



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS

Trabajo de fin de carrera titulado:

**“DISEÑO DE PROTOTIPO TÉCNICO DE SISTEMA DE GESTIÓN
DE BATERÍA PARA MOTOCICLETA ELÉCTRICA.”**

Realizado por:

JORGE MARTÍN PASTÁS ANDRADE

Director del proyecto:

ING. DIEGO BUSTAMANTE, M.SC.

Como requisito para la obtención del título de:

INGENIERO MECÁNICO AUTOMOTRIZ

Quito, julio de 2020

Índice de contenido

Resumen.....	10
Abstract.....	11
Introducción	12
Antecedentes	12
Planteamiento del Problema.....	12
Justificación.....	14
Estado del arte	15
Situación actual de movilidad eléctrica en el país.	15
Vehículos eléctricos y sus componentes.	16
Baterías	17
Baterías de ion-litio.....	18
Batería de níquel metal hidruro.....	18
Batería de Plomo-Ácido.....	19
Caracterización de baterías	20
Almacenamiento de energía y su distribución	21
Diseño y modelado del pack de baterías.....	21
Estimación del estado de carga (SOC).....	23
Motor eléctrico	23
Electrónica de potencia.....	24

Módulo de control	24
Elementos de control y protección de la batería.....	25
Regulador electrónico.....	26
Convertidor DC-DC.....	27
Sistema de gestión de la batería BMS.....	27
Ventajas y desventajas del vehículo eléctrico frente al de combustión.....	31
Motocicletas eléctricas	32
Fundamentos de matemáticos y electrónicos	34
Carga completa de motor	34
Divisor de voltaje.....	35
Interpolación	36
Ley de Ohm.....	36
Circuito comparador de voltaje.....	37
Método	40
Diseño de la batería	43
Voltaje de la batería	43
Consumo energético.....	44
Selección del tipo de batería	47
Configuración de módulos y celdas.....	48
Diseño de prototipo de BMS	51

Circuito de carga y descarga de la batería	52
Interfaz de lectura de datos	53
Indicador de nivel de batería mediante Diodos LED.....	56
Circuito de monitoreo de batería e indicador de nivel de carga.	58
Resultados.....	62
Paquete de baterías	62
Ensayo de simulación.....	63
Discusión.....	65
Conclusiones	66
Recomendaciones.....	67
Bibliografía:	69
Anexos.....	78

Índice de figuras

Figura 1. Ventas anuales de vehículos eléctricos divididos por provincias durante el año 2018 (Guerra, 2019).....	16
Figura 2. Subsistemas principales de vehículos eléctricos. Recuperado de (Un-Noor et al., 2017).	17
Figura 3. Esquema de tren motriz de diseño de motocicleta eléctrica (Brodsky et al., 2016).....	19
Figura 4. Modelo de circuito equivalente de una batería (Elsa & Barreda, 2017).	22
Figura 5. Diagrama de bloques de electrónica de potencia (Castillo, 2017).	24
Figura 6. Esquema de batería de alta tensión con sistema interno de control de módulos (ejemplo) (Ros Marin & Barrera Doblado, 2018).	26
Figura 7. Principales funciones de los Sistemas de Gestión de la batería BMS (Rodríguez Patarroyo et al., 2015).....	29
Figura 8. Esquema de cableado de BMS (Benecki & Prins, 2017).....	30
Figura 9. Esquema básico de un BMS con convertidor DC-DC (Dimitrov et al., 2018).	31
Figura 10. Esquema básico de los componentes de un VEB (Herrera, 2017).....	32
Figura 11. Diagrama de conexión de circuito integrado LM339.(Onsemi, 2018).....	37
Figura 12. Diagrama de voltímetro con indicador Led y LM339 (www.pesadillo.com, 2012)..	38
Figura 13. Esquema de voltímetro con pantalla LCD (V. García, 2015).	39
Figura 14. Plan de trabajo.	40
Figura 15. Esquema de controlador de carga (Cabrera et al., 2014).....	41
Figura 16. Curva de funcionamiento motor QSMotor (Alibaba.com, 2020).....	42
Figura 17. Datos de la motocicleta y gráfica de torque y revoluciones.....	45
Figura 18. Pista de autódromo de Tocancipá, Bogotá, Colombia, creada en OptimumLap.....	45
Figura 19. Análisis QFD para selección del tipo de batería.	47

Figura 20. 264 celdas de celdas ion-litio, organizadas en 12 módulos conectados en paralelo y cada uno con 22 celdas conectadas en serie.....	50
Figura 21. Simulación de pack de baterías.	50
Figura 22. Modelo 3D de pack de baterías, con sus respectivas dimensiones.....	51
Figura 23. Circuito de simulación para carga y descarga de un transistor que actúa como batería.	52
Figura 24. Datasheet de pantalla LCD Nokia 5510/3310 (Rinky Dink Electronics, 2013).....	54
Figura 25. Circuito de monitoreo de carga y descarga de batería con interfaz en pantalla LCD.	55
Figura 26. Diagrama de conexión LM339 (Onsemi, 2018).....	56
Figura 27. Circuito comparador de voltaje para indicador de nivel de batería.....	57
Figura 28. Circuito de visualización de nivel de batería con diodos LED.	57
Figura 29. Circuito de BMS completo (para mejor visualización en Anexo 2).	58
Figura 30. Interfaz de monitoreo de batería.....	58
Figura 31. Propuesta de divisor de voltaje para batería de 79V a 5V.....	59
Figura 32. Diagrama Tiempo-Voltaje de resultados de simulación.	64

Índice de tablas

Tabla 1. Ventajas e inconvenientes de las baterías (Elsa & Barreda, 2017).....	20
Tabla 2. Comparación de características de controladores (Torrejon Perez, 2015).	25
Tabla 3. Ventajas y desventajas de vehículos eléctricos frente a los de combustión interna.	31
Tabla 4. Especificaciones Super Soco TC (Super Soco TC Equipamiento – Super Soco, n.d.) ..	33
Tabla 5. Especificaciones de motor eléctrico empleado (Martinez et al., 2020) y (Alibaba.com, 2020).	41
Tabla 6. Especificaciones del vehículo para la simulación.....	44
Tabla 7. Resultados obtenidos en simulación de pista.....	46
Tabla 8. Análisis QFD para selección del tipo de batería.....	48
Tabla 9. Configuración de módulos y celdas.....	49
Tabla 10. Comparativa de dimensiones entre pack de baterías de Motocicleta Super Soco y el diseño conceptual propuesto.	51
Tabla 11. Comparativa entre valores con y sin función de mapeo en Arduino.	60
Tabla 12. Resultados de simulación de consumo energético de motocicleta en OptimumLap y diseño de paquete de baterías.....	62
Tabla 13. Resultados de simulación de monitoreo de batería.....	63
Tabla 14. Comparativa entre valores de simulación y obtenidos matemáticamente.	64

Índice de ecuaciones

Ecuación 1. Estado de carga (SOC).....	23
Ecuación 2. RPMs del motor y factor de seguridad.....	34
Ecuación 3. Voltaje de batería con carga completa del motor.....	34
Ecuación 4. Conversión de Wh-Joul.....	35
Ecuación 5. Capacidad nominal de acumulador	35
Ecuación 6. Divisor de voltaje.....	36
Ecuación 7. Interpolación.	36
Ecuación 8. Ley de Ohm.....	36

Índice de símbolos y nomenclaturas

BMS	Sistema de Gestión de la Batería
EV	Vehículo Eléctrico
kWh	Kilowatt hora
kg	Kilogramo
V	Voltio
Ah	Amperio-hora
Li-ion	Ion Litio
Ni/MH	Níquel metal hidruro
SOC	Estado de carga
ESS	Sistema de almacenamiento de energía
DC	Corriente directa
MCI	Motor de combustión interna
MCU	Microcontrolador
RPM	Revoluciones por minuto

Resumen

Con el incremento en popularidad de los vehículos eléctricos por no emitir gases contaminantes y la eficiencia que aportan con respecto a los vehículos tradicionales con motor de combustión interna, su avance tecnológico se ha impulsado en los últimos años, especialmente en el apartado de la batería, el cual es el punto más crítico en este tipo de vehículos, por lo que es necesario gestionar de la manera más eficiente la energía almacenada para una mayor autonomía. El objetivo principal de este proyecto es desarrollar un prototipo técnico de un sistema de gestión de batería, más económico y fácil de construir, considerando las especificaciones y parámetros de diseño para un prototipo de motocicleta eléctrica. Para llevar a cabo dicho objetivo, se empezó por definir las posibles especificaciones que tendría la motocicleta eléctrica, de modo que se pueda efectuar una simulación en pista para determinar el consumo promedio de energía y así calcular la capacidad necesaria del paquete de baterías. Una vez obtenida la capacidad necesaria, se señaló el tipo de celdas a usar y su disposición en serie y en paralelo para obtener los valores de voltaje y corriente necesarios para hacer funcionar al motor eléctrico. Con los cálculos de la batería, se procedió a diseñar el circuito de monitoreo para garantizar que dicha batería entregue el voltaje y corriente necesaria para el sistema, además de brindar una autonomía de alrededor de 55 km para uso urbano. El sistema de gestión de la batería (BMS) se basó en la plataforma Arduino UNO con el microcontrolador ATmega 328 y se realizaron las respectivas simulaciones para obtener los datos de descarga de la batería en tiempo real, en un modelo del circuito en un rango de funcionamiento de 5 voltios debido a las limitaciones del software utilizado al ser una versión de prueba y no poder simular circuitos de potencia.

Abstract

With the increase in popularity of electric vehicles by not emitting polluting gases and the efficiency they bring with respect to traditional vehicles with an internal combustion engine, their technological advancement has been driven in recent years, especially for the battery, which is the most critical point in this type of vehicle, so it is necessary to manage the energy stored in the most efficient way for greater autonomy. The main objective of this project is to develop a technical prototype of a battery management system, more affordable and easier to build, considering the specifications and design parameters for an electric motorcycle prototype. To carry out this objective, it began by defining the possible specifications that the electric motorcycle would have, so that a track simulation can be carried out to determine the average energy consumption and thus calculate the required capacity of the battery pack. Once the required capacity was obtained, it was determined the type of cells to be used and their arrangement in series and in parallel was noted to obtain the voltage and current values needed to operate the electric motor. With the battery calculations, the monitoring circuit was designed to ensure the battery delivers the voltage and current required for the system, as well as providing a range of about 55 km for urban use. The battery management system (BMS) was based on the Arduino UNO platform with the ATmega 328 microcontroller and the respective simulations were performed to obtain the battery discharge data in real time, on a circuit model in a 5 volt operating range due to the limitations of the software used to be a test version and not be able to simulate power circuits.

Introducción

Antecedentes

En estudios previos a este se han desarrollado sistemas de gestión de baterías (BMS) para motocicletas eléctricas, como también sus diferentes sistemas. Noriega (2014) elaboró un diseño completo para la construcción del vehículo antes mencionado. Se empezó por determinar los requerimientos bajo los conceptos de las entidades gubernamentales encargadas de la regulación de medios de transporte urbano, los aspectos técnicos como la autonomía que necesita el vehículo, ergonomía y especificaciones del motor eléctrico.

Actualmente existen varios diseños de BMS diseñados específicamente para vehículos eléctricos. En el trabajo expuesto por Su et al. (2017), realiza un sistema de alimentación para el circuito principal combinado con el circuito regulador de voltaje, corriente y de comunicación de forma que se realice un monitoreo del estado de la batería y comunicarlo a los demás sistemas y al usuario.

El BMS de una motocicleta eléctrica se basa en un microcontrolador como expone Scharich et al. (2017) en su propuesta de diseño. Se trabajó con un microcontrolador Arduino Nano por las ventajas que ofrece al ser una plataforma de código abierto, sencillo y de bajo coste. Dicha unidad de gestión es la encargada del control de tensión y corriente de modo que se regule la energía que proporciona la batería.

Planteamiento del Problema

El mercado automotor en Ecuador está adoptando lentamente la transición hacia la movilidad eléctrica ya que, del total de vehículos vendidos en el año 2018 con una cifra de

137.615 unidades, apenas 2.943 fueron de vehículos híbridos y eléctricos (Primicias, 2019). Sin embargo, se están tomando medidas para promover el uso de este tipo de vehículos, especialmente de los Scooters, bicicletas y motocicletas eléctricas (El Comercio, 2018).

Uno de los elementos más importantes en un vehículo eléctrico, ya sea un coche o una motocicleta, es la batería ya que influye directamente en la autonomía del mismo. La unidad de gestión de la batería es fundamental para monitorear y regular valores como la tensión y corriente para mejorar la eficiencia y seguridad del sistema.

Una de las desventajas de la movilidad eléctrica es la autonomía que ofrecen las baterías que por lo general es menor a su equivalente de combustible fósil por la densidad energética de 13 kWh / kg (8,9 kWh por litro), frente a 0,125 kWh / kg de las baterías de iones de litio. También el tiempo de carga de una batería de un vehículo, frente al tiempo de llenado del tanque de combustible es significativamente mayor siendo de hasta 8 horas para el primer caso y 5 minutos para el segundo (ACISA-EYSA Mantenimiento Tráfico Sevilla & Iglesias González, 2015)

De forma que una motocicleta eléctrica se pueda considerar como un medio de transporte urbano viable, se deben considerar aspectos como la autonomía, prestaciones del motor y facilidad de recargar su batería y tiempo de carga. Es necesario contar con un sistema de control que permita preservar la vida útil de las baterías, tiempos de carga no muy extensos y que brinden seguridad para los usuarios.

La implementación de un sistema de gestión de la batería para una motocicleta eléctrica es uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta al momento de diseñar un vehículo eléctrico porque es la forma en que se obtiene la energía necesaria para que la motocicleta pueda

desplazarse una distancia determinada según la autonomía que ofrece y desempeño que requiere el usuario.

El fabricante Super Soco Intelligent Technology menciona que el sistema de control inteligente de sus modelos de motocicletas comprueba regularmente el estilo y el comportamiento de conducción y gestiona el rendimiento al transmitir datos a la rueda del vehículo para mejorar la experiencia de conducción. (*Super Soco TC Equipamiento – Super Soco, n.d.*).

El desarrollo del sistema de gestión tiene que considerar las especificaciones del paquete de baterías y motor para brindar una carga eficiente que no reduzca la vida útil de los componentes y que el desempeño de la motocicleta siempre sea óptimo.

Justificación

A nivel mundial existen diversas investigaciones y prototipos de motocicletas eléctricas, la mayoría centradas en el diseño del chasis y análisis estructural, resolviendo los aspectos electrónicos con componentes existentes en el mercado. El problema en el medio consiste en obtener dichos componentes al ser un mercado reducido en comparación con otros países.

El desarrollo de un controlador electrónico para gestionar la batería es poco común. Investigaciones Palomeque & Coello (2016) y Palao Maíz (2019), indican el desarrollo de motocicletas eléctricas desde su chasis, componentes necesarios y conexiones eléctricas, omitiendo el desarrollo de un controlador al incorporar modelos existentes en el mercado.

Los controladores son elementos diseñados para un rango determinado de voltaje y corriente por lo que al buscar opciones en el mercado el diseño de vehículo eléctrico debe

basarse en las especificaciones de dicho controlador, lo que puede llevar a tener un diseño poco eficiente, costoso y sobredimensionado (Torrejon Perez, 2015).

Considerando los puntos anteriores, el objetivo principal de la investigación es: desarrollar un prototipo técnico de un sistema de gestión de batería, más económico y fácil de construir, considerando las especificaciones y parámetros de diseño para un prototipo de motocicleta eléctrica.

Para cumplir el objetivo principal propuesto, se plantean los siguientes objetivos específicos:

1. Determinar las variables necesarias a considerar por medio de cálculos matemáticos para el sistema de gestión de baterías.
2. Elaborar el circuito de control que permitirá variar los parámetros según las necesidades del sistema.
3. Simular el funcionamiento del circuito respectivo por medio de software para verificar los rangos de voltajes y corrientes.

Estado del arte

Situación actual de movilidad eléctrica en el país.

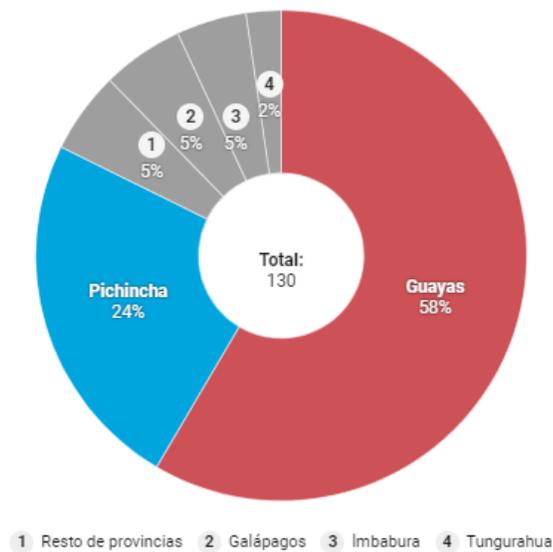
En los últimos años, en el Ecuador se han realizado esfuerzos por parte del gobierno nacional para llevar a cabo el cambio de matriz energética con el Plan Nacional de Eficiencia (2016) en el cual uno de los ejes a considerar es el Transporte, que busca sustituir fuentes energéticas poco eficientes como el combustible, por nuevas tecnologías al incorporar vehículos híbridos y eléctricos que reduzcan o eliminen las emisiones derivadas por combustibles fósiles. Además, se debe considerar que las normativas y regulaciones para realizar una transición a una

movilidad sostenible deben centrarse en mejorar las condiciones viales, reduciendo la contaminación y la congestión vial (Torres, 2015).

El Comité de Comercio Exterior, en el año 2019 eliminó los aranceles vigentes a los vehículos eléctricos como incentivo para aumentar la cantidad de vehículos vendidos con este tipo de tecnología, que fueron de 2943 unidades de híbridos y eléctricos hasta el año 2018. En la Figura 1 se observa las ventas anuales de vehículos eléctricos por provincias durante el año 2018 (Primicias, 2019).

Figura 1

Ventas anuales de vehículos eléctricos divididos por provincias durante el año 2018. Guerra (2019).



Vehículos eléctricos y sus componentes.

Los vehículos eléctricos o por sus siglas en inglés (EV), son medios de transporte impulsados por uno o varios motores eléctricos impulsados por la energía almacenada en sus baterías. Actualmente, los EVs han sido introducidos como la solución para resolver la

conjunto de celdas electroquímicas que transforman la energía química almacenada en energía eléctrica (M. García & Código, 2015). En el caso de los vehículos híbridos y eléctricos el tipo de baterías utilizadas son de tracción, es decir, la tensión con la que trabajan es más alta y puede alcanzar los 400 V. La batería es la encargada de proveer al motor eléctrico con la energía necesaria para generar movimiento de desplazamiento (Domínguez, 2017).

En el caso de una motocicleta eléctrica las especificaciones del paquete de baterías en el diseño propuesto por Drummond et al. (2019) consiste en celdas ion-litio con tensión de 155 V y 40 Ah, separado en siete módulos de 22.2 V.

Baterías de ion-litio

Este tipo de baterías son las más populares para usos en coches eléctricos por su mayor capacidad de almacenamiento, son más seguras y su costo se ha reducido en los últimos años por popularidad, aunque sigue siendo más elevado en comparación con otras tecnologías (Mora Martín, 2015).

Se debe tener en consideración que en las baterías de ion-litio ocurre un proceso de degradación que perjudica la capacidad de almacenaje de energía, lo que se traduce en una menor autonomía del vehículo eléctrico y una menor aceleración (Barré et al., 2013).

Las baterías de ion-litio o baterías Li-ion son populares por su alta capacidad de almacenamiento de energía, especialmente para productos electrónicos de consumo porque ofrecen un tamaño y pesos reducido (Hannan et al., 2017).

Batería de níquel metal hidruro

Las baterías Ni/MH tienen la ventaja de ofrecer una densidad de energía elevada que va de 140 a 300 Wh/l, una construcción robusta y carga rápida, aunque su energía específica es

menor que una batería de ion-litio por lo que su aplicación en vehículos eléctricos e híbridos no ha sido tan amplia como las de ion-litio (Chang et al., 2017).

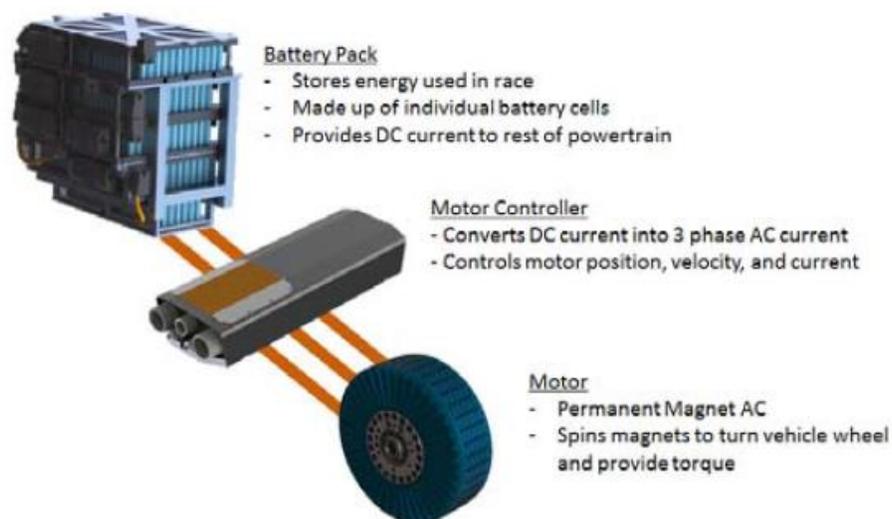
Batería de Plomo-Ácido

Las baterías de plomo-ácido son las baterías más usadas en los vehículos convencionales al poseer una gran capacidad de descarga en lapsos cortos de tiempo, característica necesaria para arrancar un motor de combustión. Su aplicación se ha limitado a los vehículos de motores de combustión por su baja energía específica que se encuentra por debajo de 30 Wh/kg lo que hace que no pueda ser capaz de mover un vehículo y su utilización se limite a producir el arranque y energizar el circuito de iluminación de los vehículos (Bertran, 2017).

Actualmente, los vehículos eléctricos de batería (BEV) utilizan soluciones para recuperar energía usando el motor eléctrico tanto de impulsor como de generador cuando se frena el vehículo, esto permite mejorar la eficiencia general del mismo (Manzetti & Mariasiu, 2015). La Figura 3 resume en un esquema un modelo del tren motriz de una motocicleta eléctrica.

Figura 3

Esquema de tren motriz de diseño de motocicleta eléctrica. Brodsky et al (2016).



En la Tabla 1 se resumen las ventajas y desventajas de cada tipo de batería para señalar las características que determinarán cuál tecnología es la más apropiada para usarla en un EV.

Tabla 1

Ventajas e inconvenientes de las baterías. Elsa & Barreda, (2017).

Tipo de batería	Ventajas	Inconvenientes
Plomo-ácido	Bajo coste, estandarización, universal, buena potencia específica (tecnología fiable y bien conocida). Tiene una de las autodescargas más bajas de las baterías recargables y buena capacidad para altas tasas de descarga.	Densidad de energía muy baja (hasta 40 Wh/kg). No puede ser almacenada en estado de baja carga. Número limitado de ciclos de descarga completa, no permite carga rápida (duración entre 8 y 16 horas). Contiene plomo y ácido que dañan al medio ambiente.
NiMH	Baja potencia específica (la mitad que ion litio). Bajo coste de fabricación, disponible en cualquier tamaño. Mantiene la corriente constante a lo largo del tiempo.	Rápida autodescarga y bajo ciclo de vida (en comparación con otros tipos), no funcionan bien a bajas temperaturas y se calientan demasiado, pudiendo dañar el dispositivo.
Li-ion	Son las más seguras por su alta estabilidad térmica y química, más baratas y con el doble de capacidad que las de plomo-ácido. Mantienen todo su voltaje hasta el mismo momento de la descarga. Autodescarga muy lenta, pueden colocarse en cualquier orientación, no le afectan las vibraciones y pueden cargarse al 90% de su capacidad en 15 minutos	Baja densidad energética, número limitado de cargas, costosas y pueden explotar si se sobrecalientan. Peor capacidad de trabajo en frío y tensión muy variable

Caracterización de baterías

Para determinar el estado de una batería y evitar condiciones peligrosas de operación se deben considerar 3 parámetros principales para conseguir proteger la batería y los demás sistemas eléctricos, así como alargar su vida útil (Marchildon et al., 2015).

Contreras Sillero et al. (2018), señala los tres parámetros a considerar los cuales son:

- Capacidad Amperio-Hora (AHC)
- Estado de carga
- Estado de salud (SOH)

Almacenamiento de energía y su distribución

Para que un motor eléctrico pueda impulsar un vehículo, requiere una fuente de energía, como puede ser una batería. De forma que la distribución de dicha energía hacia el motor sea la adecuada se debe contar con un sistema de almacenamiento de energía (ESS) por sus siglas en inglés, que permita proveer la energía necesaria de forma continua para mantener la potencia en un sistema eléctrico (Hannan et al., 2017).

Diseño y modelado del pack de baterías

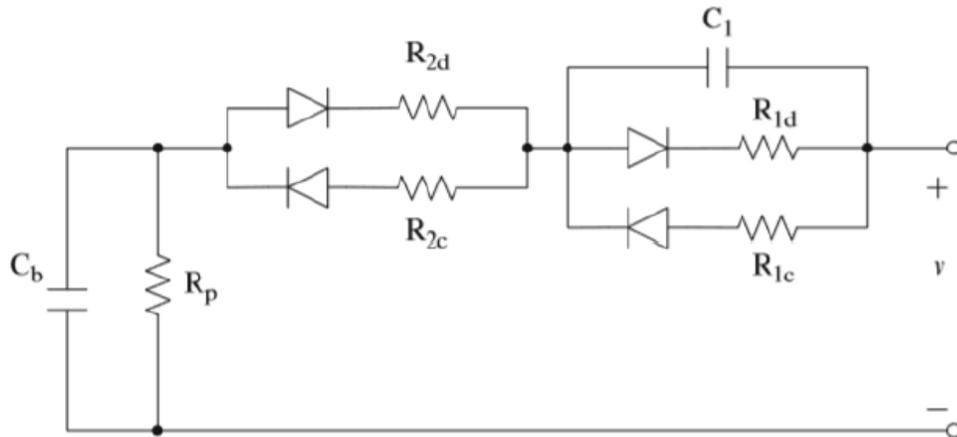
El proyecto elaborado por Brodsky et al., (2016), consistió en el desarrollo de un pack de baterías para una motocicleta eléctrica de competición. El diseño se basa en un pack de baterías de ion-litio, refrigerado por aire, 450 V, 8.7kWh, elaborado por celdas cilíndricas marca Samsung 25R 18650 en un arreglo 108s, 9p, con una potencia máxima de 120kW. El pack de baterías fue diseñado con 5 capas de celdas alineadas de forma rectangular, en donde las 4 capas superiores contienen 216 celdas por capa, con un total de 864 celdas. Mientras que la última capa es más pequeña con 108 celdas. Todas las celdas se encuentran conectadas con cables de cobre que une cada capa de celdas.

Para el modelado de una batería existen varios métodos, uno de ellos es representar la batería como una fuente de tensión ideal, siendo el método más práctico, aunque al ser muy simplificado no es posible determinar información necesaria sobre el comportamiento de la

batería como SOC y termodinámica. Otro modelo es el circuito equivalente de una batería como se visualiza en la Figura 4 (Elsa & Barreda, 2017).

Figura 4

Modelo de circuito equivalente de una batería. Elsa & Barreda, (2017).



Donde:

C_b = capacidad de la batería, R_p = resistencia de autodescarga o resistencia de aislamiento, R_{2c} = resistencia interna para carga, R_{2d} = resistencia interna de descarga, R_{1c} = resistencia de sobretensión de carga, R_{1d} = resistencia de sobretensión de descarga, C_1 = condensador de sobretensión (Elsa & Barreda, 2017).

En el modelo de la Figura 4, los diodos son ideales, se usan para seleccionar las distintas resistencias en los estados de carga y descarga. A pesar de ser un modelo más preciso, no es posible estimar el SOC de la batería.

Estimación del estado de carga (SOC)

El SOC (estado de carga), es una variable que expresa la cantidad de carga en Amperios hora (Ah), que almacena la batería y es capaz de suministrar, en relación al máximo o nominal Q_{nom} . Se lo expresa en porcentaje (Elsa & Barreda, 2017).

Ecuación 1.

Estado de carga (SOC).

$$SOC(t) = \frac{Q_{bat}}{Q_{nom}} * 100 \quad (1)$$

Motor eléctrico

Los motores eléctricos en comparación con los motores de combustión interna ofrecen una serie de ventajas porque no producen contaminación, son más eficientes y no necesitan un mantenimiento tan regular como los MCI. Los motores DC magnéticos sin escobillas se han convertido en los más utilizados en motocicletas eléctricas porque se componen de menos piezas, una vida útil prolongada, alta fiabilidad y fácil mantenimiento (Zhou et al., 2018).

Blissett et al. (2017), señala que, en su diseño de una motocicleta eléctrica para competición, la selección del motor se basa en la relación entre la velocidad y aceleración máxima deseada y el peso del vehículo, de modo que se seleccionan las mejores opciones de motores disponibles en el mercado que se adapten al diseño propuesto. Por otro lado, Noriega & Enrique (2014), en su diseño se centraron en los cálculos matemáticos para elegir el sistema motriz más adecuado los cuales son el factor de servicio, potencia, torque y velocidad angular, además del costo, consumo y eficiencia energética.

Electrónica de potencia

La electrónica de potencia se conforma por circuitos cuyo objetivo es controlar cargas de gran potencia por medio de elementos semiconductores. Este tipo de circuitos trabajan con valores elevados de tensión y corriente por el tipo de aplicación que tienen en el ámbito industrial para regulación y control de velocidad de máquinas eléctricas rotativas, como se observa en la Figura 5 (Castillo, 2017).

Figura 5

Diagrama de bloques de electrónica de potencia. Castillo (2017).



Figura 7.2. Diagrama de bloques de electrónica de potencia.

Módulo de control

El módulo de control, también llamado unidad de control es el encargado de recibir las señales de entrada y transformarlas en señales de salida o acciones que modifiquen parámetros de la motocicleta eléctrica. Guizien & Victor (2018) menciona los componentes principales para el desarrollo de un controlador de motocicleta eléctrica, en donde se incluye el microcontrolador que actúa como el cerebro del controlador y el inversor cuya tarea es convertir la tensión DC de las baterías en una tensión AC para el funcionamiento del motor. En la Tabla 2, Torrejon Perez

(2015), compara cuatro modelos de controladores existentes en el mercado con sus respectivas especificaciones de tensión mínima y máxima de entrada, así como su corriente máxima de entrada.

Tabla 2

Comparación de características de controladores. Torrejon Perez (2015).

Fabricante	Tensión mínima de entrada (V)	Tensión máxima de entrada (V)	Corriente máxima de entrada (I)
UQM PowerPhase 75	240	420	400
Sevcon Gen4 G8018	72	80	180
Sevcon Gen4 G8035	72	80	350
Sevcon Gen4 G8055	72	80	550

Elementos de control y protección de la batería

Los elementos de control y protección permiten que la batería aproveche toda la energía suministrada por la fuente de y garantiza el funcionamiento adecuado de la batería para energizar el sistema, además de brindar protección y alargar la vida útil (Estévez Castillo et al., 2017).

Hoque et al. (2017) indica que los sistemas de los EVs para evitar problemas de seguridad con respecto al manejo de la energía, requieren un sistema de control de batería (BMS) que gestione tanto la carga y descarga de la batería, monitoreo de la tensión en las celdas, entrada y salida de voltaje y corriente, control de temperatura, protección de la batería y permitir diagnosticar fallas.

Las baterías de EVs tiene la tendencia de degradarse por las condiciones a las que son sometidas con picos elevados de corriente y frecuentes ciclos de carga/descarga, Shen & Khaligh (2016) propone un sistema basado en redes neuronales para controlar la corriente de salida de las

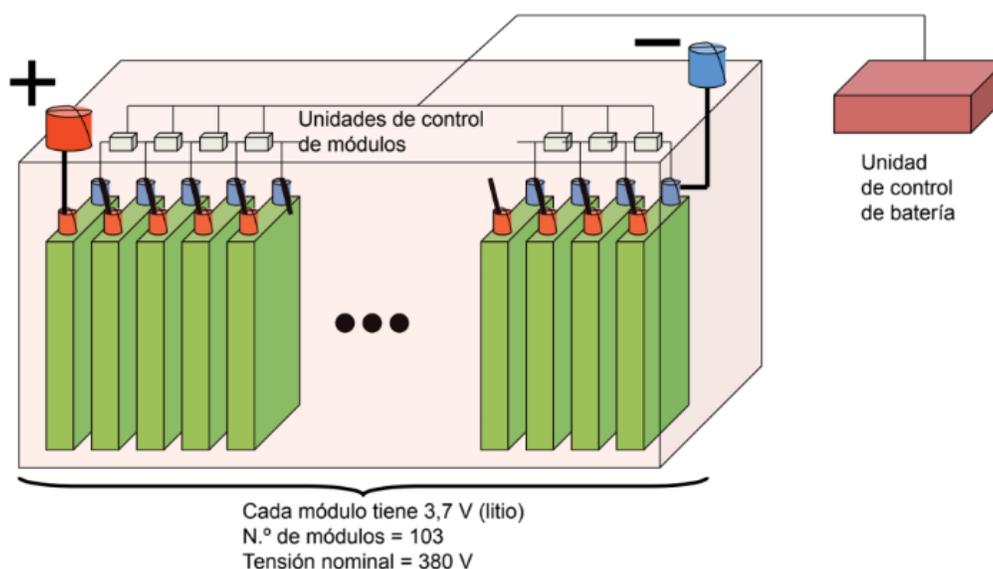
baterías en condiciones extremas de conducción como altas velocidades, aceleraciones bruscas y conducción agresiva, con lo que la degradación de la batería se redujo entre un 31 y 38% en comparación con un sistema convencional.

Regulador electrónico

El regulador eléctrico es el primer sistema encargado de mantener un equilibrio entre la autonomía del vehículo y la potencia entregada por el motor. Dicho sistema se divide en tres subsistemas que se componen por un inversor, rectificador y transformador. Una batería de ion-litio se conforma por varios módulos que dependiendo de la cantidad de módulos que se conecten en serie se tendrá la tensión requerida como se explica en la Figura 6 (Ros Marin & Barrera Doblado, 2018).

Figura 6

Esquema de batería de alta tensión con sistema interno de control de módulos (ejemplo). Ros Marin & Barrera Doblado (2018)



El sistema regulador o controlador de la batería está conformado por circuitos llamados unidades de control de módulos (UCM) que se interconectan en paralelo con un módulo, de

forma que verifique regularmente la tensión en ciclos de carga y descarga (Ros Marin & Barrera Doblado, 2018).

Convertidor DC-DC

Un convertidor de este tipo se utiliza para cambiar las características de una señal y convertirla en otra señal del mismo tipo. Pueden ser reguladores de tensión mediante diodos, transistores o circuitos integrados que regulen la tensión (Castillo, 2017).

Sistema de gestión de la batería BMS

Los EVs ocupan altos voltajes por medio de la conexión en serie de celdas de baterías que requieren un monitoreo constante por razones de seguridad (Baumhöfer et al., 2014). El sistema de gestión de la batería (Battery Management System), llamado BMS es la unidad de control que monitorea ciertos parámetros que garanticen la seguridad y el correcto funcionamiento del sistema de almacenamiento de energía. Revisa que las celdas, tensión, temperatura e intensidad correspondan con los valores normales. Además, dicho sistema es capaz de comunicarse con otras unidades de control para poder determinar el estado general de un vehículo eléctrico y avisar al usuario cuando se presente un problema (Elsa & Barreda, 2017). El diseño planteado por Su et al., (2017) consiste en un sistema de alimentación para el circuito, circuito regulador de corriente, circuito regulador de voltaje, circuito de comunicación CAN y el circuito MCU (microcontrolador). Los sistemas BMS cumplen dos funciones principales, monitorear el estado de la batería para optimizar los procesos de carga y descarga y operar la batería de forma segura y eficiente (Mahmoudzadeh Andwari et al., 2017).

Las características de cada celda difieren una de otra por lo que se debe balancear la carga entre ellas para evitar posibles daños e incrementar la vida útil de las baterías. Existen dos

métodos, uno de ellos es el método de balanceo pasivo que, durante la carga, genera disipación a través de resistencias, siendo un método poco eficiente. El segundo método consiste en un balanceo de celdas activo que monitorea la tensión, corriente y temperatura en cada celda en diversos puntos para comprobar que todas las celdas se encuentren trabajando dentro de los rangos especificados, lo que aumenta el ciclo de vida de las baterías y una capacidad de tolerar mayor estrés (Wang et al., 2016) y (Li et al., 2017).

El sistema BMS debe ser el primer método de protección y monitoreo del comportamiento energético de un vehículo, enviando información acerca del estado de la batería a los usuarios. Es importante que el sistema gestione la batería de forma que se reduzca lo menos posible la autonomía con el paso del tiempo y maximice el número de ciclos de carga/descarga (Buccolini et al., 2016).

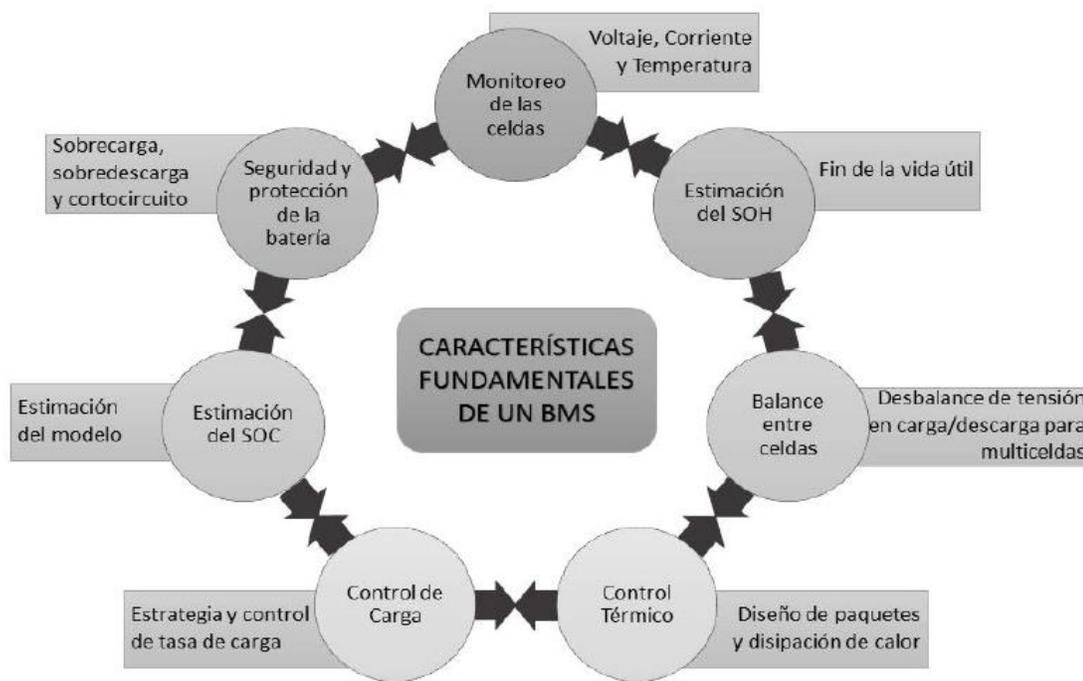
Ángel & Rodríguez (2017), indica que un equipo BMS debe cumplir las siguientes características para proteger tanto la batería como los demás elementos eléctricos:

- Evitar que la tensión de las celdas exceda los límites de seguridad de las especificaciones
- Mantener dentro de los rangos permitidos los valores de temperatura, disminuyendo la corriente que circula por la batería.
- Evitar la descarga en exceso de las celdas, enviando una alerta o detener por completo el proceso de descarga.

En la Figura 7 se resume en un diagrama las principales funciones del BMS.

Figura 7

Principales funciones de los Sistemas de Gestión de la batería BMS. Rodríguez Patarroyo et al (2015).



Rehman et al., (2016), presenta una propuesta de un nuevo sistema de control integrado modular de BMS con el convertidor DC-DC para añadir la funcionalidad de obtener un equilibrio continuo de las celdas y conduciendo el estado de las mismas al sistema de control.

Scharich et al., (2017) menciona su propuesta de diseño de un sistema BMS de bajo costo basado en Arduino Nano. Propp et al., (2015), demostró que es posible elaborar una prueba de baterías con elementos electrónicos básicos y el ambiente de programación de MATLAB. El Arduino determina los rangos de corriente de carga y descarga, además de obtener medidas con menos del 5% de error. El autor considera que el sistema pudo haber sido mucho más preciso si se hubieran incluido más sensores para la lectura de voltajes y corrientes.

De forma que el BMS pueda comunicarse con el sistema de baterías, se deben conectar circuitos de celdas (cell boards) en cada una de las celdas de la batería. Dichos circuitos son elementos externos que forman parte del BMS, los cuales se conectan en los terminales positivos y negativos de cada celda para su monitoreo (Benecki & Prins, 2017). En la figura 8 se tiene un diagrama del circuito que conecta el BMS con el sistema de baterías y el controlador para testeo, mientras que en la Figura 9 se tiene un esquema básico de un BMS con el convertidor DC-DC para la batería.

Figura 8

Esquema de cableado de BMS. Benecki & Prins (2017).

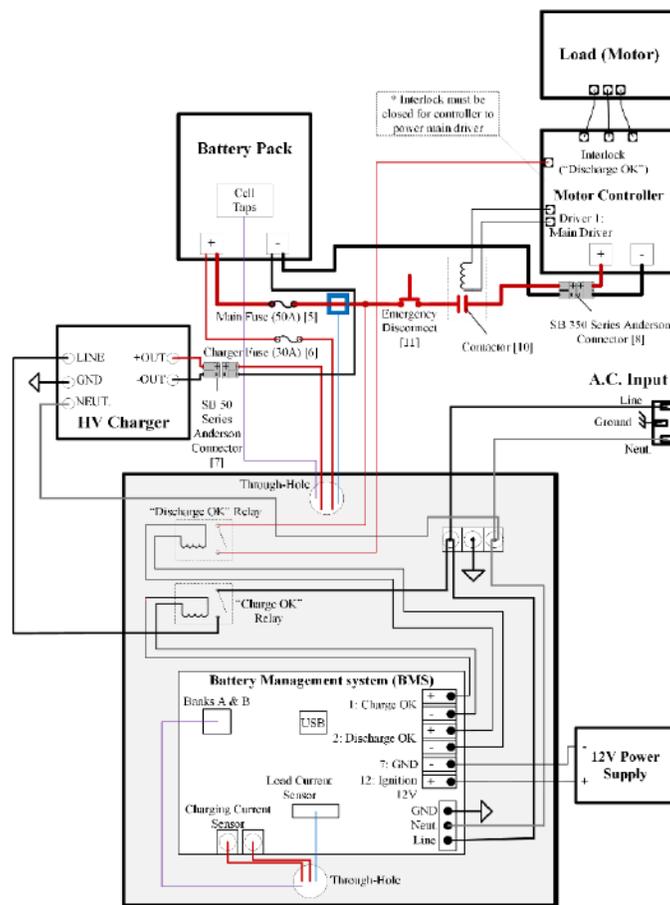
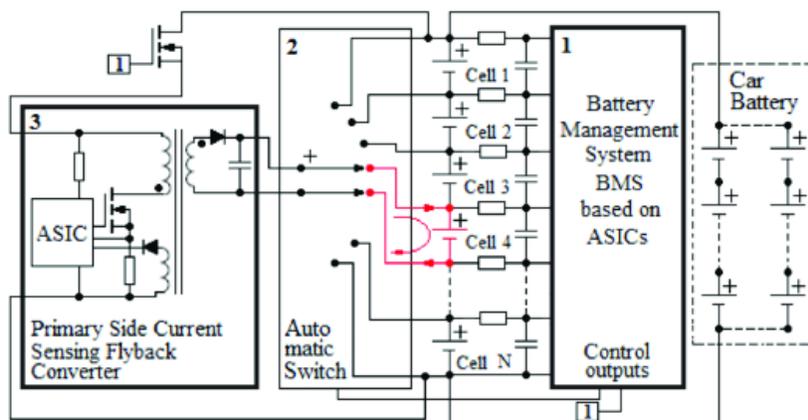


Figura 9

Esquema básico de un BMS con convertidor DC-DC. Dimitrov et al. (2018).



Ventajas y desventajas del vehículo eléctrico frente al de combustión

MINGUELA BENITO (2016) y Castro Mediavilla et al. (2017), indican las ventajas y desventajas que presentan los vehículos eléctricos frente a los de combustión se resumen en la Tabla 3.

Tabla 3

Ventajas y desventajas de vehículos eléctricos frente a los de combustión interna.

Ventajas	Desventajas
Mayor eficiencia, hasta un 50% más	Costo inicial es mayor
No producen emisiones contaminantes locales	Menor autonomía
Costes de mantenimiento menores	Falta de infraestructura para puntos de carga
Entregan más par y potencia en el arranque	Escasa oferta de vehículos
Capacidad de recuperación de energía (frenado regenerativo)	Mayor peso por baterías
Apoyo gubernamental para tarifas y aranceles	Poco conocimiento y capacitación de técnicos para servicio postventa

En el mercado ecuatoriano actualmente se comercializan motocicletas eléctricas, uno de los modelos es la Super Soco TC cuyas especificaciones se adaptan adecuadamente al medio presentando los siguientes valores:

Tabla 4

Especificaciones Super Soco TC. Super Soco TC Equipamiento – Super Soco (n.d.)

Sistema electrónico	Especificaciones
Tipo de batería	18650 litio
Peso de batería	11 kg
Autonomía	Hasta 80 km con velocidad promedio de 45 km/h
Ciclos	+ 800
Fuente de alimentación	60 V
Capacidad	30 Ah
Carga	3 a 6 horas
Cargador	220 V 60 V / 4 Ah
Control de corriente limitada FOC	40 A
Motor	BOSCH
Máxima potencia de motor	3000 W
Torque de motor	150 N.m
Solución de control de motor	Controlador de vector FOC

Para el diseño de un sistema eléctrico de un vehículo es necesario iniciar por un modelado en software. Logroño Diéguez (2017) recurrió al software de MATLAB que incluye las herramientas de Simscape y Simscape Electronics para realizar el modelado de la electrónica de potencia en su propuesta de diseño de un cargador de batería para vehículos. Dichos softwares

proporcionan facilidades para diseño al incluir bibliotecas de componentes para modelar y simular sistemas electrónicos y mecatrónicos.

Fundamentos de matemáticos y electrónicos

Carga completa de motor

Una forma para determinar la carga completa a la que estará sometido un motor eléctrico es mediante ensayos experimentales en un banco de pruebas, pero en caso de no poder realizar una prueba de ese tipo es posible determinar la carga completa por medio de ecuaciones matemáticas:

Ecuación 2

RPMs del motor y factor de seguridad.

$$RPM \text{ del motor} = RPM \text{ máximas} * \text{factor de seguridad}$$

Con ayuda de la Ecuación 2 obtenemos las revoluciones del motor considerando un factor de seguridad de 0,87. Utilizando el dato calculado, se puede determinar el voltaje que necesita la batería para alimentar el motor:

Ecuación 3

Voltaje de batería con carga completa del motor.

$$\text{Voltaje de la batería} = \frac{RPM \text{ del motor}}{11 \frac{RPM}{1VDC}}$$

Donde 11 RPM/VDC es el valor que simula la carga completa en el motor (Chuquimarca Tandazo & Suin Uyaguari, 2017).

En el cálculo de la energía consumida por un vehículo eléctrico se deben considerar varias unidades de medidas y sus respectivas conversiones como se indica en la Ecuación 4 (Chuquimarca Tandazo & Suin Uyaguari, 2017).

Ecuación 4

Conversión de Wh-Joul

$$1WH = 3600 J$$

Otra fórmula matemática a considerar es la Ecuación 5 que permite determinar la capacidad nominal de la batería o acumular:

Ecuación 5

Capacidad nominal de acumulador

$$\text{Energía} = \text{Capacidad} * \text{voltaje}$$

Divisor de voltaje

El divisor de voltaje es una forma de fraccionar el voltaje original en un circuito. Uno de sus usos más comunes es para tomar lecturas de un circuito que tiene un voltaje más elevado que los límites de los pines de entrada del circuito medidor. Los divisores de voltaje proveen una fracción del voltaje original de forma precisa para obtener lecturas exactas de un voltaje de un circuito, también se utilizan para proporcionar una señal de referencia analógica (Caicedo Pedrera, 2017).

El divisor de voltaje se compone por tres elementos: dos resistencias y una forma de leer el voltaje entre las dos resistencias.

La ecuación que representa el divisor de voltaje es:

Ecuación 6*Divisor de voltaje.*

$$V_{out} = V_{in} \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right)$$

Si las dos resistencias tienen el mismo valor, el voltaje de salida será la mitad del voltaje de entrada.

Interpolación

La interpolación lineal se basa en un trazo recto entre dos puntos conocidos (x, y) y se calculan los puntos intermedios en dicha recta, mediante la Ecuación 7.

Ecuación 7*Interpolación.*

$$\frac{(y - y_1)}{(y_2 - y_1)} = \frac{(x - x_1)}{(x_2 - x_1)}$$

Ley de Ohm

Existe una relación entre los tres parámetros de tensión, resistencia e intensidad, conocida como ley de Ohm que se define como “la intensidad de corriente que circula a través de una resistencia es directamente proporcional a la diferencia de potencial aplicada entre sus extremos e inversamente proporcional al valor de la resistencia” (Baselga Carreras, 2019).

Su expresión matemática se comprende en la Ecuación 8.

Ecuación 8*Ley de Ohm.*

$$V = I * R$$

Donde:

V es la caída de tensión entre los extremos de la resistencia (V)

R es la resistencia (Ω)

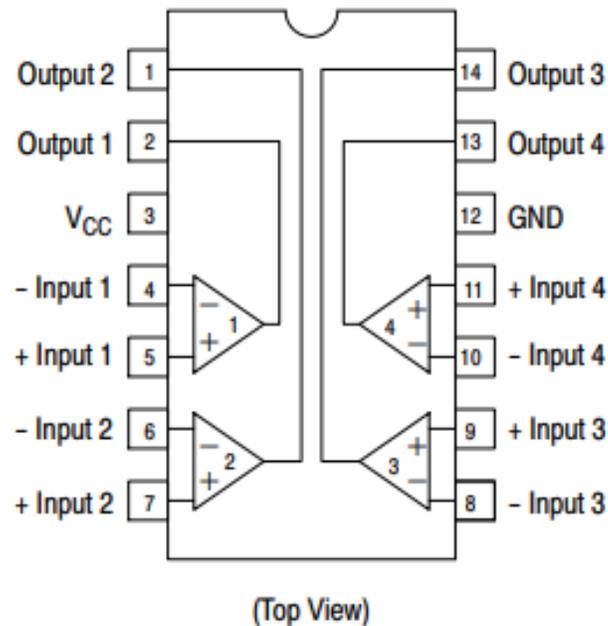
I es la intensidad que pasa por la resistencia (A)

Circuito comparador de voltaje

Para desarrollar un circuito que pueda comparar dos voltajes y generar una señal de salida, se utilizan los circuitos integrados como el LM339 que consiste en un circuito que incluye cuatro comparadores con un rango operacional de hasta 36 voltios. En la Figura 11 se indican los pines de conexión (Onsemi, 2018).

Figura 11

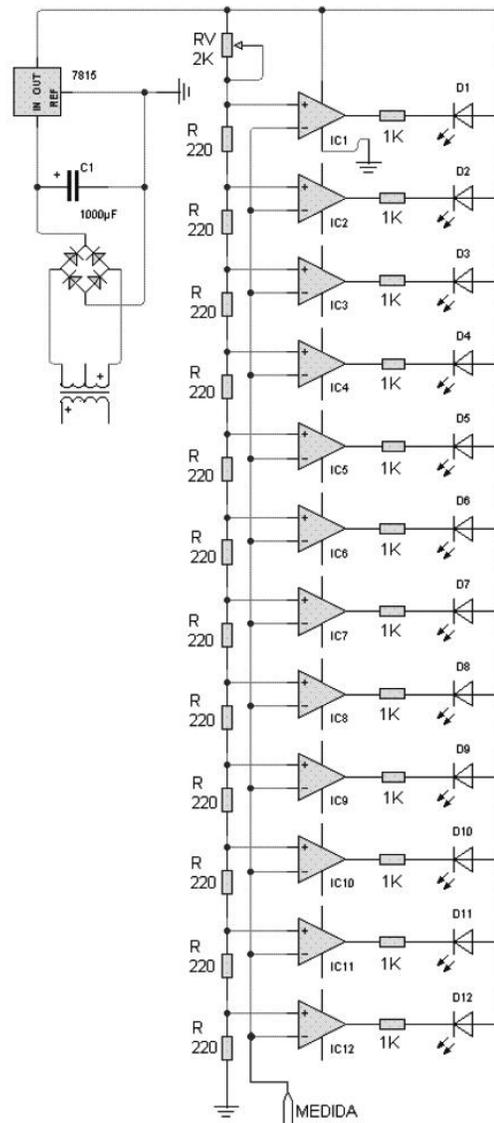
Diagrama de conexión de circuito integrado LM339. Onsemi (2018).



Existen una variedad de proyectos y circuitos que utilizan el integrado LM339 para comparar un voltaje con otro y realizar una acción determinada, como el encendido de un diodo Led. Uno de los proyectos consiste en un voltímetro casero utilizando los elementos antes mencionados, que puede funcionar como base para un sistema de monitoreo de una batería. El circuito del voltímetro se puede visualizar en la Figura 12.

Figura 12

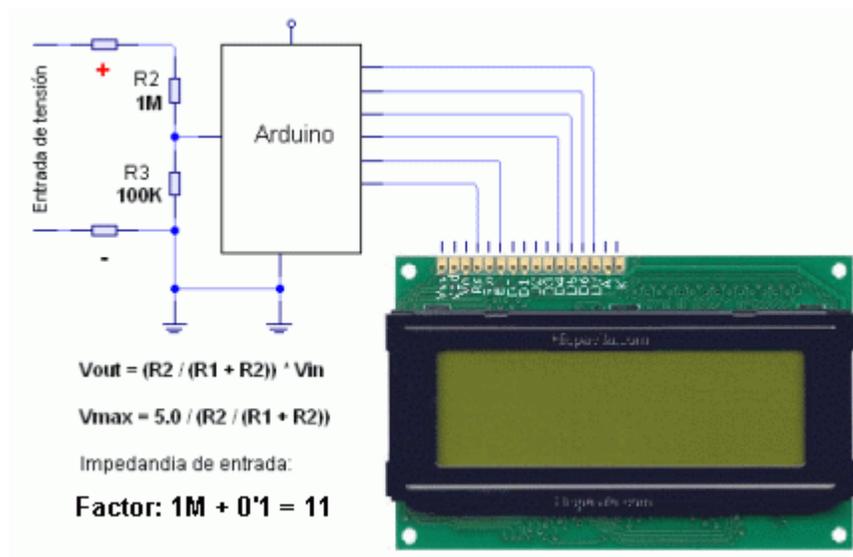
Diagrama de voltímetro con indicador Led y LM339. www.pesadillo.com (2012).



Otra forma de medir el voltaje que entrega una fuente DC, es mediante un microcontrolador. V. García, (2015), realizó un proyecto utilizando la plataforma Arduino UNO con el microcontrolador ATmega328, el cual mide el voltaje por medio de un divisor de voltaje y presenta sus lecturas por medio de una pantalla LCD, como se observa en la Figura 13.

Figura 13

Esquema de voltímetro con pantalla LCD. V. García (2015).



Su principio de funcionamiento consiste en que el microcontrolador recibe señales de entrada por medio de sus pines análogos, de máximo 5 voltios por lo que darle una mayor versatilidad al circuito, se integra un divisor de voltaje que permite realizar lecturas de fuentes de voltaje mayores a 5 voltios, en su caso permite hasta 55 voltios. Las lecturas de voltaje permiten realizar cálculos para obtener más datos que permitan monitorear el funcionamiento de una fuente de voltaje, como es el caso de una batería.

Método

Para la elaboración del proyecto se utilizará un método experimental mediante simulación, que considerará el sistema de gestión y protección de la batería para prolongar su vida útil y controlar la cantidad de energía entregada por la misma.

El proyecto se dividirá en etapas para su realización dentro de los tiempos estipulados, como se indica en la Figura 14.

Figura 14

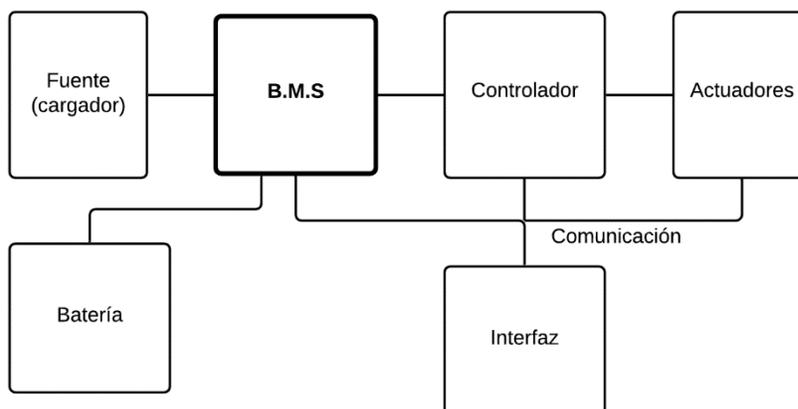
Plan de trabajo.

		Nombre	Duración	Inicio	Terminado	Predecesores
1		Documentación	67 days	30/03/20 8:00	30/06/20 17:...	
2		Definición del tema y Planteamiento d...	5 days	30/03/20 8:00	3/04/20 17:00	
3		Justificación, objetivos	5 days	6/04/20 8:00	10/04/20 17:00	2
4		Estado del arte	14 days	13/04/20 8:00	30/04/20 17:00	3
5		Metodología	42 days	4/05/20 8:00	30/06/20 17:...	4
6		Plan de trabajo	5 days	4/05/20 8:00	8/05/20 17:00	4
7		Simulación de consumo de motocicleta	14 days	11/05/20 8:00	28/05/20 17:00	6
8		Diseño de pack de baterías	5 days	29/05/20 8:00	4/06/20 17:00	7
9		Diseño de circuitos de BMS	5 days	5/06/20 8:00	11/06/20 17:00	8
10		Simulación de funcionamiento	5 days	12/06/20 8:00	18/06/20 17:00	9
11		Discusión de resultados	5 days	19/06/20 8:00	25/06/20 17:00	10
12		Conclusiones	3 days	26/06/20 8:00	30/06/20 17:00	11

El estudio planteado, consiste en un diseño prototipo, de un sistema de gestión de batería (BMS) encargado de gestionar los procesos de carga y descarga de una batería, de modo que la misma trabaje dentro de los rangos seguros de operación. El BMS cuenta con dos sistemas, el de control y el de potencia. El primero tiene la tarea de realizar las medidas de voltajes, así como su gestión y control de cada celda. Por otro lado, el sistema de potencia se encarga del control y medición de la corriente de carga y descarga de la batería y envía la información al sistema de control para gestionar el funcionamiento. La Figura 15 muestra un esquema de la ubicación del BMS en el sistema eléctrico de la motocicleta.

Figura 15

Esquema de controlador de carga. Cabrera et al. (2014).



El primer paso consiste en determinar las características que debe tener la batería para poder alimentar al motor eléctrico. Para ello son necesarias las especificaciones del motor que se piensa usar en el prototipo, señaladas en la Tabla 5 y la curva de funcionamiento del mismo en la Figura 16.

Tabla 5.

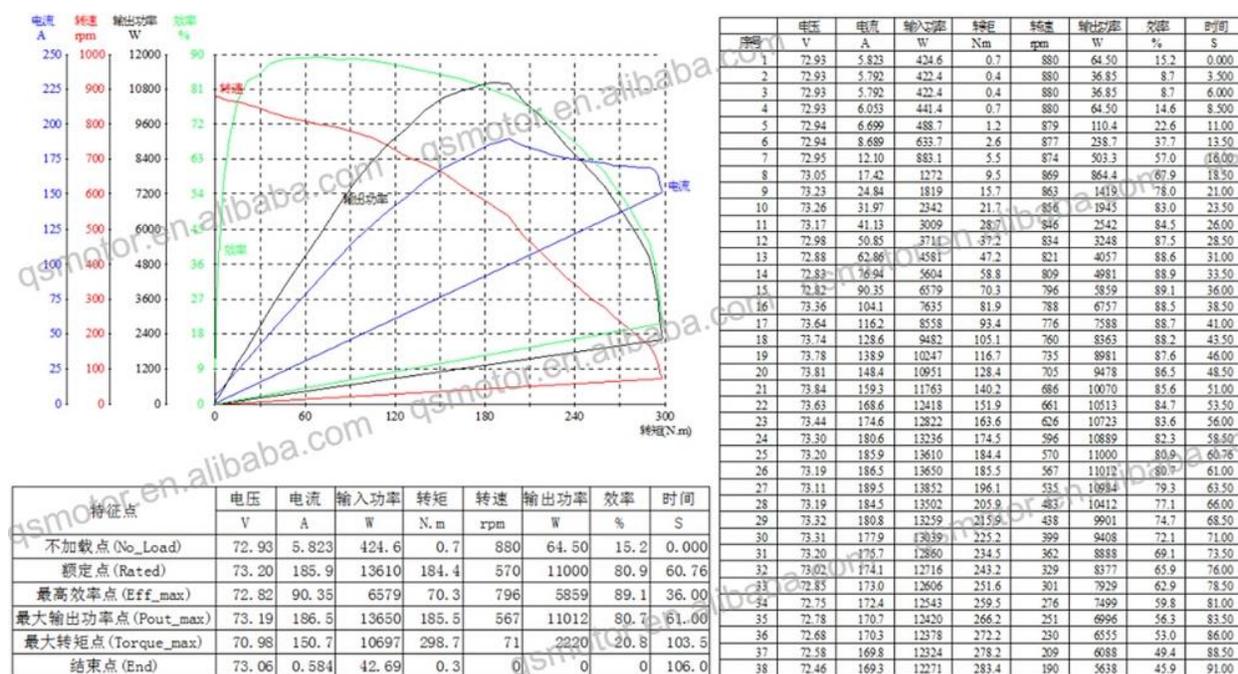
Especificaciones de motor eléctrico empleado Martínez et al. (2020) y Alibaba.com (2020).

Especificaciones	Valores
Marca	QSMotor
Modelo	17- inch
Versión	V2
Potencia máxima	8000 W
Voltaje	60-144 V
Amperaje	51 A
Tamaño de rueda	17 pulgadas x 3.5 pulgadas

Torque	30–290 N.m
Velocidad	60-140 km/h
Peso	25 kg
RPM (80% eficiencia)	646-1001 RPM

Figura 16

Curva de funcionamiento motor QSMotor Alibaba.com (2020).



En el trabajo presentado por Martinez et al. (2019), que consistió en el desarrollo de un banco de pruebas para el motor eléctrico de motocicleta con especificaciones mencionadas en la Tabla 3. En dicho trabajo, se seleccionó un módulo de controlador de onda sinusoidal APT96600 600A, el cual fue extraído de otro motor eléctrico de motocicleta y probado en el motor empleado porque cumplió con los requerimientos (AliExpress, 2020).

Diseño de la batería

Voltaje de la batería

El motor eléctrico, en funcionamiento, será sometido a distintos rangos de revoluciones por lo que es necesario que la batería sea capaz de aportar la energía suficiente para que el motor trabaje con la mayor cantidad de potencia, sin poner en riesgo los componentes.

Chuquimarca Tandazo & Suin Uyaguari (2017), señala las fórmulas que simulan una carga completa sobre el motor con el valor de 11 RPM/1VDC y el factor de seguridad recomendado (0.87) para el cálculo de voltaje de la batería.

$$RPM \text{ del motor} = RPM \text{ máximas} * \text{factor de seguridad} \quad (2)$$

$$RPM \text{ del motor} = 1160 * 0.87$$

$$RPM \text{ del motor} = 870,9$$

Por lo tanto, el voltaje máximo en la batería será de:

$$\text{Voltaje de la batería} = \frac{RPM \text{ del motor}}{11 \frac{RPM}{1 VDC}} \quad (3)$$

$$\text{Voltaje de la batería} = \frac{870,9}{11 \frac{RPM}{1 VDC}}$$

$$\text{Voltaje de la batería} = 79,2 VDC$$

Consumo energético

Para obtener un consumo energético más aproximado a condiciones reales se emplea el software OptimumLap para realizar una simulación de la motocicleta en pista. Como referencia se utilizarán los datos de la motocicleta eléctrica Super Soco TC, que se encuentran en la Tabla 6.

Una vez realizada la simulación se obtuvo la curva revolución-torque, como se observa en la Figura 17.

Tabla 6

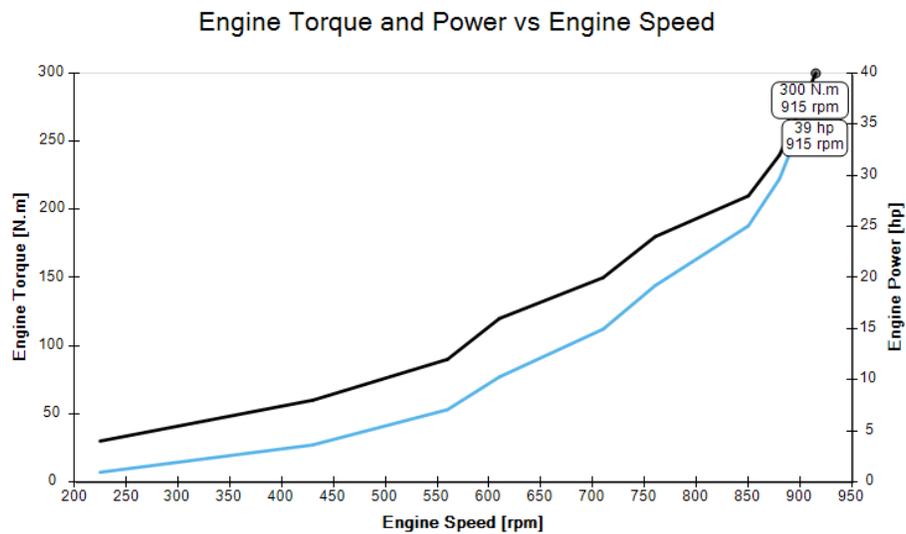
Especificaciones del vehículo para la simulación.

Descripción	Valor
Masa del vehículo inc. (peso baterías y persona promedio 70 kg)	147 kg
Coefficiente de arrastre	0.35
Coefficiente de carga aerodinámica	-0.010
Radio del neumático	0.216 m
Coefficiente de fricción longitudinal	1.2
Coefficiente de fricción lateral	1.1
Eficiencia térmica del motor	80%
Densidad de energía del combustible	Ion-litio

Nota. Los datos de coeficientes son los predeterminados del software para realizar las simulaciones.

Figura 17

Datos de la motocicleta y gráfica de torque y revoluciones.



Para la simulación se escogió la pista del Autódromo de Bogotá, Colombia por sus condiciones geográficas y climáticas similares a la ciudad de Quito. La pista cuenta con un trazado de 2725 metros (Autodromo de Tocancipa, 2020), como se observa en la Figura 18.

Figura 18

Pista del autódromo de Tocancipá, Bogotá, Colombia, creada en OptimumLap.

Autódromo de Tocancipá, Bogota, Colombia

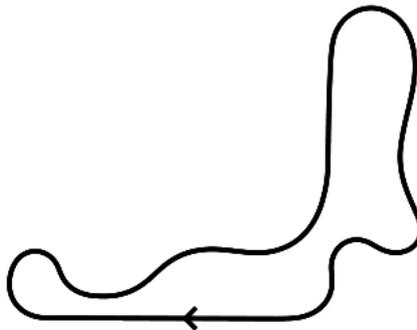


Tabla 7

Resultados obtenidos en simulación de pista.

Descripción	Valor
Tiempo en una vuelta (s)	186
Velocidad promedio (km/h)	50,93
Energía consumida (kJ)	658,60

Los resultados de la simulación señalaron que la energía utilizada por la motocicleta en una vuelta del circuito es de 658,60kJ a una velocidad promedio de 51 km/h. Al utilizar las especificaciones de la motocicleta Super Soco TC, a excepción del motor, se determina que la autonomía del prototipo para uso urbano debe encontrarse entre 45 y 55 km. Por lo tanto, la energía necesaria para tener esa autonomía debe ser de 11572,2 kJ.

Para determinar el valor en kW, se utiliza la relación:

$$1WH = 3600 J \quad (4)$$

$$Energía\ necesaria = 3,21\ kWh$$

Para determinar la capacidad nominal de la batería o acumulador se utiliza la siguiente ecuación:

$$Energía = Capacidad * voltaje \quad (5)$$

Se procede a despejar la capacidad para obtener el valor en Amperios-hora (Ah).

$$Capacidad = \frac{Energía}{voltaje}$$

$$Capacidad = \frac{3210\ Wh}{79,2V}$$

Tabla 8*Análisis QFD para selección del tipo de batería.*

Descripción	Peso/Importancia
Autonomía	311,5
Eficiencia	634,6
Dimensiones compactas	569,2
Diseño ergonómico	446,2

En la Tabla 8 se observa el peso o importancia de cada uno de los aspectos más relevantes a tener en cuenta en el diseño de un paquete de baterías. El más importante es la eficiencia, es decir, la batería debe cumplir con los requerimientos del motor eléctrico, con la menor cantidad de recursos posibles, manteniendo dimensiones compactas, junto con peso reducido para una mejor ergonomía y la autonomía que debe ser capaz de abastecer para un uso urbano.

Configuración de módulos y celdas

El voltaje máximo que se desea obtener en el pack de baterías es de 79,2 V. Para determinar el número de celdas y su disposición, se utiliza la aplicación Calculadora de paquete de baterías, desarrollada por Freshdata (Freshdata & Google, 2020). Se escogió el modelo de baterías Panasonic NCR18650B por su disponibilidad en el mercado ecuatoriano.

Tabla 9*Configuración de módulos y celdas.*

Descripción	Valor
Modelo de batería	NCR18650 Panasonic
Conexión en serie	22
Conexión en paralelo	12
Voltaje	79,2 V
Energía	3,184 kWh
Capacidad	40,2 Ah
Corriente de descarga continua máxima	58,5 A
Número de total de celdas	264
Peso aproximado	12,8 kg

En la Tabla 9 se indica la disposición de las celdas para el pack de baterías consiste en 22 celdas conectadas en serie y 12 módulos en paralelo de modo que puedan proveer al sistema del voltaje necesario de 79V con una capacidad de 40Ah. Se realizó un diagrama del circuito del pack de baterías en el software Proteus, como se indica en la Figura 20 y su respectiva simulación para comprobar que el voltaje entregado sea el mismo valor calculado en la Figura 21.

Figura 20

264 celdas de celdas ion-litio, organizadas en 12 módulos conectados en paralelo y cada uno con 22 celdas conectadas en serie.

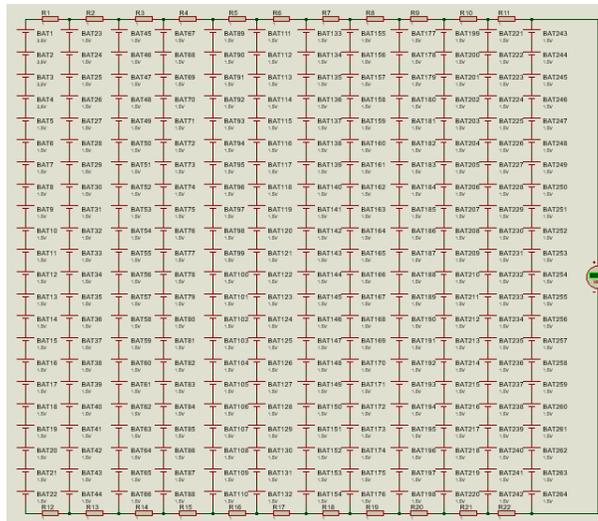
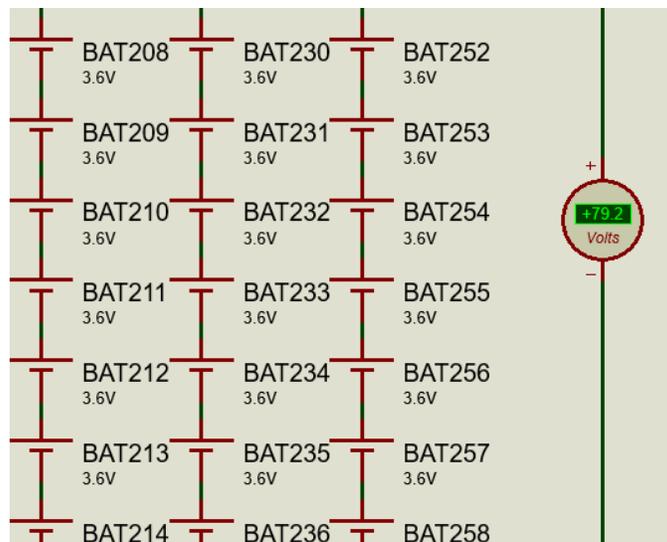


Figura 21

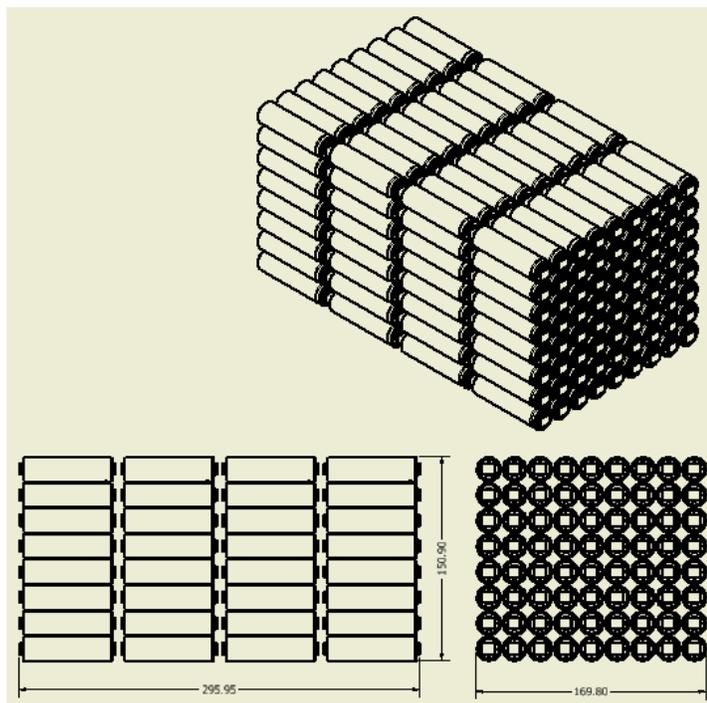
Simulación de pack de baterías.



Se realizó un modelo 3D del pack de baterías, como se observa en la Figura 22, para estimar las dimensiones del mismo y se comparó con uno existente en el mercado para la motocicleta Super Soco TC en la Tabla 10.

Figura 22

Modelo 3D de pack de baterías, con sus respectivas dimensiones.

**Tabla 10**

Comparativa de dimensiones entre pack de baterías de Motocicleta Super Soco y el diseño conceptual propuesto.

Descripción	Pack de baterías Super Soco	Diseño prototipo
Largo (mm)	200	150,90
Ancho (mm)	170	169,80
Altura (mm)	210	295,95

Nota. Datos de pack de baterías de Super Soco obtenidos de: <https://www.amazon.com/-/es/LECXON-60V20AH-Bater%C3%ADa-litio-Super/dp/B07DS9MWC3?th=1>

Diseño de prototipo de BMS

El diseño del prototipo para el sistema de gestión de la batería se desarrolló en el software Proteus por la ventaja que ofrece al ser posible simular un microcontrolador ATmega con su respectivo código.

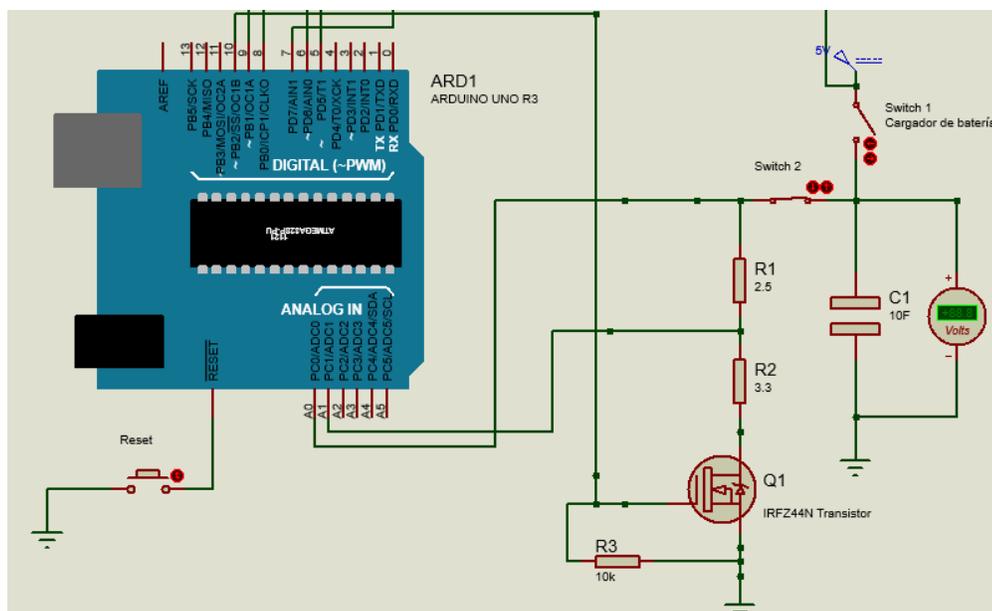
El primer paso que se llevó a cabo para el desarrollo del prototipo fue el diseño de un circuito que pueda simularse en el software y que su base sea un microcontrolador Arduino UNO. Para conseguir que el sistema pueda brindar datos sobre el estado de la batería, se diseñó un circuito de forma que el microcontrolador sea capaz de leer los valores de voltaje y corriente entregados por la batería.

Circuito de carga y descarga de la batería

Para simular la carga y descarga de una batería se utilizó un capacitor y por medio de dos entradas análogas se conectó el capacitor al Arduino, una de las entradas A0 de forma directa y A1 mediante un divisor de voltaje para simular el consumo energético de un sistema, por ejemplo, un motor eléctrico. Por medio del pin 10 del Arduino, se conectó un transistor IRFZ144N para que envíe una señal alta o baja, según la comparación realizada en el código de programación. En la Figura 23, se observa el circuito mencionado.

Figura 23

Circuito de simulación para carga y descarga de un transistor que actúa como batería.



El circuito también cuenta con dos switch, el switch 1 corresponde al cargador de la batería, conectado directamente a una fuente de 5 voltios, y al capacitor. El switch 2 permite el paso de corriente del capacitor al Arduino, cuando se encuentra totalmente cargado. Para llevar a cabo correctamente la simulación es necesario tener un pulsador de Reset conectado al microcontrolador en caso de presentarse un error poder reiniciarlo.

Las resistencias para el divisor de voltaje para las conexiones análogas se calcularon mediante la fórmula del divisor de voltaje, considerando que debe haber una diferencia de al menos 2 voltio para que puedan compararse los valores:

$$V_{out} = V_{in} \left(\frac{R2}{R1 + R2} \right) \quad (6)$$

$$R1 = \frac{V_{in} * R2}{V_{out}} - R2$$

$$R1 = \frac{5 * 3.3}{3} - 3.3$$

$$R1 = 2.2$$

Interfaz de lectura de datos

Para visualizar los datos de medición de la batería se incluyó una pantalla LCD, modelo Nokia3310, disponible en la librería de Proteus. Para el software Arduino es necesario descargar la librería correspondiente (Rinky Dink Electronics, 2013). La pantalla cuenta con ocho terminales, cuyas nomenclaturas se especifican en la Figura 24.

Figura 24

Datasheet de pantalla LCD Nokia 5510/3310. Rinky Dink Electronics (2013).

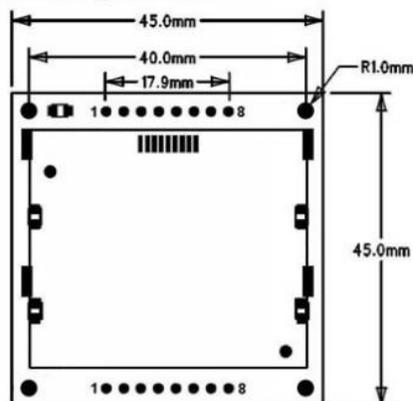
Features:

- 1) Built-in Backlight
- 2) Easy communication with common MCU control
- 3) Philips PCD8544 LCD controller with SPI interface
- 4) Graphic LCD module with 84X48 pixel resolution.
- 5) Compatible to Nokia 5110, 3310 LCD

Specification:

Interface	SPI serial connection
Operating voltage	2.7V to 3.3V
Operating current	<5mA (Backlight off), <20mA (Backlight on)
Operating temperature	0 to 50 Degree Celsius
Storage temperature	-10 to 70 Degree Celsius
Size (L x W x H)	45X45X5mm
LCD Controller	Philips PCD8544

Pin Assignment:



Pin	Name	Description
1	VCC	2.7 to 3.3V
2	GND	Ground
3	SCE	Chip enable (Active Low)
4	RES	Reset (Active Low)
5	D/C	Data/Command selection Low— Write command, High— Write data.
6	SDIN	Serial input
7	SCLK	Clock input
8	LED	Active High 2.7 to 3.2V

En la pantalla se visualiza el voltaje actual de la batería, corriente entregada y el estado de carga (SOC) para comparar la capacidad real con respecto a la capacidad nominal de la batería.

Para determinar la corriente que fluye de la batería al microcontrolador se utiliza la ley de ohm, con la variación de voltaje entre la entrada A0 y A1, sobre la resistencia del divisor de voltaje.

Se incluyó la Ecuación 1 en el código de programación para determinar el SOC de la batería, como se visualiza en el siguiente ejemplo:

$$SOC(t) = \frac{Q_{bat}}{Q_{nom}} * 100$$

Suponiendo que la batería tiene una carga real de 38 Ah, se relaciona con el valor nominal de 40 Ah para obtener un SOC:

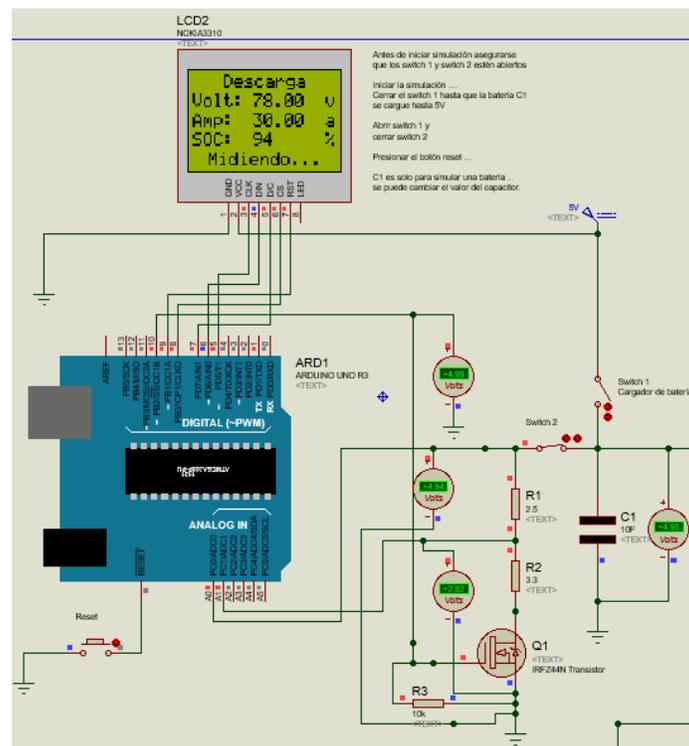
$$SOC(t) = \frac{38 \text{ Ah}}{40 \text{ Ah}} * 100 \quad (1)$$

$$SOC(t) = 95\%$$

En el código de Arduino el valor de la capacidad real, se actualiza en tiempo real para obtener el SOC de la batería en todo momento, como en la Figura 25.

Figura 25

Circuito de monitoreo de carga y descarga de batería con interfaz en pantalla LCD.

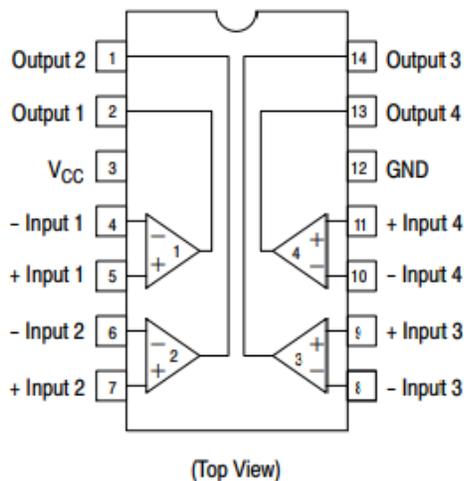


Indicador de nivel de batería mediante Diodos LED

Una forma para que el usuario pueda saber el nivel de la batería de forma amigable es mediante indicadores LED de colores que indiquen el rango en porcentaje en que se encuentra el nivel de batería. El circuito diseñado consiste en cuatro diodos Led (azul, verde, amarillo y rojo) que señalan los rangos 100 a 80%, 80 a 40%, 40 a 20% y 20 a 1%. Para lograr eso se utiliza el circuito integrado LM339 para comparar el voltaje otorgado por la batería y un voltaje variable mediante un potenciómetro que funcione como referencia para indicar el porcentaje de la batería. Además, para activar los diodos LED se utilizaron transistores que son controlados por los comparadores LM339, cuyo diagrama de conexión se puede observar en la Figura 26.

Figura 26

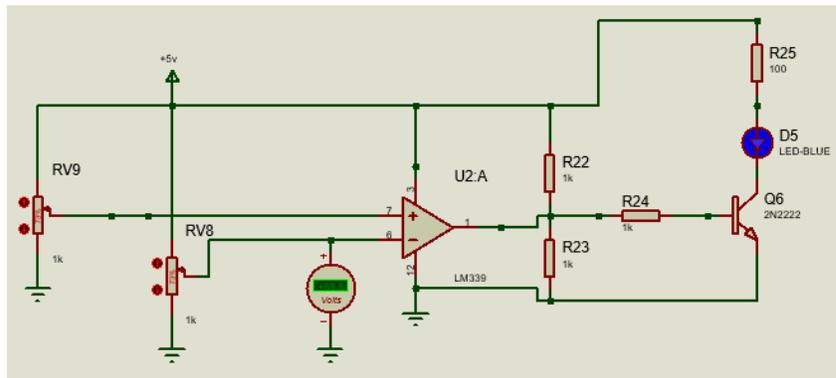
Diagrama de conexión LM339. Onsemi (2018).



El circuito para cada uno de los diodos Led se puede visualizar en la Figura 27. Consiste en un comparador LM339, conectado a una fuente de 5V en su pin positivo y un voltaje de referencia en su pin negativo. El pin positivo debe ir conectado a la batería para comparar el voltaje de la misma con el de referencia y así poder indicar el nivel de carga.

Figura 27

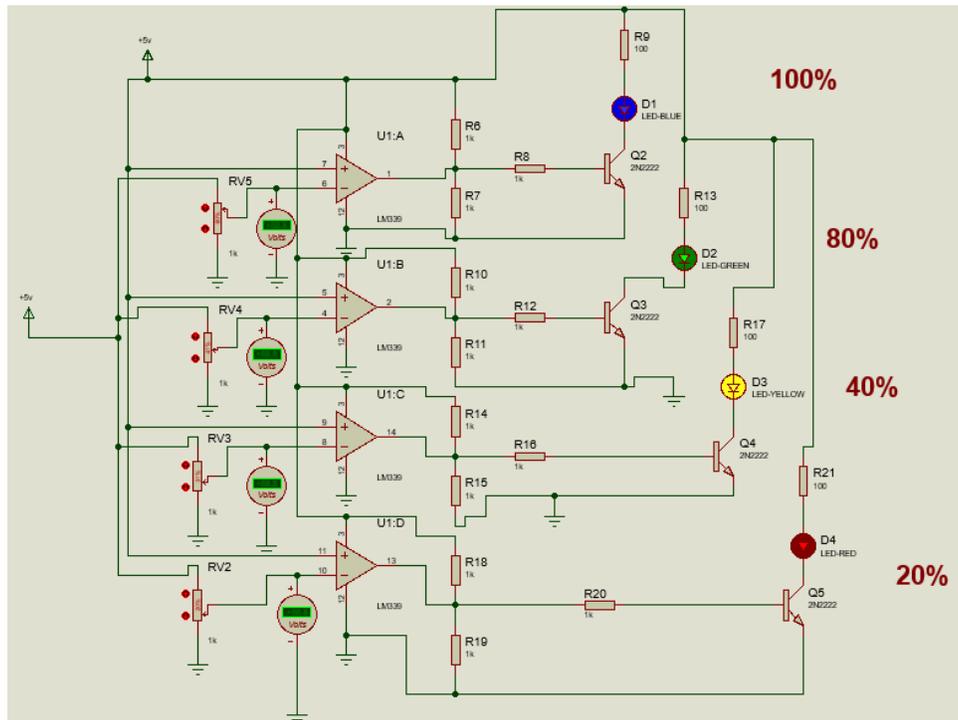
Circuito comparador de voltaje para indicador de nivel de batería.



El transistor NPN 2N2222 se lo colocó para darle versatilidad al circuito de modo que, en caso de ser necesario alimentar otro tipo de circuito, se desconecten los diodos LED y se coloque un relé, por ejemplo. El circuito completo con todos los indicadores LED, se puede visualizar en la Figura 28.

Figura 28

Circuito de visualización de nivel de batería con diodos LED.



Circuito de monitoreo de batería e indicador de nivel de carga.

Ambos circuitos diseñados se unieron para realizar tanto las funciones de monitoreo de voltaje, corriente y determinación del SOC, así como indicar al usuario el nivel de batería a través de diodos LED, como se observa en la Figura 29 y 30.

Figura 29

Circuito de BMS completo (para mejor visualización en Anexo 2).

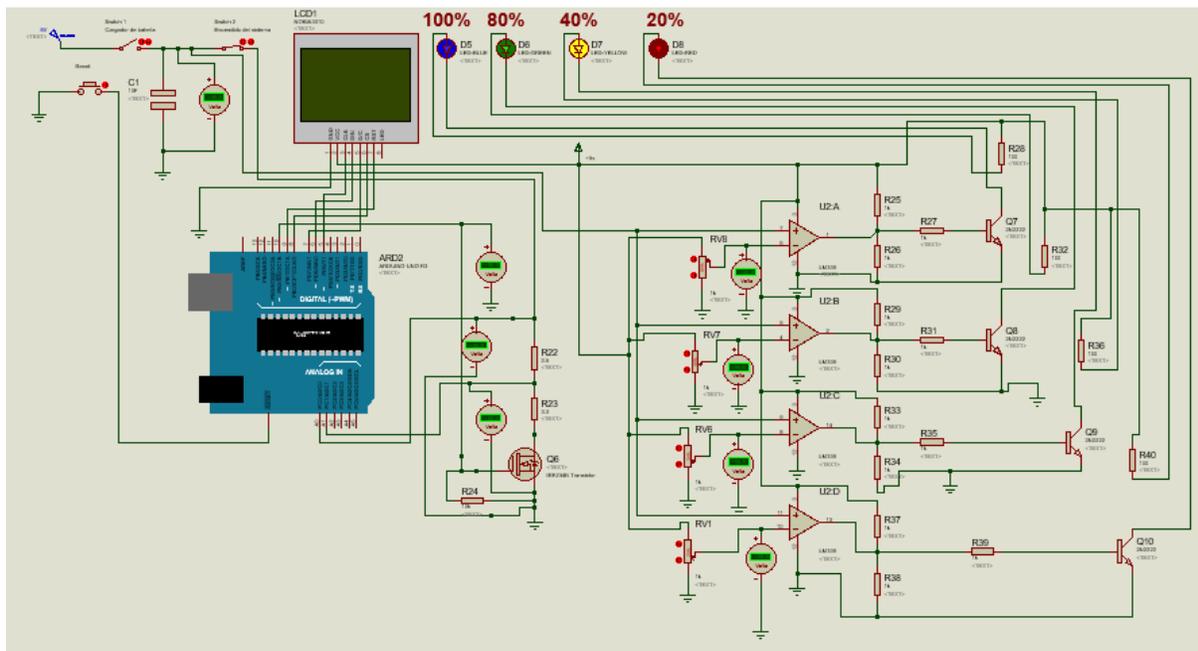
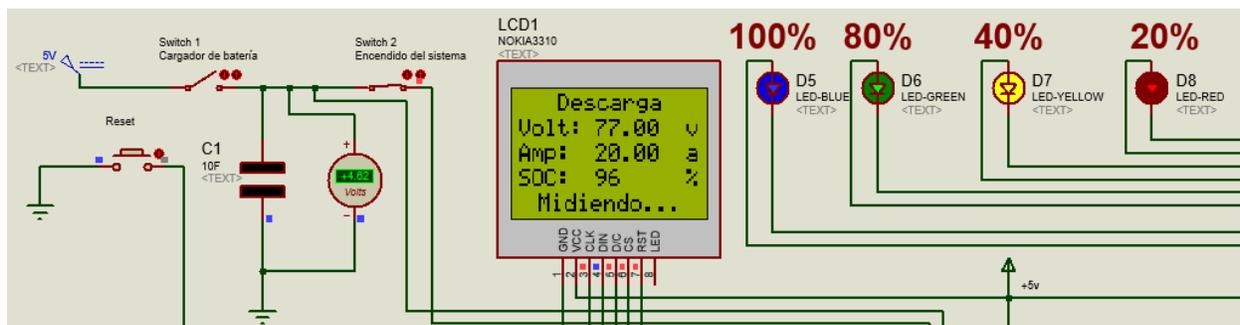


Figura 30

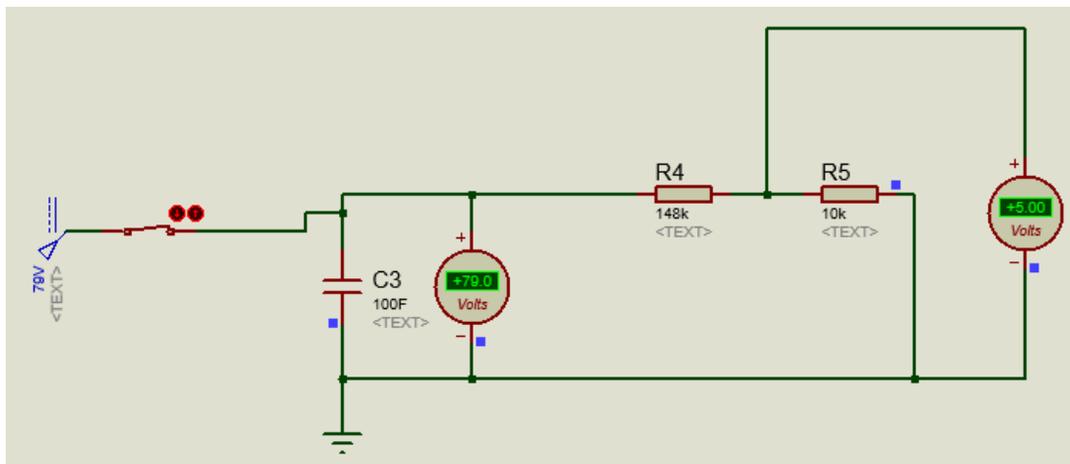
Interfaz de monitoreo de batería.



El diseño propuesto para el sistema de gestión de la batería, al estar basado en un microcontrolador ATmega, trabaja con voltajes en rangos de 0 a 5V, por lo que, para realizar el monitoreo de una batería con un voltaje mayor a 5V, se deberá incluir un circuito extra que reduzca dicho voltaje a los rangos en los que trabaja la plataforma Arduino. La propuesta realizada propone un divisor de voltaje entre la batería y el circuito del BMS. Debido a limitaciones del software utilizado, no fue posible realizar una simulación con el divisor de voltaje, sin embargo, se realizó el diagrama y simulación de dicho circuito que se puede visualizar en la Figura 31.

Figura 31

Propuesta de divisor de voltaje para batería de 79V a 5V.



Utilizando la Ecuación 6, se calcularon las resistencias necesarias para obtener una salida de 5V.

$$R1 = \frac{V_{in} * R2}{V_{out}} - R2 \quad (6)$$

$$R1 = \frac{79 * 10k}{5V} - 10k$$

$$R1 = 148 k\Omega$$

Los cálculos realizados señalan que para obtener el voltaje necesario de 5 voltios de la batería para que el circuito del sistema de gestión de la batería se debe realizar un divisor de voltaje cuyas resistencias R1 y R2 tengan los valores de 148kΩ y 10kΩ, respectivamente. Mediante la simulación en Proteus se corrobora dicho resultado al conectar un multímetro en la salida del divisor de voltaje, como se indica en la Figura 31.

Una manera de comprobar la exactitud de los datos indicados en la pantalla del circuito de simulación es mediante la comparación con cálculos matemáticos. En la Tabla 11 se indican valores obtenidos de forma experimental mediante una simulación que se comprobarán matemáticamente por medio de fórmulas.

Tabla 11

Comparativa entre valores con y sin función de mapeo en Arduino.

Tiempo (MM:SS)	Voltaje		Amperaje	
	Rango 5V	Rango 79V	Rango 1,4A	Rango 51A
00:00	4,78	78	0,82	30

Nota. Datos obtenidos mediante experimentos en entorno de simulación.

Los rangos de voltaje se comprobaron mediante interpolación, para un voltaje máximo de 5 voltios, su equivalente es 79 voltios y para el mínimo de 2 voltios se tiene 65 voltios que se determinó de forma experimental en el simulador, así:

$$\frac{(y - y_1)}{(y_2 - y_1)} = \frac{(x - x_1)}{(x_2 - x_1)} \quad (7)$$

Despejando, nos queda:

$$y = y_1 + \frac{(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)}(x - x_1)$$

$$y = 5 + \frac{(2 - 5)}{(65 - 79)}(78 - 79)$$

$$y = 4,78V$$

Para dicho valor obtenido, calculamos la corriente por medio de la fórmula:

$$I = \frac{\text{Voltaje batería} - \text{Voltaje divisor}}{\text{Resistencia divisor}} \quad (8)$$

Donde el voltaje divisor se mide con un multímetro en el circuito:

$$I = \frac{4,78 - 2,72}{2,5}$$

$$I = 0,82 A$$

Interpolando el valor de la corriente se tiene (los valores máximos y mínimos se determinaron de forma experimental):

$$y = 51 + \frac{(0 - 51)}{(0 - 1,4)}(0,82 - 1,4)$$

$$y = 30 A$$

Se comprueban todos los valores de la Tabla 10, por lo que se puede decir que la simulación realizada presenta datos acordes a los resultados obtenidos mediante el uso de ecuaciones matemáticas.

Resultados

Paquete de baterías

Los resultados de los cálculos de consumo energético del modelo de motocicleta y el diseño del paquete de baterías se presentan en la Tabla 12.

Tabla 12

Resultados de simulación de consumo energético de motocicleta en OptimumLap y diseño de paquete de baterías.

Descripción	Valor
Tiempo en una vuelta	186 s
Velocidad promedio	50,93 km/h
Energía consumida en una vuelta	658,60 Kj
Energía necesaria para autonomía entre 45 y 55 km	11572,2 Kj
Capacidad de batería	40 Ah
Modelo de batería	NCR18650 Panasonic
Número de celdas	264
Conexiones en serie	22
Conexiones en paralelo	12
Voltaje de cada celda	3,6 V
Voltaje de paquete de baterías	79 V
Corriente de descarga continua máxima	58,5 A
Peso aproximado de paquete de baterías	12,8 kg
Dimensiones aprox. Paquete de baterías (largo)	150,90 mm
Dimensiones aprox. Paquete de baterías (ancho)	169,80 mm
Dimensiones aprox. Paquete de baterías (altura)	295,95 mm

Ensayo de simulación

Tabla 13

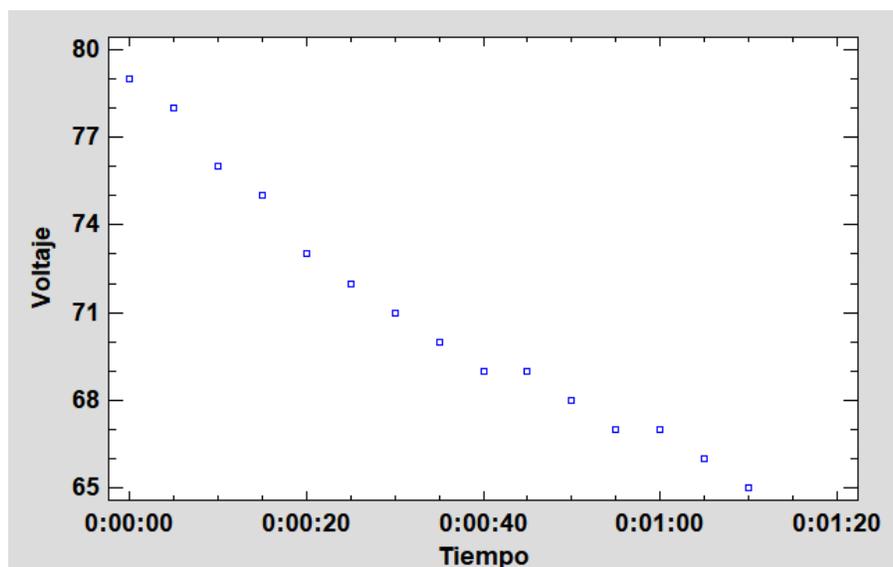
Resultados de simulación de monitoreo de batería.

Tiempo (MM:SS)	Voltaje	Amperaje	SOC
00:00	79	30	100
00:05	78	30	94
00:10	76	20	96
00:15	75	20	96
00:20	73	20	96
00:25	72	20	96
00:30	71	20	96
00:35	70	10	98
00:40	69	10	98
00:45	69	10	98
00:50	68	10	98
00:55	67	10	98
01:00	67	10	98
01:05	66	10	98
01:10	65	0	98

En la Tabla 13 se enlistaron los distintos valores que aparecieron en la pantalla del circuito de monitoreo de la batería en un lapso de tiempo de 01:10 minutos con intervalos de cinco segundos entre valores. Para una visualización más gráfica, se realizó un diagrama X-Y como se observa en la Figura 32, en donde el voltaje de la batería disminuye con respecto al tiempo, al descargarse la batería, iniciando desde el valor de 79 voltios hasta su voltaje mínimo de 65 voltios.

Figura 32

Diagrama Tiempo-Voltaje de resultados de simulación.



En la Tabla 14 se pueden visualizar los datos obtenidos mediante simulación y ecuaciones matemáticas en los dos rangos trabajados de 5V y 79V.

Tabla 14

Comparativa entre valores de simulación y obtenidos matemáticamente.

Tiempo (MM:SS)	Voltaje		Amperaje	
	Rango 5V	Rango 79V	Rango 5V	Rango 79V
0:00	5	79	0,82-0,60	30
0:05	4,78	78	0,82-0,60	30
0:10	4,35	76	0,55-0,29	20
0:15	4,14	75	0,55-0,29	20
0:20	3,71	73	0,55-0,29	20
0:25	3,5	72	0,55-0,29	20
0:30	3,28	71	0,55-0,29	20
0:35	3,07	70	0,27-0,1	10
0:40	2,85	69	0,27-0,1	10
0:45	2,85	69	0,27-0,1	10
0:50	2,64	68	0,27-0,1	10
0:55	2,42	67	0,27-0,1	10
1:00	2,42	67	0,27-0,1	10

1:05	2,21	66	0,27-0,1	10
1:10	2	65	0	0

Nota. Los valores corresponden a lo obtenido por medio de simulación y ecuaciones matemáticas.

Discusión

Los resultados del circuito de monitoreo de la batería en un entorno de simulación fueron los esperados, considerando las limitaciones de software que se presentaron, la elaboración del BMS basado en un microcontrolador ATmega tuvo una serie de inconvenientes debido a que el software Proteus, a pesar de contar con una librería amplia de elementos electrónicos y modelos SPICE para realizar simulaciones, no es capaz de reproducir el comportamiento de un circuito de potencia, al estar limitado al rango de funcionamiento de 5 voltios de la plataforma Arduino y ser una versión demo del mismo el cual no permitía acceder a funciones más avanzadas.

El concepto inicial consideraba un mayor número de variables que pueden afectar la vida útil de una batería, como es la temperatura y el balanceo de las celdas de un paquete de baterías, sin embargo, el modelado de un sistema más complejo no hubiera permitido crear un entorno de simulación, como el presentado. Además, al tener el limitante de trabajar con un voltaje de 5 voltios, fue necesario realizar una interpolación por medio de la función (map) de Arduino, lo cual pudo afectar en la exactitud de los valores en el rango de 79 voltios, especialmente en la variable de corriente que se presentó en rango como se observa en la Tabla 14.

El ensayo realizado permitió observar el comportamiento que tendría una batería sometida a una fuente de descarga, como puede ser un motor eléctrico, y como dicha batería entrega su energía a lo largo del tiempo hasta descargarse. La interfaz de usuario permite visualizar datos relevantes del estado de la batería, como el voltaje, corriente entregada y el

estado de carga para determinar la eficiencia del paquete de baterías, así como el nivel de carga por medio de diodos Led de distintos colores.

El circuito inicial para medir el voltaje entregado por una fuente DC presentado por V. García (2015), se modificó de modo que pueda realizar lecturas de una fuente de hasta 79 V y simular la descarga de una batería para obtener datos del estado de carga, voltaje y amperaje entregado, en comparación con los 55 V máximos de lectura. Por otro lado, el prototipo presentado por Scharich et al. (2017), de un BMS basado en Arduino Nano tuvo un alcance limitado al no incluir un circuito que aumente el rango de lectura y realizar ensayos únicamente con una celda 18650. Dichos problemas se resolvieron al integrar un divisor de voltaje para que el sistema pueda adaptarse al voltaje entregado por la batería del prototipo de motocicleta eléctrica.

Conclusiones

Se realizó un modelado de la motocicleta eléctrica basándose en las características de un modelo comercializado en Ecuador, la Super Soco TC, la cual ofrece una autonomía de hasta 60 km, lo cual es apropiado para un uso en ciudad, por lo que para el desarrollo de la simulación de consumo se utilizó datos de la Super Soco exceptuando su motor debido a que se cuenta con un motor eléctrico QSMotor 8000W para el proyecto. Los resultados presentados en la simulación realizada en un circuito virtual a una velocidad promedio de 51 km/h, fueron que su consumo energético es de 658,60 kJ en una vuelta, equivalente a 11572,2 kJ para obtener un rango de autonomía entre 45 y 55 km.

El proceso para determinar el consumo aproximado del motor especificado para el proyecto de la motocicleta eléctrica dio como resultado un voltaje de 79V y una capacidad de

40Ah, con lo que se calculó la cantidad de celdas ion-litio necesarias para poder otorgar esa cantidad de energía, lo que resultó en un total de 264 celdas organizadas en 22 celdas conectadas en serie y 12 en paralelo.

Al observar el ensayo realizado, se determinó que la simulación de la descarga de la batería se aproxima al comportamiento real que tendría físicamente con los elementos consumidores que se incluyeron, al reducirse de forma constante el voltaje inicial de 79 voltios cuando se encuentra totalmente cargada hasta el voltaje mínimo de 65 voltios, limitado para realizar la simulación.

Para aplicar el circuito propuesto, en una batería para la motocicleta eléctrica, una opción es utilizar un divisor de voltaje para que los 79 voltios de entrada se conviertan en 5 voltios de salida al utilizar dos resistencias de $148\text{K}\Omega$ y $10\text{K}\Omega$, respectivamente.

Recomendaciones

Realizar un circuito de monitoreo que considere más variables que pueden afectar el rendimiento de la batería.

En futuros proyectos, utilizar especificaciones del prototipo de motocicleta para crear modelos de simulación más exactos.

Obtener la curva torque/potencia vs revoluciones mediante ensayos experimentales para determinar los rangos en los que trabaja el motor eléctrico, con y sin carga.

Realizar un prototipo del circuito de monitoreo propuesto, utilizando el divisor de voltaje con la batería de 79 voltios para comprobar su funcionamiento.

Utilizar una versión completa del software de simulación para poder acceder a funciones más avanzadas.

Bibliografía:

- ACISA-EYSA Mantenimiento Tráfico Sevilla, U., & Iglesias González, N. (2015). *Las infraestructuras de recarga y el despegue del vehículo eléctrico* José María MIRANDA HERNÁNDEZ *Charging infrastructure and the launch of electric vehicle*. 18, 57–85. https://doi.org/10.5209/rev_OBMD.2015.v18.51285
- Alibaba.com. (2020). *Qs 17inch 8000w 273 (50h) E-scooter* . https://wholesaler.alibaba.com/product-detail/QS-17inch-8000W-273-50H-E_60275325250.html?spm=a2700.md_es_ES.pronpeci14.1.60f22a9fuk9GK5
- AliExpress. (2020). https://es.aliexpress.com/item/4000092185543.html?ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_0,searchweb201603_0,ppcSwitch_0&algo_pvid=4d54d0b8-5457-44d8-bb29-590f1f308069&algo_expid=4d54d0b8-5457-44d8-bb29-590f1f308069-21.
- Ángel, D., & Rodríguez, I. (2017). *MODELO PARA LA BATERÍA DE ION DE LITIO DE UN VEHICULO ELÉCTRICO*.
- Autodromo de Tocancipa. (2020). *Circuitos Autódromo*. <http://www.autodromodetocancipa.com/autodromo/page/circuitos-autodromo/>
- Barré, A., Deguilhem, B., Grolleau, S., Gérard, M., Suard, F., & Riu, D. (2013). A review on lithium-ion battery ageing mechanisms and estimations for automotive applications. In *Journal of Power Sources* (Vol. 241, pp. 680–689). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2013.05.040>
- Baselga Carreras, M. (2019). *Conceptos de electricidad para instalaciones fotovoltaicas (ISF)* . Editex. <https://books.google.com.ec/books?id=kpmeDwAAQBAJ&pg=PA10&dq=ley+de+ohm&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiiuv3rzazqAhXhUt8KHQC6DGIQ6AEwAHoECAAAQAg#v=onepage&q=ley+de+ohm&f=false>
- Baumhöfer, T., Brühl, M., Rothgang, S., & Sauer, D. U. (2014). Production caused variation in capacity aging trend and correlation to initial cell performance. *Journal of Power Sources*, 247, 332–338. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2013.08.108>
- Benecki, K., & Prins, R. (2017). Design of a laboratory electric vehicle powertrain system. *2017 Systems and Information Engineering Design Symposium, SIEDS 2017*, 44–49. <https://doi.org/10.1109/SIEDS.2017.7937750>
- Bertran, J. M. (2017). *Métodos de estimación del estado de carga de baterías electroquímicas*. https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/104855/TFG_Jaume_Martinez_Metodos_de_estimacion_del_estado_de_carga_de_baterias_electroquimicas.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Blissett, J., Degano, M., Gimeno-Fabra, M., & Wheeler, P. (2017). Design of electrical system for racing electric motorcycles. *2016 International Conference on Electrical Systems for*

Aircraft, Railway, Ship Propulsion and Road Vehicles and International Transportation Electrification Conference, ESARS-ITEC 2016. <https://doi.org/10.1109/ESARS-ITEC.2016.7841419>

- Brodsky, P., Fan, G., & Canova, M. (2016). Battery pack design and optimization for the OSU Buckeye current 2016 electric racing motorcycle. *2016 International Conference on Electrical Systems for Aircraft, Railway, Ship Propulsion and Road Vehicles and International Transportation Electrification Conference, ESARS-ITEC 2016.* <https://doi.org/10.1109/ESARS-ITEC.2016.7841436>
- Buccolini, L., Ricci, A., Scavongelli, C., Demaso-Gentile, G., Orcioni, S., & Conti, M. (2016, August 29). Battery Management System (BMS) simulation environment for electric vehicles. *EEEIC 2016 - International Conference on Environment and Electrical Engineering.* <https://doi.org/10.1109/EEEIC.2016.7555475>
- Cabrera, J., Vega, A., Tobajas, F., Déniz, V., & Fabelo, H. (2014). *Diseño de un Sistema de Gestión de Baterías (BMS) Li-Ion, reconfigurable.* .
- Caicedo Pedrera, A. (2017, May 4). *Arduino para Principiantes: 2ª Edición.* https://books.google.com.ec/books?id=Fw_RDgAAQBAJ&dq=divisor+de+voltaje&hl=es&source=gbs_navlinks_s
- Castillo, J. C. M. (2017). *Electrónica de potencia (Electrónica).* <https://books.google.com.ec/books?id=X1UpDwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=electronica+de+potencia&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiW3qrT7a7pAhXrct8KHRiWCtkQ6AEIJjAA#v=onepage&q&f=true>
- Castro Mediavilla, J. J., Orbea Hinojosa, L. X., Toapaxi Csanoba, J. A., & Guano Calvache, C. A. (2017). Análisis de incentivos y proyecciones del vehículo 100% eléctrico en el ecuador. *INNOVA Research Journal*, 2(4), 112–124. <https://doi.org/10.33890/innova.v2.n4.2017.243>
- Chang, S., Young, K.-H., & Lien, Y.-L. (2017). Reviews of European Patents on Nickel/Metal Hydride Batteries. *Batteries*, 3(4), 25. <https://doi.org/10.3390/batteries3030025>
- Chuquimarca Tandazo, S. R., & Suin Uyaguari, K. M. (2017). *DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA BATERÍA DE ALTO VOLTAJE PARA UN VEHÍCULO DE COMPETENCIA TIPO FORMULA SAE ELÉCTRICO.*
- Contreras Sillero, A. A., Vázquez Nava, N., Hernández Gutiérrez, C. V., Vázquez Nava, J., & Vaquero López, J. (2018). *REVISIÓN DE MÉTODOS PARA LA ESTIMACIÓN DE LOS ESTADOS DE CARGA Y SALUD DE UNA BATERÍA.* <http://www.itcelaya.edu.mx/ojs/index.php/pistas/article/view/1183>
- Dimitrov, B., Krishna, M., Cruden, A., Sharkh, S., & Elkhateb, A. (2018). Analysis, Design, and Experimental Validation of a Primary Side Current-Sensing Flyback Converter for Use in a Battery Management System. *Electronics*, 7(4), 43. <https://doi.org/10.3390/electronics7040043>
- Domínguez, steban J. (2017). *Sistemas de carga y arranque. Novedad 2017.*

[https://books.google.com.ec/books?id=sfnIDgAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=sistema+de+carga+y+arranque&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiQt__uhProAhUCc98KHcSnAkYQ6AEIJAA#v=onepage&q=sistema de carga y arranque&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=sfnIDgAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=sistema+de+carga+y+arranque&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiQt__uhProAhUCc98KHcSnAkYQ6AEIJAA#v=onepage&q=sistema+de+carga+y+arranque&f=false)

Drummond, E., Condro, P., Cotton, B., Cox, C., Pinegar, A., Vickery, K., & Prins, R. (2019, April 1). Design and construction of an electric motorcycle. *2019 Systems and Information Engineering Design Symposium, SIEDS 2019*. <https://doi.org/10.1109/SIEDS.2019.8735634>

El Comercio. (2018). *La moda de los 'scooters' llega a Guayaquil; el Municipio regulará su uso / El Comercio*. <https://www.elcomercio.com/actualidad/moda-scooters-llega-guayaquil-municipio.html>

Elsa, D., & Barreda, T. (2017). *BATERÍAS DE TRACCIÓN PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS*.

Estévez Castillo, Nasimba Tipán, I. A., & Stalin, G. (2017). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROLADOR DE CARGA Y DESCARGA DE UNA BATERÍA DENTRO DE UN SISTEMA AUTÓNOMO DE ILUMINACIÓN PÚBLICA A PARTIR DE FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE*. Quito, 2017.

Freshdata, & Google. (2020). *Calculadora de paquete de batería*. https://play.google.com/store/apps/details?id=pl.freshdata.batterypackagecalculator&hl=es_419

García, M., & Código, R. (2015). *PASADO, PRESENTE Y FUTURO DE VEHICULOS ELECTRICOS*.

García, V. (2015, September). *Voltímetro con Arduino*. <https://www.hispavila.com/voltimetro-con-arduino/>

Guerra, S. (2019). *Los autos eléctricos tendrán cero arancel tras disposición del Comité de Comercio Exterior*. <https://www.primicias.ec/noticias/economia/autos-electricos-cero-arancel-comex/>

Guizien, M., & Victor, A. (2018). *Desarrollo de un controlador para motocicleta eléctrica*. <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/handle/11531/26207>

Hannan, M. A., Hoque, M. M., Mohamed, A., & Ayob, A. (2017). Review of energy storage systems for electric vehicle applications: Issues and challenges. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 69, pp. 771–789). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.171>

Herrera, P. S. M. (2017). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD PARA VEHÍCULO ELÉCTRICO EXPERIMENTAL*. <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/12057/396598.pdf?sequence=1>

Hoque, M. M., Hannan, M. A., Mohamed, A., & Ayob, A. (2017). Battery charge equalization controller in electric vehicle applications: A review. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 75, pp. 1363–1385). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.126>

Li, Y., Yang, J., & Song, J. (2017). Design principles and energy system scale analysis

technologies of new lithium-ion and aluminum-ion batteries for sustainable energy electric vehicles. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 71, pp. 645–651). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.094>

Logroño Diéguez, J. (2017). *CARGADOR DE BATERÍA PARA VEHÍCULOS*.

Mahmoudzadeh Andwari, A., Pesiridis, A., Rajoo, S., Martinez-Botas, R., & Esfahanian, V. (2017). A review of Battery Electric Vehicle technology and readiness levels. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 78, pp. 414–430). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.138>

Manzetti, S., & Mariasiu, F. (2015). Electric vehicle battery technologies: From present state to future systems. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 51, pp. 1004–1012). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.010>

Marchildon, J., Doumbia, M. L., & Agbossou, K. (2015). SOC and SOH characterisation of lead acid batteries. *IECON 2015 - 41st Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, 1442–1446. <https://doi.org/10.1109/IECON.2015.7392303>

Martinez, J., Macías, B., & Rodriguez, M. (2020). *Proyecto Motor Eléctrico de Motocicleta*.

Mendes, M., Duarte, G., & Baptista, P. (2015). Introducing specific power to bicycles and motorcycles: Application to electric mobility. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 51, 120–135. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2014.11.005>

MINGUELA BENITO, I. (2016). *Diseño eléctrico y electrónico de una motocicleta eléctrica infantil 2x2*. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/17666>

Mora Martín, A. (2015). Estudio para la reutilización de baterías de coches eléctricos en segunda vida para nuevas funciones. *Upc*, 65. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/77961>

Noriega, A., & Enrique, L. (2014). Diseño y construcción de una motocicleta eléctrica: una alternativa para el transporte sostenible. *El Hombre y La Máquina*, 45, 88–97.

Onsemi. (2018). *LM339 Datasheet*. www.onsemi.com

Palao Maíz, O. J. (2019). *Análisis, diseño y simulación del estudio energético de una motocicleta eléctrica de competición*. [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/128674/Palao - Análisis%2C diseño y simulación del estudio energético de una motocicleta eléctrica de comp....pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/128674/Palao-Análisis%2C%20diseño%20y%20simulación%20del%20estudio%20energético%20de%20una%20motocicleta%20eléctrica%20de%20comp....pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Palomeque, E. F., & Coello, M. (2016). *Diseño e Implementación de un Prototipo de Diseño e Implementación de un Prototipo de Motocicleta Eléctrica, para movilidad de*. July, 0–6.

Plan Nacional de Eficiencia Energética del Ecuador, Banco Interamericano de Desarrollo, & Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. (2016). *Plan nacional de eficiencia energética 2016-2035*. 38–40. [https://www.celec.gob.ec/hidronacion/images/stories/pdf/PLANEE version español.pdf](https://www.celec.gob.ec/hidronacion/images/stories/pdf/PLANEE%20version%20espa%C3%B1ol.pdf)

Primicias. (2019). *Los autos eléctricos tendrán cero arancel tras disposición del Comité de*

Comercio Exterior. <https://www.primicias.ec/noticias/economia/autos-electricos-cero-arancel-comex/>

- Propp, K., Fotouhi, A., & Auger, D. J. (2015). Low-cost programmable battery dischargers and application in battery model identification. *2015 7th Computer Science and Electronic Engineering Conference, CEEC 2015 - Conference Proceedings*, 225–230. <https://doi.org/10.1109/CEEC.2015.7332729>
- Rehman, M. M. U., Zhang, F., Zane, R., & Maksimovic, D. (2016, August 30). Design and control of an integrated BMS/DC-DC system for electric vehicles. *2016 IEEE 17th Workshop on Control and Modeling for Power Electronics, COMPEL 2016*. <https://doi.org/10.1109/COMPEL.2016.7556729>
- Rezvani, Z., Jansson, J., & Bodin, J. (2015). Advances in consumer electric vehicle adoption research: A review and research agenda. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 34, 122–136. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2014.10.010>
- Rinky Dink Electronics. (2013). *LCD5110_Graph*. <http://www.rinkydinkelectronics.com/library.php?id=47>
- Rodríguez Patarroyo, D. J., Gómez Porras, R. A., & Campos Fajardo, A. F. (2015). *Sistemas de gestión de baterías (BMS) y su importancia para los sistemas de almacenamiento de baterías (BESS)*.
- Ros Marin, J. A., & Barrera Doblado, O. (2018). *Vehículos eléctricos e híbridos*. <https://books.google.com.ec/books?id=3LwrDwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=vehiculo+electrico&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiXhuP7wIvpAhUPUt8KHf6uBPEQ6AEILjAB#v=onepage&q&f=true>
- Scharich, N., Schniter, B., Herbert, A., & Islam, M. S. (2017). Battery management system using Arduino. *2017 IEEE Technology and Engineering Management Society Conference, TEMSCON 2017*, 384–387. <https://doi.org/10.1109/TEMSCON.2017.7998405>
- Shen, J., & Khaligh, A. (2016). Design and Real-Time Controller Implementation for a Battery-Ultracapacitor Hybrid Energy Storage System. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 12(5), 1910–1918. <https://doi.org/10.1109/TII.2016.2575798>
- Su, K., Gao, M., & Wang, D. (2017). *Design and Implementation of Software Calibrated Lead-Acid Monitoring System for Electric Motorcycle*.
- Super Soco TC Equipamiento – Super Soco*. (n.d.). Retrieved April 6, 2020, from <https://www.supersoco.cl/index.php/super-soco-tc-equipamiento/#collapse161>
- Torrejón Pérez, C. (2015). *Diseño de un pack de baterías para motocicletas eléctricas*. 1–130.
- Torres, J. (2015). *Estudio de viabilidad en la implementación de vehpiculos eléctricos en la ciudad de Cuenca*. 1–176. <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8050/1/UPS-CT004893.pdf>
- Un-Noor, F., Padmanaban, S., Mihet-Popa, L., Mollah, M., & Hossain, E. (2017). A

Comprehensive Study of Key Electric Vehicle (EV) Components, Technologies, Challenges, Impacts, and Future Direction of Development. *Energies*, 10(8), 1217.
<https://doi.org/10.3390/en10081217>

Wang, Q., Jiang, B., Li, B., & Yan, Y. (2016). A critical review of thermal management models and solutions of lithium-ion batteries for the development of pure electric vehicles. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 64, pp. 106–128). Elsevier Ltd.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.033>

www.pesadillo.com. (2012). *Voltímetro a LEDs con LM339*.
<http://www.pesadillo.com/pesadillo/?p=6323>

Zhou, Z. C., Gao, M. Y., He, Z. W., & Zeng, Y. (2018). Dual-Mode Motor Control Scheme for Electric Motorcycle. *2018 IEEE 4th International Conference on Control Science and Systems Engineering, ICCSSE 2018*, 106–111.
<https://doi.org/10.1109/CCSSE.2018.8724781>

Anexos

Anexo 1

Código de programación Arduino

/*

BMS

Se utiliza una pantalla de Nokia 3310 disponible en librería de Proteus

Se usan resistencias de 1 Ohm como consumidor - La carga puede ser cualquier resistencia o LED

Librería requerida - LCD5110_Graph.h -
<http://www.rinkydinkelectronics.com/library.php?id=47>

*/

```
#include "LCD5110_Graph.h"
```

```
LCD5110 myGLCD(5, 6, 7, 9, 8); // Configurar pantalla Nokia 5110 SCLK/CLK=5,  
DIN/MOSI/DATA=6, DC/CS=7, RST=9 Chip Select/CE/SCE=8,
```

```
extern uint8_t SmallFont[];
```

```
extern uint8_t MediumNumbers[];
```

```
#define Pinpunte 10
```

```
#define highPin A0
```

```
#define lowPin A1
```

```
boolean finished = false;
```

```
int printInicio = 0;
```

```
int intervalo = 250; //Intervalos (ms) entre mediciones
```

```
float Ah = 0.0;

float Res_divisor = 2.5; // En Ohms - Resistencia divisor de voltaje

float voltRef = 5; // Voltaje de referencia (5V)

float corriente = 0.0;

float Voltbat = 0.0;

float Volt_divisor = 0.0;

float bat_baja = 65;

float SOC = 0.0;

unsigned long previousMillis = 0;

unsigned long millisPassed = 0;

void setup() {

    Serial.begin(9600);

    Serial.println("Test de capacidad de bateria");

    Serial.println("batVolt corriente Ah");

    pinMode(Pinpuente, OUTPUT);

    digitalWrite(Pinpuente, LOW);

    myGLCD.InitLCD(); //Iniciar LCD con contraste predeterminado de 70

    myGLCD.setContrast(68);
```

```
myGLCD.setFont(SmallFont); // Set default font size. tinyFont 4x6, smallFont 6x8,  
mediumNumber 12x16, bigNumbers 14x24
```

```
myGLCD.clrScr();
```

```
myGLCD.print("Testeo", CENTER, 0);
```

```
myGLCD.print("Bateria", CENTER, 12);
```

```
myGLCD.print("Iniciando", CENTER, 24);
```

```
myGLCD.print("UISEK", CENTER, 40);
```

```
myGLCD.update();
```

```
delay(2000);
```

```
myGLCD.clrScr();
```

```
}
```

```
void loop() {
```

```
Voltbat = analogRead(highPin) * voltRef / 1024.0;
```

```
Voltbat = map(analogRead(highPin),0,1023,65,79);
```

```
Volt_divisor = analogRead(lowPin) * voltRef / 1024.0;
```

```
Volt_divisor = map(analogRead(lowPin),0,1023,65,79);
```

```
if (Voltbat >= bat_baja && finished == false)
```

```
{
```

```
digitalWrite(Pinpuente, HIGH);
```

```
millisPassed = millis() - previousMillis;
```

```
corriente = (Voltbat - Volt_divisor) / Res_divisor;
```

```
corriente = map(corriente,0,5,0,51);  
Ah = 40 - (corriente * 1000.0) * (millisPassed / 3600000.0);  
SOC = (Ah/40)*100;  
previousMillis = millis();  
  
myGLCD.clrScr();  
myGLCD.print("Descarga", CENTER, 0);  
myGLCD.print("Volt:", 0, 10);  
myGLCD.printNumF(Voltbat, 2, 35, 10);  
myGLCD.print("v", 77, 10);  
myGLCD.print("Amp:", 0, 20);  
myGLCD.printNumF(corriente, 2, 35, 20);  
myGLCD.print("a", 77, 20);  
myGLCD.print("SOC:", 0, 30);  
myGLCD.printNumI(SOC, 35, 30);  
myGLCD.print("% ", 77, 30);  
myGLCD.print("Midiendo...", CENTER, 40);  
myGLCD.update();  
  
Serial.print(Voltbat);  
Serial.print("\t");  
Serial.print(corriente);  
Serial.print("\t");  
Serial.println(Ah);
```

```
    delay(intervalo);
}
if (Voltbat < bat_baja)
{
    digitalWrite(Pinpuente, LOW);

    finished = true;

    if (Ah < 10) {
        printInicio = 40;
    }
    else if (Ah < 100) {
        printInicio = 30;
    }
    else if (Ah < 1000) {
        printInicio = 24;
    }
    else if (Ah < 10000) {
        printInicio = 14;
    }
    else {
        printInicio = 0;
    }

    myGLCD.clrScr();
```

```
myGLCD.print("Descarga", CENTER, 0);  
myGLCD.print("Voltaje:", 0, 10);  
myGLCD.printNumF(Voltbat, 2, 50, 10);  
myGLCD.print("v", 77, 10);  
myGLCD.setFont(MediumNumbers);  
myGLCD.printNumI(Ah, printInicio, 21);  
myGLCD.setFont(SmallFont);  
myGLCD.print("Ah", 65, 30);  
myGLCD.print("Completo", CENTER, 40);  
myGLCD.update();  
  
delay(intervalo * 2);  
}  
}
```

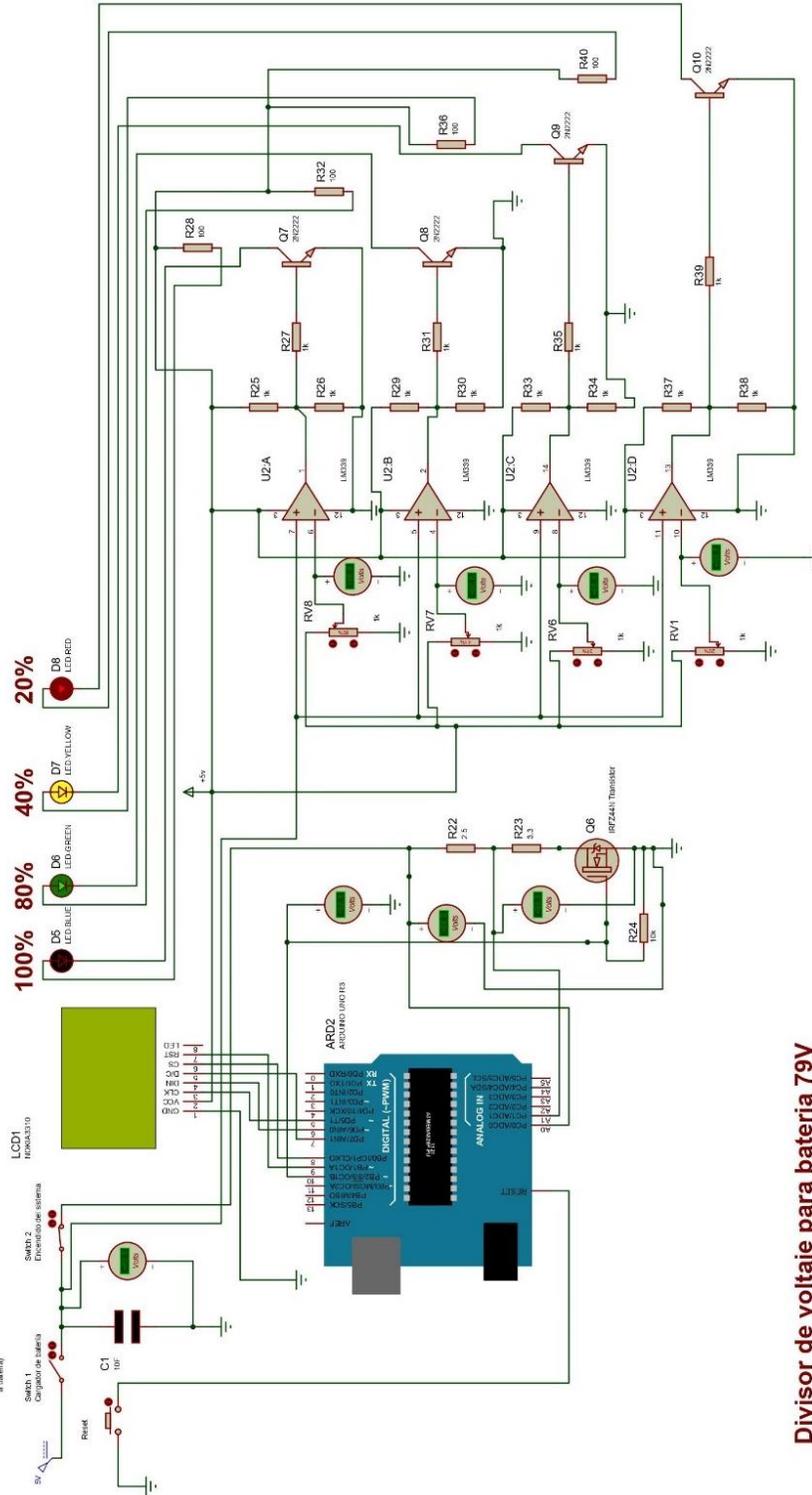
Anexo 2.

Circuito BMS completo.

Instrucciones

Antes de iniciar simulación asegúrese que los switches y LEDs y sensores estén en la simulación.
 Conecte la simulación.
 Cuando se cargue la batería se cargará hasta 5V.
 Altra switch 1 y con el switch 2.

C1 es un capacitor de 100µF.
 Si el voltaje en la batería se eleva o cae de 5V al 0V, presione el botón reset en caso de que el sistema haya terminado antes de cargar la batería.



Divisor de voltaje para batería 79V

