futuro a la movilidad y el transporte urbano,



OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir el sistema de propulsión de un triciclo monoplaza eléctrico para personas con discapacidad en sus extremidades inferiores como medio de transporte alternativo para aumentar la fluencia de las personas mejorando su viabilidad y traslado satisfactorio del mismo.

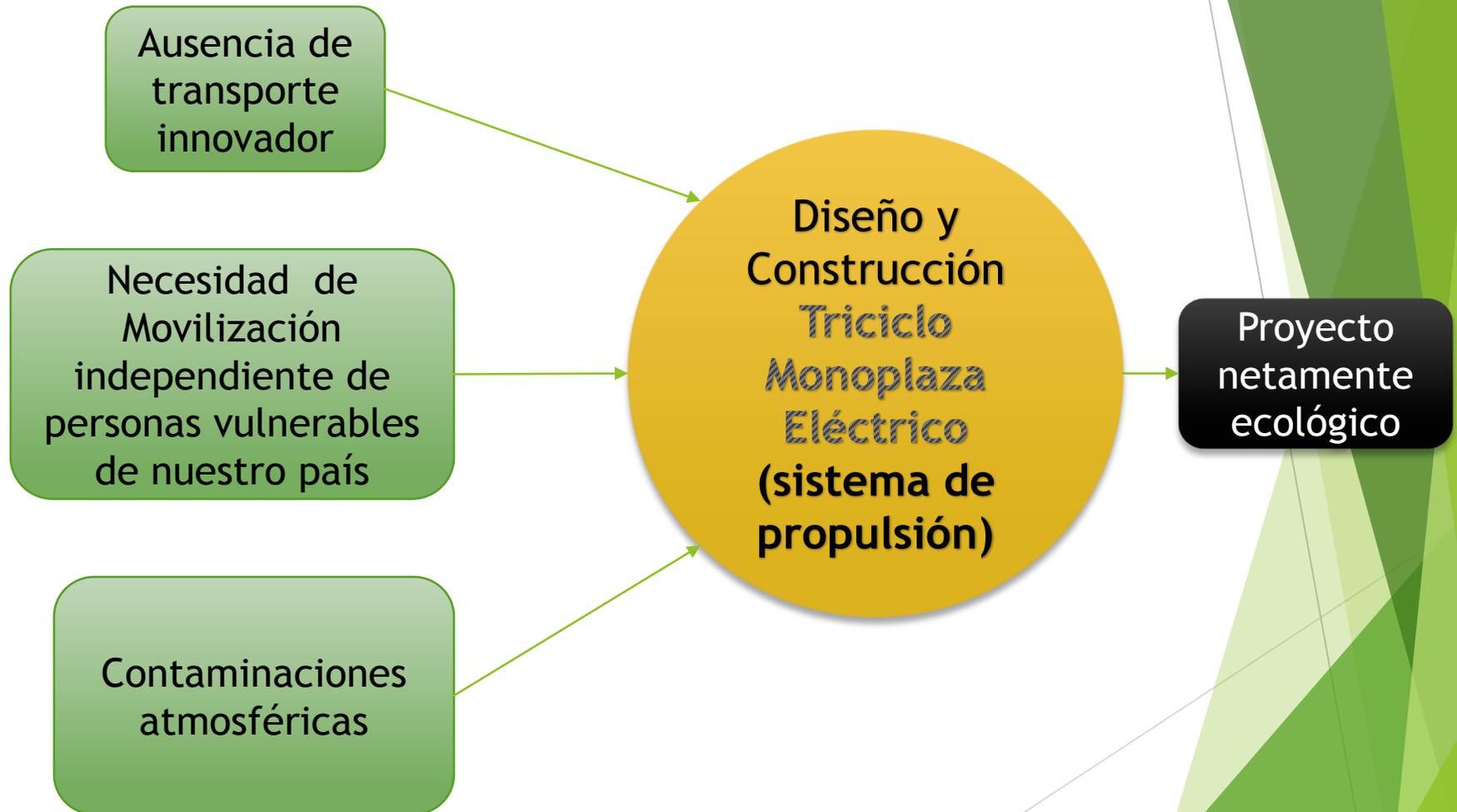


OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar el sistema de propulsión basada en previos cálculos y comprobaciones.
- Construir una base para la implementación del motor.
- Implementar un sistema de propulsión con baterías y un motor eléctrico capaz de trasladar al triciclo monoplaza.

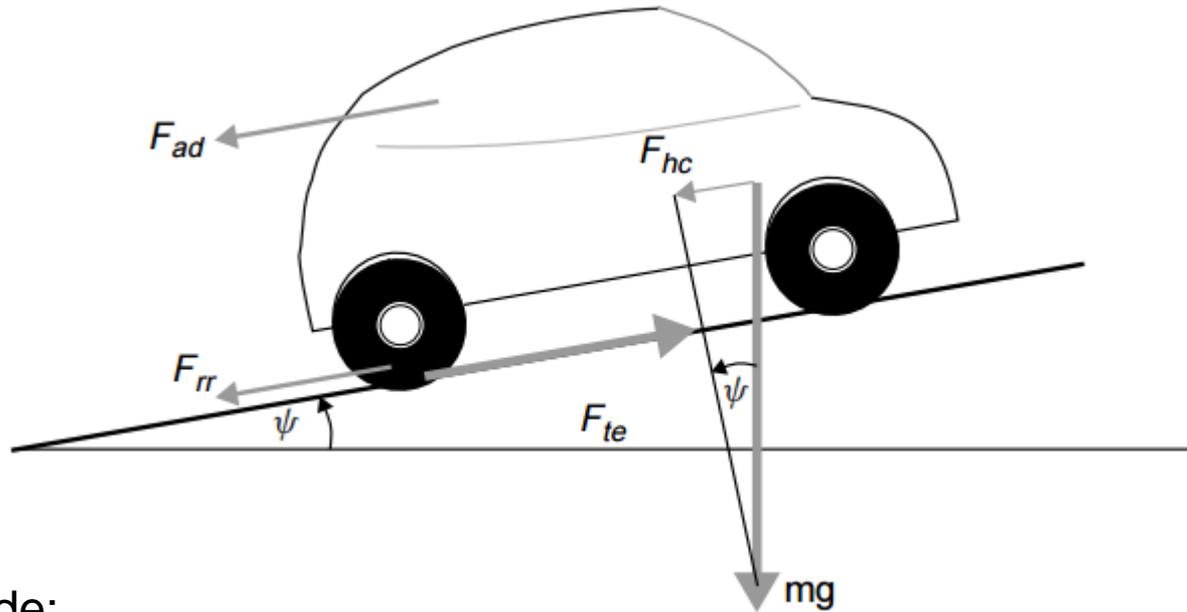


PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA



CÁLCULO PARA LA SELECCIÓN DEL MOTOR

Fuerzas actuantes sobre el triciclo eléctrico en pendientes



Donde:

F_{te} = Fuerza de tracción que es la que impulsa al vehículo eléctrico. [N]

F_{rr} = Fuerza de fricción entre la superficie a rodar y los neumáticos. [N]

F_{ad} = Fuerza de fricción con el viento. [N]

F_{hc} = Componente del peso del vehículo a lo largo de la pendiente. [N]

FUERZA DE FRICCIÓN ENTRE LA SUPERFICIE A RODAR Y LOS NEUMÁTICOS

$$F_{rr} = U_{rr} * m * g * \cos(\psi)$$

$$F_{rr} = 0.015(400\text{kg}) \cdot \left(9,8 \frac{m}{s^2}\right) \cdot \cos(8,53^\circ)$$

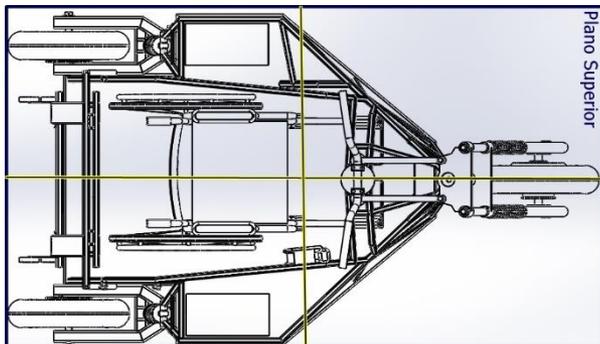
$$F_{rr} = 58.15 \text{ N}$$

FUERZA DE FRICCIÓN CON EL VIENTO

$$F_{ad} = \frac{1}{2} * \rho * A * C_d v^2$$

$$F_{ad} = \frac{1}{2} \cdot \left(0.833 \frac{Kg}{m^3}\right) \cdot (1.68 \text{ m}^2) \cdot (0.5) \cdot \left(4.167 \frac{m}{s}\right)^2$$

$$F_{ad} = 6.075 \text{ N}$$



SECCIÓN TRANSVERSAL DEL VEHÍCULO

COMPONENTE DEL PESO DEL VEHÍCULO EN LA PENDIENTE

$$F_{hc} = m * g * \sin(\psi)$$

$$F_{hc} = (400 \text{ Kg}) \cdot \left(9,8 \frac{m}{s^2}\right) \cdot \sin(8.53^\circ)$$

$$F_{hc} = 581.44 \text{ N}$$

COMPONENTE	PESO EN KG
Carrocería	40
Chasis	130
Motor eléctrico	20
Baterías	120
Silla de ruedas	20
Pasajero	70
TOTAL	400 KG

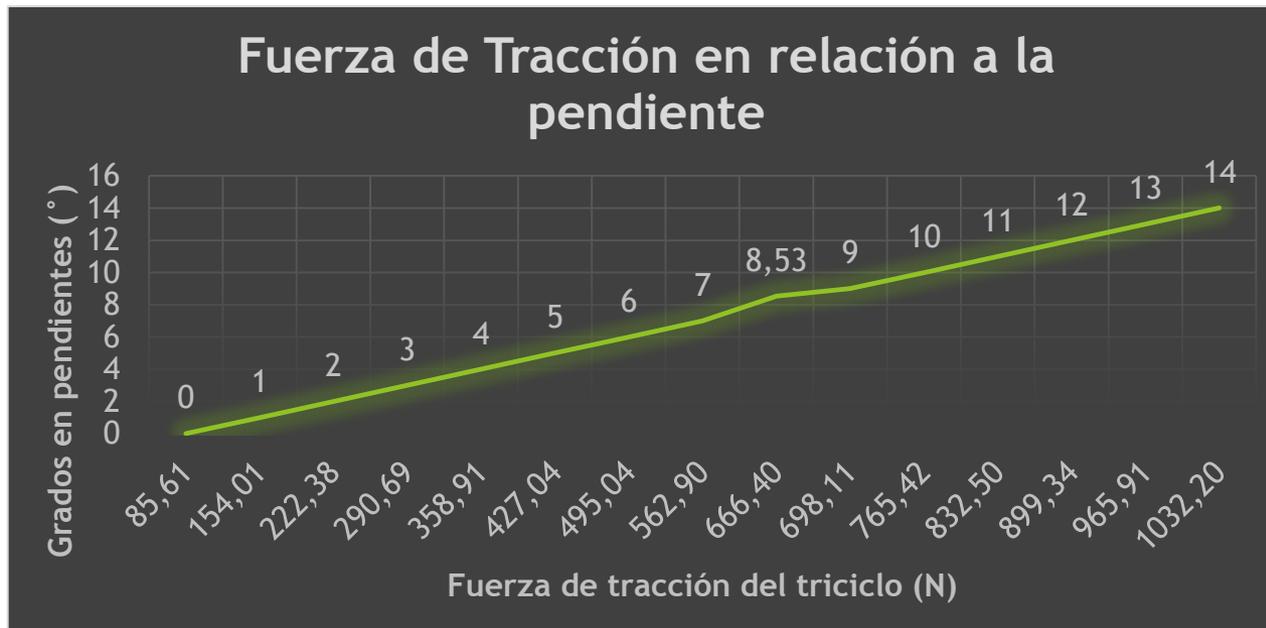
FUERZA DE TRACCIÓN ELÉCTRICA TOTAL

$$F_{te} = m \cdot a + F_{rr} + F_{ad} + F_{hc}$$

$$F_{te} = (400\text{Kg}) \cdot \left(0,04 \frac{m}{s^2}\right) + 58.15\text{N} + 6.075 \text{ N} + 581.44 \text{ N}$$

$$F_{te} = 661.66 \text{ N}$$

FUERZA DE TRACCIÓN ELÉCTRICA TOTAL DE ACUERDO AL GRADO DE PENDIENTE



CÁLCULO DE POTENCIA, TORQUE PARA SELECCIÓN DEL MOTOR

Cálculo de potencia

$$P_{calculada} = F_{te} \cdot v_{max}$$

$$P_{calculada} = (661.66 \text{ N})(4.167 \text{ m/s})$$

$$P_{calculada} = 2757.14 \text{ W}$$

Torque necesario (T_n).

$$T_n = R \cdot F$$

$$T_n = (0.127 \text{ m})(661.66 \text{ N})$$

$$T_n = 84.03 \text{ Nm}$$

Suponiendo que existan pérdidas de energía de un 20%, es decir una eficiencia del motor de un 80% tenemos que utilizar la siguiente ecuación.

$$P_{Motor} = \frac{P_{calculada}}{eficiencia}$$

$$P_{motor} = \frac{2757.14 \text{ W}}{0.80}$$

$$P_{motor} = 3446.42 \text{ W}$$

Potencia requerida para el motor es de 3446.42 W

SELECCIÓN DEL MOTOR

Modelos y características de motores Brushless

Valores requeridos

CRITERIOS	VALORES
Fuerza de tracción eléctrica total en pendientes (F_{te}).	661.66 N
Torque necesario (T_n).	84.03 Nm
Potencia calculada (P_{motor})	3446.42 W

TIPO DE MOTOR	VOLTAJE (V)	POTENCIA (W)	EFICIENCIA (%)	VELOCIDAD (Km/h)	PESO (Kg)	CAPACIDAD DE ACENSO (°)	PAR MÁX. Nm
Brushless MOD-602958017	48/60/72	2000	83	45	17	20	80
Brushless MOD-602958059	48/60/72	2500	83	45	17	20	90
Brushless MOD-602945176	48/60/72	3000	83	50	17	28	100
Brushless MOD-0704509598	48/60/72	4000	85	50	20	28	100
Brushless MOD-518399714	48/60/72	5000	85	55	21	25	160

CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR ELÉCTRICO SELECCIONADO

PARÁMETRO	ESPECIFICACIÓN
Tipo de motor	Motor brushless de alta potencia
Voltaje nominal (V)	48V
Potencia nominal (W)	4000W
Corriente máxima (A)	60 amperios
Velocidad máxima (Km/h)	50 Km/h
Eficiencia (%)	85%
Torque (Nm)	100 Nm
Recorrido Máximo	De acuerdo a la capacidad de la batería
Tipo de freno	Tambor
Capacidad de ascenso (°)	28° sin carga
Tamaño de la rueda (Pulg)	10 pulg.
Peso (Kg)	20 Kg



CÁLCULOS DEL BANCO DE BATERÍAS

Capacidad específica de las baterías

Energía específica másica

$$I_{Baterías} = \frac{(P_{Motor})(\eta_{Motor})}{(V_{Banco})(\%Descarga)}$$

$$W_m = \frac{ExQ}{P_{bat}}$$

$$I_{Baterías} = \frac{(4000w)(0.85)}{(48V)(0.8)}$$

$$W_m = \frac{(48V)(88.54Ah)}{120 Kg}$$

$$W_m = 35.41 \frac{Wh}{Kg}$$

$$I_{Baterías} = 88.54 A$$

Dónde:

W_m = Energía específica másica [Wh/Kg]

E = Fuerza electromotriz [V]

Q = Capacidad específica [Ah]

P_{bat} = Peso de la batería [Kg]

SELECCIÓN DE BATERÍAS

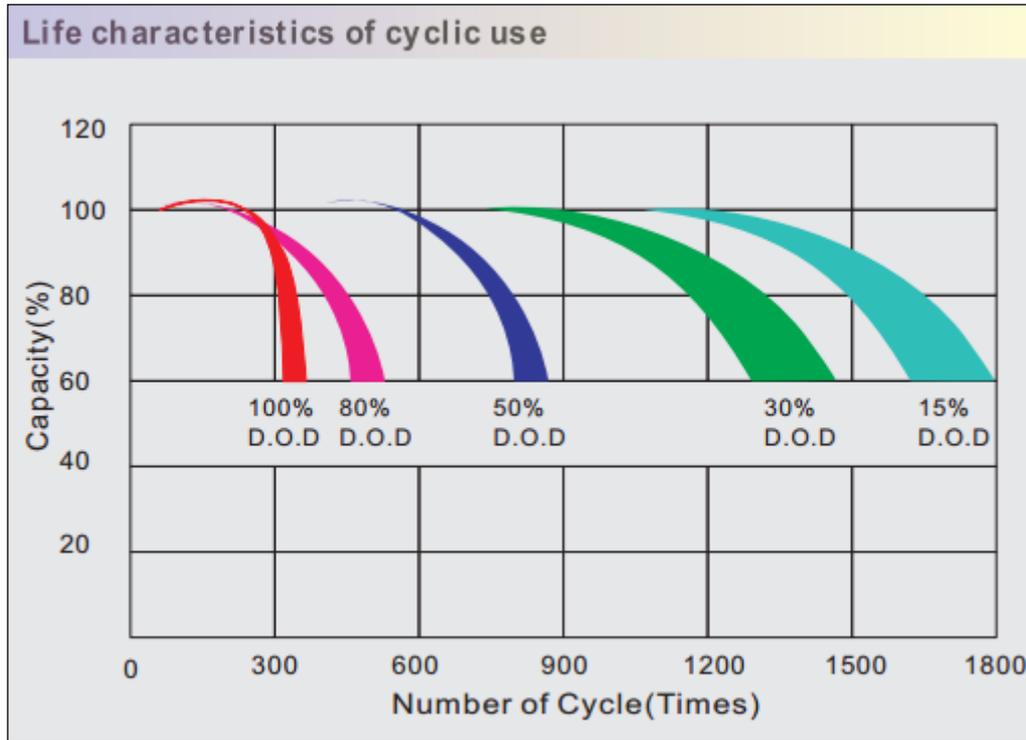
BATERÍAS	EXIDE	ULTRACELL	RITAR
Capacidad (Ah)	140	120	100
Voltaje (V)	12	12	12
Peso (Kg)	48	37	30
Medidas (mm)	513 x 223 x 223	240 x 177 x 225	328 x 172 x 222
Capacidad específica(Wh / kg)	35 38.92	35 38.92	40

CARACTERÍSTICAS DE LA BATERÍA SELECCIONADA

BATERÍA RITAR RA12-100D 12V100AH	
Modelo	RA12-100D
Tipo de batería	Libre de mantenimiento Ciclo profundo Electrolito tipo AGM
Rango de temperatura de operación	Descarga: -20 °C ~ 60 °C Carga: 0 °C ~ 50 °C Almacenamiento: -20 °C ~ 60 °C
Rango normal de operación	25 °C ± 5 °C
Capacidades nominales	100Ah@10hr-rate to 1.80V per cell @25 °C
Voltaje nominal	12 VD
Máxima corriente de descarga	1000 A (5 seg.)
Límite de máxima carga recomendado	30.0 A
Peso aproximado	30.0 kg
Dimensiones	328(L)×172(W)×222(H)



VIDA ÚTIL DE LA BATERÍA



CÁLCULO DE LA AUTONOMÍA

Haciendo referencia que el triciclo funcionará con un consumo promedio de 80 A y una velocidad promedio de 15 Km/h pendientes y 35 Km/h en rectas, conociendo que la capacidad de las baterías seleccionadas es 100 Ah entonces la autonomía queda determinada por :

$$\text{Autonomía} = \frac{C_{\text{Batería}} \times V_{\text{Promedio}}}{C_{\text{Promedio}}}$$

$$\text{Autonomía} = \frac{100 \text{ Ah} \times 35 \text{ km/h}}{80 \text{ A}}$$

Autonomía = 43,75 Km En superficies planas

$$\text{Autonomía} = \frac{100 \text{ Ah} \times 15 \text{ km/h}}{80 \text{ A}}$$

Autonomía = 18,75 Km En Pendientes

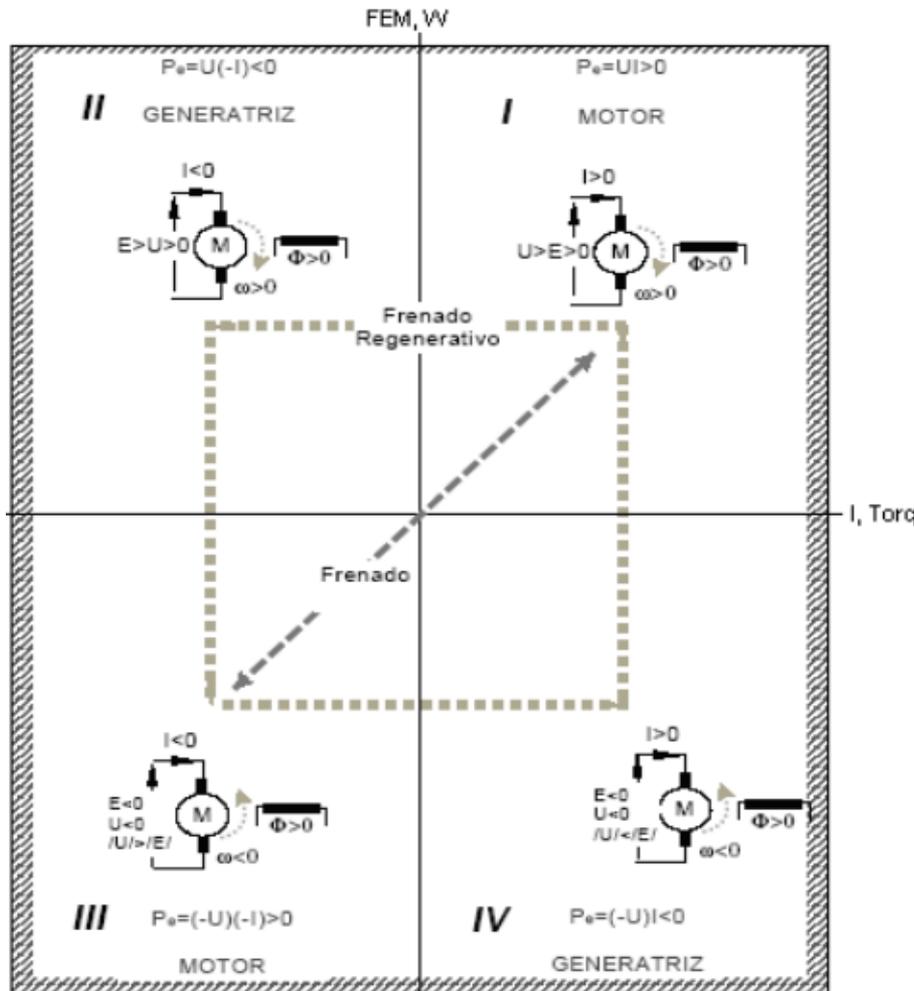
CONTROLADOR DEL MOTOR ELÉCTRICO

Se trata de un dispositivo sólido que utiliza un modulador de ancho de pulso (PWM) que envía cortos ráfagas de corriente al motor en pulsos a una tasa de 15 kHz. La mayoría de los controladores tienen seguridades por ellos mismos por ejemplo:

- Corte por baja tensión
- Condiciones de sobrecalentamiento



FASES DE CONTROL DEL MOTOR ELÉCTRICO



El controlador hace que el motor pueda trabajar en estas 4 fases.

- De un cuadrante suministrar corriente para alimentar el motor.
- De dos cuadrantes si puede absorber la corriente generada por el motor cuando éste gira más rápido que la velocidad establecida.
- De cuatro cuadrantes si también se puede invertir y absorber la corriente generada en ambos sentidos

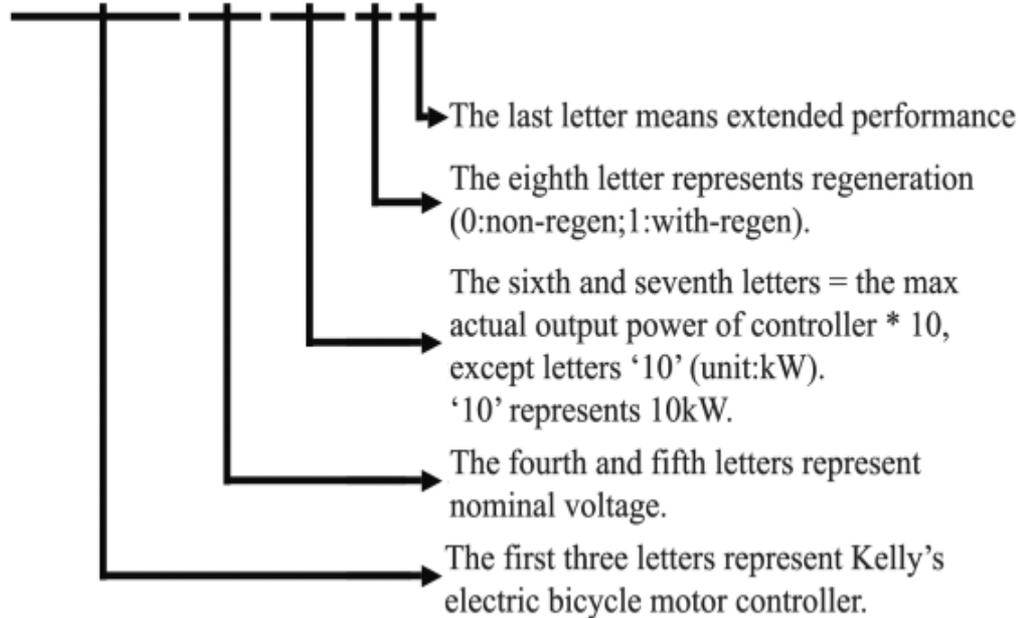
SELECCIÓN DEL CONTROLADOR

Kelly Ebike Brushless DC Motor Controller			
Model	Power(Walt)	Voltage(Volt)	Regen
KEB48200X	2000W	24V-48V	No
KEB48201X	2000W	24V-48V	Yes
KEB48300X	3000W	24V-48V	No
KEB48301X	3000W	24V-48V	Yes
KEB48400X	4000W	24V-48V	No
KEB48401X	4000W	24V-48V	Yes
KEB48600	6000W	24V-48V	No
KEB48601	6000W	24V-48V	Yes
KEB72100	10000W	24V-72V	No
KEB72101	10000W	24V-72V	Yes

Este controlador hace uso de un microprocesador que hace un control PWM (modulación por ancho de pulsos), que controla a un conjunto de transistores MOSFET de alta potencia dispuestos en forma de H para lograr eficiencias de hasta el 99%.

SIGNIFICADO DE DENOMINACIÓN DEL MODELO DEL CONTROLADOR SELECCIONADO

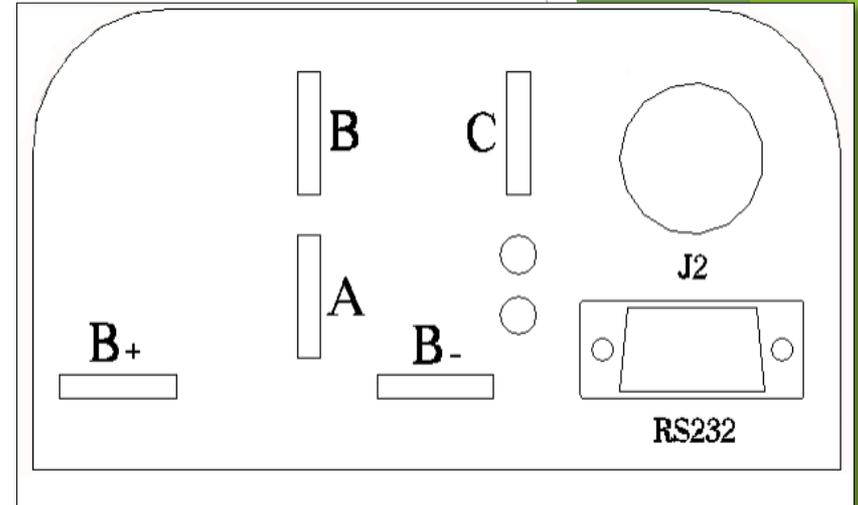
KEB72300X



***El controlador
seleccionado
fue KEB 48601F***

CONEXIONES DEL CONTROLADOR

- Los terminales **B+**, **B-** Corresponden su conexión a los terminales del banco de baterías.
- Los terminales **A**, **B**, **C** del controlador van conectados a los polos del motor.
- Conector J2 es para la entrada y salidas de señales desde y hacia el controlador.
- RS232 conexión para el computador para configuración de la programación del controlador.



VERIFICACIÓN DE CONEXIÓN DEL CONTROLADOR

CÓDIGO DE LED	EXPLICACIÓN	SOLUCIÓN
Verde Apagado 	No hay alimentación o apagado	<ol style="list-style-type: none">1. Compruebe si todos los cables son correctas.2. Revise el fusible y la fuente de alimentación
Verde Encendido 	Operación normal	Ninguna
Verde y rojo en ambos  	Código de fallas	<ol style="list-style-type: none">1. Tensión de alimentación demasiado baja o la batería demasiado alta2. El controlador está dañado. Póngase en contacto con Kelly acerca una reparación en garantía

CÁLCULO DE FUSIBLES ELÉCTRICOS

- El componente más delicado en el sistema de propulsión eléctrica es el controlador del motor eléctrico por lo que se lo colocará un fusible entre las baterías y controlador.

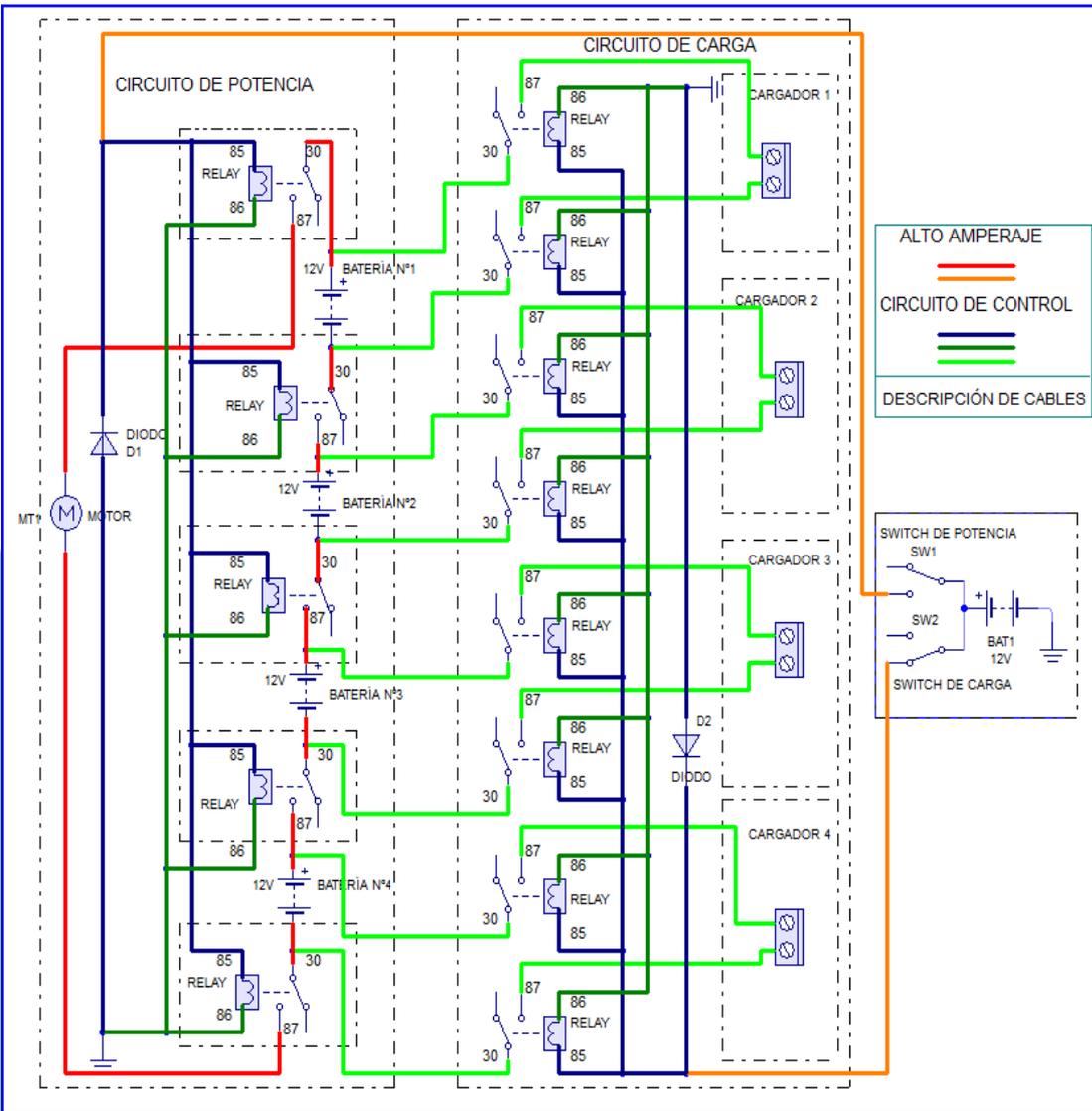
$$f = \frac{I_{total}}{0.9}$$

$$f = \frac{100 A}{0.9}$$

$$f = 111.11 A$$



CIRCUITO DE CONTROL



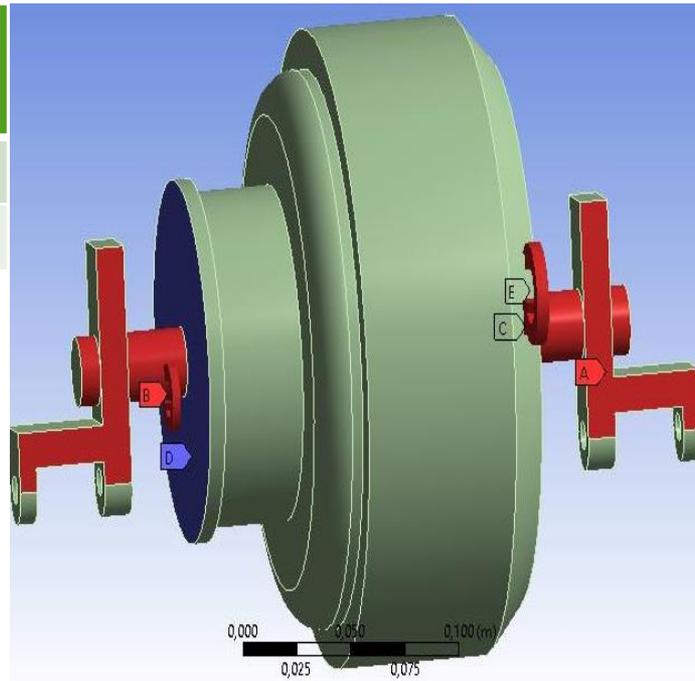
- Controlado mediante un interruptor de codillo (ojo de cangrejo).
- Activa el circuito de potencia
- Activa el circuito de carga
- Desactiva a todo el circuito
- Relés funcionar como contactores o interruptores automáticos que son comandados por una tensión de corriente minimizando riesgos de corto circuito

ANÁLISIS DE CARGAS DEL SOPORTE MOTOR

Peso eje delantero	Peso eje posterior
45%	55%
180 kg	220.kg

$$F_{aplicada} = (200Kg) \left(9.8 \frac{m}{s^2} \right)$$

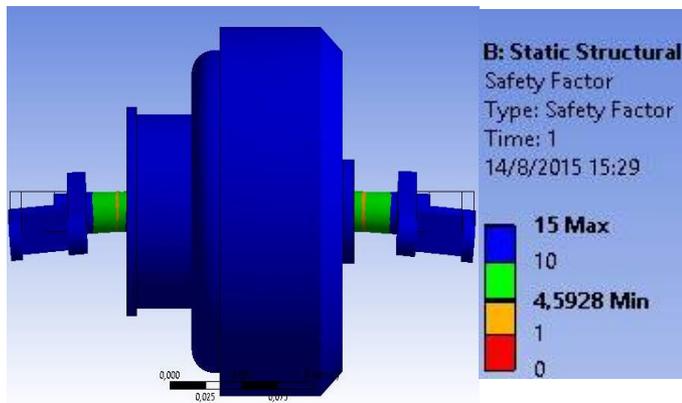
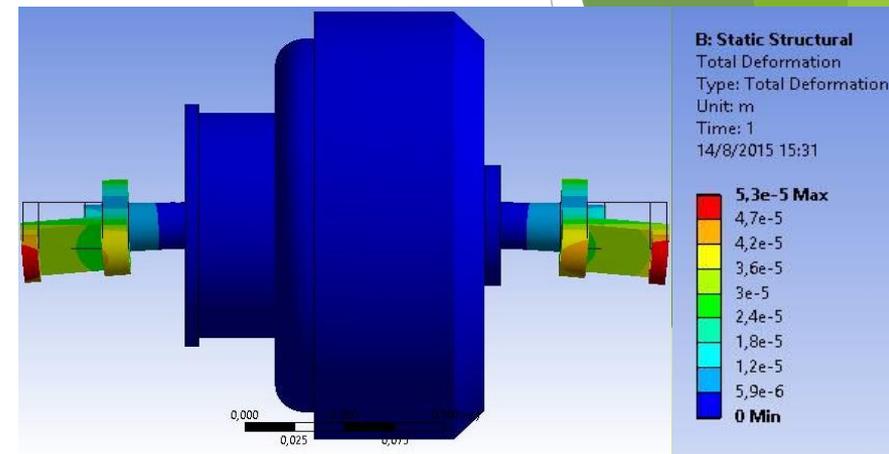
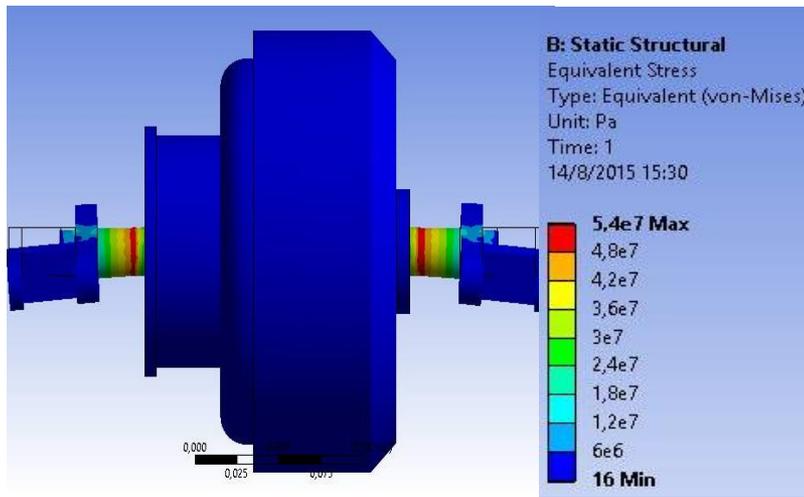
$$F_{aplicada} = 1960 N$$



B: Static Structural
Static Structural
Time: 1, s
14/8/2015 15:31

- A** Force: 980, N
- B** Moment: 100, N·m
- C** Fixed Support
- D** Fixed Support 2
- E** Moment 2: -100, N·m

ANÁLISIS DEL SOPORTE DEL MOTOR

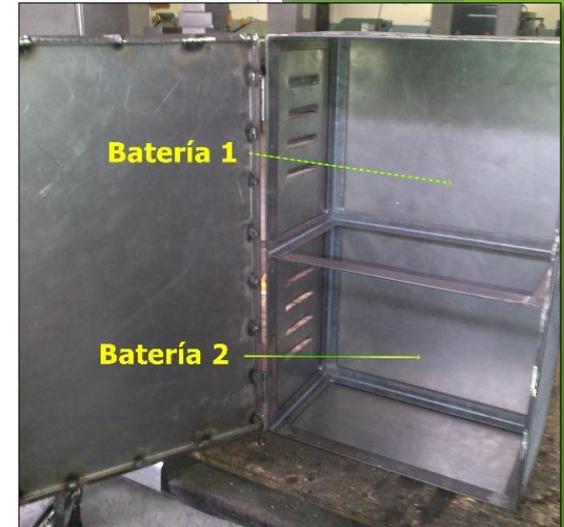


Deformación máxima total	0.053 mm
Tensión equivalente máxima obtenida (Von Mises)	54 MPa
Límite de fluencia acero ASTM A36	2 530 kg/cm ² , 250 Mpa, 36 ksi
Factor de seguridad	4,6

CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE PROPULSIÓN

CONSTRUCCIÓN DEL PORTA-BATERÍAS

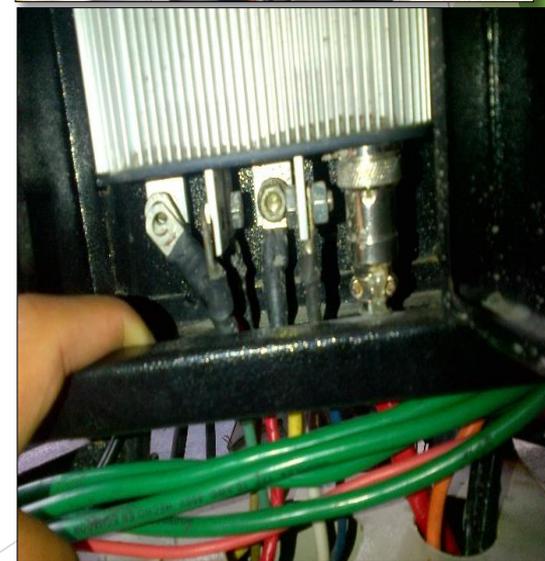
- Se construyo 2 porta baterías
- Porta baterías implementado al chasis
- En cada porta baterías se implementara 2 acumuladores



IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROLADOR

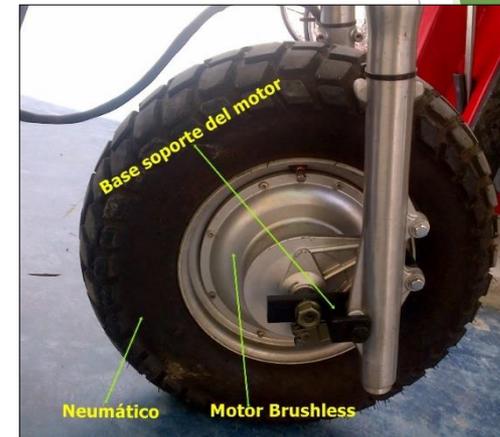
CONSTRUCCIÓN DE LA CAJA DEL CONTROLADOR

- Se construyó una caja con seguro.
- Implementación del controlador en la caja.
- Conexiones del controlador guiando en el manual del fabricante



IMPLEMENTACIÓN DEL MOTOR

- Se construyó 2 bases o soportes del motor.
- Implementación del motor brushless
- Implementación del neumático en el aro del motor 135/90R10



CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

- Control de potencia del motor
- Control de carga
- Implementación del circuito



IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE ACCESORIOS



PRUEBAS Y RESULTADOS OBTENIDOS

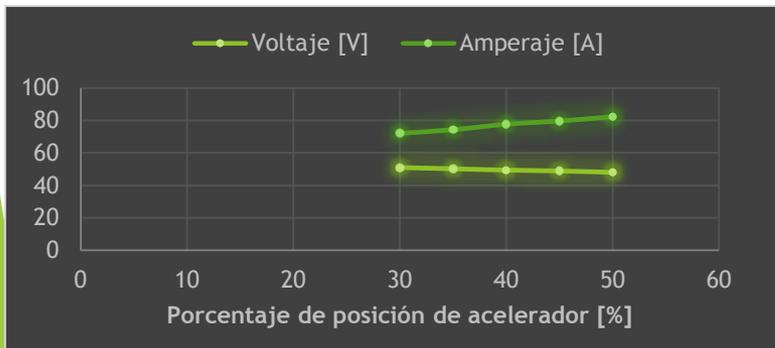
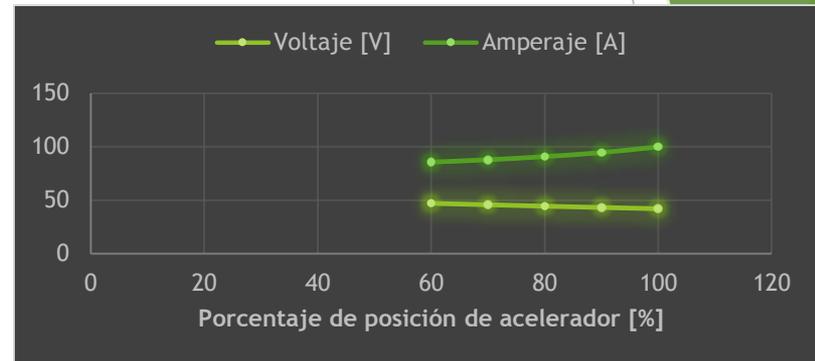
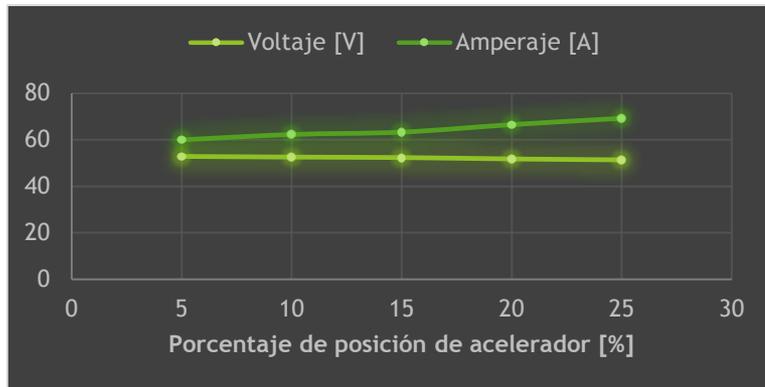
► Para efectuar la prueba de aceleración del triciclo eléctrico monoplaza, se la realizó en una vía plana del aeropuerto de Cotopaxi consistía en determinar el tiempo que el triciclo demora en recorrer una distancia de 50 metros, partiendo desde el reposo, el tiempo cronometrado fue de 10 segundos.



$$V_f = \frac{d}{t}$$
$$V_f = \frac{50 \text{ m}}{10 \text{ seg.}}$$
$$V_f = 0,5 \frac{\text{m}}{\text{seg.}}$$
$$= 18 \frac{\text{Km}}{\text{h}}$$

$$a = \frac{V_f - V_o}{t_f - t_o}$$
$$a = \frac{0,5 \frac{\text{m}}{\text{seg.}} - 0}{10 \text{seg.} - 0} = 0,05 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2}$$

CORRIENTE Y VOLTAJE CONSUMIDO DE ACUERDO A LAS CARGAS APLICADAS

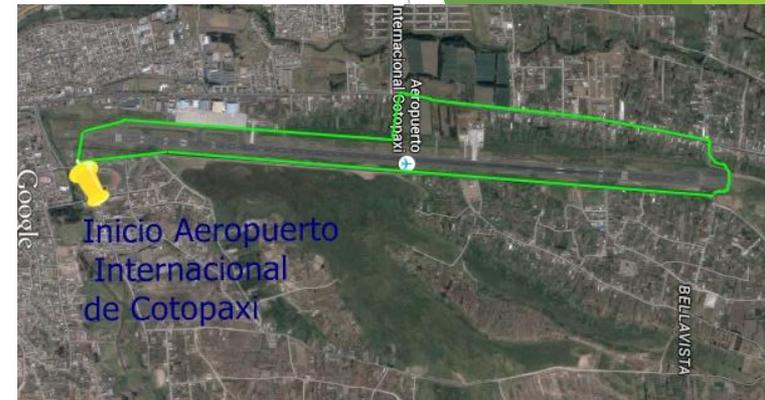


Posición del acelerador %	Corriente consumida	Caída de voltaje
25	69,2	51,3
50	82,3	48,1
100	100	42,24

PRUEBAS DE AUTONOMÍA

PRUEBA DE AUTONOMÍA

- ▶ Esta prueba dependerá de las características de las baterías seleccionadas, conociendo que la capacidad de las baterías es de 100 Ah, la ruta establecida para esta prueba consta de 8Km con pendientes poco pronunciadas.
- ▶ Logrando dar 5 vueltas a una velocidad de 35 Km/h es decir que el triciclo recorrió aproximadamente 42 Kilómetros en tres horas y media, cumpliendo así con el cálculo teórico establecido.



CONCLUSIONES

- ▶ El triciclo cumple con los parámetros de diseño dinámicos calculados consiguiendo implementar del sistema de propulsión con un motor eléctrico brushless modelo MOD-0704509598 capaz de producir 4000 W de potencia efectiva que alcanza una velocidad de 50Km/h, con un voltaje de 48 voltios y 60 amperios para su funcionamiento,
- ▶ Se ha diseñado un sistema de control con relés el cual activara al sistema de potencia del motor y también activara al sistema de carga de las baterías, a su vez este circuito de control funcionara como un dispositivo de seguridad ya que funcionarán como un elemento de paro de emergencia o como un contactor.
- ▶ Para las conexiones de todo el sistema de propulsión se ha seleccionado adecuadamente elementos eléctricos y electrónicos como, las baterías, controlador electrónico, motor, acelerador, relés y conductores de corriente eléctrica de acuerdo al calibre para la conexión de alto y bajo amperaje.
- ▶ El triciclo monoplaza eléctrico cumple con las expectativas propuestas, alcanzando una distancia de recorrido de 42 Km con una velocidad media de 35Km/h y una velocidad máxima de 50Km/h suficiente para moverse en zonas urbanas ya que la velocidad máxima permitida en ciudades es de 50Km/h.
- ▶ La necesidad de transporte independiente para las personas con discapacidades en sus extremidades inferiores residentes en la ciudad de Latacunga con este tipo de vehículo ha sido de gran importancia, ya que es un triciclo monoplaza 100% eléctrico como alternativa de futuro gracias a la utilización de una energía limpia y eficiente como es la energía eléctrica.

RECOMENDACIONES

- ▶ Seleccionar un motor apropiado de acuerdo a cálculos matemáticos como potencia y torque que el consumidor necesite.
- ▶ Tener precaución al manipular el interruptor de codillo (ojo de cangrejo) ya que cuenta con tres posiciones de accionamiento como, encendido del sistema, apagado, y carga para no tener dificultades con el funcionamiento del triciclo.
- ▶ Tomar en cuenta los parámetros iniciales del motor, ya que la capacidad de subir pendientes muy pronunciadas no son adecuada para que los componentes eléctricos no sufran daños.
- ▶ Al tener problemas con el controlador, acudir inmediatamente al manual de fallas del controlador para verificar las posibles fallas del sistema.
- ▶ Si desea mejorar la velocidad del motor, se puede descargar el software de programación del controlador en la página oficial de Kelly Controls.
- ▶ Para incrementar la autonomía del triciclo se debe implementar baterías de Ion litio ya que pueden tener una capacidad específica de 200Wh/Kg frente a las baterías de ciclo profundo AGM que tiene una capacidad específica de 40Wh/Kg, sin embargo el costo de estas baterías son muy elevadas.
- ▶ Con el cambio de la matriz energética en el país este tipo de vehículos serán tomados en cuenta para el transporte por lo que convendría ir investigando proyectos ejemplares.



MUCHAS GRACIAS