

Análisis y diseño de un prototipo funcional de motocicleta eléctrica

Ingeniería Electromecánica con Orientación Electrónica

Sebastián David Reckziegel Cuevas, 46966

sebasreckziegel@gmail.com

Resumen— En el presente trabajo se realiza un estudio del estado de arte de la movilidad eléctrica, una estimación de requisitos mínimos que debe de tener un prototipo de motocicleta eléctrica mediante un modelado previo del vehículo y posteriormente la implementación de un diseño de prototipo el cual cumpla con dichos requisitos propuestos.

El modelado del vehículo se ha elaborado totalmente en el software de programación gráfico LabVIEW. La teoría base del modelado parte de las fuerzas que actúan sobre una motocicleta mientras esta se encuentre en movimiento. Desde ahí aplicar formulaciones matemáticas que otorguen variables equivalentes a torque, potencia y consumo de energía durante un determinado trayecto. Para las estimaciones, los trayectos seleccionados fueron la parte 1 y 2 del WMTC.

La información recaudada fue utilizada para la selección de componentes de una motocicleta eléctrica, también teniendo en cuenta el costo de cada componente. Este diseño fue implementado finalmente en un prototipo funcional, el cual fue testado en un ambiente controlado para verificar el funcionamiento del sistema.

Palabras clave— Motocicleta eléctrica. LabVIEW. Modelado de vehículo. WMTC. Movilidad eléctrica.

I. NOMENCLATURA

Notación utilizada:

m – masa [kg]
 V – velocidad [m/s]
 a – aceleración [m/s²]
 g – gravedad [m/s²]
 $g = 9.81 \text{ m/s}^2$
 A_f – área de sección frontal [m²]
 C_D – coeficiente de resistencia aerodinámica
 $C_D = 0.7$
 α – ángulo medio de la pendiente [°]
 P – potencia [kW]
 P_{motor} – potencia del motor [kW]
 E – energía [Wh]
 r – radio de la rueda [m]
 ρ – densidad del aire [kg/m³]
 $\rho = 1.202 \text{ kg/m}^3$
 η_{motor} – eficiencia del motor [%]
 F_D – fuerza de arrastre [N]
 F_{ac} – fuerza de aceleración [N]
 F_P – fuerza de resistencia debido a la pendiente [N]
 F_W – fuerza de resistencia debido al rodamiento [N]
 F_T – fuerza de tracción [N]

m_r – masa de la rueda [kg]
 f_w – coeficiente de resistencia a rodamiento
 $f_w = 0.02$
 τ_r – torque en la rueda [Nm]

II. INTRODUCCIÓN

LA movilidad urbana ha ido cambiando con el paso del tiempo, sin embargo, esta no siempre ha sido la más eficiente, económica y viable para el medio ambiente. Un grande paso fue la introducción de vehículos eléctricos híbridos los cuales dieron lugar a nuevos avances tecnológicos de las baterías de litio y una mayor inclusión de EV's en el mercado [1].

Los avances en las baterías de litio han permitido un crecimiento en el área de las motocicletas eléctricas en la última década [2]. El cual fue acompañado con el interés de fabricantes que forman parte del mercado de dos ruedas. Uno de ellos fue Kawasaki, el cual ha elaborado una investigación acerca de los requerimientos y la viabilidad de las motocicletas eléctricas mediante un diseño de prototipo [4].

Para poder estudiar los requerimientos y el diseño de una motocicleta eléctrica, este trabajo parte con una investigación del estado de arte de la movilidad eléctrica donde se desea adquirir información acerca del funcionamiento de una motocicleta eléctrica, una introducción a la movilidad eléctrica y una vigilancia tecnológica en este ámbito. Luego se llevará a cabo un modelado, dimensionamiento y consecuentemente una implementación del prototipo.

III. ESTADO DEL ARTE DE LA MOVILIDAD ELÉCTRICA

A. Movilidad Eléctrica

Hoy en día existen diferentes términos utilizados en el área de la movilidad los cuales se pueden agrupar en uno general "New mobility". Esto abarca diferentes sectores como los servicios de movilidad, vehículos conectados y la movilidad eléctrica o electromovilidad. En la movilidad eléctrica tendríamos el hardware de vehículos que utilicen algún tipo de tren motriz eléctrico para su funcionamiento y las tecnologías aplicadas en las infraestructuras de carga eléctrica [10].

Adentrándonos más por el último grupo de dicha clasificación, por el concepto de movilidad eléctrica o electromovilidad entendemos como la utilización de medios de transporte alternativos a los de combustibles fósiles utilizando por lo menos un motor eléctrico y energía renovable. Dentro de todo esto se incluyen las tecnologías disponibles para el desarrollo de infraestructura de carga y el desenvolvimiento de las baterías del vehículo eléctrico. El área de interés de este trabajo se encuentra en la clasificación de eléctricos de dos ruedas, donde tendríamos un vehículo eléctrico a baterías de dos ruedas.

En esta subclasificación de la movilidad eléctrica el líder mundial es China con la mayor diversidad de modelos y mayor número de ventas. Incluyendo bicicletas eléctricas, scooters y motocicletas. La evolución de estos productos con el paso de los años ha permitido una mejor durabilidad y practicidad ya que en los modelos de menor potencia es posible cambiar las baterías fácilmente para una recarga más rápida. Esto permitirá un tiempo de vida mayor del producto, ya que una vez terminado los ciclos de vida de una batería, sería fácil cambiarla por una nueva renovando así por aproximadamente 10 años más la utilidad del vehículo [2].

El mercado de China tuvo un aumento en producción anual de 6 millones de unidades, teniendo 33 millones en el año 2018 y luego 36 millones en el año 2019, el constante aumento de producción se encuentra relacionado con la demanda del consumidor que va en aumento debido a bajos precios y regulaciones realizadas por el gobierno Chino a favor del transporte eléctrico en dos ruedas. Una de las principales regulaciones realizadas fue prohibir el transporte en motocicletas de combustión en los centros de las ciudades.

India también ha empezado a apostar por este medio de transporte debido a que entre un 20-30% de las emisiones de CO₂ producidas por el país provienen de motocicletas a combustión interna. El gobierno de la India planea regulaciones similares a las adoptadas por el gobierno chino para el año 2025 como también empezaron con un programa de subsidios llamado FAME (Faster Adoption and Manufacturing of Hybrid & Electric Vehicles), pasando por diversas etapas con diferentes requisitos para las compañías en cada etapa. Por su lado, algunos países de Europa cuentan con movilización por alquiler donde el consumidor puede optar a este modo “mototaxi” por medio de la aplicación conocida Uber con la empresa Cityscoot que opera en Francia [2].

IV. MODELADO DEL VEHÍCULO

A. Teoría de simulación

La formulación matemática de la simulación se encuentra definida por los factores básicos que influyen en la dinámica de un vehículo o más bien en este caso una motocicleta, esto se basa en el principio de conocer la potencia requerida sobre un determinado trayecto de prueba para luego realizar una selección acorde de componentes [13].

La selección requiere conocer la fuerza de tracción para el cálculo de la potencia máxima, la energía consumida y del

torque máximo en la rueda requerido por el trayecto definido. Según [5], las fuerzas que actúan debido al movimiento dinámico de una motocicleta son la fuerza de arrastre, fuerza de aceleración, fuerza de resistencia debido a la pendiente y la fuerza de resistencia debido al rodamiento:

$$F_D = \frac{1}{2} \rho \cdot C_D \cdot A \quad (1)$$

$$F_{ac} = m \cdot a \quad (2)$$

$$F_P = m \cdot g \cdot \sin(\alpha) \quad (3)$$

$$F_W = m \cdot g \cdot f_w \quad (4)$$

Luego si aplicamos la segunda ley de Newton tenemos que:

$$\sum F = F_{ac} = F_T - F_D - F_P - F_W \quad (5)$$

Reordenando tenemos la ecuación equivalente a la fuerza de tracción:

$$F_T = F_D + F_{ac} + F_P + F_W \quad (6)$$

Una vez calculada la fuerza de tracción se puede proseguir con el cálculo de Potencia. Esta es igual a la velocidad multiplicada por la fuerza de tracción:

$$P = V \cdot F_T \quad (7)$$

Lo cual es equivalente a:

$$P = V \cdot (F_D + F_{ac} + F_P + F_W) \quad (8)$$

Teniendo en cuenta la eficiencia del motor a utilizar, la potencia del motor será igual a:

$$P_{motor} = P / \eta_{motor} \cdot 100 \quad (9)$$

Finalmente, la potencia máxima requerida será la máxima que se obtenga durante la ruta del testeo dependiendo de la pendiente, velocidad y los otros factores que influyen en la potencia [3].

Aparte de conocer la potencia máxima, también es necesario calcular el torque máximo requerido para la selección del motor eléctrico a utilizar en el proyecto. En este caso se ha decidido realizar el cálculo del torque generado en la rueda, el cual es directamente proporcional a la relación de transmisión seleccionada multiplicada por el torque del motor

Según [13], de la sumatoria de torques tenemos que el torque en la rueda es igual a:

$$\tau_r = (m_r \cdot r \cdot a) / 2 + F_T \cdot r \quad (10)$$

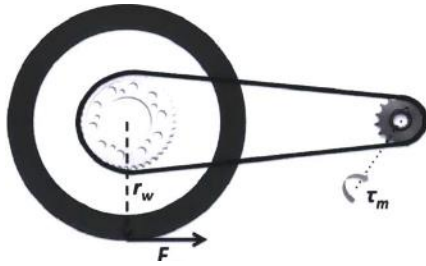


Fig. 1. Torque del motor generando la fuerza de tracción.

La energía consumida en un determinado trayecto es el punto más importante por calcular ya que de esto depende la capacidad que deben de almacenar las baterías. Siendo este el componente más caro de una motocicleta eléctrica y el que más limitaciones hoy en día presenta en términos de densidad energética.

Esta puede ser obtenida mediante la integración de la potencia durante el intervalo del trayecto realizado [3]:

$$E = \int P_{\text{motor}} \cdot dt \quad (11)$$

Si se tienen en cuenta valores negativos de potencia, estos corresponderían a el frenado regenerativo. Sólo serían tomados en cuenta si el sistema cuenta con esta tecnología donde el motor pueda actuar como un generador proporcionando potencia negativa que devuelve energía a las baterías.

B. Implementación en LabVIEW.

De forma a que el prototipo pueda competir con las motocicletas de combustión interna, se partirá con requisitos mínimos que debe cumplir la motocicleta eléctrica basándonos en requisitos propuestos por Kawasaki en 2014 [4]. Primeramente, esta debe tener un rango mínimo de 100km de autonomía por cada carga, de modo a que el uso sea viable en un entorno normal. Y en segundo lugar, el motor a utilizar debe ser lo suficientemente potente para poder movilizar la motocicleta sin forzar al componente.

Antes de la selección de componentes se proseguirá a la implementación del modelado de la motocicleta basado en la teoría expuesta, de modo a estimar que valores de potencia máxima requerida, torque y energía consumida se tendrá en un determinado trayecto. Para poner la teoría en práctica se utilizará la plataforma de simulación y control LabVIEW. Esta utiliza un lenguaje de programación distinto a los demás debido a que es totalmente gráfico, permitiendo una mejor visualización del flujo de datos y un mejor entendimiento del código realizado.

Los datos del trayecto a introducir serán del World Motorcycle Test Cycle 1 y 2 (WMTC), el cual es un grupo de ciclos de conducción para el análisis de motocicletas de forma a conocer su consumo y emisiones que produzca. Siendo la parte 1 para motocicletas con velocidad máxima alrededor de los 60km/h, parte 2 con velocidades máximas alrededor de los 100km/h y la última para velocidades de 130km/h o más [11]. Para este prototipo se ha tomado en cuenta la parte 1 y 2 del trayecto. Estos ciclos de conducción se encuentran en función de velocidad y tiempo.

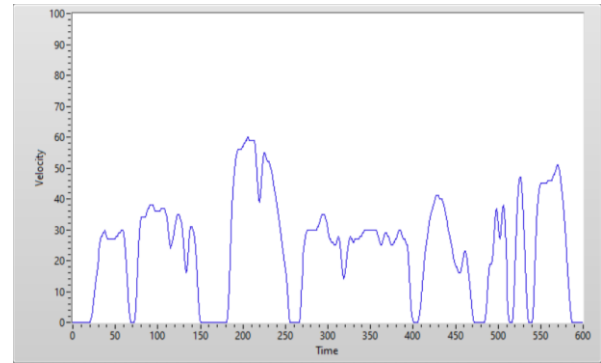


Fig. 2. Primer ciclo WMTC.

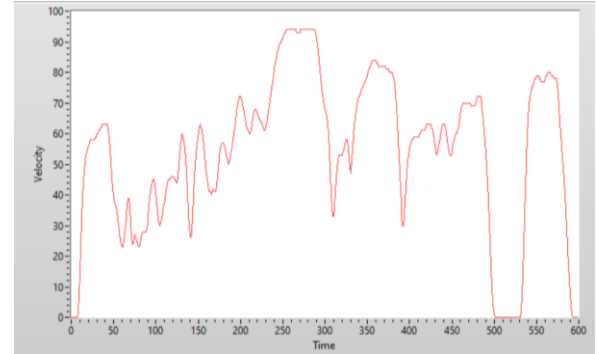


Fig. 3. Segundo ciclo WMTC.

Ambos ciclos serán utilizados para realizar el análisis completo de cuanta potencia máxima, torque máximo y energía se requieren en cada ciclo.

Los datos ingresados están separados en un array que contiene la velocidad y el tiempo actual del trayecto, el número de interacciones que deberá de hacer el programa depende del número de filas que tenga el array lo cual equivale a el tiempo total del trayecto a ingresar. En el caso del WMTC serian 600 segundos en total en ambos ciclos por lo tanto 600 interacciones.

Se introducirán los siguientes parámetros para la obtención de los datos requeridos:

TABLA I
VALORES PREESTABLECIDOS.

Eficiencia del motor	90%
Área de sección frontal	0,6 m ²
Coefficiente de resistencia aerodinámica	0,7
Densidad	1,202
Ángulo medio de la pendiente	2°
Radio de la rueda	0,4318 m
Peso del piloto	90 kg
Peso del vehículo	190 kg

Para el cálculo de energía consumida por el tren motriz se utiliza la ecuación (11). Como el WMTC 1 recorre una distancia de 4km y el objetivo del presente proyecto es alcanzar los 100km de autonomía, se proseguirá a multiplicar 25 veces el consumo del presente ciclo de testeo. Aplicando el mismo concepto propuesto con el WMTC 1, para el cálculo de energía en 100km se multiplica 11 veces el valor para un ciclo ya que el WMTC 2 realiza un recorrido de 9km por ciclo.

TABLA II
RESULTADOS OBTENIDOS EN CADA CICLO

Variables	WMTC 1	WMTC 2
Fuerza de tracción máxima (N)	221,241	323,149
Potencia máxima (kW)	4,008	9,172
Torque máximo (Nm)	95,532	139,536
Energía consumida (kWh)	0,198	0,606
Energía P/100 km (kWh)	4,947	6,703

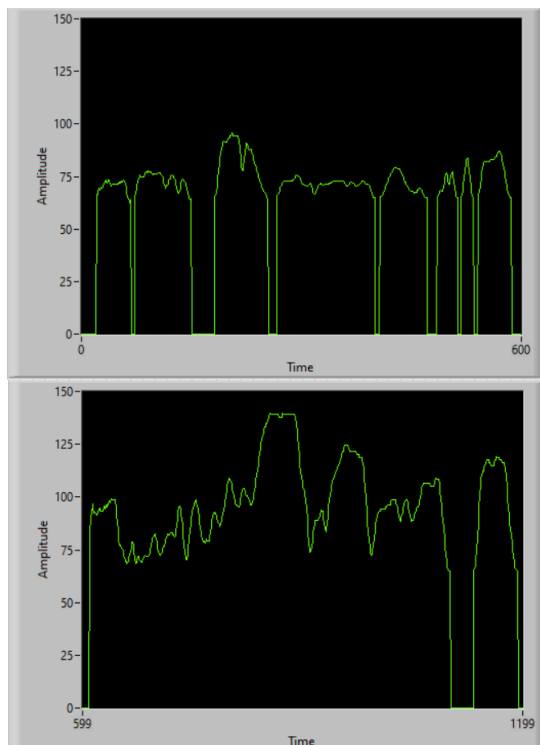


Fig. 4. Gráfica del Torque del WMTC 1 vs WMTC 2.

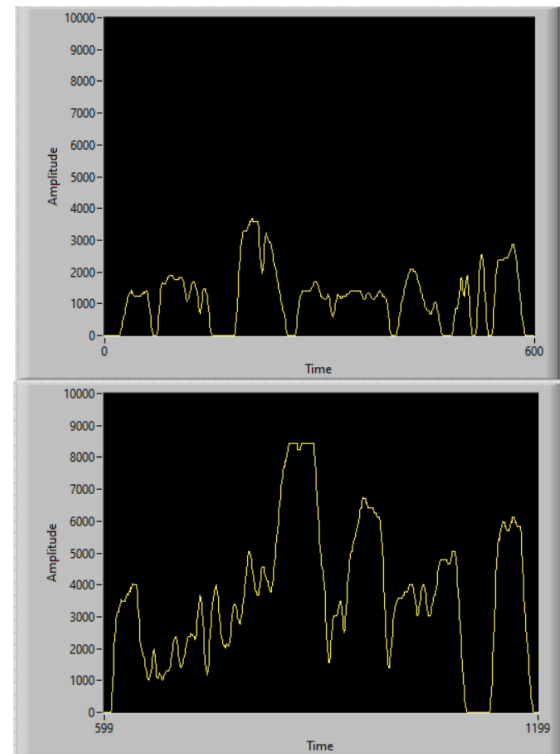


Fig. 5. Gráfica de Potencia del WMTC 1 vs WMTC 2.

Es posible observar como el WMTC 2 requiere más del tren motriz debido a que el trayecto consta de mayores velocidades y por lo tanto mayores valores de potencia en comparación con el WMTC 1. Los valores obtenidos fueron utilizados para la selección de componentes, de modo a cumplir con los requisitos propuestos para la elaboración del prototipo. Con la simulación es posible introducir diferentes variables para otras motocicletas, trayectorias y zonas.

V. SELECCIÓN DE COMPONENTES

Al obtener los resultados de la simulación, ya es posible realizar la selección y compra de componentes que formarán parte del tren motriz. Los datos obtenidos a tener en cuenta son:

TABLA III
REQUISITOS MÍNIMOS.

Capacidad total de las baterías	6,164 kWh
Potencia Máxima	9,171 kW
Torque Máximo en la rueda	138,536 Nm

Donde se ha tomado en cuenta la mayor potencia requerida entre la parte 1 y 2 del WMTC, el mayor torque y un promedio del consumo de energía entre las dos partes de la trayectoria.

A. Baterías

Al ser el componente más caro del proyecto es importante considerar el presupuesto a la hora de la selección de baterías. El voltaje nominal del pack será de 48v, siendo un voltaje relativamente bajo y seguro comparando con un valor del

orden de 100v a 220v lo cual puede llegar a ser letal para el cuerpo humano. Sin embargo, a un menor voltaje se requiere un mayor valor de amperaje para poder cubrir las necesidades de potencia del vehículo. Según el análisis realizado anteriormente esto no presenta un gran problema debido a que la potencia máxima requerida es relativamente baja, pero si se trabajase con un valor de potencia mayor es recomendable utilizar un pack con un mayor voltaje nominal tal como lo hacen los fabricantes Zero Motorcycles y Energica.

Existen diversas opciones en el mercado que van desde las celdas 18650 de Panasonic que utiliza Tesla pero que presentan un costo alto a baterías de ácido plomo más baratas las cuales hoy en día se encuentran anticuadas. En este proyecto no se cuenta con un presupuesto muy alto para adquirir lo mejor que ofrece el mercado. Por lo tanto, para el presente proyecto se ha decidido utilizar las celdas de litio usadas provenientes de un Nissan Leaf, siendo en este caso reutilizadas en un vehículo eléctrico. Estas celdas son capaces de entregar bastante potencia, tienen una estructura modular que ayuda en la hora del montaje y al ser de segunda mano se encuentran a un precio más accesible.



Fig. 6. Módulo Nissan Leaf G1.

Cada módulo consta de 4 celdas LiMn2O4/LiNiO2 con un voltaje nominal de 3,6 V y 30Ah cada una, estas son conectadas en 2s2p que luego nos entrega un módulo de 7.2V nominales (8,4 V máximo) y 60Ah por módulo [8].

Para alcanzar los 48v nominales existen 2 posibles configuraciones:

- 7 módulos en serie que entregan una energía total de: $8,4 \text{ V} \times 7 \times 60\text{Ah} = 3,528 \text{ kWh}$
- 14 módulos, configuración 2p7s que entrega: $8,4 \text{ V} \times 7 \times 120\text{Ah} = 7,056 \text{ kWh}$

En el caso expuesto la segunda configuración cumple con los requisitos de los resultados obtenidos, por lo tanto, se llevará a cabo el montaje con dicha configuración. Cabe destacar que al ser celdas de segunda mano se espera tener un porcentaje igual o mayor al 60% del total, esto será comprobado con los resultados finales del testeo.

B. Motor y Controlador

Para la compra del motor se ha tomado en cuenta tres opciones principales que fueron analizadas teniendo en cuenta el costo junto con el controlador. Esto se debe a que para cada tipo de motor se necesita un controlador compatible en términos de potencia y complejidad.

Entre las opciones se encontraban dos motores sin escobillas de imán permanente y uno con escobillas. Si bien

los motores sin escobillas ofrecen mayores valores de torque y potencia, la posibilidad de contar con el frenado regenerativo y un menor mantenimiento. Se ha seleccionado el motor ME1004 con escobillas porque ha cumplido con requisitos propuestos y era el de menor costo monetario lo cual era un punto importante a tener en cuenta debido al bajo presupuesto del proyecto.

El motor ME 1004 está diseñado para trabajar con 48v y es el mejor en relación calidad/precio de la lista. Este motor posee escobillas lo cual requiere de un mantenimiento con el desgaste de estas. Al ser un motor serie de corriente continua no tiene la capacidad de proporcionar el beneficio del freno regenerativo [12]. El controlador compatible con este motor es del fabricante Alltrax y del modelo SR48400 que es específico para motores serie que trabajan a 48v y con un máximo de 400A [7].

TABLA IV
CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR.

Potencia nominal/Potencia máxima	9,6 kW/20 kW
Torque máximo	50 Nm
Peso	15 kg



Fig. 7. Motor eléctrico ME1004 y el controlador SR48400.

Esta combinación es la más económica de la lista estudiada, cumple con los requisitos y tiene el menor peso. Por dichas razones es la seleccionada para la compra y elaboración del prototipo. La parte negativa de este sistema eléctrico es que no posee el beneficio del frenado regenerativo y será necesaria la manutención del motor cada 2 años dependiendo de su uso. Sin embargo, las ventajas del bajo costo superan a sus desventajas.

C. BMS

El sistema de protección de baterías seleccionado para el proyecto es el denominado Tiny BMS proveniente de Lituania del fabricante Energus, lleva dicho nombre por ser muy compacto en comparación con el tamaño usual de un BMS. Es capaz de monitorear hasta 16 celdas de litio de 3.6V conectadas en serie, ofrece una comunicación CAN Bus, medición de temperatura, sistema de ignición, control de contactores y la corriente máxima de uso puede llegar hasta los 750A [9].

VI. ENSAMBLE DEL PROTOTIPO

El ensamble del prototipo empieza por el chasis de este, ya que la ubicación de los componentes dependerá del tipo de chasis a utilizar y del espacio disponible. El estudio a fondo de este no abarca el desarrollo del proyecto debido a que no se cuenta con los recursos económicos de desarrollar el chasis desde cero. Por dicha razón se ha realizado un pedido de auspicio a diversas empresas que tratan con manufactura de motocicletas en el Paraguay, del cual se obtuvo una respuesta favorable proveniente de REIMPEX S.A.

A. Soporte del motor

Con el chasis en mano se comenzó con el corte y desmantelamiento de todo soporte o componente que no será utilizado proveniente del motor de combustión. Posteriormente se realizó un diseño preliminar del soporte del motor eléctrico utilizando herramientas como el cartón y un software de diseño CAD con el motor en formato 3D mientras se esperaba la llegada de este en su forma física luego de la compra.

Para el soporte del motor se ha utilizado aluminio de 6mm de espesor, obteniendo así un soporte liviano y que al ser del mismo material que la zona frontal del motor previene la corrosión entre ambos. Agujeros y cortes fueron realizados con un taladro percutor y una amoladora en una tornería local, luego de tener el diseño preliminar en cartón. Los puntos de contacto entre el chasis y el soporte son reutilizados del motor de combustión.

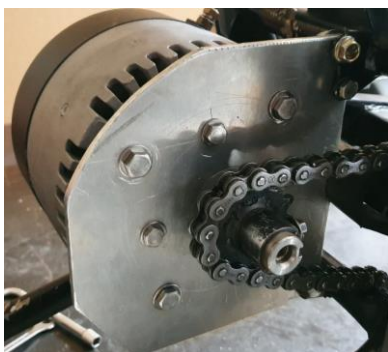


Fig. 8. Versión final del soporte del motor.

B. Caja de baterías

Esta sección del ensamble es la que presenta la mayor dificultad debido al poco espacio disponible para el almacenamiento de baterías en una motocicleta. Además, al contar con un bajo presupuesto y adaptar un chasis de una motocicleta de combustión interna a una eléctrica el desafío aumenta. Luego de realizar diferentes versiones de las cajas de baterías en cartón, realizando el mismo proceso que se ha hecho con el soporte del motor y probarlas en el prototipo se ha llegado a un diseño preliminar el cual es el siguiente:

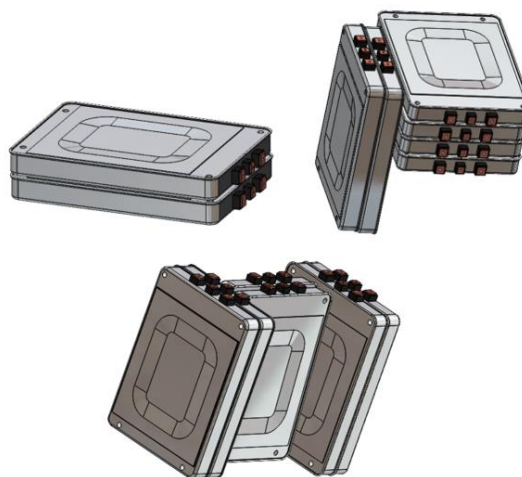


Fig. 9. Configuración de la sección N°1, 2 y 3 del pack de baterías.

Contando con 14 módulos del Nissan Leaf se ha tratado de mantener el centro de gravedad bajo para un mayor manejo de la motocicleta y también poder almacenar al menos 2 módulos adjuntos para conectarlos en paralelo debido a la configuración, optimizando el uso de cables y barras de cobre en las conexiones. Una vez conseguido un modelo preliminar acorde a los requisitos presentados es necesario seleccionar los materiales a utilizar para la caja de baterías. Según [5] los materiales más utilizados en la industria son los siguientes:

-Fibra de vidrio

Entre los dos es el material de menor costo con características de gran durabilidad, firmeza como también un buen aislante eléctrico y térmico. Esta última característica no es siempre bienvenida en la industria de vehículos eléctricos debido a que dificulta la refrigeración de baterías presentando una desventaja y requiere algún tipo de refrigeración líquida o bien ventilación interna lo cual compromete la impermeabilidad de la caja de baterías. En la sección N°1 y 2 del pack de baterías fue utilizado este material. Lo ideal sería partir de una impresión 3D para los moldes de las secciones, sin embargo esto representaba un costo mayor al no contar con una impresora en mano. Por lo tanto, se decidió partir de mediciones en cartón utilizando pegamento para unir las partes y un recubrimiento de plástico. Al verificar las mediciones se procedió a la fabricación de los moldes de secciones.

-Aluminio

Para la fabricación de la sección N°3 del pack de baterías se ha optado por la utilización de planchas de aluminio con un espesor de 2mm. Las mediciones de este pack de baterías fueron verificadas con una réplica en cartón para luego proseguir con las mediciones en 1m² de plancha de aluminio y corte. La caja fue separada en tres partes para la facilitación del doblado en la plancha y posterior soldadura TIG.



Fig. 10. Secciones 1,2 y 3 instaladas en el chasis.

C. Soporte de pantalla/Compartimiento de BMS

Para obtener una buena comunicación entre el BMS y la pantalla es importante mantener ambas lo más cerca posible, debido a eso es conveniente utilizar el mismo soporte para ambos. El soporte diseñado en Solid Works cuenta con tres piezas separadas unidas con cuatro bulones, posteriormente impresas en 3D con filamentos resistentes. La primera pieza es la base y soporte del BMS, la segunda es la base de la pantalla y la última la tapa del compartimiento.



Fig. 11. Compartimiento impreso e instalado.

D. Diagramas de conexiones

A continuación, se encuentra el diagrama de conexiones general utilizado en el proyecto. Dentro del esquema se encuentra el pack de baterías, BMS, sensor de corriente, fusible, contactores, llave de ignición, sensor de velocidad, resistencia de precarga, controlador, motor y potenciómetro.

El BMS como controla directamente a los contactores de carga y descarga en el caso de algún fallo del sistema o resolución de eventos preestablecidos como el bajo voltaje, carga finalizada, carga iniciada, encendido, etc. El controlador regula el voltaje y corriente de salida desde el lado negativo de acuerdo con los valores provenientes del potenciómetro, donde $0\ \Omega$ sería una nula respuesta para el motor y $5\ k\Omega$ representará la máxima aceleración con incremento lineal de velocidad [9].

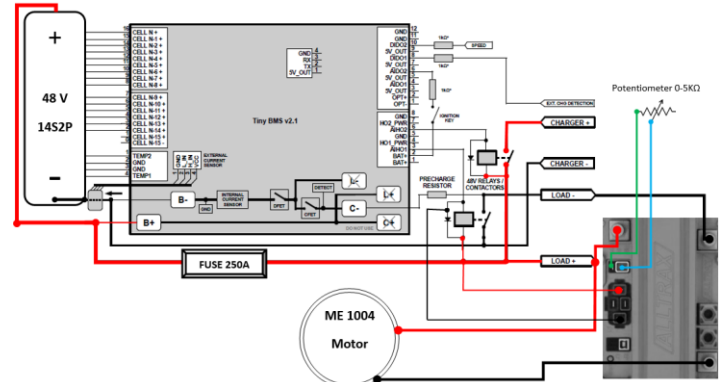


Fig. 12. Diagrama de conexiones general.

VII. PRUEBAS Y RESULTADOS

A. Características del prototipo

El prototipo de motocicleta eléctrica implementado cuenta con las siguientes características técnicas:

TABLA V
CARACTERÍSTICAS DEL PROTOTIPO.

Potencia	23 hp (3230 rpm)
Torque pico	50 Nm (400A)
Torque pico en la rueda	142,5 Nm
Voltaje nominal	48 V
Capacidad de baterías	4,524 kWh
Rango estimado en ciudad	50 a 70 km
Tiempo de carga (0% A 90% SOC)	8 hs
Relación de transmisión (1 cambio)	2,85
Velocidad máxima	132 km/h



Fig. 13. Prototipo de motocicleta eléctrica.

B. Pruebas del prototipo

Las pruebas realizadas fueron de funcionamiento del sistema sin transmisión a la rueda para asegurar el correcto funcionamiento, al mismo tiempo se ha monitoreado el comportamiento de las baterías por medio de la herramienta

Alltrax Toolkit proveída por el fabricante del controlador y Battery Insider el cual permite la comunicación simultánea con el BMS via Bluetooth.

Una vez completado dichos testeos se ha proseguido a realizar una manutención general de la motocicleta para luego realizar pruebas de manejo en un ambiente controlado. Estas pruebas de manejo se han llevado a cabo hasta llegar al 0% de SoC el cual sería equivalente 2,7V por celda (un valor más bajo podría comprometer a las baterías) [8].

La descarga completa se ha realizado para confirmar que el BMS actúe al ocurrir el evento de “Under Voltage Cutoff”. Este evento es procesado cuando una de las celdas alcanza el límite de 2,7V, posteriormente se produce la acción de abrir el contactor principal y entrar en modo de bajo consumo hasta recibir una señal proveniente de las terminales de carga.

El siguiente paso por seguir para las pruebas fue de la carga desde dicho punto, utilizando un cargador de 48V nominales y 15 A el proceso de carga tuvo una duración de 8hs. En dicho proceso el BMS empieza a balancear las celdas desde los 3,3V y mantiene las celdas con una diferencia máxima de 15mV. Este proceso de carga continua hasta producirse el evento de “Charge Finalized” el cual ocurre cuando todas las celdas alcanzan 4,1V y la corriente de carga es menor a 1A. Es entonces cuando el BMS abre el contactor de carga y finaliza el proceso.



Fig. 14. Testeo del prototipo en ambiente controlado.

Para finalizar se ha continuado con las pruebas de manejo obteniendo una autonomía estimada que se encuentra entre 50 a 70 km dependiendo de la forma de conducción. Mayores datos acerca de consumo de energía y economía no han sido extraídos debido a problemas con el controlador, por lo tanto se recomienda un estudio más amplio acerca del consumo como parte de un trabajo futuro.

VIII. CONCLUSIONES

Resultados coherentes y satisfactorios han sido obtenidos de la simulación en comparación con las referencias bibliográficas utilizadas. Dichos resultados fueron prioridad a la hora de la selección de componentes, en especial en la selección de la batería y el motor.

El prototipo finalizado cumplió con los requisitos propuestos excepto el de rango estimado, esto se debe a la degradación que tenían los módulos utilizados al ser de segunda mano. La capacidad estimada de los módulos utilizados resultó ser de un 65% de su capacidad original lo

cual ha comprometido a la energía disponible de las baterías. A pesar de este percance, se puede concluir que la realización del prototipo fue un éxito teniendo en cuenta las limitaciones que han surgido en el presupuesto.

REFERENCIAS

Periodicals (Artículos de revista):

- [1] Bobanac, V., P., H., & Capuder, T. (2018). Survey on Electric Vehicles and Battery Swapping Stations: Expectations of Existing and Future EV Owners. Zagreb, Croatia *IEEE*.
- [2] IEA. (2020). Global EV Outlook 2020. IEA Publications.
- [3] Veiga, I. V., Zymler, R., Shayani, R. A., Viana, D. M., & Orrico, M. V. (2012). Sizing of motor and battery pack for an automotive electric vehicle given a specific route. 2012 Sixth IEEE/PES Transmission and Distribution: Latin America Conference and Exposition (T&D-LA), 1-8. doi:10.1109/TDC-LA.2012.6522595
- [4] Matsuda, Y. (11 de Noviembre de 2014). A Study of Electric Motorcycle. SAE Technical Paper, 9. doi:10.4271/2014-32-0012

Books (Libros):

- [5] Cossalter, V. (2006). Motorcycle Dynamics (Segunda ed.).
- [6] Warner, J. (2015). The Handbook of Lithium-Ion Battery Pack Design. Amsterdam: Elsevier.

Technical Reports (Informes técnicos):

- [7] Alltrax Inc. (2016). Operators Manual SR.

Others (Otros):

- [8] Maluf, N. (8 de Julio de 2015). Qnovo Incorporated. Obtenido de INSIDE THE BATTERY OF A NISSAN LEAF: <https://qnovo.com/inside-the-battery-of-a-nissan-leaf/>
- [9] Energus Power Solutions. (2021). energusps. Obtenido de <https://www.energusps.com/shop/product/tiny-bms-s516-150a-750a-36>
- [10] Green Business Development. (20 de Abril de 2016). Obtenido de https://www.green-venture.net/New-Mobility-classification_2150.aspx
- [11] UN/ECE. (2003). WMTC
- [12] Motenergy. (2020). Obtenido de Motenergy, Inc.: <http://www.motenergy.com/index.html>

Published Papers from Conference Proceedings (Artículos presentados en conferencias publicados):

- [13] Rodgers, L. P. (2013). Electric Vehicle Design, Racing and Distance to Empty Algorithms. Cambridge, Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology.