

# DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL TREN MOTRIZ CON MOTOR ELÉCTRICO Y TRANSMISIÓN CVT, EN UNA MOTOCICLETA ELÉCTRICA PLEGABLE, PARA AYUDAR A REDUCIR LA CONTAMINACIÓN VEHICULAR EN LA CIUDAD DE LATACUNGA.

Ing. Mauricio Cruz<sup>1</sup> / Ing. Juan Rocha<sup>2</sup> / John Tutillo<sup>3</sup>

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE  
Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica  
Quijano y Ordoñez y Marqués de Maénza s/n  
Email: mgcruz@espe.edu.ec<sup>1</sup>, jcrocha@espe.edu.ec<sup>2</sup>, jotutillo@gmail.com<sup>3</sup>  
Latacunga – Ecuador

---

---

## RESUMEN

*El presente artículo muestra el diseño mecánico y eléctrico de una motocicleta eléctrica plegable con transmisión CVT.*

*Se describen los parámetros a tomar en consideración durante el diseño mecánico y eléctrico, la implementación de los elementos y un protocolo de pruebas de funcionamiento de la motocicleta eléctrica plegable con transmisión CVT.*

## ABSTRACT

*This paper presents the mechanical and electrical design of a folding electric motorcycle with CVT transmission.*

*Parameters to consider for the mechanical and electrical design, implementation of the elements and the test protocol operation of the foldable electric motorcycle with CVT transmission are described.*

## I. INTRODUCCIÓN

*La continua evolución de la sociedad obliga a que los futuros profesionales busquen nuevos e innovadores productos que satisfagan las necesidades de la comunidad, con un nuevo enfoque en cuanto a su diseño e impacto ambiental. El presente proyecto tiene el objetivo*

*de diseñar e implementar en una motocicleta, un tren motriz con un motor eléctrico y transmisión CVT, para ayudar a la reducción de la contaminación vehicular en la ciudad de Latacunga.*

*Los vehículos eléctricos tienen un sin número de ventajas frente a los impulsados por otras formas de energía, una de las ventajas sobresalientes al emplear energías renovables es que se consigue actuar de una manera sostenible y responsable con el medioambiente, contribuyendo de esta manera a enaltecer el valor fundamental en el que las sociedades actuales con consideración por el medio ambiente se están desarrollando, el Sumak Kausay o el Buen Vivir con los demás seres vivos y con el planeta tierra.*

## II. DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL TREN MOTRIZ

### a. CONSIDERACIONES INICIALES

*Es necesario indicar el esquema básico de una motocicleta, para poder después seleccionar los elementos adecuados, en la figura 1, se observa los elementos principales de la motocicleta eléctrica.*

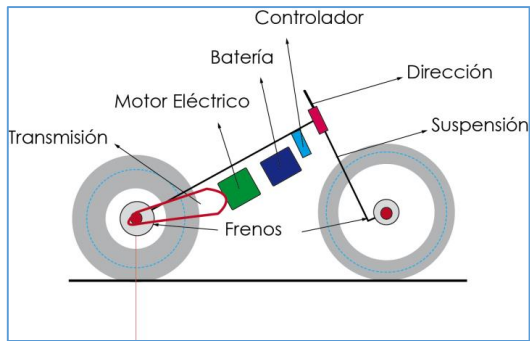


Figura 1 Esquema básico de motocicleta eléctrica  
Fuente: El Autor

Además se debe visualizar las fuerzas resistentes al movimiento, para poder predecir la potencia necesaria que debe tener el motor eléctrico, en la figura 2, se observa las fuerzas opuestas al movimiento.

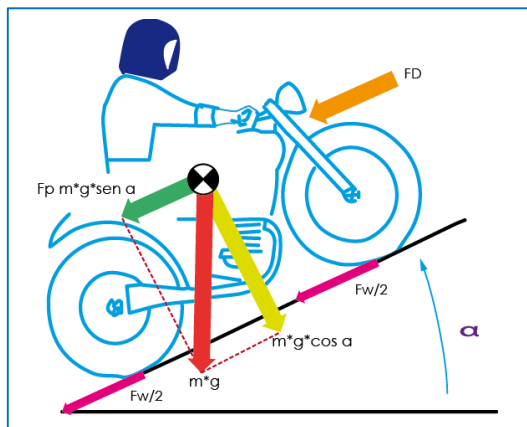


Figura 2 Esquema básico de motocicleta eléctrica  
Fuente: El Autor

### b. ANÁLISIS ESTÁTICO

Previo al análisis y cálculo de los distintos parámetros que proporcionarían datos técnicos de selección, se considera parámetros que influyen directamente en el diseño mecánico de la motocicleta.

Peso de la motocicleta  $W = 193Kg$

Presión de inflado del neumático  $p = 2.4 \text{ bar}$

Coeficiente Aerodinámico  $CD = 0.5$

$$\text{Área frontal } Af = 0.815m^2$$

$$\text{Densidad del aire } \rho_a = 1.67 \text{ kg}/m^3$$

$$\text{Gravedad } g = 9.8m/s^2$$

Tras mostrar los parámetros iniciales, se procederá en la figura 3 a indicar el resultado de las gráficas tanto de Fuerzas resistentes al movimiento y de la potencia requerida para vencer dichas fuerzas.

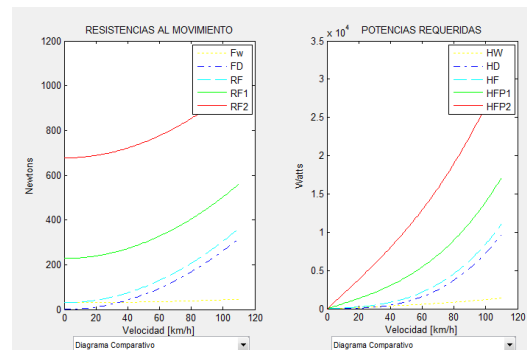


Figura 3 Curvas comparativas de fuerzas y potencias  
Fuente: El Autor

Tras evidenciar los cálculos obtenidos para ciertas condiciones, nos permite concluir que la resistencia máxima a vencer por el vehículo es de 745 [N], a una [velocidad de 50km/h], siendo 10360 [W] la potencia requerida.

El motor eléctrico a elegirse debió presentar entre sus características una potencia pico superior a la requerida para movilizar a la motocicleta, en las circunstancias deseadas.

### c. SELECCIÓN DE ELEMENTOS

#### MOTOR

El PMG 132 24-72 Volt es un motor compactado, cuyo voltaje de funcionamiento varía desde 24 a 72 volts.

*Pesa 24,8 lb, su eficiencia es del 86%, gira a 2380 revoluciones por minutos con 48 volteos, y tiene una potencia pico de 14,17 kW.*

## **TRANSMISIÓN**

*Para la selección de este tipo de transmisión se ha basado que los ciclomotores y scooter están diseñados pensando en la comodidad y la facilidad de conducción en un ciclo urbano, dichos vehículos emplea una transmisión automática, por lo que la mejor opción ha sido elegir el sistema de transmisión que utilizan Scooters; mismo que satisface altamente las necesidades requeridas; además se ha considerado su facilidad de acoplamiento, funcionamiento y mantenimiento a nuestra motocicleta.*

*La transmisión que originalmente se encuentra en la motocicleta Motor Uno "JOY-150", gira hasta 8000 revoluciones por minuto, y su activación es a 3000 revoluciones por minuto. Transmite hasta 18 kW de potencia.*

*Las RPM de funcionamiento del CVT son 3000 rpm, convirtiéndose en una limitación el usar esta transmisión, razón por la cual se ha modificado los elementos internos para poder accionar la transmisión con las revoluciones que brinda el motor eléctrico.*

## **SISTEMA DE CONTROL**

*El uso de controladores es el método más eficiente, ya que nos puede generar una salida de voltaje que varía de acuerdo a la consigna de par, que será proporcionada por el conductor de la motocicleta. El par dependerá de la carga de acuerdo la curva de*

*funcionamiento de motor. Así la corriente que regulara el par y el voltaje que se entrega al motor, son la principal preocupación de este controlador.*

*La selección de un controlador ALTRAX AXE 4844 400 Amp, es la solución idónea para alcanzar velocidades de 40km/h.*

*Para la palanca de control se ha empleado el Domino Twist-Grip Throttle with Microswitch, el es encargado de enviar la señal al controlador Alltrax para que a su vez lo codifique y lo reenvíe a el motor eléctrico.*

## **SISTEMA DE ACTIVACIÓN**

*Al trabajar con altas intensidades el contactor ALBRIGHT 36-48V SW180 (200A CONT.), es la mejor opción para realizar la activación automática del circuito.*

*El contactor es de polo único, proyección única, normalmente abierto, y sus puntas tiene 15mm de contacto.*

## **SISTEMA DE CONEXIÓN**

*Para la selección de cables se ha fijado para el circuito de bajas intensidades un cable N° 16, mientras que para el circuito de altas intensidades se usó ORANGE WELDING CABLE 4 AWG, este cable viene con un forro interior de seguridad de un color opuesto.*

## **III. IMPLEMENTACIÓN**

### **a. SISTEMA MECÁNICO**

*Tras determinar la idoneidad de bases mediante el software de simulación ANSYS, se*

ha diseñado un diagrama de flujo el mismo que es presentado en la siguiente tabla.

Diagrama de Flujo de Proceso de Ensamble								
Actividad: Ensamble del Tren Motriz				ACTIVIDAD	ACTUAL	PROP.	WORK	
Fecha: julio 1 del 2014				Operación	0	65		
OPERADOR: JOHN O. Tubillo Y.				Transporte	0	0		
Método: Actual		ANALISTA: Anas. De La Cruz, Tubillo		Inspección	0	30		
Tipo: Técnico		Presupuesto: SI		Riesgo	0	0		
		Material: Diversos		Armado	0	20		
Comentario: Una vez seleccionados los distintos elementos de acuerdo a los cálculos realizados, se procede a ensamblar las piezas guardando un orden para procurar realizar un trabajo eficiente.				TIEMPO	0	115		
				DISTANCIAS	0	12		
				COSTOS	0	5000		
DESCRIPCION DE LA ACTIVIDAD	SIMBOLO					TIEM (min)	DISTAN (met)	METODO RECOMENDADO
	○	➡	□	D	▽			
Inspección de los elementos a ensamblarse						15	1	
Ensamblar la base del motor con el motor.						15	1	
Ensamblar la base del motor con el elemento basculante	○	➡				5	1	
Fijación de los dos elementos utilizando pernos adecuados	○	➡				5	2	
Inspección del avance 1 del ensamble						5	1	
Ensamblar la base del CVT junto a la base del motor	○	➡				15	1	
Fijar las bases de motor y del CVT al soporte de la carrocería	○	➡				5	1	
Inspección del avance 2 del ensamble						5	1	
Fijación de los elementos ensamblados al neumático trasero.	○	➡				10	1	
Ubicación de los centrifugos y la banda en la base del CVT	○	➡				10	1	
Almacenaje mientras la suspensión y carrocería se encuentren disponibles	○	➡				20	1	

Tabla 1 Diagrama de flujo de ensamble mecánico  
Fuente: El Autor

En la figura 4, se muestra cómo queda conformado el tren motriz en su constitución mecánica, faltado de esta manera describir el sistema eléctrico, para que la motocicleta pueda desplazarse.



Figura 4 Tren motriz  
Fuente: El Autor

### b. SISTEMA ELÉCTRICO

Basándonos en los grados de protección IP, los elementos empleados se han de ubicar en lugares adecuados para evitar su exposición innecesaria al medio ambiente.

Se ha basado en el siguiente circuito para realizar la conexión de cada uno de los elementos.

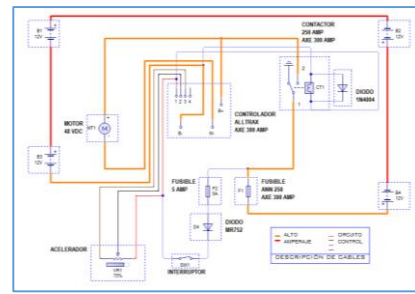


Figura 5 Circuito eléctrico  
Fuente: El Autor

De igual manera se ha diseñado un diagrama de flujo para facilitar el montaje del circuito eléctrico, mismo que se lo puede visualizar en la siguiente tabla.

Diagrama de Flujo de Proceso de Ensamble								
Actividad: Ensamble del Sistema Eléctrico Motriz				ACTIVIDAD	ACTUAL	PROP.	WORK	
Fecha: julio 1 del 2014				Operación	0	15		
OPERADOR: JOHN O. Tubillo Y.				Transporte	0	0		
Método: Actual		ANALISTA: Anas. De La Cruz, Tubillo		Inspección	0	25		
Tipo: Técnico		Presupuesto: SI		Riesgo	0	0		
		Material: Diversos		Armado	0	20		
Comentario: Una vez seleccionados los distintos elementos eléctricos y electrónicos de acuerdo a los cálculos realizados, se procede a ensamblar las piezas guardando un orden para procurar realizar un trabajo eficiente.				TIEMPO	0	100		
				DISTANCIAS	0	11		
				COSTOS	0	6000		
DESCRIPCION DE LA ACTIVIDAD	SIMBOLO					TIEM (min)	DISTAN (met)	METODO RECOMENDADO
	○	➡	□	D	▽			
Inspección de los elementos a ensamblarse						15	1	
Diseño del circuito						15	1	
Fijación de las baterías en puntos estratégico	○	➡				5	1	
Ubicación de los elementos de control y potencia en la carrocería de la motocicleta	○	➡				5	2	
Conexión del circuito de alta potencia	○	➡				5	1	
Conexión del circuito de control	○	➡				15	1	
Inspección del avance 1 del ensamble						5	1	
Instalación de los elementos de activación y control	○	➡				5	1	
Inspección final del ensamble						10	1	
Pruebas de funcionamiento	○	➡				20	1	

Tabla 2 Diagrama de flujo de ensamble eléctrico  
Fuente: El Autor

### c. IMPLEMENTACIÓN FINAL

Tras ensamblar los elementos correspondientes al tren motriz, se puede visualizar el modelado realizado en Inventor de la propuesta final.



Figura 6 Motocicleta modelada  
Fuente: El Autor

Finalmente se puede visualizar en la siguiente fotografía el acoplamiento del tren motriz al chasis, dirección y suspensión.



Figura 7 Propuesta final  
Fuente: El Autor

#### IV. PROTOCOLO DE PRUEBAS

##### a. EN RUTA PARA EL SISTEMA DE TRACCIÓN

##### AUTONOMÍA

Matemáticamente se usa la siguiente ecuación

$$\text{Tiempo de Autonomía} = \frac{\text{Carga (Ah)}}{\text{I carga (A)}} * \frac{(V \text{ flotación} - V \text{ min})(v)}{V \text{ flotación (v)}}$$

Donde:

$$\text{Carga (Ah)} = 80$$

$$\text{I Carga (A)} = 6$$

$$V \text{ flotación (v)} = 51,2 \text{ (12,8 v cada batería)}$$

$$V \text{ min (v)} = 43 \text{ (10,75 v cada batería)}$$

$$\text{Tiempo de Autonomía} = \frac{80 \text{ (Ah)}}{6 \text{ (A)}} * \frac{(51,2 - 43)v}{51,2 v}$$

$$\text{Tiempo de Autonomía} = 2,13 \text{ h}$$

Según las normas europeas de conducción, para obtener 70 km de autonomía en ciclo urbano se deberán realizar 7,25 ciclos de conducción.

Considerando que se mantenga una velocidad constante de 35km/h, el tiempo necesario para cubrir los 70 km, es de 2 horas. Se logra el objetivo considerando además que el sistema de control de la automatización opera otro sistema de alimentación, razón por la cual no interfiere en la autonomía de la motocicleta. Sin embargo se realizó dos pruebas para verificar mencionados datos.

En pruebas de campo realizadas en el patio de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, extensión Latacunga, se obtienen los siguientes resultados.

	Fase Inicial	Fase 2	Fase 3	Fase Final
<b>Hora</b>	14h00	14h40	15h20	16h00
<b>Voltaje</b>	51,2	49,1	47	44,9

Tras mantener una velocidad de 35km/h durante dos horas las baterías han sufrido un desgaste de 6,3 volteos, lo que significa que cada batería tiene 11,25 v. Lo que implica que las baterías aun preservan energía, recordando que el valor mínimo de cada batería es de 10,75 volteos.

En la siguiente prueba de autonomía, se realizó pruebas de campo durante tres días consecutivos en las principales avenidas del cantón Latacunga, tratando de ejemplificar lo siete ciclos de conducción para obtener una autonomía de 70km, además se procuró tener una misma ruta, con el mismo conductor y a la misma hora.

Como se mencionó anteriormente debemos realizar siete ciclos consecutivos para alcanzar 70 km de recorrido, en la siguiente figura podemos observar el recorrido, medidos cada 800 segundos del ciclo de conducción urbano y 400 segundos de ciclo de conducción interurbano.

A continuación se muestran en la figura 8 y 9, gráficas de los datos recopilados en la segunda fase de la prueba de autonomía



Figura 8 Voltaje vs tiempo  
Fuente: El Autor

El voltaje en las baterías decrece alrededor de 6 volteos en el transcurso de 2 horas.

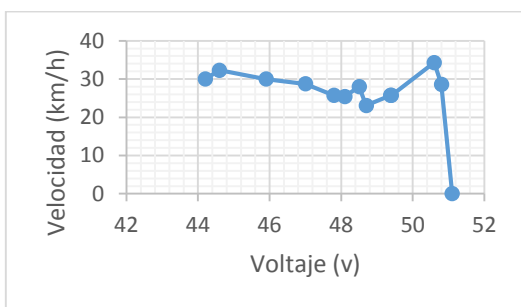


Figura 9 Velocidad vs. voltaje  
Fuente: El Autor

Mientras mayor voltaje tengamos en el pack de baterías mayor velocidad lograremos alcanzar.

Podemos generalizar que el voltaje es directamente proporcional a la velocidad

## VELOCIDAD

Se realizó una prueba de salida en terreno plano, registrándose los siguientes datos:

Distancia (m)	Tiempo (s)	Velocidad (m/s)	Velocidad (km/h)
500	49	10,20	36,73
200	20,5	9,76	35,12
100	10,5	9,52	34,29
50	5,5	9,09	32,73
<b>PROMEDIO</b>		<b>9,64</b>	<b>34,72</b>

Se observa la velocidad promedio de 34,72 km/h aproximado a 35 km/h lo que cumple las expectativas del proyecto.

## b. ANÁLISIS COMPARATIVO MOTOCICLETA ELÉCTRICA – GASOLINA

### CONSUMO DE ENERGÍA

#### Motocicleta con motor de combustión interna

$$\text{Recorrido (70Km)} = 70\text{Km} * 1,48 (\text{USD})/150\text{Km}$$

$$\text{Recorrido (70Km)} = 0,70 (\text{USD})$$

#### Motocicleta con motor eléctrico

Para un recorrido de 70 km, se emplea 13,3 kWh con la motocicleta eléctrica

$$\text{Recorrido (70km)} = 13,3\text{kWh} * 0,08(\text{USD})/1\text{kWh}$$

$$\text{Recorrido (70km)} = 1,06 (\text{UDS})$$

### IMPACTO AMBIENTAL

En la siguiente tabla se aprecia la diferencia de Kg CO<sub>2</sub>, dependiendo el caso.

TIPO	CANTIDAD	MEDIDA EMISIONES
MOTOCICLETA ELÉCTRICA	13,3 KWh	0 Kg CO2
MOTOCICLETA GASOLINA	0,6 gal gasolina	9,8 Kg CO2

## CONCLUSIONES

- Se ha diseñado e implementado el tren motriz con motor eléctrico y transmisión CVT, en una motocicleta plegable, ayudando a reducir la contaminación vehicular en la ciudad de Latacunga.
- Se ha calculado técnica y matemáticamente los parámetros necesarios para poder dimensionar correctamente tanto el motor eléctrico como los elementos necesarios para el movimiento de la motocicleta eléctrica.
- Se ha seleccionado adecuadamente los distintos elementos mecánicos que intervienen directamente en la transmisión de movimiento desde el motor eléctrico hacia la rueda.
- Se ha realizado distintas modificaciones en los embragues centrífugos de la transmisión CVT, modificando la masa de los rodillos, coeficiente de elongación del muelle y ferodos del centrífugo trasero, consiguiendo que las rpm del motor eléctrico activen al CVT.
- La batería sigue siendo el factor limitante de un vehículo eléctrico, debido a su alcance limitado, si se necesita mayores prestaciones la batería deberá ser de mejor calidad, y esta a su vez está relacionada directamente con el precio.
- Se ha evidenciado que el sistema motriz eléctrico denota un desempeño óptimo tomando en cuenta que el vehículo circula a aproximadamente 40 km/h, velocidad

suficiente para circular en la ciudad, según el Capítulo V Art. 192 del Reglamento General para la Aplicación de la Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial “de los límites de velocidad”

- Se ha observado que el desarrollo de vehículos eléctricos, es un reto propio para una generación de investigadores con conciencia ambiental, y constituye una puerta al progreso debido a las grandes oportunidades que el país ofrece actualmente en beneficio del cambio de la matriz productiva.
- Finalmente con el desarrollo del presente proyecto se ha contribuido al engrandecimiento personal y colectivo sobre temas de vanguardia que necesitan ser analizados detalladamente, sin embargo se ha realizado un trabajo en el cual se ha fusionado conocimientos mecánicos automotrices, eléctricos, electrónicos, y manejo de software de programación y modelado.

## RECOMENDACIONES

- Considerar que el tiempo de carga de las baterías es de 2 horas en conducción urbana, para el correcto funcionamiento del motor eléctrico.
- Configurar el controlador, y calibrar adecuadamente los distintos elementos de transmisión.
- Se puede emplear relaciones de transmisión directa, sin embargo se debería emplear una caja de cambios manual y observar los resultados arrojados.
- Diseñar una transmisión continuamente variable que permita aprovechar al máximo

las prestaciones y características del motor eléctrico.

- Analizar la posibilidad de colocar un sistema de regeneración de energía, así como también el uso de una batería de menor peso y mayor densidad energética.
- Difundir el proyecto a la colectividad universitaria y comunidad en general con el fin de que conozcan una alternativa valedera que reemplazará los vehículos con motor de combustión interna, y además presentan la ventaja de eximirse el Impuesto Ambiental a la Contaminación Vehicular (IACV).

## BIBLIOGRAFÍA

- COSSALTER, V. (2006). *Motorcycle dynamics*.
- PICCARDO, J., & PRIETO, A. (2012). *VEHÍCULO ELÉCTRICO DE PRODUCCIÓN NACIONAL* (Doctoral dissertation, Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo-Universidad de Buenos Aires).
- ESQUIVEL TAPIA, D. R. (2008). *Diseño Mecánico de una Transmisión CVT Media Toroidal* (Doctoral dissertation).
- ARIAS-PAZ, M. (2004). *Motocicletas*. Cie Inversiones Editoriales Dossat.
- HARPER, G. E. (1999). *Fundamentos de control de motores eléctricos en la industria*. Editorial Limusa.
- RIVAS, V. (2012). *Selección y aplicación de motores eléctricos*. Madrid: Planeta
- BASALLA, G., & Rubio, J. V. (1991). *La evolución de la tecnología*. Crítica.
- JACOBS, M. (1996). *La economía verde: medio ambiente, desarrollo sostenible y la política del futuro* (Vol. 12). Icaria Editorial.
- WILDI, T. (2007). *Máquinas eléctricas y sistemas de potencia*. Pearson educación.

## BIOGRAFÍA



**Mauricio Cruz**, nació en Latacunga, Ecuador, Es Ingeniero Automotriz, dispone de estudios de Posgrado en Autotrónica, Gestión del Aprendizaje Universitario, Docente Tiempo Parcial en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE desde 2009. Imparte servicios de asesoramiento y capacitación en mecánica básica y manejo de software de dibujo asistido



**Juan Carlos Rocha**, nació en Quito, Ecuador, Es Ingeniero Automotriz, estudios de Posgrado en Autotrónica, Docencia Universitaria, Docente Tiempo Parcial en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE desde 2008. Imparte servicios de asesoramiento y capacitación en mecánica automotriz.



**John Oswaldo Tutillo**, nació en Saquisilí, Ecuador, Es Ingeniero Automotriz, estudios de pregrado en Diseño Gráfico, presta sus servicios profesionales como asesor en mecánica automotriz.