

Dinámica de Motociclos Eléctricos

Electric Motorcycle Dynamics

Daza Martínez, Eric Ricardo , Vargas Tuitise, Yubert Alan

"Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE" /Energía y Mecánica, Quito, Ecuador

Correspondencia Autores: fpdaza@espe.edu.ec, yavargas1@espe.edu.ec

Recibido: 04 de marzo de 2024, Publicado: 13 de diciembre de 2024

Resumen— *La presente investigación analiza la dinámica de los motociclos eléctricos como una alternativa sostenible a los vehículos de combustión interna. Este estudio se enfoca en la identificación y análisis de las principales fuerzas dinámicas que actúan sobre dos modelos representativos: Scooter y la motocicleta eléctrica. Se examinan las fuerzas aerodinámicas, de resistencia a la rodadura, de tracción y la fuerza neta, empleando parámetros técnicos específicos de cada vehículo, como la potencia del motor, el peso, la velocidad y la configuración del sistema de tracción. Mediante cálculos teóricos, se demuestra que las motocicletas eléctricas poseen una fuerza de tracción elevada, lo que se traduce en una excelente aceleración y rendimiento dinámico. Además, presentan una resistencia aerodinámica y a la rodadura relativamente bajas, lo que evidencia su eficiencia energética y su diseño aerodinámico optimizado. Los resultados permiten concluir que estos vehículos son una opción viable para el transporte urbano, con beneficios significativos en términos de autonomía, bajo impacto ambiental y operación silenciosa. Este análisis contribuye al entendimiento técnico del comportamiento dinámico de los motociclos eléctricos y su potencial en la movilidad sostenible, fomentando su implementación en entornos urbanos y promoviendo la transición hacia tecnologías más limpias y eficientes.*

Palabras clave— *Motociclos eléctricos, fuerzas dinámicas, eficiencia energética, movilidad sostenible.*

Abstract— This study analyzes the dynamics of electric motorcycles as a sustainable alternative to internal combustion vehicles. It focuses on identifying and examining the main dynamic forces acting on two representative models: The Scooter and the electric motorcycle. The aerodynamic force, rolling resistance, traction force, and net force are studied using technical parameters such as motor power, vehicle weight, speed, and drive system configuration. Theoretical calculations show that electric motorcycles offer high traction force, resulting in excellent acceleration and dynamic performance. Furthermore, they exhibit relatively low aerodynamic and rolling resistance, reflecting energy efficiency and optimized aerodynamic design. The findings confirm that these vehicles are a viable solution for urban transportation, offering significant advantages in terms of range, low environmental

impact, and quiet operation. This analysis enhances the technical understanding of the dynamic behavior of electric motorcycles and supports their integration into sustainable mobility systems, promoting the shift toward cleaner and more efficient technologies in urban environments.

Keywords: Electric motorcycles, dynamic forces, energy efficiency, sustainable mobility.

I INTRODUCCIÓN

La dinámica de los motociclos eléctricos ha transformado la experiencia de conducción, ofreciendo un rendimiento sorprendente y una conducción suave y silenciosa. Al aprovechar la potencia de los motores eléctricos y las últimas innovaciones en baterías de alta capacidad, estos vehículos han superado muchas limitaciones asociadas con estos sistemas. [1]

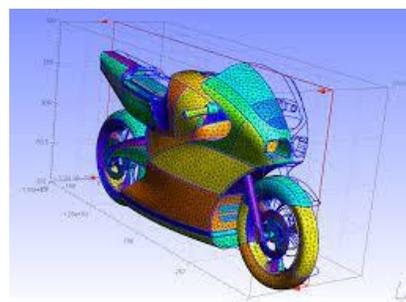


Fig. 1 Dinámica de la motocicleta

[2] Los vehículos de dos ruedas impulsados por electricidad están emergiendo como alternativas altamente favorables para el transporte, debido a su naturaleza ecológica. Su producción, exenta de emisiones y con una reducción significativa en el nivel de ruido durante su funcionamiento, junto con su autonomía por cada carga, contribuye positivamente al medio ambiente.

Las motocicletas eléctricas [3,4], con su funcionamiento silencioso y su creciente popularidad, han inaugurado un nuevo capítulo en la industria del motociclismo. Sin embargo, para comprender a fondo su funcionamiento y mejorar su desempeño, resulta fundamental comprender las fuerzas que influyen en ellas.



Figura 2 Motocicleta eléctrica

[5, 8] Al igual que una bailarina en movimiento, una motocicleta eléctrica está sujeta a un equilibrio complejo de fuerzas. Estas incluyen la resistencia a la rodadura, la tracción, la aerodinámica y la gravedad, todas las cuales afectan la aceleración, la velocidad, la estabilidad y la seguridad del vehículo.

[6, 8] Durante el movimiento, la motocicleta experimenta un equilibrio dinámico entre estas cuatro fuerzas. Es necesario que la fuerza de tracción supere la resistencia a la rodadura y la resistencia aerodinámica para que la moto pueda acelerar. Además, la fuerza de la gravedad y la distribución del peso influyen en la estabilidad del vehículo, especialmente en curvas y terrenos irregulares.

II **MÉTODOS Y MATERIALES.**

[7, 8] Para la aplicabilidad de las formulas de las fuerzas de dinámica se requiere conocer las tablas de especificaciones de cada motocicleta eléctrica a calcular, por lo tanto, a continuación, se presentará las especificaciones necesarias de cada motocicleta.



Figura 3 Scooter Amarillo

Tabla.1 *Tabla de especificaciones* [8,9]

MOTOR	
Régimen Nominal	350RPM

Potencia Nominal	500W
Velocidad Máxima	40Km/h
BATERÍA	
Tipo de Batería	4 de ácido seca
Voltaje Nominal	48V
Capacidad	12/20AH
Tiempo de Carga	8 Horas
Autonomía	40 – 60 Km
Voltaje de entrada del cargador	AC110V60HZ
Voltaje de salida del cargador	DC59V2.0A
TRANSMISIÓN	
Transmisión	Transmisión por eje
CARGA	
Capacidad de carga	100Kg
Masa	53.5Kg



Figura 4 Motocicleta Eléctrica CITY COCO.

Tabla.2 *Tabla de especificaciones*

MOTOR	60V-1500W
BATERIA	12Ah-60V Batería de Litio
VELOCIDAD MAXIMA	30km/h
CARGA MAXIMA	180 kg
LLANTAS	18 x 9.5 pulgadas de ancho
AUTONOMIA	20-70 km por carga
PESO	70 kg
FRENO DELANTERO Y TRASERO	Frenado de disco hidráulico
ANGULO DE SUBIDA MAXIMO	30 grados
TORQUE MAXIMO	41 Nm
DISTANCIA DE FRENO (SECO)	1.2 m (20 km/h)
DISTANCIA DE FRENO (MOJADO)	3.1 m (20km/h)
TIEMPO DE CARGA	3 – 5 horas 110V a 2A
TAMAÑO	196 cm largo * 76 cm de ancho *112 cm de alto
COSTO POR CARGA	2.9Kw/h = 0.30 centavos de dólar

[1, 8] La dinámica o el estudio de fuerzas que implica el diseño de los motociclos eléctricos, para verificar los parámetros necesarios para obtener los resultados deseados, por lo tanto, para este diseño o estudio se requiere considerar las siguientes fuerzas.

- Fuerza aerodinámica
- Fuerza de resistencia a la rodadura
- Fuerza de tracción
- Fuerza neta

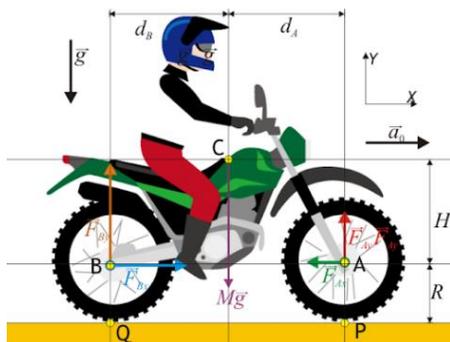


Figura 5 Fuerzas dinámicas aplicadas en una motocicleta eléctrica.

Una vez conocido las fuerzas dinámicas involucradas, daremos a conocer que función cumple cada una de estas fuerzas:

Fuerza aerodinámica:

[2,8] Esta fuerza se debe a la presencia de presiones y fricción viscosa, donde va a depender de varios factores, uno de ellos es la geometría del vehículo que se va mover a través del aire.

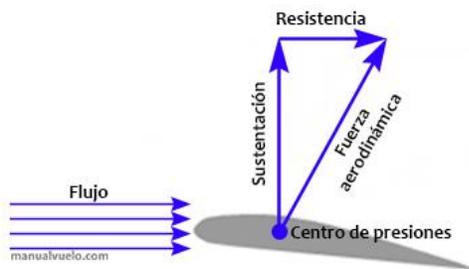


Fig. 6 Fuerza aerodinámica

[1,2] Esta fuerza se divide en dos componentes principales:

- **Sustentación:** Es la fuerza perpendicular a la dirección del movimiento relativo del cuerpo y del aire. La sustentación es la fuerza que permite que los aviones vuelen, ya que contrarresta la fuerza de la gravedad.
- **Resistencia:** Es la fuerza paralela a la dirección el movimiento relativo del cuerpo y del aire. La

resistencia opone resistencia al movimiento del cuerpo y es la responsable de que los aviones desaceleren cuando dejan de propulsarse.

De tal manera, se determina de la siguiente ecuación:

$$F_{aereo} = \frac{1}{2} * \rho * A * C_d (X + V_{viento})^2$$

Donde:

- ρ → Constante aerodinámica
- X → Velocidad lineal del vehículo
- V_{viento} → Velocidad del viento

Fuerza de resistencia a la rodadura:

Para esta fuerza el vehículo se encuentra en reposo caso contrario si está en movimiento se podrá determinar el producto del coeficiente a la rodadura con la fuerza normal entre el vehículo y la carretera.

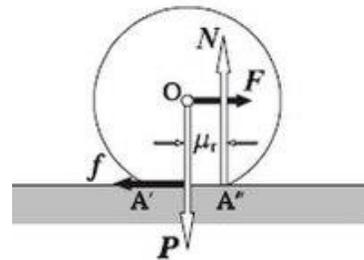


Figura 7 Fuerza de resistencia a la rodadura

La fuerza de resistencia a la rodadura tiene varios efectos, como:

- **Reducir la eficiencia del movimiento:** La fuerza de resistencia a la rodadura consume energía, lo que reduce la eficiencia del movimiento.
 - **Aumenta el desgaste de los neumáticos:** La fuerza de fricción entre el neumático y la superficie provoca el desgaste del neumático.
- Debemos en tener en cuenta que la resistencia a la rodadura es relativamente independiente de la velocidad, de tal manera, la ecuación es:

$$F_{roll} = C_{rr} * m_{veh} * g \quad (1)$$

Donde:

- C_{rr} → Coeficiente a la resistencia a la rodadura
- F_{roll} → Fuerza de resistencia a la rodadura
- m_{veh} → Masa del vehículo
- g → Gravedad

Fuerza de tracción:

Esta fuerza especialmente de las ruedas depende de un coeficiente de adhesión y de la fuerza normal del vehículo. Donde el coeficiente de adhesión se determina por el estado del terreno y el deslizamiento del neumático.

$$F_{tracción} = \mu * m_{veh} * g \quad (2)$$

Donde:

$\mu \rightarrow$ Coeficiente de adhesión

$\mu \rightarrow (0.85)$ para asfalto

Fuerza neta:

Una vez determinada la fuerza de tracción y todas las resistencias de conducción presentes en los vehículos, donde se puede determinar la fuerza total en dirección longitudinal.

$$F_{neta} = F_{tracción} - F_{aero} - F_{roll} \quad (3)$$

III. PRUEBAS Y RESULTADOS

Scooter



Figura 8 Cargas actuantes de Scooter Amarillo

Cálculo:

Fuerza aerodinámica

$$F_{ad} = \frac{1}{2} * 1.270 \left(\frac{kg}{m^3} \right) * 0.435 m^2 * 0.4690 * \left(9.72 \frac{m}{s} \right)^2$$

$$F_{ad} = 12.239 N$$

Fuerza de resistencia a la rodadura

$$F_{roll} = 0.019 * 53.5(kg) * 9.81 \left(\frac{m}{s^2} \right)$$

$$F_{roll} = 9.97 N$$

Fuerza de tracción

$$F_{tracción} = 0.85 * 53.5(kg) * 9.81 \left(\frac{m}{s^2} \right)$$

$$F_{tracción} = 446.11 N$$

Fuerza neta

$$F_{neta} = F_{tracción} - F_{aero} - F_{roll}$$

$$F_{neta} = 446.11 N - 12.239 N - 9.97 N$$

$$F_{neta} = 423.90 N$$

Tabla.3 Resultados obtenidos de las fuerzas

Datos obtenidos	
Fuerza aerodinámica	12.239 N
Fuerza de resistencia a la rodadura	9.97 N
Fuerza de tracción	446.11 N
Fuerza neta	423.90 N

Fuerza aerodinámica:

La fuerza aerodinámica de 12.239 N es relativamente pequeña en comparación con la fuerza de tracción. Esto indica que la moto tiene una buena aerodinámica.

Fuerza de resistencia a la rodadura:

La fuerza de resistencia a la rodadura de 9.97 N también es relativamente pequeña. Esto indica que los neumáticos tienen una buena adherencia al suelo y que la superficie de la carretera es lisa.

Fuerza de tracción:

La fuerza de tracción de 446.11 N es la fuerza más grande que actúa sobre la moto. Esto indica que el motor es potente y posee una entrega de potencia inmediata.

Fuerza neta:

La fuerza neta de 423.90 N es la fuerza resultante que impulsa la moto hacia adelante. Esta fuerza es considerable, lo que indica que la moto tiene una aceleración y velocidad muy buenas, esto solo comprueba que las motocicletas eléctricas tienen una entrega de potencia inmediata. [1] [2] [3] [4]

Motocicleta eléctrica

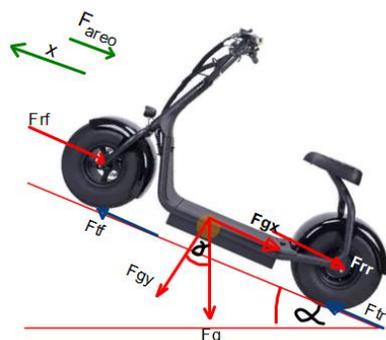


Figura 9 Cargas actuantes sobre el motociclo eléctrico

Cálculo:

Fuerza aerodinámica

$$A = 8512 \text{ cm}^2 * \frac{1\text{m}^2}{100\text{cm}^2} = 0.8512 \text{ m}^2$$

$$x = 30 \frac{\text{km}}{\text{h}} * \frac{1000\text{m}}{1\text{km}} * \frac{1\text{h}}{3600\text{s}} = 8.333 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$F_{aereo} = \frac{1}{2} * 1.185 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.8512\text{m}^2 * 0.6(8.333)^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

$$F_{aereo} = 20.99 \text{ N}$$

Fuerza de resistencia a la rodadura

$$F_{roll} = 0.03 * 70\text{kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_{roll} = 20.60 \text{ N}$$

Fuerza de tracción

$$F_{tracción} = 0.85 * 70\text{kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_{tracción} = 586.07 \text{ N}$$

Fuerza neta

$$F_{neta} = F_{tracción} - F_{aero} - F_{roll}$$

$$F_{neta} = 586.07 \text{ N} - 20.99 \text{ N} - 20.60 \text{ N}$$

$$F_{neta} = 544.48$$

Tabla.4 Resultados Obtenidos de Fuerzas

Datos obtenidos	
Fuerza aerodinámica	20.99 N
Fuerza de resistencia a la rodadura	20.60 N
Fuerza de tracción	586.07 N
Fuerza neta	544.48 N

Fuerza aerodinámica:

La fuerza aerodinámica de 20.99 N es relativamente pequeña en comparación con la fuerza de tracción. Esto indica que la moto tiene una buena aerodinámica.

Fuerza de resistencia a la rodadura:

La fuerza de resistencia a la rodadura de 20.60 N también es relativamente pequeña. Esto indica que los neumáticos tienen una buena adherencia al suelo y que la superficie de la carretera es lisa.

Fuerza de tracción:

La fuerza de tracción de 586.07 N es la fuerza más grande que actúa sobre la moto. Esto indica que el motor es potente y posee una entrega de potencia inmediata.

Fuerza neta:

La fuerza neta de 548.44 N es la fuerza resultante que impulsa la moto hacia adelante. Esta fuerza es considerable, lo que indica que la moto tiene una aceleración y velocidad muy buenas, esto solo comprueba que las motocicletas eléctricas tienen una entrega de potencia inmediata. [1] [2] [3] [4]

IV. CONCLUSIONES

Los resultados del estudio muestran que las motocicletas eléctricas analizadas son realmente eficientes al moverse, ya que aprovechan muy bien la energía que reciben del motor. Pueden acelerar con fuerza y mantener un buen rendimiento, incluso enfrentando las fuerzas que se oponen al movimiento.

El diseño de estos motociclos están analizados para cortar el viento con facilidad. Consumen menos energía al avanzar y ofrecen una experiencia de manejo más fluida, lo cual es clave para mejorar su desempeño y autonomía.

La resistencia de las llantas al rodar es bastante baja. Esto no solo mejora la eficiencia, sino que también ayuda a que las llantas se desgasten menos y que el vehículo sea más seguro al tener buen agarre al suelo.

Los motociclos eléctricos responden casi de inmediato al acelerar. Esto se debe a que el motor eléctrico entrega su potencia desde el primer momento, lo que resulta ideal para manejar en la ciudad, donde se necesita reaccionar rápido.

Este tipo de vehículos aportan mucho al cuidado del medio ambiente. Al no generar emisiones contaminantes ni ruido, representan una excelente opción para una movilidad más limpia y responsable con el entorno.

Este análisis aplica de forma concreta principios de la física para entender cómo se comportan estas motos al moverse.

La fuerza de resistencia a la rodadura es un factor clave a la hora de tener un buen punto de gravedad y como se observa la fuerza de resistencia a la rodadura de la motocicleta eléctrica tiene un valor bastante bajo.

La fuerza de tracción de la motocicleta eléctrica es alta lo que manifiesta que la motocicleta eléctrica posee una fuerza de tracción de 446.11 N.

La fuerza neta es la fuerza que impulsa a la motocicleta eléctrica ya que esta es la resultante de todas las fuerzas que calculamos, el valor de esta es de 423.90 N lo cual indica que la motocicleta eléctrica posee una elevada potencia y aceleración

- [10] «Yadea Kemper, su primera moto eléctrica de gran potencia y con carga rápida,» 2023. [En línea]. Available: <https://www.mundodeportivo.com/solomoto/electricas/20231112/1002103446/yadea-kemper-primera-moto-electrica-gran-potencia-carga-rapida.html>.

REFERENCIAS

- [1] W. H. Hucho, *Aerodynamics of road vehicles: From fluid mechanics to vehicle engineering.*, SAE International., 1998.
- [2] A. K. Pundir y P. Pandey, *Motorcycle design and technology*, CRC Press., 2016.
- [3] C. R. Smith, *Motorcycle aerodynamics.*, SAE International., 1983.
- [4] C. & E. C. Amann, « Aerodynamic drag reduction for motorcycles.,» *SAE International Journal of Passenger Cars* , 2017.
- [5] «MOTO ELÉCTRICA DYNAMO I LITIO,» [En línea]. Available: https://simple.ripley.cl/moto-electrica-dynamo-i-litio-mpm10000189789?color_80=negro&s=mdco.
- [6] «Motores síncronos,» [En línea]. Available: https://www.sapiensman.com/tecnoficio/electricidad/motores_sincronos.php.
- [7] «Motores Electricos,» 2 junio 2009. [En línea]. Available: <https://motoreselectricos.wordpress.com/>.
- [8] Vargas Tuitise, Yubert Alan. Daza Martínez, Eric Ricardo. (2024). *Procesos de operación, diagnóstico y mantenimiento de motociclos eléctricos y adaptación de propulsión eléctrica.* Carrera de Ingeniería Automotriz. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Sede Latacunga
- [9] «Scooter Eléctrico TUNDRA VOLT-X,» [En línea]. Available: <https://www.proimport.com.ec/motociclismo/4146-scooter-electrico-tundra-500-watts-volt-clasic-ii.html>.