

"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MONOCICLO ELÉCTRICO".

Ing. Guido Torres¹/ Ing. Héctor Terán²/ Omar Chuquimarca³/ Daniel Peralta⁴

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE
Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
Quijano y Ordoñez y Márquez de Maenza s/n
Email: grtorres@espe.edu.ec¹, hcteran@espe.edu.ec²,
omar_xavi.89@hotmail.es³, marcos.peralta@lan.com⁴
Latacunga - Ecuador

RESUMEN: El presente proyecto tiene como objetivo diseñar y construir un prototipo constituido de una estructura metálica tubular de acero con un bajo centro de gravedad para su mayor estabilidad, un motor eléctrico tipo brushless adaptado a un neumático delantero y una rueda posterior de soporte. Funciona de dos maneras, la primera con un potenciómetro en el manillar derecho y la segunda con un acelerómetro sujeto al pecho del conductor que lo acelera y desacelera en función de los grados de inclinación de la persona que lo conduzca.

ABSTRACT: The objective of this project was to design and build a prototype made of a steel tubular metallic structure with a low center of gravity for added stability, an electric motor brushless type adapted to a frontal pneumatic and a posterior wheel for support. It Works in two ways; the first one is with a potentiometer on the right side and the second with an accelerometer attached to the operator chest that accelerates or decelerate the prototype using the operator's body inclination as a guide.

I. INTRODUCCIÓN:

En los últimos años, la toma de conciencia sobre las necesidades medio ambientales es ya global debido a los fenómenos ambientales producidos por las emisiones de gases contaminantes ocasionados por

los medios de transporte que utilizan motores de combustión. Cada día la tecnología avanza para colaborar con el cuidado del planeta, un ejemplo claro son los prototipos que funcionan con fuentes de energía alternativa. Una de estas innovaciones introducidas la constituyen los medios de transporte unipersonales como una solución complementaria que funciona a base de energía eléctrica.

II. DISEÑO DEL MECÁNICO

Diseñar es desarrollar un sistema o una estructura que posea características y funciones deseadas con el fin de satisfacer demandas o necesidades.

El prototipo debe poseer las siguientes características en su diseño:

- **Dimensiones:** Se trata de un medio de transporte unipersonal, debe ser compacto entonces las medidas serán 1,10 m de altura, 0,6 m de longitud y 0,3 m de ancho.
- **Peso:** El peso del monociclo será de 40 kg distribuyéndose de la siguiente manera; el neumático 5 kg, el motor 5 kg, la estructura 8 kg, la carrocería 6 kg, la llanta de apoyo, el controlador del motor, componentes eléctricos y electrónicos 1 kg y las baterías 4 kg.

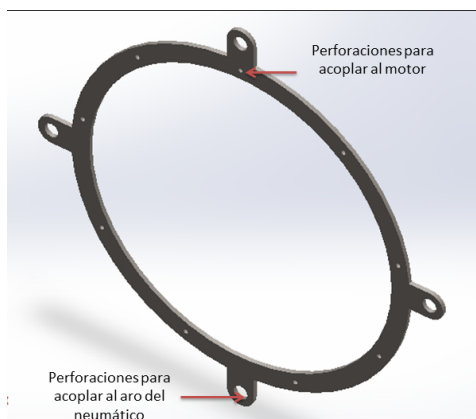
- **Distancia del conductor al piso:** Tomando en cuenta la estatura de 1,70 m de una persona promedio en Ecuador, el asiento estará a una altura de 0,8 m al suelo.
- **Altura del centro de gravedad:** La altura del centro de gravedad empleando SolidWorks es 0,4 m.
- **Alojamiento del motor:** El motor será compacto y liviano, se adaptará un motor brushless de tipo cilíndrico de un diámetro de 24 cm y un ancho de 6,2 cm a un neumático de automóvil rin 12.

Posterior a detectar las características de diseño, es necesario conocer el comportamiento de los elementos que conforman el sistema estructural al aplicar cargas. Se utilizó el software SolidWorks para determinar si los componentes de la estructura metálica soportarán los esfuerzos sin problemas.

a. SOPORTE DEL MOTOR

El motor eléctrico es el elemento principal del monociclo, está acoplado al aro del neumático y al motor, tiene perforaciones en las dos caras que se encuentran cercanas al diámetro exterior

Figura 1: Soporte del motor.



Es necesario conocer el dato de la fuerza para la simulación y hallar posteriormente el factor de seguridad.

$$\tau = Fxr$$

De donde:

τ = Torque (Nm)
 F= Fuerza (N)
 r= Distancia (m)

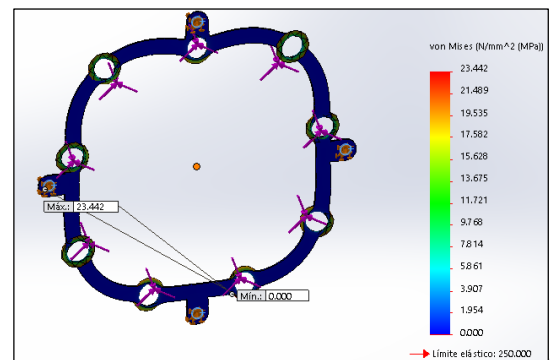
Reemplazando los valores con los datos de torque nominal y la distancia desde el eje del motor hacia uno de los alojamientos para los pernos que sostienen al motor:

$$60 = Fx0,11825$$

$$F = 507,4N$$

Se realiza el análisis de esfuerzos en el software y se obtiene el factor de seguridad. El factor de seguridad debe ser superior a 1.

Figura 2: Análisis de esfuerzos en el soporte del motor.



$$Fs = \frac{S_y}{\sigma_{perm}}$$

De donde:

Fs= factor de seguridad
 S_y= resistencia a la cedencia (Mpa)
 σ_{perm} = esfuerzo de trabajo (Mpa)

Reemplazando los valores:

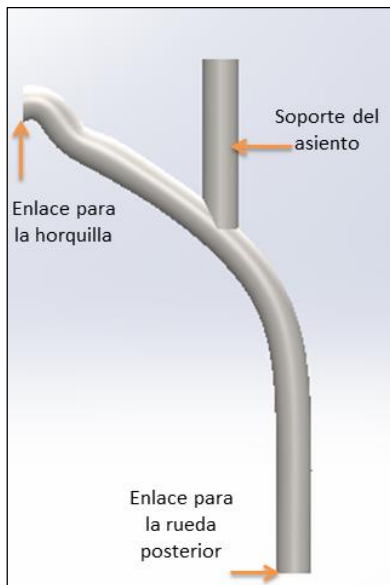
$$F_s = \frac{250}{23,442} = 10,6$$

Soportará sin problemas los esfuerzos.

b. COLUMNA DE ENLACE Y SOPORTE DEL ASIENTO

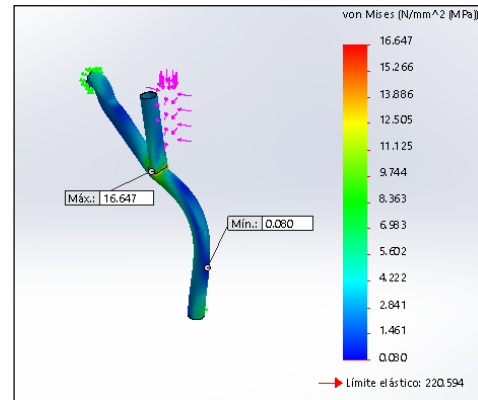
La base del asiento es de forma tubular, en la parte inferior está unido a la columna principal que constituye una barra de acero de calidad ASTM A500 con 44,5 mm de diámetro y 2 mm de espesor.

Figura 3: Soporte del asiento y columna de enlace.



En el diseño se basa en la rigidez que debe tener la columna de enlace y el soporte del asiento, también nos interesa saber en qué puntos se puede deformar, la fuerza ejercida por el peso de una persona de 70 kg, las baterías 5 kg sin embargo por cuestión de seguridad se aplicó un peso de 82 kg para la simulación del peso de la persona y 10 kg para las baterías

Figura 4: Esfuerzos en la columna de enlace y el soporte del asiento.



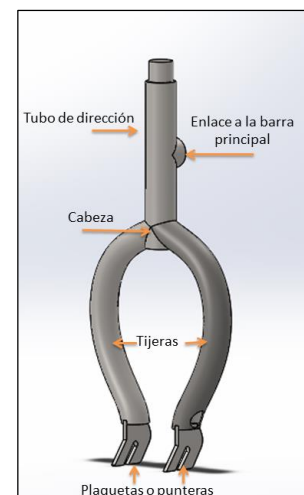
$$F_s = \frac{220,594}{16,647}$$

$$F_s = 13,2$$

c. HORQUILLA Y PLAQUETAS

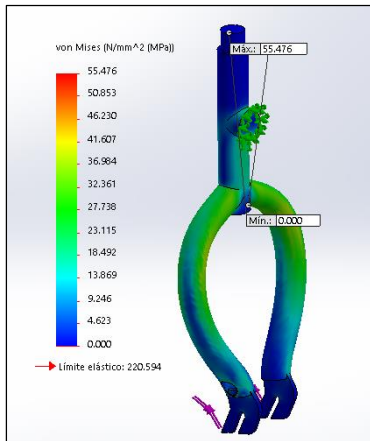
En las plaquetas se apoyará el eje del motor, serán construidas de un acero ASTM A36, debe tener un canal para que pueda acoplarse sin holguras y evitar que el cableado sufra daños o se rompa. El material empleado para la horquilla es un acero de calidad ASTM A500 de 38,1 mm de diámetro y 2 mm de espesor.

Figura 5: Horquilla y plaquetas.



Lo importante es conocer en qué puntos se encuentran los esfuerzos mayores y si el elemento soportará las cargas, el material del elemento soportará hasta 220,594 MPa.

Figura 6: Esfuerzos en la horquilla y plaquetas.



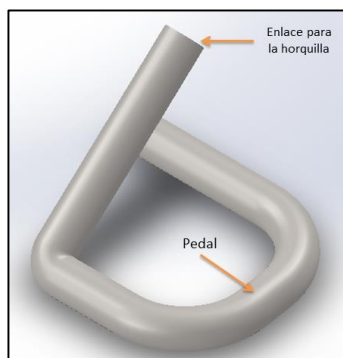
$$Fs = \frac{220,594}{55,48}$$

$$Fs = 3,9$$

d. PEDALES

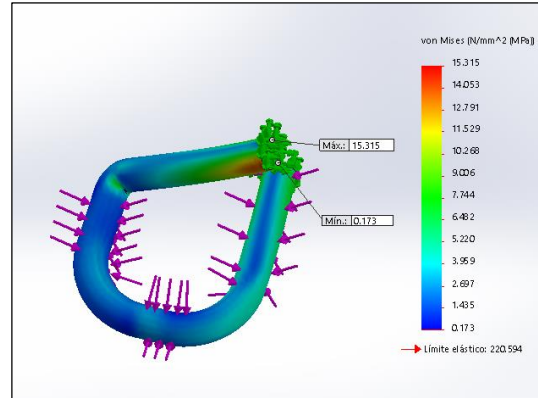
Este soporte estará fijado en los extremos de la horquilla y deben soportar el peso de una persona es decir 70 kg. Es un tubo estructural de acero ASTM A 500 doblado con un diámetro de 25,4 mm.

Figura 7: Pedal.



Al analizar los esfuerzos máximos en la simulación, el esfuerzo que soportará el elemento es 220,594 Mpa, la fuerza aplicada es 800 N.

Figura 8: Esfuerzos en el pedal.



$$Fs = \frac{220,594}{15,315}$$

$$Fs = 14,44$$

III. CARGAS EN EL MONOCICLO

En el peso total de un vehículo se consideran todas las cargas que lo conforman es decir las cargas vivas y cargas muertas.

a. CARGAS MUERTAS

Tabla 1. Cargas muertas del monociclo

DESCRIPCIÓN	MASA (kg)
Chasis	10
Baterías	5
Neumático y aro	12
Asiento	2
Carrocería	8
Accesorios	1
Total:	38 kg

- **FUERZA GENERADA POR LAS CARGAS MUERTAS**

$$F_{cm} = m_{cm} \cdot a$$

Dónde:

F_{cm} : Fuerza de la carga muerta
 a : Aceleración de la gravedad
 m_{cm} : Carga muerta del monociclo

$$F_{cm} = (38 \text{ kg}) \cdot (9,8 \text{ m/s}^2)$$

$$F_{cm} = 372,4 \text{ N}$$

- e. **CARGAS VIVAS**

Las cargas vivas son aquellas producidas por el tipo de uso u ocupación de la estructura.

Tabla 2. Cargas vivas del monociclo

DESCRIPCIÓN	MASA(kg)
Conductor	70
Motor	7
Total	77 kg

$$F_{cv} = m_{cv} \cdot a$$

Dónde:

F_{cv} : Fuerzas generadas por cargas vivas
 a : Aceleración de la gravedad
 m_{cv} : Cargas vivas del monociclo

$$F_{cv} = (77 \text{ kg}) \cdot (9,8 \text{ m/s}^2)$$

$$F_{cv} = 754,6 \text{ N}$$

- **FUERZA TOTAL GENERADA POR LAS CARGAS CONSIDERANDO UN FACTOR CRÍTICO**

$$F_{ct} (20\%) = F_{cm}(20\%) + F_{cv} (20\%)$$

Dónde:

F_{ct} = Fuerza total generada por las cargas

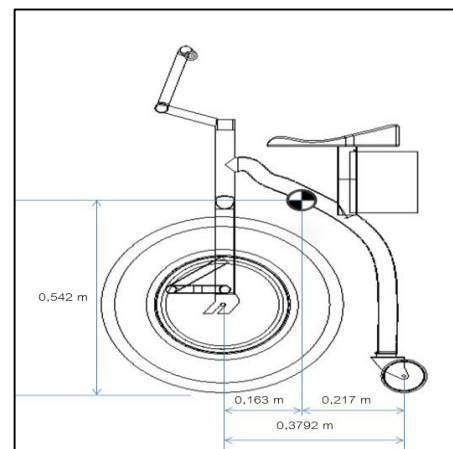
$$F_{ct} (20\%) = 446,88 \text{ N} + 905,52 \text{ N}$$

$$F_{ct} (20\%) = 1354,2 \text{ N}$$

- **FUERZAS EJE DELANTERO Y EJE POSTERIOR**

Para calcular las fuerzas sobre los ejes delantero y posterior debemos conocer las distancias al centro de masa.

Figura 9. Distancia de los ejes al centro de masa



- **CÁLCULO DE LA FUERZA EN EL EJE DELANTERO CON UN FACTOR CRÍTICO**

$$F_d = F_{ct} (20\%) \cdot d/B$$

Dónde:

F_d : Fuerza sobre el eje delantero
 d : D. centro de gravedad-eje delantero
 B : Distancia entre ejes

$$F_d = 1354,2 \text{ N} \cdot (0,163) \text{ m} / (0,3792) \text{ m}$$

$$F_d = 582,11 \text{ N}$$

- **CÁLCULO DE LA FUERZA SOBRE EL EJE POSTERIOR CON UN FACTOR CRÍTICO**

$$F_p = F_{ct} (20\%) \cdot (B-d)/B$$

Dónde:

F_p: Fuerza sobre el eje posterior

d: Distancia desde el centro de gravedad hasta el eje delantero

B: Distancia entre ejes

$$F_d = 1354,2 N \cdot (0,3792 - 0,163) m / (0,3792) m$$

$$F_d = 774,09 N$$

Tabla 3. Distribución de fuerzas

DISTRIBUCIÓN DE FUERZAS		
	Fuerza (N)	Porcentaje (%)
Eje delantero	582,11	42,93 %
Eje posterior	774,09	57,07 %
TOTAL	1356,02	100 %

IV. DISEÑO DEL CIRCUITO ELÉCTRICO

Para determinar qué tipo de componentes eléctrico se realizó una selección de acuerdo al tipo de exigencias a la que se encuentra expuesta el monociclo eléctrico y características de funcionamiento de cada elemento.

- **CÁLCULOS DEL MOTOR**

Partiendo de la siguiente ecuación: (Becerril Sandoval, 2014)

$$F = C_{rr} \times Nf$$

$$Nf = m \times g$$

Dónde:

F: Fuerza motriz

C_{rr}: Coeficiente de resistencia a la rodadura. (0,03) (William R, 2014)

Nf: Fuerza normal.

m: masa.

g: gravedad. (9,81 m/s²)

$$F = (0,03)(115,5 kg)(9,81 m/s^2)$$

$$F = 33,991 N$$

El torque requerido depende del radio de la rueda y la fuerza de empuje: (Becerril Sandoval, 2014)

$$T_n = R \times F$$

Dónde:

T_n: Torque necesario.

R: Radio de la llanta.

F: Fuerza de empuje.

Se utiliza una llanta de Rin 12 in con un diámetro exterior de 54 cm es decir, R = 0,27 m.

$$T_n = (0,27 m)(33,991 N)$$

$$T_n = 9,117 Nm$$

Para llegar a la velocidad, máxima deseada se calcula el valor de la potencia requerida; tomando en cuenta la velocidad máxima del monociclo es de 25 km/h, es decir 6.94 m/s: (Becerril Sandoval, 2014).

$$P_{Vmax} = F \times Vmax$$

Dónde:

P_{Vmax}: Potencia máxima.

F: Fuerza de empuje.

V_{max}: Velocidad máxima.

$$P_{Vmax} = (33,991 N) (6,94 m/s)$$

$$P_{Vmax} = 235,89 \text{ W}$$

Para calcular la velocidad angular a velocidad máxima se utiliza la siguiente expresión: Becerril Sandoval, 2014.

$$\omega = \frac{V_{max}}{R}$$

Dónde:

w: velocidad angular.

R: radio

$$\omega = \frac{6,94 \text{ m/s}}{0,27 \text{ m}}$$

$$\omega = 25,703 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$\omega_{RPM} = \frac{25,703 \text{ rad/s} (60)}{2\pi}$$

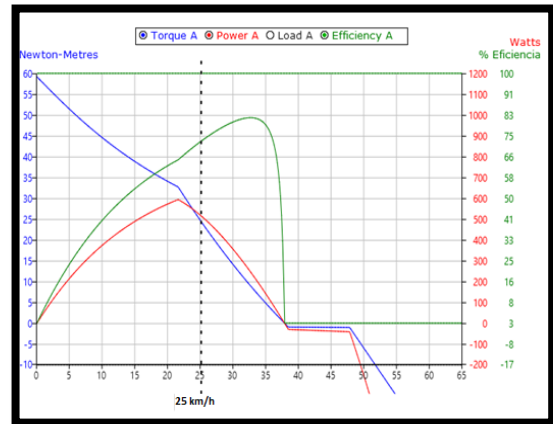
$$\omega_{RPM} = 245,45 \text{ RPM}$$

Para la selección del motor fueron determinados los parámetros calculados de torque y potencia por lo tanto se seleccionó un motor eléctrico de 500 W con las siguientes especificaciones mostradas en la tabla 4.

Tabla 4. Especificaciones técnicas del motor.

PARÁMETROS	ESPECIFICACIÓN
Tipo de motor	Brushless CC
Velocidad (km/h)	sugerida ≤ 20
Velocidad máxima (km/h)	37
Voltaje estipulado (V)	36
Salida estipulada (W)	500

Figura 10. Curvas de funcionamiento del motor brushless.



• PLACA ARDUINO UNO R3

Es una placa donde se introduce la programación para controlar al monociclo eléctrico. Posee las siguientes características:

Tabla 5. Especificaciones técnicas de la placa Arduino Uno R3.

No.	Microcontroller	ATMEGA 328
1	Operating Voltage	5 V
2	InputVoltage	7-12 V
3	Input Voltage (limits)	6-20 V
4	Digital I/O Pins	14
5	Analog Input Pins	6
6	DC Current per I/O Pin	40 mA
7	DC Current for 3.3V Pin	50 mA
8	Flash Memory	32 KB
9	SRAM	2 KB (ATMEGA 328)
10	EEPROM	1 KB (ATMEGA 328)
11	Clock Speed	16 MHz

• GIROSCOPIO/ACELERÓMETRO

Para la selección del giroscopio se tomó como base la placa arduino uno R3 por motivos de una excelente adaptación entre

ambos componentes al ser capaz de medir fuerza y aceleración, generalmente consta de un acelerómetro y un giroscopio por lo que tienen 6 grados de libertad.

Tabla 6. Especificaciones técnicas del giroscopio/acelerómetro MPU-6050.

No.	DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIONES
1	Sensor	MPU-6050
2	Voltaje de operación	3 V / 3.3 V~5 V
3	Rango acelerómetro	2 g/ 4 g/ 8 g/ 16 g
4	Rango Giroscopio	250 °/S / 500 °/S / 1000 °/S / 2000 °/S
5	Sensibilidad Giroscopio	131 LSBs/dps
6	Grados de libertad	6
7	Tamaño	2.0 cm x 1.6 cm x 0.3 cm

• BATERÍAS

Las baterías proporcionan el voltaje y la intensidad necesaria para energizar al monociclo eléctrico y son tres las cuales tienen las siguientes características.

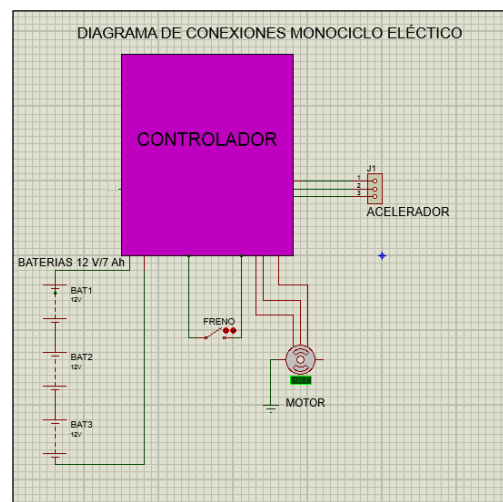
Tabla 7. Especificaciones técnicas de las baterías.

No	CARACTERÍSTICAS	VALORES
1	Batería	ViperTek
2	Voltaje	12 V
3	Amperaje	7 A
4	Peso c/u	3 kg
5	Altura	9.5 cm
6	Espesor	6 cm
7	Ancho	15 cm

• CONEXIONES

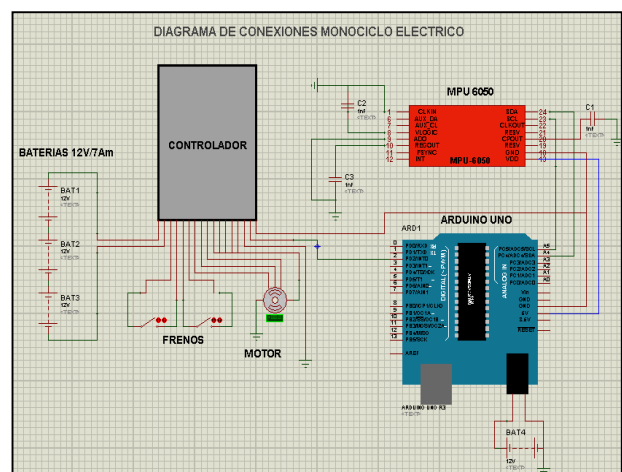
El monociclo eléctrico funciona de dos maneras, la primera con 36 V y un sensor electrónico colocado en el manillar del conductor, como se muestra en el diagrama siguiente diagrama:

Figura 11. Diagrama de conexiones con el sensor de tipo potenciómetro.



El otro modo de funcionamiento es mediante el sensor giroscópico, sujeto al abdomen del conductor y controlando la velocidad del motor en función de los grados de inclinación.

Figura 12. Diagrama de conexiones con el sensor de tipo giroscopio.



V. CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLAJE

Después del proceso de diseño se seleccionan los materiales que van a conformar la estructura que debe soportar el peso de los componentes eléctricos y el conductor. Los materiales de la estructura son aceros ASTM A-500 para los elementos tubulares y ASTM A-36 en láminas y planchas para los soportes. La carrocería está construida de fibra de vidrio.

Figura 13. Monociclo eléctrico.



VI. CONCLUSIONES

- Se diseñó y construyó un medio de transporte a base de energía eléctrica sencillo de conducir en zonas urbanas para mejorar la viabilidad de las personas con unas dimensiones de 0,73 m de longitud; 0,3 m de ancho, 1 metro de altura, pesa 40 kg y alcanza una velocidad de 24 km/h.
- Al realizar la prueba de estabilidad del monociclo eléctrico se determinó que es más sencillo lograr el funcionamiento en velocidad mínima con el acelerador electrónico (3 km/h) debido al mayor control en el manubrio comparándola a la aceleración por inclinación corporal con el sensor giroscópico (5 km/h) que acelera bruscamente al motor.

- Después de ejecutar la prueba de funcionamiento del monociclo eléctrico en distintos tipos de terreno se concluye que el funcionamiento más óptimo se alcanza en concreto y asfalto a una velocidad mínima de 4 km/h y máxima de 23 km/h por la regularidad del suelo. En el terreno de hierba se pierde la estabilidad por la escasa adherencia de las ruedas y en el terreno con adoquín las vibraciones son excesivas por el reducido diámetro de 10 cm de la rueda posterior.

- Conforme a las pruebas en el sistema eléctrico, el voltaje inicial de cada una de las cuatro baterías es 12,7 V al estar completamente cargadas, después de recorrer un trayecto de 18 km con la luz encendida el tiempo de autonomía es 40 minutos y el voltaje final de cada batería es 10,5 V.

VII. RECOMENDACIONES

- Revisar el voltaje de cada batería antes de utilizar el monociclo eléctrico, deben mantener una tensión entre 11,7 y 12,8 V. Caso contrario recargar hasta que alcancen su voltaje óptimo para el funcionamiento.
- Se recomienda dominar primero la conducción del monociclo eléctrico con el acelerador electrónico y después con el sensor giroscópico para evitar posibles lesiones o caídas ocasionadas por las aceleraciones bruscas.
- Se puede adaptar motores con mejores prestaciones como son de doble sentido de giro es decir que brinden mayor facilidad de

desplazamiento del monociclo eléctrico hacia adelante y de reversa según sea el caso.

- Para evitar posibles ruidos generados por los componentes electrónicos como es el controlador que se encuentran en la parte inferior del asiento, se ubica una jaula de Faraday y con esto se evita que las señales fallen en los sensores y la placa arduino.

BIBLIOGRAFÍA:

- Mott, R. L. (2007). Diseño de elementos de máquinas. México D.F.: Pearson Education.
- Mott, R. L. (2006). Resistencia de Materiales. México D.F.: Pearson Education
- Torrente Artero, O. (2013). Arduino Cursos prácticos de formación (Vol. 1). Madrid: Rc Libros. Recuperado el 20 de abril de 2014
- Crouse, W. H., & Anglin, D. L. (1999). Mecánica de la motocicleta. Barcelona: S.A. Marcombo.
- Dias, O. S. (2012). Selección y aplicación de motores eléctricos . Barcelona: S.A Marcombo.

NETGRAFÍA:

- ACM Global LLC. (15 de Enero de 2014). ACM Global LLC. Obtenido de ACM Global LLC Wet site: <http://www.makzilla.com/ebike.pdf>

- AliExpress Corporation. (20 de Junio de 2014). AliExpress Corporation. Obtenido de AliExpress Corporation Web Site: http://es.aliexpress.com/store/product/Free-Shipping-Universal-48V-500W-E-bike-Brushless-Speed-Controller/313864_468348339.html?isOrig=true#extend
- Banzi, M. (02 de Mayo de 2014). Arduino Genuino. Obtenido de Arduino: <http://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>
- Banzi, M. (10 de Mayo de 2015). Arduino Genuino. Obtenido de MPU6050: <http://playground.arduino.cc/Main/MPU-6050>

BIOGRAFÍA:



Guido Torres, nació en Alausí provincia de Chimborazo, Ecuador.

Se graduó como Ingeniero Mecánico y cuenta con posgrados en Docencia y Administración y Gestión de Energía. Actualmente

se desempeña como docente del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica en el área de Diseño y Mecánica Computacional de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE en la ciudad de Latacunga.



Omar Chuquimarca M., nació en Quito–Ecuador el 19 de julio de 1989.

Estudió Mecánica Automotriz en el Instituto Tecnológico Superior Central Técnico en la ciudad de Quito e

Ingeniería Automotriz en la Escuela Politécnica del Ejército en la ciudad de Latacunga. Presta sus servicios profesionales como asesor en mecánica automotriz.



Héctor Terán, nació en Latacunga provincia de Cotopaxi, Ecuador.

Se graduó como Ingeniero Electromecánico en la Escuela Politécnica del

Ejército y cuenta con estudios de posgrado en Redes Industriales, Gestión de Energías, Seguridad Industrial y Riesgos de Trabajo. Actualmente se desempeña como Docente del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica en la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE en la ciudad de Latacunga.



Daniel Peralta A., nació el 24 de abril de 1989 en Quito – Ecuador.

Estudió Física y Matemáticas en el Colegio Juan Montalvo en la ciudad de Quito e Ingeniería Automotriz en

la Escuela Politécnica del Ejército en la ciudad de Latacunga. Presta sus servicios profesionales como asesor en mecánica automotriz.