



**Investigación del proceso de mantenimiento controlado de baterías de alta
gama utilizadas en sistemas de propulsión eléctrica**

Gallo Tafur, Diego Fernando y Valverde Estévez, Cristhian Javier

Departamento de ciencias de energía y mecánica

Carrera de ingeniería automotriz

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Automotriz

Ing. Mena Palacios, Jorge Stalin

Latacunga, 16 de junio del 2021



DEPARTAMENTO CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación, **Investigación del proceso de mantenimiento controlado de baterías de alta gama utilizadas en sistemas de propulsión eléctrica** fue realizado por los señores: **Gallo Tafur, Diego Fernando** y **Valverde Estévez, Cristhian Javier**, el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que los sustenten públicamente.

Latacunga, 23 de junio de 2021.



Firmado electrónicamente por:
**JORGE STALIN
MENA PALACIOS**

Ing. Mena Palacios, Jorge Stalin

C.I: 1803725900

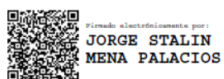
Urkund



Document Information

Analyzed document	TESIS GALLO VALVERDE.pdf (D108299844)
Submitted	6/8/2021 8:18:00 PM
Submitted by	Mena Palacios Jorge Stalin
Submitter email	jsmena@espe.edu.ec
Similarity	0%
Analysis address	jsmena.espe@analysis.urkund.com

Sources included in the report





DEPARTAMENTO CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

Responsabilidad de autoría

Nosotros, **Gallo Tafur, Diego Fernando** con cédula de ciudadanía N°1723553929, y **Valverde Estévez, Cristhian Javier** con cédula de ciudadanía N° 1726541103, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Investigación del proceso de mantenimiento controlado de baterías de alta gama utilizadas en sistemas de propulsión eléctrica** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 23 de junio de 2021.

Firma manuscrita en azul de Diego Fernando Gallo Tafur.

Gallo Tafur, Diego Fernando

C.I. 1723553929

Firma manuscrita en azul de Cristhian Javier Valverde Estévez.

Valverde Estévez, Cristhian Javier

C.I. 1726541103



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

Autorización de publicación

Nosotros, **Gallo Tafur, Diego Fernando** con cédula de ciudadanía N°1723553929, y **Valverde Estévez, Cristhian Javier** con cédula de ciudadanía N° 1726541103, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Investigación del proceso de mantenimiento controlado de baterías de alta gama utilizadas en sistemas de propulsión eléctrica**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 23 de junio de 2021.

Gallo Tafur, Diego Fernando

C.I. 1723553929

Valverde Estévez, Cristhian Javier

C.I. 1726541103

Agradecimiento

A mis padres y hermanos, quienes me han servido de inspiración, por su apoyo incondicional en cada fase de mi vida. A mi tío Enrique Tafur. Al Sr. Mauricio Dibujés por compartir su conocimiento técnico y brindarme el apoyo personal y académico durante la realización de mi carrera. A mis compañeros, con quienes compartí día a día experiencias de aprendizaje y camaradería en las aulas de la Universidad, a Elizabeth por su constante apoyo tanto académico como personal.

Dedicatoria

A mis padres Víctor Gallo y Rocío Tafur, a mis hermanos Alex y Milton, quienes fueron la base en mi desarrollo personal y académico.

Tabla de contenido

Carátula.....	1
Certificación	2
Urkund	3
Responsabilidad de autoría	4
Autorización de publicación.....	5
Agradecimiento	6
Dedicatoria	7
Tabla de contenido.....	8
Índice de tablas	17
Índice de Figuras.....	20
Índice de ecuaciones	22
Resumen.....	23
Abstract.....	24
Marco metodológico de la investigación.....	25
Antecedentes	25
Planteamiento del problema	27
Descripción resumida del proyecto.....	29
Justificación e importancia	30

Objetivos generales y específicos	31
<i>Objetivo general.....</i>	<i>31</i>
<i>Objetivos específicos</i>	<i>31</i>
Metas.....	32
Hipótesis.....	32
VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN.....	32
<i>Variable independiente</i>	<i>32</i>
<i>Variables dependientes</i>	<i>33</i>
Metodología de la investigación.....	34
<i>Método analítico</i>	<i>34</i>
<i>Método documental bibliográfico</i>	<i>35</i>
<i>Metodología de observación directa</i>	<i>35</i>
<i>Metodología de síntesis.....</i>	<i>35</i>
<i>Método comparativo</i>	<i>35</i>
<i>Método deductivo.....</i>	<i>35</i>
<i>Método experimental.....</i>	<i>36</i>
Fuentes y técnicas de recopilación de información y análisis de datos	40
<i>Fuentes primarias</i>	<i>40</i>
<i>Fuentes secundarias</i>	<i>40</i>

Marco teórico.....	42
Vehículo eléctrico.....	42
Vehículo híbrido.....	42
<i>Diseño híbrido en serie</i>	42
<i>Diseño híbrido en paralelo</i>	43
Vehículos de movilidad personal.....	48
Parámetros para caracterizar una batería.....	49
<i>Capacidad nominal</i>	49
<i>Capacidad de almacenamiento</i>	49
<i>Capacidad liberable</i>	49
<i>Capacidad máxima liberable</i>	50
<i>Capacidad liberada</i>	50
<i>Densidad de energía</i>	50
<i>Potencia específica</i>	50
<i>Energía específica</i>	51
<i>Voltaje de celda</i>	51
<i>Voltaje de corte (cut-off voltage)</i>	51
<i>Tasa de descarga</i>	51
<i>Operación flotante</i>	52

<i>Resistencia interna</i>	52
<i>Auto-descarga</i>	53
<i>Eficiencia energética</i>	53
<i>Ciclo de vida</i>	53
<i>Corriente de carga y descarga</i>	54
<i>Temperatura de operación</i>	54
<i>Estado de carga (SoC)</i>	54
<i>Estimación del SoC</i>	54
<i>Profundidad de descarga (DoD)</i>	57
<i>Estimación del DoD</i>	58
<i>Estado de salud (SoH)</i>	59
<i>Estimación del SoH</i>	59
Fallas en el diagnóstico de la batería.....	60
<i>Fallas ISC (internal short circuit)</i>	61
<i>Fallas ESC (external short circuit)</i>	61
<i>Fallas de sobrecarga</i>	62
<i>Fallas de sobre-descarga</i>	63
Baterías	63
<i>Baterías primarias</i>	64

<i>Baterías secundarias</i>	64
<i>Baterías plomo- ácido (Pb-A)</i>	64
<i>Baterías nickel- cadmio (Ni-Cad)</i>	65
<i>Baterías nickel- metal hidruro (Ni-MH)</i>	66
<i>Baterías ion- litio (Li-ion)</i>	66
Mantenimiento de una Batería	69
<i>Finalidad de las pruebas de mantenimiento</i>	70
<i>Gestión de la batería</i>	70
<i>Test de servicio</i>	70
<i>Aceptación de capacidad</i>	71
<i>Método de ajuste de tiempo</i>	71
<i>Factor de temperatura</i>	72
Carga de la batería	74
<i>Carga masiva</i>	74
<i>Carga de absorción</i>	76
<i>Carga de flotación</i>	76
<i>Ecuilización de la carga</i>	76
Elementos de control electrónico	77
<i>Módulo de control</i>	77

<i>Sensores</i>	78
<i>Protocolo SPI</i>	78
<i>Convertidor de voltaje</i>	78
<i>Software de control</i>	79
Diseño y Construcción	80
Características generales del sistema	80
Requerimientos del sistema de carga	81
Voltaje máximo de carga	81
Corriente máxima de carga	82
Potencia de carga	83
Modos de carga	83
Fases de carga	84
Carga masiva	84
Carga de Absorción	85
Carga de flotación	86
Requerimientos de la gestión de mantenimiento	87
<i>Fase de descarga</i>	87
Requerimiento de la gestión de diagnóstico	87
Selección de componentes electrónicos	87

<i>Arduino nano</i>	87
<i>Módulo de relés</i>	89
<i>Módulo step up 10-60 voltios a 12-97 voltios 30 amperios</i>	90
<i>Módulo step down 24-2 V 10 A</i>	92
<i>Fuente de alimentación AC/DC</i>	93
<i>Relés de alta potencia</i>	93
<i>Potenciómetros MCP41010</i>	94
<i>Diodos de protección</i>	95
<i>Cables</i>	96
<i>Ventiladores</i>	98
Análisis de circuitos electrónicos	98
<i>Esquema general del sistema</i>	98
<i>Voltímetro</i>	99
<i>Amperímetro</i>	100
<i>Termómetro</i>	101
Circuito de Potencia	102
Circuito de control	104
Interfaz de control (gráficas)	104
Características técnicas del sistema de gestión de la batería	106

Pruebas y resultados	107
Protocolo de pruebas.....	107
Pruebas de carga rápida.....	107
<i>Prueba de carga módulo 1 R1.....</i>	<i>107</i>
<i>Prueba de carga módulo 1 R2.....</i>	<i>111</i>
<i>Prueba de carga módulo 2 R1.....</i>	<i>115</i>
Pruebas de carga media	118
<i>Prueba de carga módulo 1 M1.....</i>	<i>118</i>
<i>Prueba de carga módulo 1 M2.....</i>	<i>123</i>
<i>Prueba de carga módulo 2 M1.....</i>	<i>126</i>
Pruebas de carga lenta.....	130
<i>Prueba de carga módulo 1 L1</i>	<i>130</i>
<i>Prueba de carga módulo 1 L2</i>	<i>133</i>
<i>Prueba de carga módulo 2 L1</i>	<i>136</i>
Prueba de diagnóstico	139
<i>Prueba de diagnóstico batería 7.2v-6.5 A/h inicial</i>	<i>139</i>
<i>Prueba de diagnóstico batería 9.6 v-6.5 A/h inicial</i>	<i>142</i>
<i>Prueba de diagnóstico batería 7.6V-6.5 A/h final.....</i>	<i>145</i>
<i>Prueba de diagnóstico batería 9.6 V 6-5 A/h final</i>	<i>148</i>

Prueba de mantenimiento.....	153
<i>Prueba de mantenimiento batería 7.2V-6.5 A/h</i>	<i>153</i>
<i>Prueba de mantenimiento batería 9.6 V-6-5A/h</i>	<i>158</i>
Análisis y discusión de resultados.....	163
<i>Análisis de carga.....</i>	<i>163</i>
<i>Análisis de diagnóstico</i>	<i>169</i>
<i>Análisis de mantenimiento.....</i>	<i>172</i>
Conclusiones y recomendaciones.....	175
Conclusiones	175
Recomendaciones.....	176
Marco administrativo	177
Recursos humanos	177
Recursos materiales	177
Recursos tecnológicos.....	178
Costo neto del proyecto	179
propuesta de costos para un modelo industrial.....	180
Bibliografía.....	181
Anexos	187

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Operacionalización de la variable independiente</i>	33
Tabla 2 <i>Operacionalización de la variable dependiente</i>	33
Tabla 3 <i>Metodología de investigación</i>	36
Tabla 4 <i>Tabla resumida de la clasificación ISO de los diferentes grados de electrificación</i>	45
Tabla 5 <i>Métodos utilizados para la estimación del SoC</i>	55
Tabla 6 <i>Características típicas de baterías usadas en propulsión eléctrica</i>	67
Tabla 7 <i>Ventajas y desventajas de baterías usadas en propulsión eléctrica</i>	68
Tabla 8 <i>Factor de corrección en función de la temperatura</i>	72
Tabla 9 <i>Valores predeterminados en carga masiva de carga lenta, recomendada y rápida</i>	85
Tabla 10 <i>Valores predeterminados en carga de absorción para los tres modos de carga</i>	86
Tabla 11 <i>Valores predeterminados en carga de flotación para los tres modos de carga</i>	86
Tabla 12 <i>Características arduino nano</i>	88
Tabla 13 <i>Características del módulo relé</i>	90
Tabla 14 <i>Especificaciones técnicas módulo step up</i>	91
Tabla 15 <i>Especificaciones técnicas del módulos step down</i>	92
Tabla 16 <i>Fuentes de alimentación en el sistema</i>	93
Tabla 17 <i>Especificaciones relés de alta potencia</i>	94
Tabla 18 <i>Características del diodo 6A10MC</i>	96
Tabla 19 <i>Diámetro por selección de cables</i>	96
Tabla 20 <i>Características técnicas del sistema de gestión de la batería</i>	106
Tabla 21 <i>Prueba de carga rápida batería 7.6 V-6.5 A/h</i>	107

Tabla 22 Prueba de carga rápida batería 9.6 v-6.5 A/h.....	111
Tabla 23 Prueba de carga rápida batería 43.2 V-6.5 A/h.....	115
Tabla 24 Prueba de Carga Media Batería 7.2 V-6.5 A/h	118
Tabla 25 Prueba de carga media batería 9.6 V-6.5 A/h.....	123
Tabla 26 Prueba de carga media batería 57.6 V-6.5 A/h.....	126
Tabla 27 Prueba de Carga Lenta Batería 7.2 V-6.5 A/h	130
Tabla 28 Prueba de carga lenta batería 9.6 V-6.5 A/h	133
Tabla 29 Prueba de carga lenta batería 57.6 V-6.5 A/h.....	136
Tabla 30 Prueba de Diagnóstico Batería 7.2 V-6.5 A/h Inicial.....	139
Tabla 31 Prueba de diagnóstico batería 9.6 v-6.5 A/h inicial.....	142
Tabla 32 Prueba de Diagnóstico Batería 7.2 V-6.5 A/h Final	145
Tabla 33 Prueba de diagnóstico batería 9.6 V-6.5 A/h Final.....	148
Tabla 34 Prueba de mantenimiento batería 7.2 V-6.5 A/h.....	153
Tabla 35 Prueba de mantenimiento batería 9.6 V-6.5 A/h.....	158
Tabla 36 Análisis carga M1 7.2 V-6.5 A	163
Tabla 37 Análisis carga M1 9.6 V-6.5 A	165
Tabla 38 Análisis carga M2	167
Tabla 39 Análisis diagnóstico inicial vs final batería 7.2 V- 6.5 A/h	169
Tabla 40 Análisis diagnóstico inicial vs final batería 9.6 V- 6.5 A/h	170
Tabla 41 Análisis pruebas de mantenimiento.....	172
Tabla 42 Recursos humanos	177
Tabla 43 Recursos materiales.....	177

Tabla 44 <i>Recursos tecnológicos</i>	178
Tabla 45 <i>Costo neto del proyecto</i>	179

Índice de Figuras

Figura 1 <i>Diagrama de bloques del proyecto</i>	27
Figura 2 <i>Disposición en serie del vehículo híbrido</i>	43
Figura 3 <i>Disposición en paralelo del vehículo híbrido</i>	44
Figura 4 <i>Capacidades de potencia y energía de diferentes baterías</i>	65
Figura 5 <i>Fases de carga de la batería</i>	77
Figura 6 <i>Diagrama de bloques del sistema de gestión</i>	80
Figura 7 <i>Arduino nano</i>	88
Figura 8 <i>Módulo de relés</i>	89
Figura 9 <i>Módulo Step Up</i>	91
Figura 10 <i>Módulo Step Down</i>	92
Figura 11 <i>Relés-SDLH 12 CDC-1C</i>	93
Figura 12 <i>Potenciómetro MCP41010</i>	95
Figura 13 <i>Diodo 6A10MIC</i>	95
Figura 14 <i>Ventilador</i>	98
Figura 15 <i>Esquema general del sistema</i>	98
Figura 16 <i>Circuito de sensado de voltaje</i>	99
Figura 17 <i>Conexión del circuito de sensado de corriente</i>	100
Figura 18 <i>Conexión del circuito de sensado de temperatura</i>	101
Figura 19 <i>Circuito de Potencia Carga y Descarga</i>	102
Figura 20 <i>Circuito de descarga</i>	103
Figura 21 <i>Circuito de control carga y descarga</i>	104

Figura 22 <i>Interfaz de control para el usuario</i>	105
Figura 23 <i>Voltaje/corriente/temperatura vs tiempo carga rápida batería 7.2 V-6.5 A/h</i>	110
Figura 24 <i>Temperatura/voltaje/corriente vs tiempo carga rápida batería 9.6 V-6.5 A/h</i>	114
Figura 25 <i>Voltaje/corriente/temperatura vs tiempo carga rápida batería 43.2 V-6.5 A/h</i>	117
Figura 26 <i>Temperatura/voltaje/corriente vs tiempo carga media batería 7.2 V-6.5 A/h</i>	122
Figura 27 <i>Temperatura/voltaje/corriente vs tiempo carga media batería 9.6 V-6.5 A/h</i>	125
Figura 28 <i>Voltaje/corriente/temperatura vs tiempo carga media batería 57.6 V-6.5 A/h</i>	129
Figura 29 <i>Temperatura/voltaje/corriente vs tiempo carga lenta batería 7.2 V-6.5 A/h</i>	132
Figura 30 <i>Temperatura/voltaje/corriente vs tiempo carga lenta batería 9.6 V-6.5 A/h</i>	135
Figura 31 <i>Voltaje/corriente/temperatura vs tiempo carga rápida batería 57.6 V-6.5 A/h</i>	138
Figura 32 <i>Temperatura/voltaje/corriente vs tiempo-diagnóstico inicial batería 7.2 V-6.5 A/h</i> ..	141
Figura 33 <i>Temperatura/voltaje/corriente vs tiempo- diagnóstico inicial batería 9.6 V-6.5 A/h</i> .	144
Figura 34 <i>Temperatura/voltaje/corriente vs tiempo- diagnóstico final batería 7.2 V-6.5 A/h</i> ..	147
Figura 35 <i>Temperatura/voltaje/corriente vs tiempo-diagnóstico final batería 9.6 V-6.5 A/h</i>	152
Figura 36 <i>Temperatura/voltaje/corriente vs tiempo mantenimiento final 7.2 V-6.5 A/h</i>	156
Figura 37 <i>Temperatura/Voltaje/Corriente vs Tiempo en Mantenimiento Final 9.6 V-6.5 A/h</i> ...	161

Índice de ecuaciones

Ecuación 1 Resistencia interna.....	52
Ecuación 2 Estado de carga SoC.....	56
Ecuación 3 Profundidad de descarga DoD	58
Ecuación 4 Profundidad de descarga DoD en batería descargada	58
Ecuación 5 Estado de Salud SoH.....	59
Ecuación 6 Capacidad en función del tiempo y temperatura.....	71
Ecuación 7 Tiempo de fase de carga masiva	75
Ecuación 8 Ecuación de voltaje máximo.....	81
Ecuación 9 Ecuación de corriente máxima.....	82
Ecuación 10 Ecuación de potencia máxima.....	83
Ecuación 11 Ecuación de temperatura para el sensor LM35	101
Ecuación 12 Ecuación final para la lectura de temperatura	102

Resumen

La investigación tiene como objetivo principal el diseño y construcción de un sistema de gestión de baterías de alta gama en propulsión eléctrica a partir del control y monitoreo en tiempo real de parámetros en el sistema de carga y descarga. Se enfoca en la investigación de la variación de valores de voltaje y corriente con respecto a la capacidad nominal de una batería, de acuerdo los procesos de carga, descarga, mantenimiento o diagnóstico de la batería. Se presenta la determinación del estado de salud SoH, con el fin de brindar un diagnóstico del estado de vida de las baterías, para ello se ahonda en cálculos y ecuaciones basadas en la corriente, temperatura y tiempo. Se utiliza el método de conteo de coulomb para la extracción de datos reales del estado de la batería. Se realiza una comparativa de los valores de carga rápida, recomendada y lenta, a través del análisis de los valores de tasa de carga (Voltaje de carga/tiempo), también se analiza el modo de diagnóstico y el programa de mantenimiento, dando como resultado conclusiones pertinentes al análisis. Además, se determina la influencia de un mantenimiento controlado en la vida útil de la batería, a través de una comparación del SoH antes y después de realizarse un mantenimiento.

Palabras clave:

- **AUTOMÓVILES - BATERÍAS**
- **AUTOMÓVILES - SISTEMA ELÉCTRICO**
- **MECÁNICA AUTOMOTRIZ**

Abstract

The main objective of the research is the design and construction of a high-end battery management system in electric propulsion based on the control and monitoring in real time of parameters in the charging and discharging system. It focuses on the investigation of the variation of voltage and current values with respect to the nominal capacity of a battery, according to the battery charging, discharging, maintenance or diagnostic processes. The determination of the state of health SoH is presented, in order to provide a diagnosis of the state of life of the batteries, for this purpose, calculations and equations based on current, temperature and time are delved into. The coulomb counting method is used to extract actual data from the battery condition. A comparison of the fast, recommended and slow charge values is made, through the analysis of the charge rate values (Charging voltage / time), the diagnostic mode and the maintenance program are also analyzed, resulting in conclusions relevant to the analysis. In addition, the influence of a controlled maintenance on the battery life is determined, through a comparison of the SoH before and after a maintenance is carried out.

Keywords:

- **CARS- BATERIES**
- **CARS – ELECTRIC SYSTEMS**
- **AUTOMOTIVE MECHANIC**

Capítulo I

1. Marco metodológico de la investigación

1.1 Antecedentes

A través de los últimos años la industria automotriz ha girado en torno al cuidado del medio ambiente, adaptando el uso de la energía eléctrica como principal fuente para el funcionamiento de los vehículos. Los vehículos eléctricos toman día a día fuerza en el mercado lo que conlleva a una adaptación de la industria automotriz a la nueva generación de vehículos.

La principal fuente de energía en los vehículos eléctricos, son las baterías de alta capacidad, hay que tener en cuenta que a diferencia de los vehículos híbridos (HEV); los vehículos eléctricos no cuentan con el sistema de generación de energía por un motor de combustión interna. Por ello es necesario obtener la energía de las baterías a través de un cargador, el cual generalmente extrae energía de las redes eléctricas. Es importante considerar que el proceso de carga no es una simple alimentación de voltaje y corriente constante a la batería, sino que es necesario un control de voltaje y corriente en la carga. Se considera la necesidad del usuario por adquirir los cargadores proporcionados por los fabricantes de baterías, para un adecuado manejo de carga. (Larminie y Lowry, 2012). Si el fabricante de baterías no proporciona un cargador adecuado, es necesaria la creación de un cargador el cuál pueda adaptarse a las especificaciones y parámetros de carga.

Se puede manifestar que es necesaria la conversión de corriente alterna a corriente continua de la red eléctrica para la carga de batería, de esta manera se asegura una carga

eficiente y que no afectará a la vida útil de la batería. Larminie y Lowry (2012) afirman lo siguiente:

Excepto en el caso de los paneles fotoeléctricos, la energía para recargar una batería casi siempre vendrá de una fuente de corriente alterna (CA) como la red eléctrica. Será necesario rectificarlo a corriente continua (CC) para cargar la batería. La corriente continua rectificada debe tener muy poca ondulación, debe estar muy bien "suavizada". Esto se debe a que, en los momentos en que la variación del voltaje de CC cae por debajo del voltaje de la batería, no se realizará ninguna carga, y en el "punto alto" de la ondulación es posible que el voltaje sea lo suficientemente alto como para dañar la batería. (p. 59).

Teniendo en cuenta uno de los parámetros de carga, Varta (2020) considera que la corriente de carga recomendada en una batería es equivalente a un determinado porcentaje de su capacidad nominal en amperios.

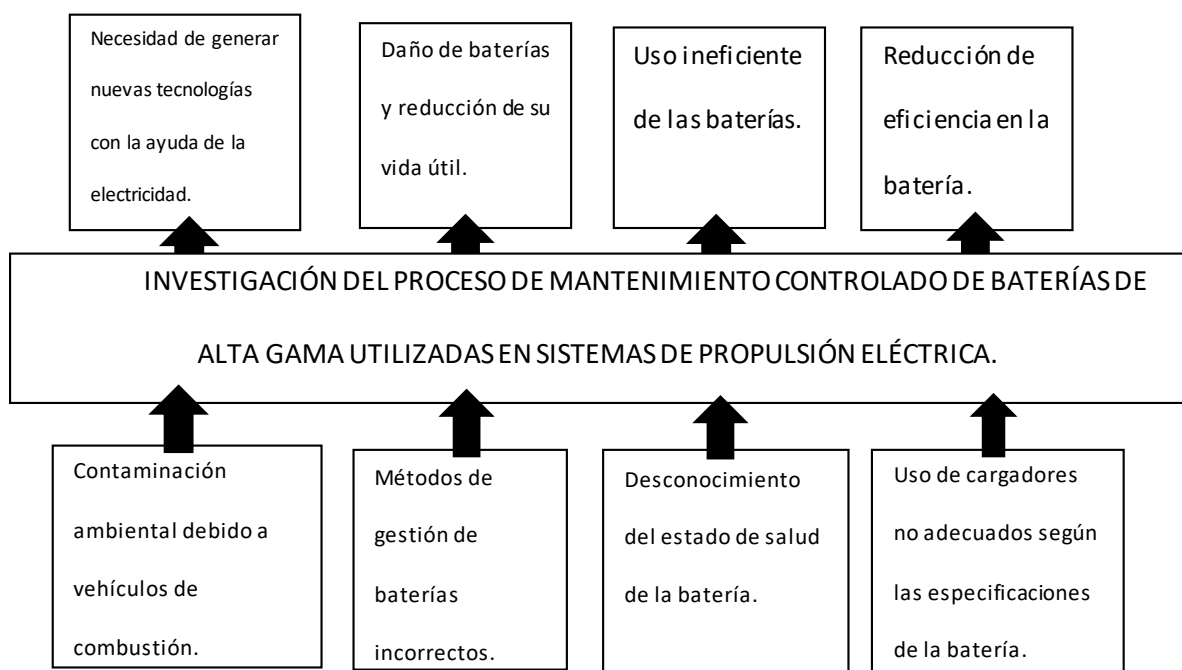
Uno de los problemas más comunes en las baterías usadas en los vehículos eléctricos (VE) y los híbridos (HEV) es su descarga imparcial, es decir una celda se puede descargar nominalmente más rápido que otra, teniendo en cuenta que si una celda se descarga completamente el voltaje se reduce de manera brusca y esta celda actúa como una resistencia. Si se continúa extrayendo corriente la celda se dañará gravemente derivando en el fin de la vida útil de la batería. La ecualización de carga es un parámetro importante en la carga de la batería, Tashakor et al. (2017) afirma que el desequilibrio de carga reduce el ciclo de vida de las celdas de la batería, la energía accesible y el rendimiento del sistema. Por lo que la ecualización de la batería es vital en un proceso de carga. Además, advierte que el control de potencia es un

requisito fundamental en un cargador de baterías de alto voltaje. (p.1). Cabe mencionar que es importante realizar una carga lenta al final de la operación de carga para asegurar que las celdas se encuentren cargadas por completo y entrar en un estado de ecualización de carga. Para el diseño y construcción del cargador es necesario tener en cuenta ciertos parámetros de construcción para el desarrollo del proyecto, la recarga de la batería requiere diferentes equipos: La interfaz de recarga física, protocolos de carga y descarga, controladores de convertidores electrónicos de potencia, y también, en caso de enchufe, debe ser provista de conexión compatible a la red eléctrica. El diseño del cargador y la infraestructura de carga son diferentes en cada país según la infraestructura eléctrica. Neves de Melo et al. (2017)

1.2 Planteamiento del problema

Figura 1

Diagrama de bloques del proyecto



En los sistemas de propulsión eléctrica independiente es esencial el uso de baterías, las cuales proporcionan la energía para su funcionamiento, sin embargo, existe un escaso conocimiento de los métodos de carga y mantenimiento de las baterías, esto conduce a generar desgastes prematuros de éstas, hay diferentes variables que permiten determinar la condición de las baterías por ejemplo el voltaje, capacidad nominal y estado de carga. Lacroix et al. (2010) afirma que:

La batería es uno de los componentes más críticos en el desarrollo de un EV. Su densidad de energía, tiempo de carga, vida útil y costo están restringiendo las aplicaciones prácticas. El tiempo de carga y la vida útil de una batería dependen de las características del cargador de batería y su uso. (p. 1)

En general las empresas que se dedican a comercializar baterías de alta capacidad no expiden un plan de mantenimiento o parámetros de carga correcta en los elementos, lo que genera un desecho prematuro de baterías, esto se podría evitar si se realizan procesos correctos de mantenimiento y carga.

Aplicando un buen método de carga se puede alargar la vida útil de la batería, con la ayuda de parámetros como el estado de carga (SOH) que permite determinar el estado de vida de la batería, ayudará a reducir los desechos generados en el proceso de reemplazo de las baterías, esto dará paso también a una reducción en la contaminación al medio ambiente.

Los sistemas de gestión a bordo presentan inconvenientes y riesgos en los procesos de mantenimiento con cargas y descargas controladas debido al tipo de conexión del paquete de baterías, lo que se puede evitar realizando gestiones individuales en cada una de las celdas.

1.3 Descripción resumida del proyecto

La investigación cuenta con los siguientes aspectos:

Se ha recopilado información acerca del tema, información que se puede obtener de fuentes bibliográficas confiables como libros, investigaciones científicas anteriores, revistas científicas, sitios de internet, extrayendo parámetros y aspectos relacionados a baterías, su estado y sus procesos de carga.

Se ha obtenido los parámetros de las baterías y sus necesidades en el proceso de carga para poder determinar la manera correcta de cargar una.

Se ha realizado una selección de componentes eléctricos y electrónicos adecuados para la creación de un cargador de baterías automático de voltaje y corriente variable para baterías o packs de baterías de hasta 72V y corriente máxima de un determinado porcentaje de la corriente nominal controlada a través de una computadora que permite observar curvas de voltaje-tiempo, corriente-tiempo, temperatura, para así determinar su estado de carga.

Se ha diseñado el circuito eléctrico y electrónico que va a ir incluido en el cargador de baterías, el circuito consta de una parte de potencia como la transformación de corriente alterna a corriente directa, además consta de un circuito de control que, a través de un microcontrolador, sensores y actuadores con la ayuda de una computadora, completaran un sistema de lazo cerrado.

Se ha construido un cargador de baterías automático con todos los parámetros y aspectos necesarios en el proceso de carga.

Se ha realizado pruebas del equipo mediante la aplicación en baterías de alta capacidad para la obtención de datos y su comparación con parámetros técnicos nominales de las baterías.

Se ha realizado un análisis de las curvas obtenidas por medio del sistema para la determinación del estado de carga de la batería.

1.4 Justificación e importancia

El crecimiento de la industria y la tecnología basa su desarrollo en la energía eléctrica, es por ello que ahora el mundo está enfocado a este tipo de energía, generando productos netamente funcionales con base en esta tecnología, un ejemplo de ello son los vehículos con propulsión eléctrica. Además, con el ingreso de las nuevas tecnologías también se crean necesidades nuevas, es así que nacen otras problemáticas, una de éstas es la carga de las baterías los vehículos eléctricos, pues al no hacerlo de la manera correcta, las baterías pierden parte de su vida útil.

En el mundo actual, una de las grandes problemáticas a nivel ecuménico es la contaminación ambiental y como consecuencia el calentamiento global, un causante de esta contaminación es la emisión de gases de los vehículos con motores de combustión interna, una manera de enfrentar este problema es el uso de energías alternativas como por ejemplo la energía eléctrica, con esta se busca combatir en parte la contaminación ambiental.

Los inadecuados procesos de carga y mantenimiento de las baterías generan un desgaste prematuro, debido a los diferentes tipos de batería, sobre todo en su composición, el desecho o tratamiento incorrecto de los componentes de las baterías también genera contaminación ambiental, por lo que, la búsqueda de alargar o mantener la vida útil es uno de

los temas de tratar a priori. Según Neves de Melo et al. (2017) los desarrolladores recientes de vehículos eléctricos reconocen el control de operaciones de carga y descarga de baterías como temas relevantes en el camino hacia la movilidad sostenible y optimización del uso de energía. (p.114).

Las empresas ecuatorianas que se dedican a la distribución de baterías de alta capacidad pocas veces proporcionan la información necesaria de uso, carga y mantenimiento de las mismas, esto genera un derroche de recursos tanto materiales como económicos, resultado de un erróneo control de baterías de alta capacidad, de aquí nace la necesidad de generar un cargador que permita controlar los parámetros existentes en la batería para poder determinar si aún tiene utilidad o simplemente tiene que ir a un proceso de desecho.

1.5 Objetivos generales y específicos

1.5.1 Objetivo general

- Investigar el proceso de mantenimiento controlado de baterías de alta gama utilizadas en sistemas de propulsión eléctrica.

1.5.2 Objetivos específicos

- Determinar el proceso de mantenimiento controlado óptimo de las baterías de alta gama para establecer parámetros de carga y consumo según sea requerido.
- Construir un cargador de baterías de alta gama a través de los cálculos y selección de componentes electrónicos para el desarrollo de la investigación del mantenimiento adecuado de baterías usadas en los sistemas de propulsión eléctricas.

- Diagnosticar el estado de la batería a través del monitoreo de los datos obtenidos en tiempo real en forma gráfica con el fin de modificar los parámetros de corriente y voltaje según requiera el usuario.

1.6 Metas

- Construcción de un cargador de baterías de alta gama con un control de corriente y voltaje a través de una interfaz digital, cuya alimentación en la red eléctrica sea de 110 o 220v.
- Investigación de parámetros de carga adecuada de baterías de alta gama para determinar las condiciones óptimas en el funcionamiento del cargador y su interacción con la batería.
- Generación de curvas de carga de la batería a través de un software para poseer un control del estado de la batería mientras se realiza la carga con monitoreo de parámetros de carga como la corriente, voltaje y temperatura de la batería con su respectivo control y presentación de los datos de consumo, estado de salud, y porcentaje de capacidad de la batería en tiempo real.

1.7 Hipótesis

Desarrollar el proceso de mantenimiento controlado de baterías de alta gama para sistemas de propulsión eléctrica permitirá prolongar el tiempo de vida de la batería.

1.8 Variables de la investigación

1.8.1 *Variable independiente*

Estado de salud de la batería.

Tabla 1*Operacionalización de la variable independiente*

Concepto	Categoría	Indicador	Ítem	Técnicas	Instrumento
El estado de salud es el equivalent e al indicador de la condición de funcionamiento de la batería.	Batería	Voltaje	v	Medición	Protocolo de pruebas
		Potencia	watt	Cálculos	Ecuaciones
		Temperatura	°C	Medición	Sensores
		Capacidad nominal	Ah	Cálculos	Ecuaciones
		Intensidad	A	Coulomb Counting	Ecuaciones
		Tiempo de vida útil	h	Medición	Cronómetro

1.8.2 Variables dependientes

Condiciones de carga de la batería que varían según requerimientos del usuario.

Tabla 2*Operacionalización de la variable dependiente*

Concepto	Categoría	Indicador	Ítem	Técnicas	Instrumento
Uso de	Requerimient	Potencia	kW	Cálculos	Ecuaciones
las	os del	Energía	Ah	Medició	Protocolo de
baterías	sistema de	almacena		n	medición
de alta	propulsión	da			Ecuaciones
gama en	eléctrica	Corriente	A	Medició	Protocolo de
sistemas				n	pruebas
de		Voltaje	v	Medició	Protocolo de
propulsió				n	pruebas
n					

1.9 Metodología de la investigación

Para el presente trabajo se realizará la investigación del proceso de carga de la batería de alta capacidad utilizando métodos científicos los cuales se presentan de forma resumida en la Tabla 3.

1.9.1 Método analítico

El uso de ecuaciones y curvas de funcionamiento permitirán determinar criterios de carga para el respectivo control de corriente. Se utilizará el análisis y comparación de los resultados obtenidos del estado de carga en base a la variación de parámetros de carga del acumulador de alta capacidad. Además, se generará gráficas y curvas de carga y estas serán sometida a análisis para determinar la eficiencia del cargador.

1.9.2 Método documental bibliográfico

Se obtendrán datos provenientes de tesis, libros, artículos científicos, páginas web; esta bibliografía permitirá la extracción de información aplicable al desarrollo del proyecto

1.9.3 Metodología de observación directa

Se utilizará instrumentos de medición los cuales servirán para la observación de los parámetros de carga de la batería de alta capacidad para su demostración y presentación en curvas de carga mediante un software.

1.9.4 Metodología de síntesis

En el presente proyecto se utilizará el método de síntesis para la recopilación de datos resultantes del diseño del cargador y para el proceso de carga de las baterías de alta capacidad.

1.9.5 Método comparativo

Se utilizará este método para contrastar las curvas en base a la variación de los diferentes parámetros del proceso de carga de las baterías para determinar su estado de carga.

1.9.6 Método deductivo

En el presente proyecto se generarán curvas de carga en tiempo real las cuales servirán para interpretar según los valores que se muestren en la pantalla, el estado de carga de la batería; además se obtendrán los valores de consumo y costo en base a parámetros de carga y construcción.

1.9.7 Método experimental

Se aplicará para verificar el comportamiento de la batería ante las distintas variaciones de los parámetros en el proceso de carga de la batería de alta capacidad.

Tabla 3

Metodología de investigación

Metodología	Descripción	Equipo	Laboratorio
Analítico	Se utilizará el análisis y comparación de los resultados obtenidos del estado de carga en base a la variación de parámetros de carga del acumulador de alta capacidad.	Computador, plataforma informática, software	Biblioteca de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE"
	Además, se generará gráficas y curvas de carga y éstas serán sometida a análisis para determinar la eficiencia		

Metodología	Descripción	Equipo	Laboratorio
	<p>del cargador. Las fases del proyecto se basan en un diseño, investigación de proceso de carga, construcción del cargador de batería y análisis de su eficiencia.</p>		
Comparativo	<p>Se utilizará este método para comparar las curvas en base a la variación de los diferentes parámetros del proceso de carga de las baterías para determinar su estado de carga.</p>	Computador, software informático	Biblioteca de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE"

Metodología	Descripción	Equipo	Laboratorio
Documental bibliográfico	Se obtendrán datos provenientes de tesis, libros, artículos científicos, páginas web; esta bibliografía permitirá la extracción de información aplicable al desarrollo del proyecto	Tesis, Libros, Artículos científicos, páginas web.	Biblioteca de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE"
Deductivo	En el presente proyecto se generarán curvas de carga en tiempo real las cuales servirán para interpretar según los valores que se muestren en la pantalla, el estado de carga de la batería; además se obtendrán los valores de consumo	Computador, software informático	Biblioteca de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE"

Metodología	Descripción	Equipo	Laboratorio
	y costo en base a parámetros de carga.		
De Síntesis	En el presente proyecto se utilizará el método de síntesis para la recopilación de datos resultantes del diseño del cargador y para el proceso de carga de las baterías de alta capacidad.	Computador, plataforma informática, software informático	Biblioteca de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE"
De Observación	Se utilizará instrumentos de medición como el multímetro el cual servirá para la obtención de los parámetros de carga de la batería de alta capacidad para su demostración y	Instrumentos de medición eléctrica, Computador, software informático	Laboratorio de Autotrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE"

Metodología	Descripción	Equipo	Laboratorio
	presentación en curvas de carga mediante un software.		
De Experimentación	Se aplicará para verificar el comportamiento de la batería ante las distintas variaciones de los parámetros en el proceso de carga de la batería de alta capacidad.	Cargador de batería.	Laboratorio de Autotrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE"

1.10 Fuentes y técnicas de recopilación de información y análisis de datos

1.10.1 Fuentes primarias

Textos, revistas científicas, periódicos, bases digitales, artículos científicos.

1.10.2 Fuentes secundarias

Información de sitios Web (internet).

Bibliotecas virtuales.

Recopilación de proyectos similares.

Artículos y revistas.

Capítulo II

2. Marco teórico

2.1 Vehículo eléctrico

Se denomina vehículo eléctrico a aquellos que constan de una batería eléctrica para el almacenamiento de energía, un motor alimentado por la misma y un sistema de control energético. Dicha batería se recarga normalmente a través de la red eléctrica o una unidad de recarga de batería a bordo; el controlador se encarga de optimizar la energía eléctrica suministrada al motor, y por ende la velocidad del vehículo (Larminie y Lowry, 2012).

Actualmente en el mercado existe gran variedad de vehículos eléctricos, los cuales van desde bicicletas, triciclos, hasta automóviles de alta gama.

2.2 Vehículo híbrido

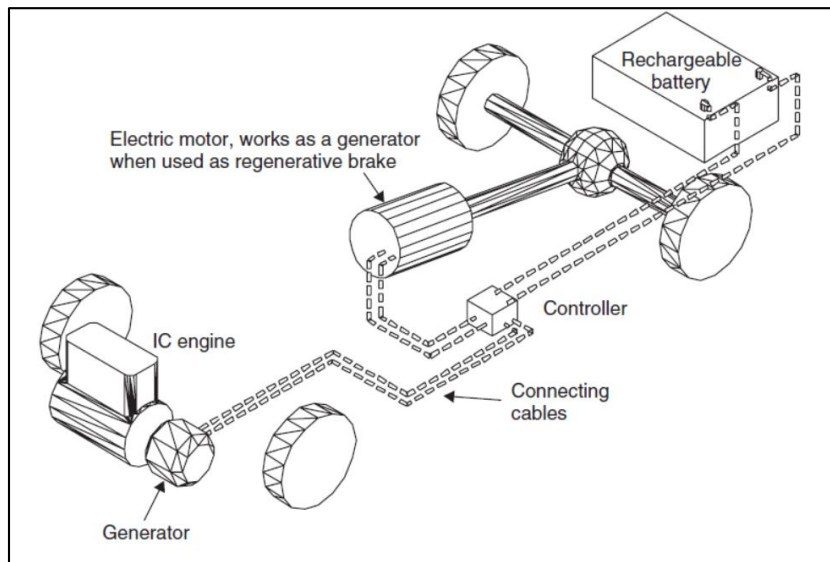
A diferencia del vehículo eléctrico, un vehículo híbrido presenta dos o más fuentes de energía, los vehículos híbridos más comunes combinan un motor de combustión de interna, una batería, un motor eléctrico y un generador. (Larminie y Lowry, 2012). Existen dos disposiciones básicas para los vehículos híbridos los cuales se detallan a continuación.

2.2.1 *Diseño híbrido en serie*

En este diseño el vehículo es impulsado por uno o más motores eléctricos los cuales son suministrados directamente de una batería o una unidad generadora impulsada por el motor de combustión interna como se muestra en la Figura 2.

Figura 2

Disposición en serie del vehículo híbrido



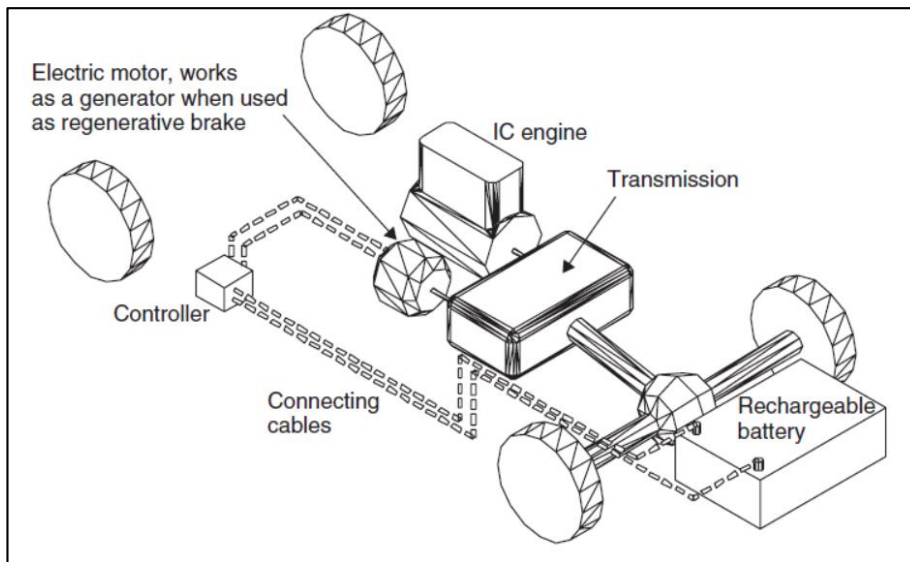
Nota: En los vehículos híbridos recargables la batería también puede ser recargada por la red eléctrica. Tomado de: Larminie, J. & Lowry J. (2012). ELECTRIC VEHICLE TECHNOLOGY EXPLAINED. (2da ed., p-20). John Wiley & Sons Ltd.

2.2.2 Diseño híbrido en paralelo

El vehículo puede ser impulsado por uno o más motores eléctricos, trabajando directamente a través de un sistema de transmisión, o se puede también trabajar mediante el motor de combustión interna y el motor eléctrico a la vez como se muestra en la Figura 3.

Figura 3

Disposición en paralelo del vehículo híbrido



Nota: Tomado de: Larminie, J. & Lowry J. (2012). *ELECTRIC VEHICLE TECHNOLOGY*

EXPLAINED. (2da ed., p-21). John Wiley & Sons Ltd.

Bajo la denominación de vehículo eléctrico o híbrido existe una gran diversidad de tecnología, la cual ha sido clasificada bajo normativas ISO según su grado de electrificación (Mi y Masur, 2017), las cuales se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4

Tabla resumida de la clasificación ISO de los diferentes grados de electrificación

Clasificación	Nombre	Características	Nomenclaturas	Riesgos Añadidos
ISO	Oficial	oficiales	Habituales	
μH (Micro Hybrid Electric Vehicle)	Vehículo	Incorpora placa solar fotovoltaica, sistema Stop & Star, KERS de Alternador.	Vehículo	Los sistemas añadidos, en general, no superan la tensión de seguridad (50V) pero presentan riesgos añadidos
	Microhíbrido	Estos sistemas no pueden superar los 5kW de potencia. No incorpora ningún sistema de tracción eléctrico	micrihíbrido	
mHEV (Mild Hybrid Electric Vehicle)	Vehículo híbrido suave	Incorpora alta tensión. Incorpora un sistema de tracción eléctrico que no supera los 15 kW de potencia.	Vehículo híbrido en paralelo	Datos comunes en los mHEV, HEV, PHEV, REEV y FCEV. Contienen elementos con

Clasificación	Nombre	Características	Nomenclaturas	Riesgos Añadidos
ISO	Oficial	oficiales	Habituales	
		También incorpora KERS		alta tensión: baterías,
HEV (Hybrid Electric Vehicle)	Vehículo Híbrido	Incorpora un sistema de tracción eléctrico que supera los 15 kW de potencia. También incorpora KERS.		cableado, motores, generadores, transformadores, etcétera. Contienen
PHEV (Plug- in Hybrid Electric Vehicle)	Vehículo híbrido enchufable	Es un vehículo híbrido (HEV) que además dispone de un sistema de carga exterior que permite conectarlo a la red eléctrica	Vehículo híbrido enchufable	baterías de alta tensión y capacidad con químicas potencialmente peligrosas y con riesgos de explosión
REEV (Range Extend Electric Vehicle)	Vehículo híbrido de autonomía extendida	Incorpora alta tensión. Incorpora un sistema de tracción eléctrica	Vehículo híbrido en serie	Los vehículos FCEV incluyen además un depósito y una

Clasificación	Nombre	Características	Nomenclaturas	Riesgos Añadidos
ISO	Oficial	oficiales	Habituales	
		que supera los 15 kW de potencia. También incorpora KERS. Son enchufables.		instalación de hidrógeno que presentan un alto riesgo de inflamación y explosión
FCEV (Full Cell Electric Vehicle)	Vehículo de pila de combustible	Incorpora alta tensión. Incorpora un sistema de tracción eléctrica que supera los 15 kW de potencia. También incorpora KERS Además de un depósito y una instalación de hidrógeno a alta presión	Vehículo de hidrógeno	Los vehículos enchufables (PHEV, REEV y EV) disponen de un sistema de cableado para conectarse a la red eléctrica y que por tanto, tiene una tensión peligrosa.
EV (Electric Vehicle)	Vehículo eléctrico	Incorpora alta tensión.	Vehículo eléctrico	

Clasificación	Nombre	Características	Nomenclaturas	Riesgos Añadidos
ISO	Oficial	oficiales	Habituales	
		Incorpora un sistema de tracción eléctrica que supone toda la tracción del vehículo. También incorpora KERS. Son enchufables.		

Nota: Tomado de Mi, C. & Masrur, A. (2018). *Hybrid Electric Vehicles Principles and Applications with practical Perspectives*. (2da ed., p-29). John Wiley & Sons Ltd.

2.3 Vehículos de movilidad personal

Según Navarro “es un vehículo de uno o más ruedas dotado de única plaza y propulsado exclusivamente por motores eléctricos que pueden proporcionar al vehículo una velocidad máxima por diseño comprendida entre 6 y 25 km/h” (p. 6). En esta categoría entran vehículos denominados scooters, hoverboard, segway, monociclos, bicicletas asistidas y motos eléctricas. Generalmente se utilizan baterías de Iones de Litio las cuales tienen un voltaje nominal y un amperaje según la potencia de diseño requerido, un ejemplo de ello es el modelo S1 de la compañía Eco Move Electric Bikes , con una batería de 36 v de voltaje nominal y 7.8 Ah en su capacidad nominal.

2.4 Parámetros para caracterizar una batería

2.4.1 Capacidad nominal

Es la capacidad medida en Amperios-hora (Ah) que puede entregar una batería en condiciones normalizadas desde su plena carga hasta una tensión de descarga determinada utilizando una tasa de descarga específica. Esta información usualmente es proporcionada por el fabricante de la batería.

2.4.2 Capacidad de almacenamiento

Según Campillo et al. (2017) La capacidad de almacenamiento determina el número de horas en la cual una batería puede ser descargada a una corriente constante a un voltaje de corte definido. Se representa en el Sistema Internacional de Unidades por el Coulomb (Amperios por segundo); pero al ser una unidad muy pequeña, se sustituye por el Amperio-hora (Ah). El valor de la capacidad depende de la temperatura ambiente, la antigüedad de la batería y la velocidad de descarga, ya que cuanto mayor sea la descarga menor será su capacidad. La capacidad también puede ser medida en Watts-hora (Wh) donde un Watt-hora representa 3600 Joules (p. 154).

2.4.3 Capacidad liberable

Se denomina así a la capacidad que puede entregar una batería cuando se descarga por completo (Ng et al., 2009).

2.4.4 Capacidad máxima liberable

Es la capacidad que una batería completamente cargada puede entregar bajo determinadas condiciones de descarga hasta su voltaje de corte.

2.4.5 Capacidad liberada

Es la capacidad suministrada por una batería con una determinada cantidad de corriente. Usualmente es un parámetro para la determinación de la profundidad de descarga (DoD) y por ende el estado de salud de la batería (SoH).

2.4.6 Densidad de energía

Es la cantidad de energía que puede ser almacenada por unidad de volumen, expresado en Watt-Hora por metro cúbico (Wh/m^3).

2.4.7 Potencia específica

Se define como la capacidad de potencia por kilogramo de una batería, expresada en Watts por kilogramo (Watts/kg). Campillo et al. (2017) afirman que:

Existen tecnologías que pueden ofrecer alta densidad de energía, pero una potencia específica baja, lo que significa que, aunque la batería pueda almacenar mucha energía solo es capaz de suministrar una pequeña cantidad de potencia al instante. En términos de transportación esto significaría que un vehículo podrá recorrer una larga distancia, pero a una baja velocidad; por el contrario, las baterías que presenta alta potencia específica, poseen una baja densidad de energía dado que las altas descargas reducen la energía con mayor rapidez (p. 154).

2.4.8 Energía específica

Es la energía que puede almacenar una batería por unidad de peso, expresada generalmente en Watts-Hora por kilogramo (Wh/Kg).

2.4.9 Voltaje de celda

Campillo et al. (2017) afirmaron que:

El voltaje de celda está determinado mediante las reacciones termodinámicas de equilibrio que ocurren dentro de la celda, a menudo es un valor difícil de medir, por lo tanto, en su lugar se usa el “Voltaje a circuito abierto” (OCV), medido entre los terminales del ánodo y el cátodo. Otra medida utilizada es el “voltaje a circuito cerrado” (CCV), pero éste depende de la corriente de carga, el estado de carga y el historial de la celda de la batería. Los fabricantes proporcionan el voltaje nominal de la celda el cual no puede ser experimentalmente verificado (p. 154).

2.4.10 Voltaje de corte (cut-off voltage)

Es el voltaje mínimo permitido en la batería, este voltaje define el estado “vacío” o completamente descargado en la batería (Gagliano y Nocera, 2017). Este voltaje define el 0% del SoC.

2.4.11 Tasa de descarga

Es la corriente necesaria en amperios para descargar completamente una batería en una hora. Se obtiene de la capacidad nominal (A/h) dividida para 1 hora (Branco, 2014).

2.4.12 Operación flotante

Se denomina así, a la operación de un sistema de corriente continua en el que la carga permanece en estado flotante con descarga poco frecuente (Institute of Electric and Electronic Engineers [IEEE], 2014).

2.4.13 Resistencia interna

Consiste en un concepto de modelado de baterías que ayuda a dar un valor numérico de resistencia a las pérdidas de energía (corriente), producto de las reacciones químicas que se generan dentro de una batería. (Martínez, 2008). Al ser un valor teórico no es posible ser medido, pero puede ser calculado mediante:

Ecuación 1

Resistencia interna

$$Ri = \frac{Vo - V}{I}$$

Donde:

- Ri= Resistencia interna
- Vo= Voltaje de vacío de la batería
- V= Voltaje de la batería con carga
- I= Corriente suministrada por la batería

La resistencia interna es afectada por la carga o descarga de la batería, ya condiciones ambientales como la temperatura y la humedad.

2.4.14 Auto-descarga

Las celdas electroquímicas de la batería consumen energía, incluso cuando no están en una fase de carga o descarga; este uso parasitario de energía es conocida como auto-descarga. Las tasas de auto-descarga son diferentes de acuerdo a cada tipo de tecnología química en las baterías. Puede existir una tasa de auto-descarga muy alta en las primeras 24 horas de haberse cargado la batería, y disminuir gradualmente. La temperatura influye significativamente en la tasa de auto-descarga (Hayes y Abas, 2017).

2.4.15 Eficiencia energética

Larminie y Lowry (2012) afirman qué eficiencia energética “se define como la relación entre la energía eléctrica suministrada por una batería y la cantidad de energía eléctrica requerida para devolverla al estado antes de la descarga” (p. 35). La eficiencia energética varía mucho de acuerdo a la forma de uso de la batería, es decir, su carga y descarga; si una batería se carga y descarga rápidamente su eficiencia energética disminuye considerablemente

2.4.16 Ciclo de vida

El ciclo de vida o también conocido como vida útil de la batería es determinada con base en el número de ciclos de carga y descarga que la batería puede realizar antes de alcanzar una capacidad de energía predeterminada o criterios en condiciones de rendimiento establecidos. Puede ser medida en ciclos o en tiempo (años). El fabricante determina este ciclo de vida con base a condiciones de carga y descarga, así que factores como temperatura y humedad pueden afectar su estimación (Campillo et al., 2017).

2.4.17 Corriente de carga y descarga

Durante el proceso de descarga los electrones fluyen desde el ánodo al cátodo a través de la carga, el circuito se completa mediante el electrolito. En el proceso de recarga una corriente externa suministra la corriente de carga, por lo que el proceso de oxidación se produce en el electrodo positivo y el de reducción en el negativo. La corriente de carga se establece en función de la capacidad nominal. (Campillo et al., 2017).

2.4.18 Temperatura de operación

La temperatura de una batería es un parámetro influyente en su vida útil, tanto altas como bajas temperaturas pueden ocasionar una reducción de vida considerable dependiendo la tecnología química del acumulador. Las bajas temperaturas en la batería pueden ocasionar que el electrolito aumente su viscosidad y pierda conductividad (Hayes y Abas, 2017).

2.4.19 Estado de carga (SoC)

Se define como la porción de la capacidad total de la batería disponible para la descarga, generalmente se mide en porcentaje y sirve para determinar cuanta energía queda en la batería. (Hayes y Abas, 2017). Cuando una batería está completamente cargada el estado de carga o SoC por su denominación en inglés (State of Charge) será igual al 100% y cuando está completamente descargada será del 0%.

2.4.20 Estimación del SoC

Existen muchas técnicas para la determinación del SoC y se basan en la medida de ciertos parámetros los cuales varían con el estado de carga de la batería. La estimación del SoC es un tema muy complejo ya que los modelos de cálculo y determinación generan resultados

erróneos si no son aplicados adecuadamente y tomando en cuenta los factores externos que involucran las mediciones. Los métodos más utilizados se detallan en la tabla 5.

Tabla 5

Métodos utilizados para la estimación del SoC

Método	Descripción
Medición del Voltaje	En varias tecnologías de batería existe una relación casi lineal entre el voltaje terminal de la celda y el SoC, por lo que la medición de este voltaje permite tener una estimación de su estado de carga. Sin embargo, en ciertas tecnologías como las baterías de Ion-Litio este método no muestra una estimación precisa del SoC (Campillo et al., 2017).
Medición de la gravedad específica	Esta técnica que basa en medir la gravedad específica del electrolito de las baterías de Plomo-Ácido; se puede obtener una estimación del SoC debido a que el ácido sulfúrico se usa a medida que se realiza la descarga dando como resultado una reducción de su densidad específica. Este método no puede ser usado en baterías selladas (Campillo et al., 2017).
Coulomb Counting	También conocida como medición de corriente; estima el SoC integrando la corriente suministrada o extraída de la celda durante un periodo de tiempo (Campillo et al., 2017). Este método es altamente preciso si se toma en cuenta factores externos que

Método	Descripción
	<p>intervienen en la medición, tales como eficiencia de carga/descarga, temperatura, entre otros (Ng et al., 2009).</p> <p>Este método puede ser usado en la estimación de la vida útil de la batería al comparar la corriente suministrada con la corriente extraída.</p>

Ecuación 2

Estado de carga SoC

$$SoC = SoC_0 - \frac{1}{C_N} \int_{t_0}^t \eta_i I dt$$

Donde:

SoC = Estado de carga

SoC_0 = Estado de carga inicial

C_N = Capacidad nominal de la batería

η_i = Factor de corrección de carga/descarga

I = Corriente de carga/descarga

t = Tiempo

t_0 = Tiempo inicial

Método	Descripción
Kalman Filtering	<p>Según (Campillo et al., 2017) es un método basado en un algoritmo que estima los estados internos de un sistema dinámico. Al ser aplicado a las baterías, cada celda está representada por un modelo de estado/espacio, mientras que el SoC es un estado del sistema.</p> <p>Éste método de estimación es altamente preciso ya que interactúa con parámetros de auto descarga, temperatura, voltaje de circuito abierto (OCV) y comparaciones de estado anteriores (p. 165).</p>
Medida de la impedancia interna	<p>La composición de los químicos activos dentro de la batería cambia a medida que ésta se carga o se descarga. Este cambio genera una variación en la impedancia interna, la cual al ser comparada con una impedancia inicial o nominal sirve como indicador para la estimación del SoC. Debido a que factores como la humedad y la temperatura influyen en el comportamiento de los químicos activos dentro de la batería, se pueden generar errores de medición y estimación (Campillo et al., 2017).</p>

2.4.21 Profundidad de descarga (DoD)

La profundidad de descarga o DoD por su denominación en inglés (Depth of Discharge), se define como la porción de la capacidad de la batería que ha sido descargada en relación a su capacidad máxima; usualmente se expresa en porcentaje (Campillo et al., 2017). Existen

diferentes límites de DoD según la tecnología química de la batería, esto, con el fin de no afectar a la vida útil de la batería. Una batería completamente cargada tendrá un DoD igual al 0%, mientras que si está completamente descargada será el 100%.

2.4.22 Estimación del DoD

La estimación del DoD está directamente ligado a la estimación del SoC; por lo que se tiene:

Ecuación 3

Profundidad de descarga DoD

$$DoD_{(t)} = 100\% - SoC_{(t)}$$

Donde:

$DoD_{(t)}$ = Profundidad de descarga

$SoC_{(t)}$ = Estado de carga

Cuando una batería se descarga, la profundidad de descarga es igual a:

Ecuación 4

Profundidad de descarga DoD en batería descargada

$$DoD = \frac{Q_{liberada}}{Q_{nominal}} * 100\%$$

Donde:

DoD = Profundidad de descarga

$Q_{liberada}$ = Capacidad descargada por una cantidad de corriente.

$Q_{nominal}$ = Capacidad nominal de la batería

2.4.23 Estado de salud (SoH)

Se define al estado de salud de una batería o SoH por su denominación en inglés (State of Health), como la habilidad de una celda para almacenar energía, suministrar altas corrientes y retener la carga durante periodos prolongados, en relación con su capacidad inicial o nominal. La capacidad de almacenamiento de una celda completamente cargada disminuye de acuerdo al tiempo y uso de la misma, debido a que el material activo dentro de las placas se degrada gradualmente (Kim, 2010).

Usualmente es medida en porcentaje, y su estimación depende de factores como la temperatura, el estado de carga SoC y las tasas de carga o descarga; por lo que los indicadores más usados en su estimación son la capacidad y la resistencia interna de la batería (Xiong, Li y Tian 2018).

2.4.24 Estimación del SoH

La estimación del estado de salud se determina mediante la relación entre la capacidad máxima liberable y la capacidad nominal de la batería, es decir:

Ecuación 5

Estado de Salud SoH

$$SoH = \frac{Q_{max}}{Q_{nominal}} * 100\%$$

Donde:

SoH = Estado de salud de la batería

Q_{max} = Capacidad máxima liberable

$Q_{nominal}$ = Capacidad nominal de la batería

Ng et al. (2009) afirma que “Cuando una batería es completamente descargada, el DoD acumulativo es igual a la corriente máxima liberable Q_{max} y puede ser utilizada para evaluar el SoH ” (p. 1511). Si el SoH es menor al 80% se debe considerar el reemplazo de la batería, pues esta, ha llegado a su fin del ciclo de vida (IEEE, 2014).

2.5 Fallas en el diagnóstico de la batería

Debido a la limitada capacidad de una celda de batería, los paquetes de baterías en vehículos eléctricos e híbridos se componen de ciento o miles de celdas individuales simples conectadas en serio o en paralelo. La inconsistencia de las celdas individuales en los parámetros de voltaje, temperatura, etc. Y su acoplamiento con el envejecimiento, hacen que los sistemas de gestión de la batería fallen con frecuencia.

Las fallas más comunes en baterías de Litio se generan por errores en factores internos y externos de la batería o a su vez con la inconsistencia del paquete de batería, además existen problemas en cuanto a los modelos de medición, sobrecarga o sobre descarga de la batería. (Xiong, Sun et al., 2020).

2.5.1 Fallas ISC (*internal short circuit*)

Se refiere al fenómeno producto del diferencial de potencial y la generación de calor producto de la interacción del electrodo positivo y negativo dentro de la batería. Cuando se produce un ISC se libera una gran cantidad de energía, acompañada de reacciones en cadena producto de las altas temperaturas que deriva en problemas como la descomposición de la interfaz de electrolitos sólidos, la interacción del electrolito con el material negativo y la fusión del separador lo que eventualmente termina en una fuga térmica de la batería generando incendios en los vehículos eléctricos.

La sobrecarga o descarga excesiva sumado a la degradación de los materiales de la estructura interna de la batería o las rebabas producto de la fabricación de las mismas pueden ocasionar un cortocircuito parcial en el funcionamiento prolongado de las baterías. Un ISC puede producir una fluctuación y una caída en el voltaje terminal de la batería (Xiong, Sun et al., 2020).

2.5.2 Fallas ESC (*external short circuit*)

Se refiere a los problemas producto de los errores en las líneas de conexión del circuito externo de diagnóstico y los factores físicos que pueden generar un cortocircuito en los electros positivos y negativos de la batería, tales como la deformación de la carcasa del sistema, la inmersión de agua, intervención externa de temperatura que influya en el desempeño del sistema, etc. Cuando un ESC ocurre, generalmente la energía de la batería se libera en forma de calor, lo que hace que la temperatura de la batería aumente rápidamente especialmente en las condiciones de alto SOC (Xiong, Sun et al., 2020).

La tasa de descarga alta en un proceso de ESC puede causar inestabilidad en el interfaz electrodo/ electrolito o dañar el electrodo de la batería. Además, las altas temperaturas generadas pueden causar una vaporización del electrolito y acelerar la descomposición del mismo. Cuando una sola batería dentro del paquete de baterías se encuentra en cortocircuito, sus ramas paralelas se descargan con gran corriente para equilibrar su voltaje, lo que resulta en una sobre carga excesiva de la batería (Yang et al., 2020).

2.5.3 Fallas de sobrecarga

Se refiere al suministro excesivo de carga de la batería, después de que ésta, se ha cargado por completo. Generalmente se produce por el mal funcionamiento del cargador o el sistema de gestión de la batería, en la cual influyen sensores, actuadores, etc. El modo de carga, la velocidad de carga y la carga rápida influyen en las posibilidades de generar una sobrecarga; la reducción de capacidad de la batería en cuanto a la influencia de una sobrecarga ligera es mínima, pero puede deteriorar la batería a largo plazo y alterar el voltaje terminal de la batería (Xiong, Sun et al., 2020).

Según Xiong, Sun et al. (2020):

Una sobrecarga severa conducirá a la fusión del electrolito del cátodo, la disolución del metal de transición y la transición de fase del material, y se producirá un recubrimiento de litio intenso en la superficie del ánodo, lo que reducirá la estabilidad térmica del ánodo y acelerará el aumento de temperatura de la batería, así como la reducción de capacidad.

Además, el recubrimiento de litio en el electrodo negativo formará dendritas de litio que pueden penetrar en el separador y causar ISC en la batería. (p. 4)

Ouyang et al. (2015) demostró que no existe una disminución significativa de la capacidad antes del 120% de SOC en un solo ciclo.

2.5.4 Fallas de sobre-descarga

Al igual que las fallas de sobrecarga, la sobre-descarga es una falla común en las baterías. La inconsistencia de la batería y la falla de sensores pueden generar una descarga excesiva. Aunque se puede programar un voltaje de corte para evitar la sobre-descarga, si no se cuenta con un sistema de equilibrio eficiente, las celdas individuales pueden sufrir descargas excesivas durante el proceso de descarga. Cuando se produce una descarga excesiva se tiene como resultados la atenuación de la capacidad y el aumento de la resistencia interna de la batería. Desde una perspectiva micro, la descarga excesiva ocasionará que el electrodo negativo de la batería libere iones de litio en abundancia y rompa su estructura en capas (Xiong, Sun et al., 2020).

La sobre descarga continua puede generar un engrosamiento de la película SEI y derivar en una pérdida de capacidad durante un ciclo largo. Además, el proceso continuo de sobre carga y sobre descarga puede generar un SCI.

2.6 Baterías

Una batería es un dispositivo que almacena energía eléctrica y la cede en forma de corriente continua de forma controlada. Obtiene la energía eléctrica proveniente de la energía química a partir de la reacción que se produce entre una placa positiva y negativa sumergidas en

un determinado electrolito. (Varta, 2020). Las baterías usadas para la propulsión eléctrica en el campo automotriz se denominan “baterías secundarias”.

2.6.1 Baterías primarias

Son aquellas baterías que solo pueden descargarse una vez, no son recargables y después de su uso deben ser desechadas.

2.6.2 Baterías secundarias

Son aquellas baterías que pueden ser cargadas y descargadas repetidamente. Ejemplos de baterías secundarias son: Baterías de Plomo- Ácido (Pb-A), Ion-Litio (Li-ion), Hidruro Nickel-Metal (Ni-MH).

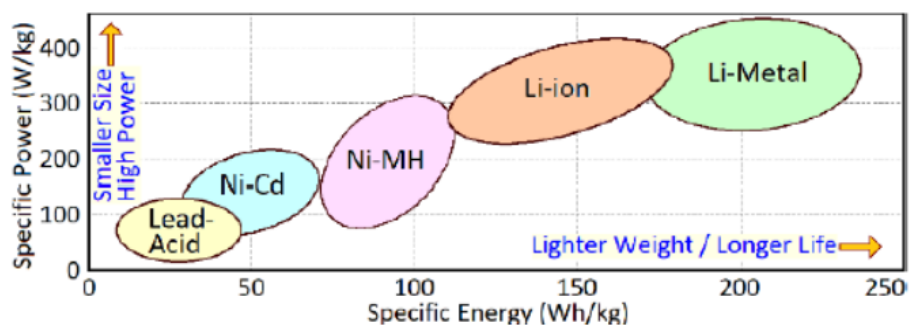
2.6.3 Baterías plomo- ácido (Pb-A)

Los elementos electroquímicos de la batería de Plomo- Ácido son una placa anódica hecha de Plomo, una placa catódica cubierta de dióxido de Plomo (PbO_2), las cuales están sumergidas en un electrolito formado por agua y ácido sulfúrico (H_2SO_4). A medida que la electricidad es generada, un proceso conocido como sulfatación hace que el sulfato de plomo ($PbSO_4$) cubra las placas, a medida que la batería se descarga, esta sulfatación genera una caída de voltaje. El sulfato de plomo se convierte de nuevo en plomo y ácido sulfúrico en la recarga; sin embargo, si no se carga se pueden generar cristales de sulfato de plomo y dañar la batería de forma irreversible. Estas baterías requieren un mantenimiento con ecualización periódica para preservar su vida útil (Hayes y Abas, 2017). Las características típicas de la batería de Plomo-Ácido se detallan en la Tabla 6.

Debido a que este tipo de baterías presentan una baja potencia específica, energía específica y un período corto de vida, su uso es muy limitado en los sistemas de propulsión eléctrica.

Figura 4

Capacidades de potencia y energía de diferentes baterías



Nota: Figura tomada de (Vidyanandan, 2019).

2.6.4 Baterías nickel- cadmio (Ni-Cad)

Formada por un compuesto anódico de cadmio y un compuesto catódico de Níquel. Su fabricación se remonta al siglo XX, pero aún en la actualidad poseen gran porcentaje de adquisición en el mercado. Este tipo de baterías se consideran altamente confiables y proporcionan una larga vida útil. Una característica importante es que poseen supresión de voltaje, una condición también conocida como efecto memoria; esto quiere decir que solo puede usar la capacidad que se usó durante repetidos ciclos de carga y descarga anteriores; es por ello que la batería debe encontrarse completamente descargada antes de realizar la carga, con el fin de evitar pérdidas en su capacidad de almacenamiento (Campillo et al., 2017). Las características típicas de la batería de Nickel-Cadmio se detallan en la Tabla 6.

2.6.5 Baterías nickel- metal hidruro (Ni-MH)

La celda de Nickel- Metal Hidruro es similar a la celda de Nickel- Cadmio, dado que el cadmio es tóxico y cancerígeno se sustituye a través del uso de hidrógeno del Hidruro Metálico en el ánodo de la celda de Ni-Cad. Un hidruro metálico es un compuesto en el cual el hidrógeno se encuentra unido al metal. El voltaje nominal de cada celda es aproximadamente 1.2 V, similar a la celda de Ni-Cad. Si bien su composición química presenta ciertas ventajas frente a otros compuestos químicos, el Ni-MH posee una auto-descarga elevada en comparación a las otras composiciones y al igual que las baterías de Pb-A deben ecualizarse periódicamente para garantizar que cada celda posea la misma carga (Hayes y Abas, 2017). Las características típicas de la batería Nickel-Metal Hidruro se detallan en la Tabla 6.

Las baterías de Nickel-Metal Hidruro debido a su composición no aceptan tasas de cargas bajas o denominadas cargas lentas, su tiempo de carga puede extenderse por horas y se requiere un sistema de temporización y control constante de temperatura para evitar el daño de las mismas. (Buchmann, 2020)

2.6.6 Baterías ion- litio (Li-ion)

Las celdas de Ion- Litio están compuestas por un cátodo formado de óxido de litio metálico (LiMO_2) y un ánodo formado de carbono en forma de grafito de carbono. Durante la carga el litio se libera en forma de ion positivo del óxido de litio metálico y viaja desde el cátodo a través del electrolito hasta el ánodo donde se combina con el electrodo de carbono para formar carbono litiado. El electrolito es una sal de litio que facilita el movimiento del catión Li. Las características típicas de la batería de Ion-Litio se pueden observar en la Tabla 6.

Varios autores han afirmado qué:

Las baterías de Iones de Litio son actualmente la primera opción para fuentes de alimentación para vehículos eléctricos debido a su alta potencia específica, alta densidad de energía, baja tasa de auto descarga y otros excelentes resultados. (Xiong, Sun et al., 2020, p.1)

Tabla 6

Características típicas de baterías usadas en propulsión eléctrica

Batería	Plomo- Ácido	Nickel- Cadmio	Nickel- Metal Hidruro	Ion-Litio
^a Voltaje nominal de celda (V)	2.1	1.2	1.2	3.6
^d Capacidad (Ah)	7-100	12.5-100	6.5-14	4-90
^b Velocidad de Auto- Descarga (%/mes)	5	20	30	3-10
^a Energía Específica (Wh/kg)	30-40	50-80	60-120	120-250
^a Densidad de energía (Wh/l)	100	300	180-220	200-600
^a Potencia Específica (W/kg)	180	200	200-300	200-430
^c Temperatura de carga (°C)	-20 a +50	0 a +45	0 a +45	0 a +45

Batería	Plomo- Ácido	Nickel- Cadmio	Nickel- Metal Hidruro	Ion-Litio
^c Temperatura de descarga (°C)	-20 a +50	-20 a +65	-20 a +65	-20 a +60

Nota: ^a (Vidyanandan, 2019). ^b Liu et al. (2013). ^c Ayob et al. (2017). ^d Young et al. (2013).

Tabla 7

Ventajas y desventajas de baterías usadas en propulsión eléctrica

Batería	Ventaja	Desventaja
^a Plomo- Ácido	Fácil estimación del SoC.	Si no se carga puede producir cristales de plomo los cuales dañan la batería de forma irreversible.
	Buena Retención de carga.	
	Baja resistencia interna.	Requieren mantenimiento periódico.
^b Nickel- Cadmio	Alta corriente de arranque.	
	Alta energía específica	Posee efecto de memoria.
	Sin degradación por carga o descarga profunda.	El cadmio es un elemento tóxico. Problemas para su reciclaje.
^b Nickel- Metal Hidruro	Larga vida útil.	Alta auto-descarga.
	Alta energía específica	Posee efecto de memoria.
	Amplio rango de temperatura de operación.	Debe realizarse ecualización periódica.

Batería	Ventaja	Desventaja
^b Ion-Litio	Las más utilizadas en la actualidad.	Pérdida de vida útil por descargas profundas.
	Alta densidad y energía específica.	Influencia de la temperatura en la vida útil.
	Baja auto-descarga.	Requiere protección para sobrecarga.
	Larga vida útil.	
	Es liviana y pequeña.	

Nota: ^a (Hayes y Abas, 2017). ^b Ayob et al. (2017).

2.7 Mantenimiento de una Batería

Se define a mantenimiento como “Conjunto de operaciones y cuidados necesarios para que instalaciones, edificios, industrias, etc., puedan seguir funcionando adecuadamente” (Real Academia española, s.f., definición 2). Por lo que el mantenimiento de una batería busca prolongar la vida útil de una batería y garantizar que sea capaz de satisfacer sus requisitos para lo cual fue diseñada.

El eje central del mantenimiento de una batería se enfoca en la inspección, que es el punto desde el que se parte para tomar un criterio de acción pertinente de acuerdo al estado de la batería. Las distintas tecnologías de baterías obligan a seguir protocolos de mantenimiento con base a las especificaciones de los fabricantes, muchos de ellos utilizan la medición de la resistencia interna como indicador del estado de la batería, otros utilizan la medición de

gravidad específica del electrolito con el mismo fin; sin embargo, el resultado de dichas mediciones sirve para tomar un criterio en acción referente a la carga de una batería.

2.7.1 Finalidad de las pruebas de mantenimiento

Según el IEEE, (2014), un calendario de pruebas para mantenimiento puede ser usado para determinar si la batería cumple con las especificaciones o a su vez si se encuentra en la clasificación del fabricante. Periódicamente determina si el rendimiento de la batería se encuentra dentro de sus límites aceptables. Determina si las prestaciones de diseño de la batería cumplen con los requisitos del sistema al cual suministra energía. Cuando se graban los datos de prueba, se puede utilizar la estadística para predecir el tiempo restante de batería o fijar una fecha de reemplazo de batería. (p. 6)

2.7.2 Gestión de la batería

Se basa en el control y monitoreo de la cadena energética de la batería a través de los procesos de carga y descarga, con el fin de conseguir un uso óptimo de la energía y minimizar el riesgo de daños que afecten a la vida útil de la batería. A través del monitoreo se obtiene parámetros como el SoC, DoD y SoH que permiten realizar un control de los procesos de carga y descarga. (Bergveld, 2002; Mahmoudzadeh, 2017).

2.7.3 Test de servicio

Se refiere a un test especial de la capacidad de la batería, que determina si aún satisface los requerimientos de su diseño. El test de servicio está completamente ligado a las pruebas de capacidad con base a la descarga de la batería con determinado control de corriente; esto, con el fin de observar cambios a partir de sus prestaciones nominales. (IEEE, 2014). Los indicadores

como el SoC, DoD y SoH permiten realizar un análisis de la edad de la batería, por lo que su determinación permite tomar decisiones en cuanto a su mantenimiento o criterios de reemplazo.

2.7.4 Aceptación de capacidad

Se debe realizar una prueba de aceptación de capacidad de la batería, a través de una prueba de descarga la cual se ejecuta con una tasa de descarga bajo un tiempo específico, ambos parámetros, relacionados con las especificaciones proporcionadas por el fabricante. La capacidad de una batería puede ser menor al 100% al ser entregada, a menos que así lo indique el fabricante. La capacidad inicial de la batería no debe ser menor al 90%, la recuperación de capacidad se dará conforme se realicen ciclos de carga y descarga después de un periodo de operación de flotación; teniendo en cuenta que los criterios de aceptación están ligados a un cálculo ajustado por tiempo y temperatura.

2.7.5 Método de ajuste de tiempo

Este método es utilizado para el cálculo con base al tiempo de descarga versus el tiempo publicado como nominal; incluyendo la influencia de la temperatura de descarga como factor de corrección. Este método es recomendado utilizar para pruebas de 1 hora de duración o más (IEEE, 2014).

El cálculo de la capacidad se realiza por medio de la ecuación:

Ecuación 6

Capacidad en función del tiempo y temperatura

$$C = \frac{I_a}{I_s * K_t} * 100\%$$

Donde:

C = porcentaje de capacidad a 25 °C

I_a = Corriente de descarga real de prueba

I_s = Corriente nominal

K_t = factor de corrección para la temperatura de celda antes de iniciar la prueba

2.7.6 Factor de temperatura

Para el cálculo de la capacidad con base a la tasa de tiempo es necesario aplicar un factor de corrección en función de la temperatura, debido a que ésta, influye en el desempeño de la descarga. Los factores de corrección se detallan en la Tabla 8.

Tabla 8

Factor de corrección en función de la temperatura

Temperatura inicial (°C)	Factor de corrección de temperatura KT
5	0.684
10	0.790
15	0.873
16	0.888

Temperatura inicial (°C)	Factor de corrección de temperatura KT
17	0.902
18	0.916
19	0.929
20	0.942
21	0.954
22	0.966
23	0.977
24	0.986
25	1.000
26	1.006
27	1.015
28	1.025
29	1.036
30	1.045
31	1.054
32	1.063
33	1.072
34	1.081
35	1.090

Temperatura inicial (°C)	Factor de corrección de temperatura KT
40	1.134
45	1.177

Nota: Los fabricantes recomiendan realizar las pruebas en temperaturas entre 15 °C y 32 °C, la tabla fue tomada de IEEE (2014, p. 9).

2.8 Carga de la batería

Según Buchli (2013) afirma que el comportamiento de una batería se puede dividir en dos estados: carga: (Adquisición de energía) y descarga (Liberación de energía). La carga de una batería puede dividirse en varias fases que se generan a partir de condiciones con base al nivel de voltaje y corriente; estas fases se denominan: bulk charging (Carga masiva), absorption charging (Carga de absorción), y float charging (Carga de flotación). Algunos autores hablan también de una fase extra conocida como Ecuilización de carga (pp. 184-185).

2.8.1 Carga masiva

En esta fase, una alta corriente es aplicada de forma constante ocasionando que la carga de la batería aumente hasta alcanzar un voltaje predeterminado el cual depende de la temperatura. Según Mastervolt (2018), en esta fase inicial el cargador suministra su corriente máxima mientras que el voltaje aumenta gradualmente hasta alcanzar el voltaje de carga de absorción equivalente a 18.75% del voltaje nominal. La duración de la fase dependerá de la

capacidad de la batería ya que cuando ésta se encuentre al 80% de su carga, deberá pasar a la siguiente fase, la carga de absorción (p. 219).

La corriente de carga máxima tiene una relación directamente proporcional con la temperatura de carga, es decir, si la corriente aumenta, la temperatura también lo hará. Según Rolls Battery Engineering (2019), la corriente de carga mínima de una batería es igual al $0.1C_{20}$ (10% de su capacidad nominal), mientras que la carga recomendada es de $0.2C_{20}$ (20% de su capacidad nominal en 20 horas). Si se exceden los límites de corriente de carga se podría dañar la batería por sobrecalentamiento. Las baterías de litio pueden ser cargadas a mayor corriente, pero para maximizar su vida útil se recomienda una corriente de carga de hasta $0.3C_{20}$.

Ecuación 7

Tiempo de fase de carga masiva

$$T = \alpha \frac{C_{20}}{I}$$

Dónde:

- T =tiempo
- C_{20} =Capacidad nominal 20Hr
- I = Corriente de carga
- $\alpha = \frac{\% \text{ de tasa de carga}}{\% \text{ de fase}} + 5\% \text{ (pérdidas)} = \frac{0.2}{0.8} + 0.5 = 0.3$

2.8.2 Carga de absorción

Una vez que se ha realizado la carga de la batería hasta el 80% de su capacidad, se inicia la fase de absorción donde la corriente de carga comienza a disminuir hasta llegar a 0.3 amperios y el voltaje de carga se mantendrá constante (18.75% de su voltaje nominal). En esta fase la carga se realizará hasta el 100% de su capacidad. El tiempo de carga de absorción puede ser calculado en función de la corriente de carga equivalente a un porcentaje de su capacidad nominal C_{20} (Rolls Battery Engineering, 2019).

2.8.3 Carga de flotación

Cuando la batería ha sido completamente cargada ingresará a la fase de flotación, el voltaje deberá caer hasta el denominado voltaje de flotación (12.5% de su voltaje nominal) para evitar una sobrecarga en la batería y mantener la carga al 100% hasta que la salida de carga finalice; la corriente permanecerá constante. (Rolls Battery Engineering, 2019; Mastervolt, 2018).

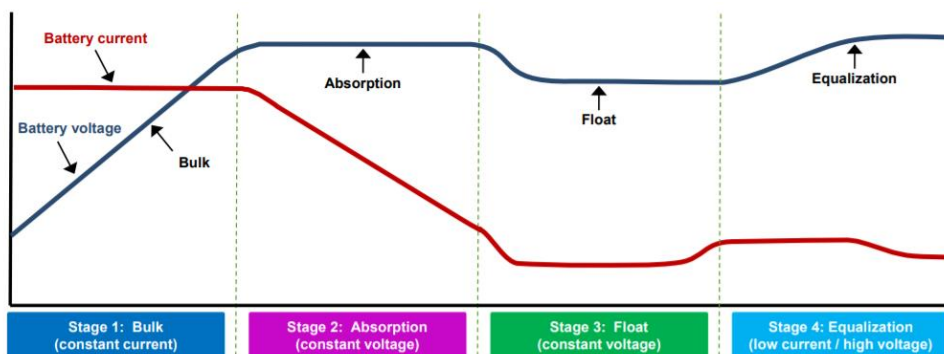
2.8.4 Ecuilibración de la carga

En las baterías de plomo ácido se puede producir un desbalance de carga en las celdas internas, por lo que en ocasiones es necesario realizar una ecuilibración de carga. La ecuilibración de carga se puede realizar incrementando el voltaje de carga y manteniendo la corriente de carga a 0.5 amperios (Chargetek, 2015). La ecuilibración de carga también ayuda a eliminar las pequeñas cantidades de sulfatación acumulada; generalmente se recomienda ecuilibraciones preventivas de 1 a 2 horas cada 30, 60 o 90 días (Rolls Battery Engineering, 2018). En el caso de

las baterías de Litio no se requiere una ecualización dado que un alto voltaje en la fase final de la carga ocasionaría una sobrecarga de la batería. (Buchmann, 2020).

Figura 5

Fases de carga de la batería



Nota: Chargetek (2015). La línea roja representa la corriente en función del tiempo, la línea azul al voltaje en función del tiempo.

2.9 Elementos de control electrónico

En un sistema de carga es necesario disponer de elementos electrónicos que permitan el control de los parámetros que intervienen en el proceso de carga y descarga de la batería, y de igual forma una interfaz que permita la interacción del usuario con dicho control.

2.9.1 Módulo de control

Es un dispositivo electrónico que permite la interacción entre los sensores y actuadores a través de un microcontrolador. El módulo puede estar vinculado a un software para la reprogramación con base a la necesidad de un sistema.

2.9.2 Sensores

Para la medición de parámetros en un sistema se requiere la ayuda de sensores. Un sensor según la RAE (s.f.) es un “dispositivo que detecta una determinada acción externa, temperatura, presión, etc., y la transmite adecuadamente.” (definición 1). Tanto las mediciones de voltaje, corriente y temperatura en un sistema de carga/descarga son importantes para llevar el control de los procesos a realizar.

2.9.3 Protocolo SPI

SPI corresponde a un acrónimo definido como Serial Peripheral Interface; según López (2010) el protocolo SPI es:

Un bus de tres líneas, sobre el cual se transmiten paquetes de información de 8 bits. Cada una de estas tres líneas porta la información entre los diferentes dispositivos conectados al bus. Cada dispositivo conectado al bus puede actuar como transmisor y receptor al mismo tiempo, por lo que este tipo de comunicación serial es full duplex. Dos de estas líneas transfieren los datos (una en cada dirección) y la tercer línea es la del reloj (p. 1)

2.9.4 Convertidor de voltaje

Se refiere a un dispositivo que convierte un voltaje de corriente continua a un valor distinto de voltaje de corriente continua. Se puede utilizar para elevar el valor del voltaje (Step Up) o para reducir el valor de voltaje (Step Down).

2.9.5 *Software de control*

Se refiere a la interface que permite la interacción entre el módulo de control y el usuario. Se basa en la programación para determinar, analizar y gestionar los parámetros de entrada y salida de un sistema dentro de un protocolo informático asistido por un computador.

Capítulo III

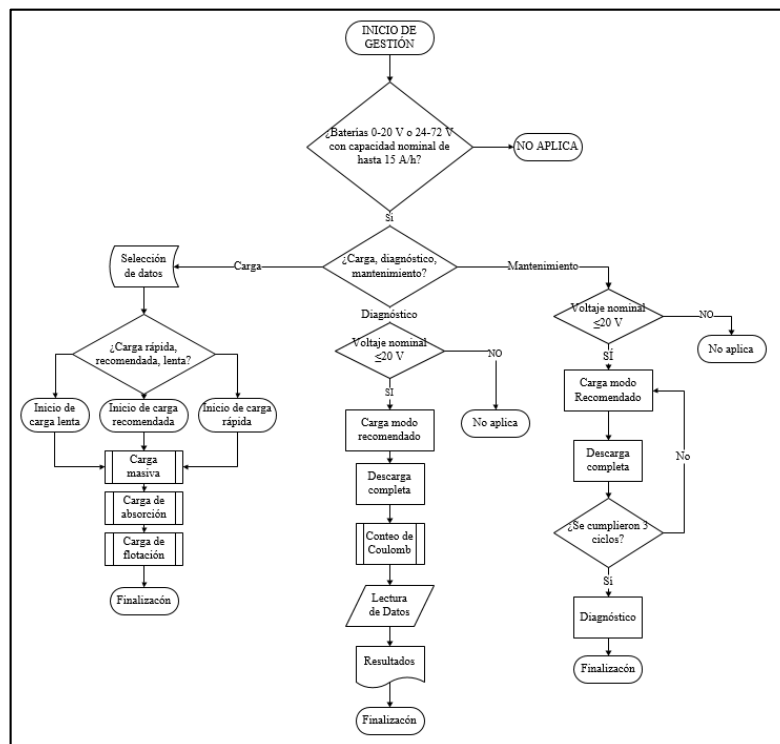
3. Diseño y Construcción

3.1 Características generales del sistema

El sistema está dividido en tres fases de operación, fase de carga, fase de mantenimiento y diagnóstico de la batería. Los parámetros de control pueden variar entre fases debido a que en la fase de mantenimiento se realizarán ciclos completos, es decir ciclos de carga y descarga. Además, el sistema está diseñado para realizar gestiones en baterías de 0 a 20 V y de 24 a 72 V; de 0 a 15 A/h en su capacidad nominal.

Figura 6

Diagrama de bloques del sistema de gestión



3.2 Requerimientos del sistema de carga

Los parámetros que serán controlados y medidos a través del sistema se dividen en 3 ítems:

- Voltaje
- Intensidad de Corriente
- Temperatura

Todos en función del tiempo y el estado de carga de la batería. Es por ello que se necesitan valores límites de estos parámetros en cuanto a la carga y descarga de la batería en sus distintos modos de operación. Estos valores serán predeterminados para cada fase de carga en la batería y según el modo de carga de la batería.

3.3 Voltaje máximo de carga

Debido al incremento porcentual del voltaje de carga en la fase de Absorción, se tiene como condiciones el voltaje máximo permitido en el rango de operación, y su voltaje de absorción, dando como resultado:

Ecuación 8

Ecuación de voltaje máximo

$$V_{max} = 118.25\% * V_{rmax}$$

Dónde:

- V_{max} = Voltaje máximo
- V_{rmax} = Voltaje de rango máximo

Sustituyendo:

$$V_{ma} = 118.25\% * V_{rmax}$$

$$V_{max} = 118.25\% * 72 V$$

$$V_{max} = 85.14 V$$

3.4 Corriente máxima de carga

En la fase de carga masiva, se tiene la corriente máxima de carga según el rango de operación, tomando en cuenta que el valor más alto de tasa de carga de corriente corresponde al modo de operación de Carga Rápida ($0.2 C_{20}$), se obtiene:

Ecuación 9

Ecuación de corriente máxima

$$Q_{max} = 20\% * C_{rmax}$$

Dónde:

Q_{max} = Corriente máxima

- C_{max} = Capacidad nominal máxima

Sustituyendo:

$$Q_{max} = 20\% * C_{max}$$

$$Q_{max} = 20\% * 20 A/h$$

$$Q_{max} = 4 A/h$$

La tasa de corriente de carga corresponde a 4 A.

3.5 Potencia de carga

Para la determinación de la potencia de carga del sistema de gestión se utilizó la ecuación:

$$P = V * I$$

Donde:

- P = Potencia
- V = Voltaje
- I = Corriente

La potencia dependerá de las características de carga y sus valores de voltaje en los rangos de 0-20 Volts y 24-72 Volts, con una corriente nominal máxima de 15 A/h. Se obtiene una potencia máxima del sistema de:

Ecuación 10

Ecuación de potencia máxima

$$P_{max} = V_{max} * Q_{max}$$

$$P_{max} = 85.14 V * 3 A$$

$$P_{max} = 255.42 Watts$$

3.6 Modos de carga

Se han establecido tres modos de carga de la batería con base al tiempo de carga, el cuál será modificado a través de la cantidad de corriente que ingrese en la fase de carga masiva.

Los tres modos son:

- Carga Lenta
- Carga Recomendada
- Carga Rápida

3.7 Fases de carga

La carga completa de la batería se la realizará a través de 4 fases de carga en las cuales se varía los parámetros de voltaje y corriente, manteniendo un control de temperatura y tiempo. Las fases de carga están divididas en:

- Carga Masiva
- Carga de Absorción
- Carga de Flotación
- Ecuilización

3.8 Carga masiva

Para la carga masiva se interactúa con el control de corriente y el control de voltaje. Para la corriente se tiene un valor máximo constante el cual se ha establecido según el 10% de su capacidad nominal en 20 horas ($0.1C_{20}$) para carga lenta, el 15% de su capacidad nominal en 20 horas ($0.15C_{20}$) para carga recomendada y el 20% de su capacidad nominal en 20 horas ($0.2C_{20}$) para carga rápida.

El voltaje partirá desde el estado inicial en el que comience la carga de la batería y se incrementará hasta llegar al voltaje de absorción cuando la batería alcance el 80% de su estado de carga. La temperatura de operación de esta fase será de 25°C.

Tabla 9

Valores predeterminados en carga masiva de carga lenta, recomendada y rápida

Parámetro	Estado	Valor	Fin de la fase
Corriente	Constante	Carga Lenta: $0.1C_{20}$	80% de SoC
		Carga Recomendada: $0.15C_{20}$	
		Carga Rápida: $0.2C_{20}$	
Voltaje	Ascendente	Desde Valor inicial	Hasta Voltaje de absorción
		Temperatura	Variable

3.9 Carga de Absorción

En la fase de absorción el voltaje se determina a partir del incremento del 18.25% de su voltaje nominal y se mantendrá constante hasta alcanzar la fase de flotación al completar el 100% de su estado de carga. Esta medición se realiza en base al tiempo aplicando la Ecuación 7. La corriente comienza su descenso hasta alcanzar su valor mínimo el cual corresponde a 0.5 A.

Tabla 10

Valores predeterminados en carga de absorción para los tres modos de carga

Parámetro	Estado	Valor	Fin de la fase
Corriente	Decreciente	Hasta 0.3 Amperios	
Voltaje	Constante	18.25% más de su Voltaje nominal	100% de SoC
Temperatura	Variable	25°C-32°C	

3.10 Carga de flotación

En la fase de carga de flotación se aplicará un voltaje aumentado en 12.5% de su voltaje nominal mientras que la corriente se conservará en un valor de 0.5 A hasta que se retire la batería del cargador o se inicie un proceso de descarga.

Tabla 11

Valores predeterminados en carga de flotación para los tres modos de carga

Parámetro	Estado	Valor	Fin de la fase
Corriente	Constante	0.5 A	
Voltaje	Constante	12.5% más de su voltaje nominal	Aplicación de descarga en la batería
Temperatura	Variable	25°C-32°C	

3.11 Requerimientos de la gestión de mantenimiento

La gestión de mantenimiento consiste en 3 ciclos de carga y descarga de la batería con una pausa de 10 minutos entre cada ciclo de carga y descarga. La fase de carga se las realizará utilizando el modo de carga rápido.

3.11.1 Fase de descarga

Se descargará a la batería mediante un consumidor de corriente variable, hasta que la batería alcance el voltaje de corte correspondiente al 40% del voltaje nominal.

3.12 Requerimiento de la gestión de diagnóstico

La gestión de diagnóstico se centra en el cálculo del SoH (State of Health) a través del método Coulomb Counting. Se ha colocado sensores de corriente para obtener los datos en tiempo real 10 veces por segundo; e integra la corriente en función del tiempo para determinar la capacidad real de la batería y compararla con su capacidad nominal.

3.13 Selección de componentes electrónicos

3.13.1 Arduino nano

Se utilizó este controlador para realizar las lecturas y la administración de datos de corriente, voltaje y temperatura en el sistema de gestión de la batería.

Figura 7*Arduino nano***Tabla 12***Características arduino nano*

Descripción	Valor
Microcontrolador Arduino	ATmega328
Arquitectura	AVR
Voltaje de operación	5 V
Memoria flash	32 KB de los cuales 2 KB/ bootloader
SRAM	2 KB
Velocidad del reloj	16 MHz
Pines de E/S analógicas	8
EEPROM	1 KB
Corriente continua por pin entrada salida	40 mA (Pines de E/S)
Voltaje de entrada	7-12 V

Descripción	Valor
Pines de E/S digitales	22
Salida PWM	6
Consumo de energía	19 mA

Nota: Tomado de Arduino, (2021).

3.13.2 Módulo de relés

Se utilizó un módulo relé de 5v y 8 canales, con el fin de controlar el encendido y el apagado del circuito de potencia en el sistema de gestión de la batería.

Figura 8

Módulo de relés

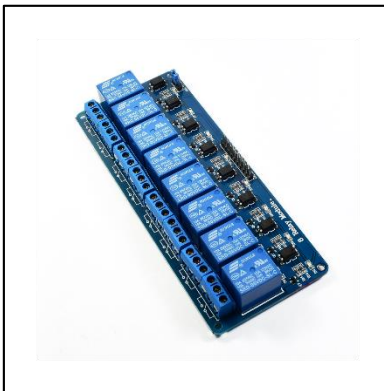


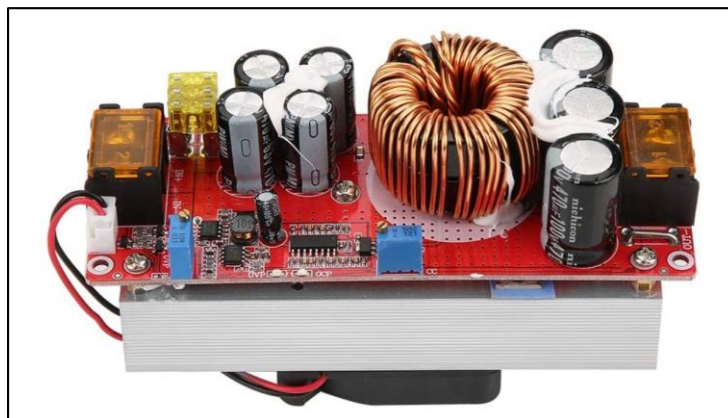
Tabla 13*Características del módulo relé*

Descripción	Valor
Voltaje de Operación	5V DC
Señal de Control	TTL (3.3V o 5V)
Nº de Relés (canales)	8
Modelo Relé:	SRD-05VDC-SL-C
Capacidad máx:	10A/250VAC, 10A/30VDC
Corriente máx:	10A (NO), 5A (NC)
Tiempo de acción	10 ms/ 5 ms

Nota: Tomado de Arduino, (2021).

3.13.3 Módulo step up 10-60 voltios a 12-97 voltios 30 amperios

Se utilizó un módulo elevador de voltaje de corriente directa para suministrar el voltaje y corriente necesaria para realizar la carga de la batería, este módulo permite la variación de corriente y voltaje según los requerimientos del controlador, el cual está directamente conectado a los potenciómetros digitales del sistema. Se utilizó este módulo para las gestiones de cargas en el rango de 24 a 72 volts.

Figura 9*Módulo Step Up*

Sus características técnicas se detallan a continuación:

Tabla 14*Especificaciones técnicas módulo step up*

Descripción	Valor
Potencia	1500 Watts
Voltaje de entrada	10-60 Voltios
Voltaje de salida	12-97 Voltios
Corriente de entrada máxima	35 Amperios
Rango de corriente constante	0,8-22 A (+/-0,3 A)
Eficiencia de conversión	92-97%
Frecuencia	150 KHz

3.13.4 Módulo step down 24-2 V 10 A

Se utilizó un módulo reductor de voltaje de corriente directa para suministrar el voltaje y corriente necesaria para realizar la carga de la batería de bajo voltaje, este módulo permite la variación de corriente y voltaje según los requerimientos del controlador, el módulo es requerido para las gestiones de cargas en el rango de 2 a 20 volts.

Figura 10

Módulo Step Down

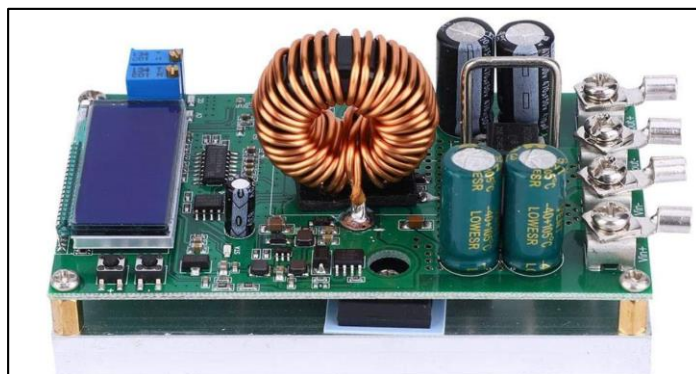


Tabla 15

Especificaciones técnicas del módulos step down

Descripción	Valor
Potencia	240 Watts
Voltaje de entrada	24 Voltios
Voltaje de salida	2-24 Voltios
Corriente de entrada máxima	10 Amperios

3.13.5 Fuente de alimentación AC/DC

Se utilizaron 3 fuentes para la conversión de corriente alterna de 110/220 V a corriente directa de 5, 12 y 24 voltios.

Tabla 16

Fuentes de alimentación en el sistema

Ord. Fuente	Voltaje de entrada	Voltaje de salida DC	Corriente de salida
	AC (V)	(V)	(A)
1	110/220	5	1.5
2	110/220	12	1.5
3	110/220	24	20

3.13.6 Relés de alta potencia

Figura 11

Relés-SDLH 12 CDC-1C



Se utilizó relés de alta potencia con el fin de controlar la activación de los módulos DC-DC, así como para tener un control del modo de gestión de la batería, es decir en su fase de carga y descarga. Las especificaciones de dichos relés se los detalla en la siguiente tabla:

Tabla 17

Especificaciones relés de alta potencia

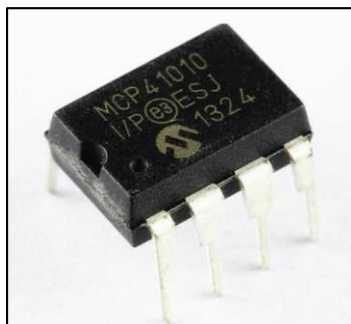
Descripción	Valor
Caída de voltaje	≤ 200 mV
Corriente nominal	1.6
Voltaje de conmutación máximo	50 VDC
Corriente de conmutación máxima	70 A (Resistivo 14VDC)
Carga mínima de contacto	1 A 6 VDC
Caída de voltaje	≤ 200 mV

3.13.7 Potenciómetros MCP41010

Se utilizó 2 potenciómetros digitales para el control del voltaje y corriente de los módulos Step Up y Step Down en la fase de carga de la batería. Posee una resistencia de 10 K Ω y cuenta con una resolución de 256 pasos; una interface serial SPI en modos 1,1 y 0,0. Los potenciómetros forman parte del circuito de control comandado por el Arduino Nano.

Figura 12

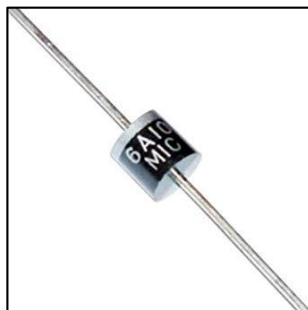
Potenciómetro MCP41010



3.13.8 Diodos de protección

Figura 13

Diodo 6A10MIC



Se utiliza un diodo de protección en cada salida de los módulos DC-DC, debido a que se requiere un paso unidireccional de la corriente desde el módulo hasta la batería; esto permite que la corriente almacenada en el acumulador no produzca un cortocircuito en el módulo DC-DC.

El diodo utilizado es el modelo 6A10MIC, cuyas características se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 18

Características del diodo 6A10MC

Voltaje inverso pico máximo repetitivo	1000 Volts
Voltaje RMS máximo	700 Volts
Voltaje máximo de bloqueo de DC	1000 Volts
Corriente rectificadora directa media máxima	6.0 Amps

Nota: Tomado de MIC, (2020).

3.13.9 Cables

Para el cálculo de los cables adecuados en las conexiones del sistema se utilizó la siguiente tabla, proporcionada por Mastervolt, (2018):

Tabla 19

Diámetro por selección de cables

Conductor Diámetro (mm ²)	Corriente acc. Regla de tres CC (A)	Corriente acc. Regla de Tres CA (A)	American Wire Gauge AWG
0.5	1.5-2	3-4	20
0.75	2-3	4-6	18

Conductor Diámetro (mm²)	Corriente acc. Regla de tres CC (A)	Corriente acc. Regla de Tres CA (A)	American Wire Gauge AWG
1	3-4	6-8	16
1.5	4.5-6	9-12	15
2.5	7.5-10	15-20	13
4	12-16	24-32	11
6	18-24	36-48	9
10	30-40	60-80	7
16	48-64	96-128	5
25	75-100	-	3
35	105-40	-	2
50	150-200	-	0
70	210-280	-	2/0
95	285-380	-	2/4

Debido a que la carga será variable en cuanto al voltaje y la corriente dependiendo los valores nominales de la batería, se ha considerado los valores máximos permitidos en el sistema de gestión, dando como resultado la selección de cables con sección 1 mm² del tipo 16 AWG.

3.13.10 Ventiladores

Se utilizó 2 ventiladores para la disipación de calor, uno en el circuito de potencia, y otro en la zona de carga de baterías. La activación de los ventiladores se lo realiza por medio del controlador central.

Figura 14

Ventilador

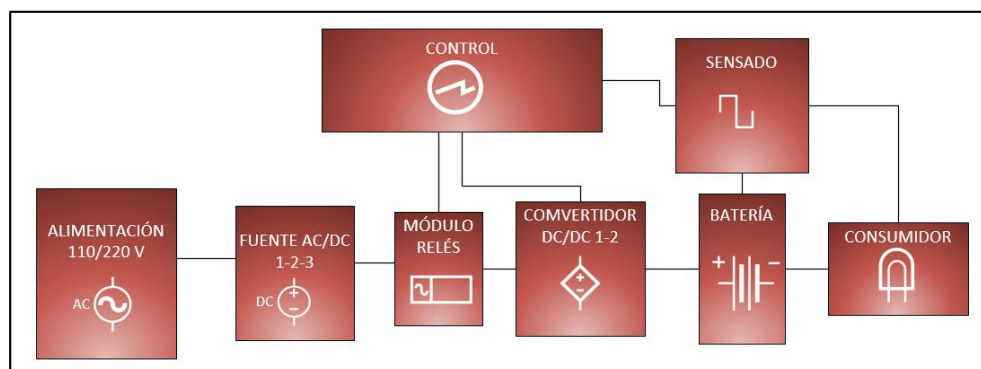


3.14 Análisis de circuitos electrónicos

3.14.1 Esquema general del sistema

Figura 15

Esquema general del sistema

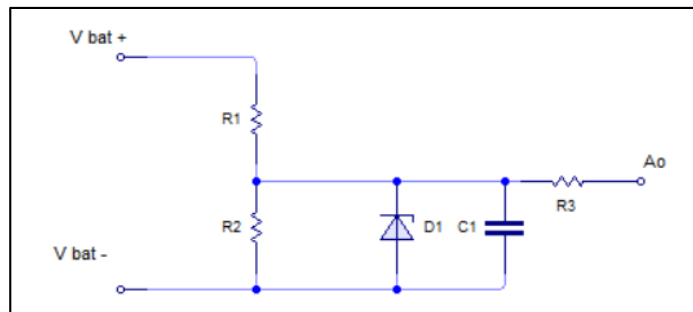


Nota: El esquema presentado muestra las secciones del sistema de gestión de la batería de forma general.

3.14.2 Voltímetro

Figura 16

Circuito de sensado de voltaje



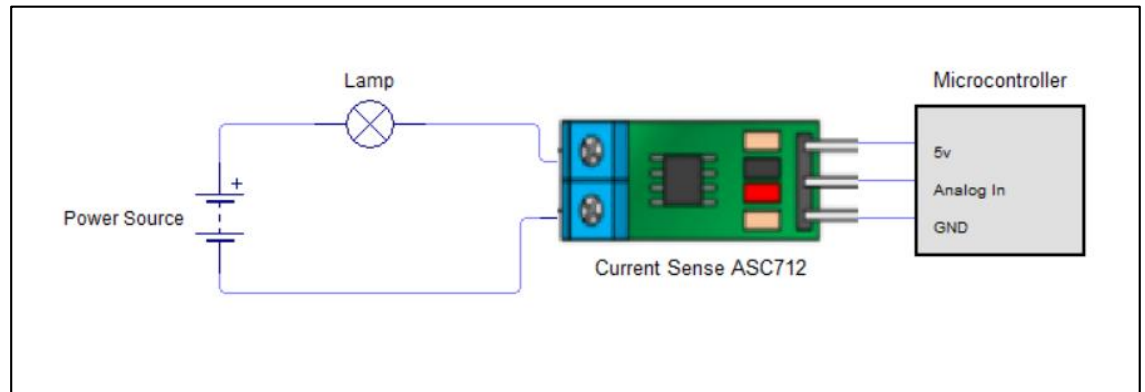
Nota: El voltímetro está basado en la conexión de un divisor de tensión.

Se utiliza un divisor de voltaje para enviar 5 voltios al ADC del arduino y generar una relación lineal de voltaje de entrada y voltaje de salida del divisor. Este circuito permite obtener la lectura de tensión en la batería.

3.14.3 Amperímetro

Figura 17

Conexión del circuito de sensado de corriente



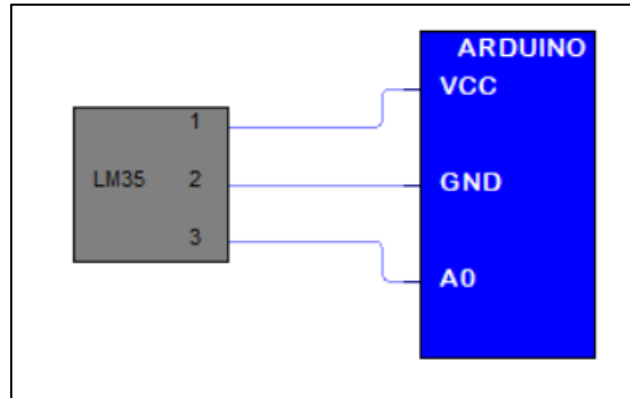
Nota: Se utiliza un sensor de corriente ASC712 para arduino.

Este circuito permite tener la lectura en tiempo real de la corriente suministrada y extraída de la batería, según sea el modo de operación del sistema (carga o descarga).

3.14.4 Termómetro

Figura 18

Conexión del circuito de sensado de temperatura



Nota: Conexión con base al sensor LM35.

El sensor LM35 permite una lectura de entre -55°C y 150°C , a su salida genera una señal de voltaje analógico según el nivel de temperatura de captación. La conexión de este sensor en arduino está detallada en la Figura 8; para la transformación de su salida analógica a digital se utiliza la siguiente ecuación:

Ecuación 11

Ecuación de temperatura para el sensor LM35

$$T = Valor * 5 * \frac{100}{1024}$$

Donde:

T= Temperatura

Valor= Lectura analógica

En el caso del presente proyecto se suprime la transformación analógica-digital de arduino dado que el software de programación realiza el cálculo en su sistema. La ecuación queda de la siguiente manera:

Ecuación 12

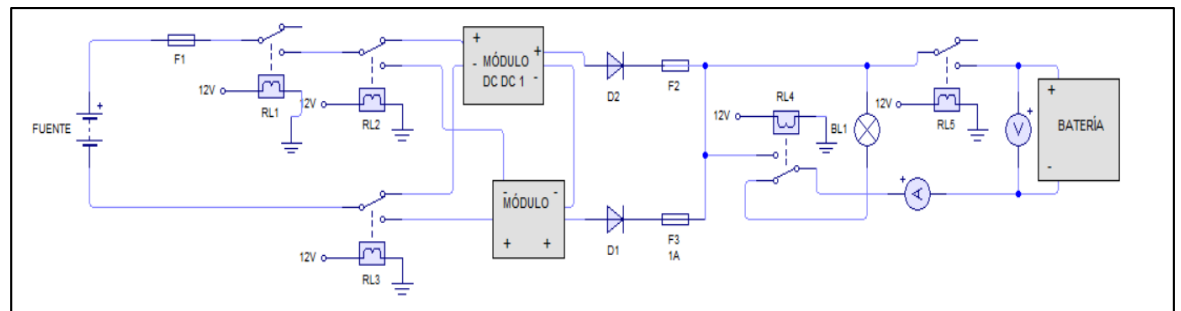
Ecuación final para la lectura de temperatura

$$T = Valor * 100$$

3.15 Circuito de Potencia

Figura 19

Circuito de Potencia Carga y Descarga

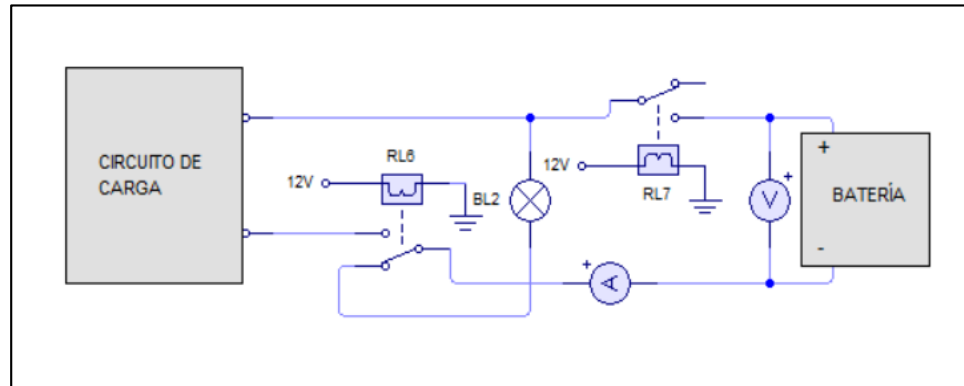


El sistema de gestión está construido para realizar ciclos de carga, diagnóstico y mantenimientos de baterías en un rango de voltaje nominal de 0-20v y 24-72v, con una capacidad nominal máxima de 15 A/h, se utilizan dos fuentes de voltaje, la una fuente de 24 voltios alimenta el módulo step-up, mientras que la fuente de 12 voltios alimenta el módulo step-down. Se realiza la activación y desactivación de cada módulo según requiera el rango de

carga, mediante relés de alta potencia. El sistema de gestión de la batería tiene una potencia máxima de 255.42 Watts (en su fase de carga).

Figura 20

Circuito de descarga

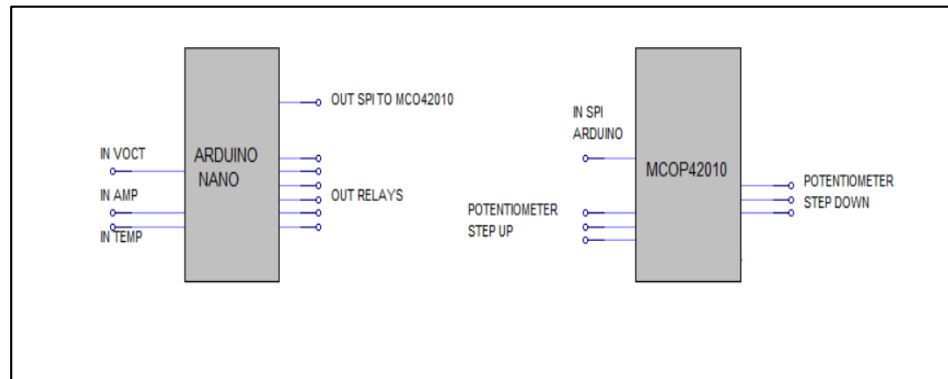


En la fase de descarga se utiliza un consumidor, un voltímetro y un amperímetro para tener la lectura de la corriente extraída. El sistema cuenta dicha corriente a través de una integración de la misma en función del tiempo; una vez determinado el valor de la corriente extraída se calcula el SoH en función de su capacidad nominal, dando como resultado un valor porcentual mostrado en la interfaz gráfica de control y resultados. La selección del proceso de carga o descarga se lo realiza mediante un relé de potencia.

3.16 Circuito de control

Figura 21

Circuito de control carga y descarga



Para el control del sistema se ha utilizado el controlador Arduino nano, el protocolo SPI y 2 potenciómetros, los cuales en la fase de carga permitirán tener control del paso de voltaje y corriente según se requiera en la fase de carga, al igual de un voltímetro y un amperímetro que registrarán la lectura de corriente y voltaje, tanto de ingreso (carga) y salida (descarga) de la batería. Las activaciones de modos de operación del sistema de gestión se realizan mediante una interfaz gráfica en una computadora.

3.17 Interfaz de control (gráficas)

El interfaz de control se lo realizó mediante un software de programación en bloque. Este programa permite tener la lectura en tiempo real de los valores de corriente, voltaje y temperatura. En el interfaz de control, el usuario puede ingresar los valores de voltajes y corriente nominales de la batería, para que mediante la programación del sistema se generen los datos para su gestión. Los rangos de voltaje nominal en la gestión las baterías van desde 0 a

20 voltios y de 24 a 72 voltios; en cuanto a la corriente nominal se tiene un rango de 0 a 20 Amperios/hora. Se selecciona el puerto de comunicación en la computadora para poder ejecutar el programa. Según el proceso seleccionado ya sea carga, diagnóstico o mantenimiento al final se mostrará un mensaje de finalización y resultados.

Figura 22

Interfaz de control para el usuario



3.18 Características técnicas del sistema de gestión de la batería

Tabla 20

Características técnicas del sistema de gestión de la batería

Potencia Máxima	255.42 W	
Voltaje de salida máximo	86.4 V	
Corriente de carga máximo	3 A	
Modos de operación	Carga/ Diagnóstico/ Mantenimiento	
Modos de Carga	Rápido- Recomendado- Lento	
Baterías admisibles	De 0 a 20 V (Voltaje nominal)	De 24 a 72 V (Voltaje Nominal)
	De 0 a 15 A/h (Capacidad Nominal)	

Nota: Dichas especificaciones técnicas han sido elaboradas en función a los límites de rango en cuanto a voltaje y corriente admisibles de baterías.

Capítulo IV

4. Pruebas y resultados

4.1 Protocolo de pruebas

1. Aplicación del protocolo de uso según el “Manual de Uso” presentado como anexo en esta investigación.
2. Conexión de bornes de carga al módulo de batería requerido.
3. Configuración de parámetros en interfaz de usuario.
4. Selección de modo de operación en el software de control.
5. Inicio de Prueba.
6. Toma de datos por minuto/ 5 minutos (de ser el caso) de corriente y voltaje.
7. Comprobación de datos mostrados en la gráfica de control vs medidores analógicos.
8. Tiempo de reposo entre pruebas, sugerido 1 hora.
9. Repetición del proceso para cada prueba.

Nota: El manual de uso del sistema de gestión de baterías se encuentra adjunto en el Anexo 1.

4.2 Pruebas de carga rápida

4.2.1 Prueba de carga módulo 1 R1

Tabla 21

Prueba de carga rápida batería 7.6 V-6.5 A/h

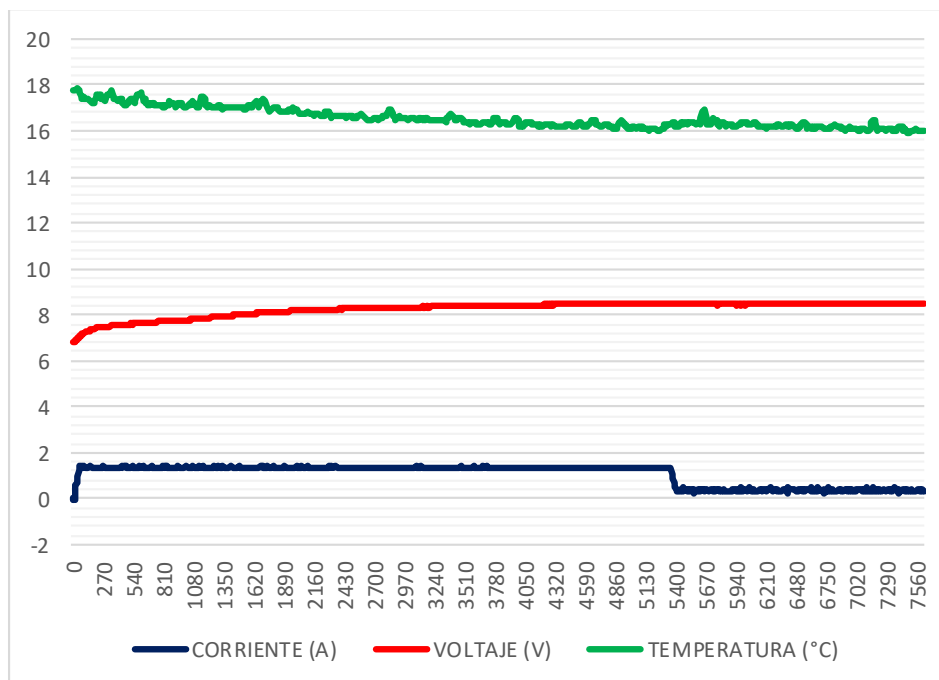
TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)	CORRIENTE (A)	VOLTAJE (V)
0	17,7926	0,00934505	6,81196
5	17,4565	1,38373	7,46971
10	17,0798	1,39586	7,63315
15	17,0664	1,361	7,73675
20	17,6367	1,36613	7,84323
25	17,017	1,35085	8,01084
30	17,156	1,39726	8,11695
35	16,8549	1,35864	8,21236
40	16,7469	1,37973	8,25556
45	16,8035	1,35027	8,309
50	16,5236	1,37283	8,32375
55	16,5153	1,36666	8,36249
60	16,5311	1,38982	8,4036
65	16,2928	1,36653	8,40922
70	16,3573	1,36678	8,41671
75	16,1248	1,37543	8,46288
80	16,1828	1,37468	8,48896
85	16,1639	1,36594	8,5033
90	16,0204	1,36763	8,50458
95	16,1925	0,344334	8,46401

TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)	CORRIENTE (A)	VOLTAJE (V)
100	16,2403	0,325449	8,4534
105	16,1517	0,442223	8,4443
110	16,2426	0,401424	8,45838
115	16,2619	0,380545	8,46964
120	15,9074	0,28194	8,47901
125	15,8719	0,411854	8,47689

Nota: Los datos presentados en esta tabla han sido seleccionados cada 5 minutos, mientras que en la prueba 1 del archivo digital adjunto se encuentran los datos completos de la prueba de carga módulo 1 R1 Batería 7.6 V-6.5 A/h tomados cada 10 segundos.

Figura 23

Voltaje/corriente/temperatura vs tiempo carga rápida batería 7.2 V-6.5 A/h



Nota: Las curvas de la gráfica presentada corresponden a los valores completos tomados cada 10 segundos, mostrados en la prueba 1 del archivo digital adjunto.

La gestión de carga comienza con un voltaje de 6.8 V e inicia su ascenso al 118.25% de su capacidad nominal equivalente a 8.5 V (carga masiva), este proceso lo realiza en un tiempo de 1 hora, 22 minutos 10 segundos. Se mantiene en ese periodo (absorción) por un tiempo correspondiente a 8 minutos, después de ello empieza su descenso al voltaje de flotación el cual termina en un valor de voltaje 8.43 V durante 27 minutos. La carga se realiza en un periodo de 2 horas, 7 minutos.

La corriente tiene un valor inicial de 0.93 A, pero al cabo de 5 min se encuentra en su fase de carga masiva, correspondiente a 1.3 A en un tiempo de 1 hora 34 minutos y 36 segundos, después de este instante la corriente comienza su descenso (absorción) a 0.3 amperios en 1 minuto, de aquí en adelante se mantiene constante (flotación) con pequeñas variaciones de 0.1 amperios en repetidas ocasiones.

La temperatura se mantiene estable durante todo el proceso de carga, oscila entre los 15.8 °C y los 17.9 °C

4.2.2 Prueba de carga módulo 1 R2

Tabla 22

Prueba de carga rápida batería 9.6 v-6.5 A/h

TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)	CORRIENTE (A)	VOLTAJE (V)
0	13,3926	0,164797	10,6856
1	13,2363	1,37224	10,7523
2	13,1984	1,36836	10,7928
3	13,0932	1,365	10,8691
4	13,6453	1,36238	10,8938
5	13,3277	1,36161	10,9621
6	13,0943	1,35902	10,9797
7	13,0998	1,35157	11,0154
8	13,1168	1,36168	11,0634

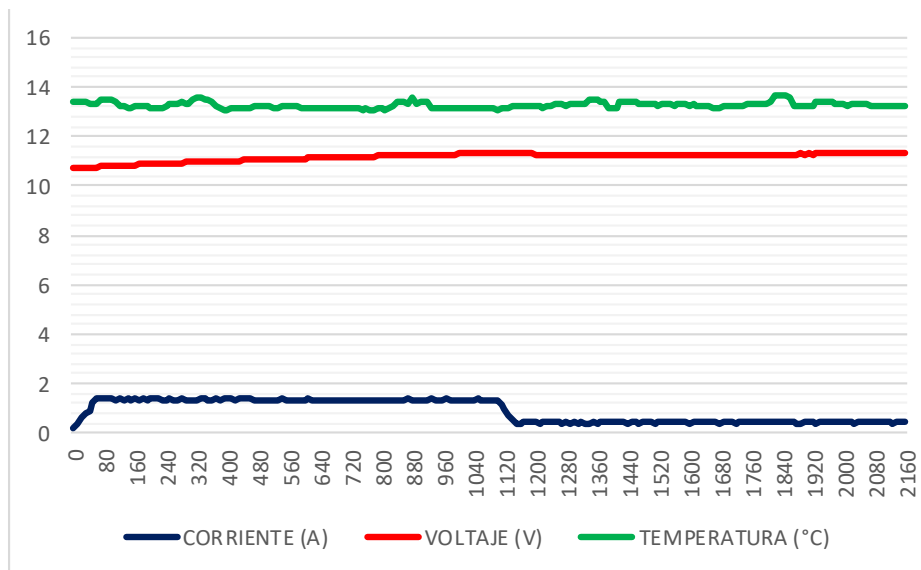
TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)	CORRIENTE (A)	VOLTAJE (V)
9	13,4917	1,36888	11,0816
10	13,0762	1,35351	11,1038
11	13,2432	1,36081	11,1627
12	13,1136	1,35097	11,1703
13	13,0738	1,35514	11,1956
14	14,0346	1,36011	11,2436
15	13,2301	1,35476	11,2611
16	13,12	1,35692	11,2745
17	13,0937	1,3535	11,292
18	13,1083	1,34902	11,3451
19	13,3938	0,517096	11,3299
20	13,3058	0,415628	11,2829
21	13,2215	0,423122	11,2785
22	13,3666	0,415764	11,268
23	13,1883	0,426764	11,2697
24	13,1585	0,408084	11,2707
25	13,344	0,417518	11,2711
26	13,1363	0,414194	11,2751
27	13,2458	0,41728	11,2747
28	13,2295	0,412385	11,2742

TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)	CORRIENTE (A)	VOLTAJE (V)
29	13,2277	0,419899	11,2794
30	13,2646	0,416156	11,2787
31	13,223	0,417937	11,2843
32	13,1581	0,421857	11,2803
33	13,1771	0,413984	11,2976
34	13,3292	0,4201	11,2972
35	13,1379	0,415998	11,3132
36	13,3701	0,415113	11,323

Nota: Los datos presentados en esta tabla han sido seleccionados cada 1 minuto, mientras que en la prueba 2 del archivo digital adjunto se encuentran los datos completos de la prueba de carga módulo 1 R2 Batería 9.6 V-6.5 A/h tomados cada 10 segundos.

Figura 24

Temperatura/voltaje/corriente vs tiempo carga rápida batería 9.6 V-6.5 A/h



Nota: Las curvas de la gráfica presentada corresponden a los valores completos tomados cada 10 segundos, mostrados en la prueba 2 del archivo digital adjunto.

El voltaje comienza su carga en 10.68 V asciende a 11.3 V (carga masiva), este proceso lo realiza en un tiempo de 16 minutos con 40 segundos. Se mantiene en ese periodo (absorción) por un tiempo correspondiente a 2 minutos 20 segundos, el voltaje desciende a su valor de flotación el cual termina en un valor de voltaje correspondiente a 11.2 V durante 17 minutos. La carga se realiza en un periodo de 36 minutos.

La corriente tiene un valor inicial de 0.16 A, pero al cabo de 5 min se encuentra en su fase de carga masiva, equivalente a 1.3 A en un tiempo de 13 minutos y 40 segundos, después de este instante la corriente comienza su descenso (absorción) a 0.4 amperios en 1 minuto 40

segundos, de aquí en adelante se mantiene constante (flotación) con pequeñas variaciones de 0.01 amperios en repetidas ocasiones.

La temperatura se mantiene estable durante todo el proceso de carga en los 13°.

4.2.3 Prueba de carga módulo 2 R1

Tabla 23

Prueba de carga rápida batería 43.2 V-6.5 A/h

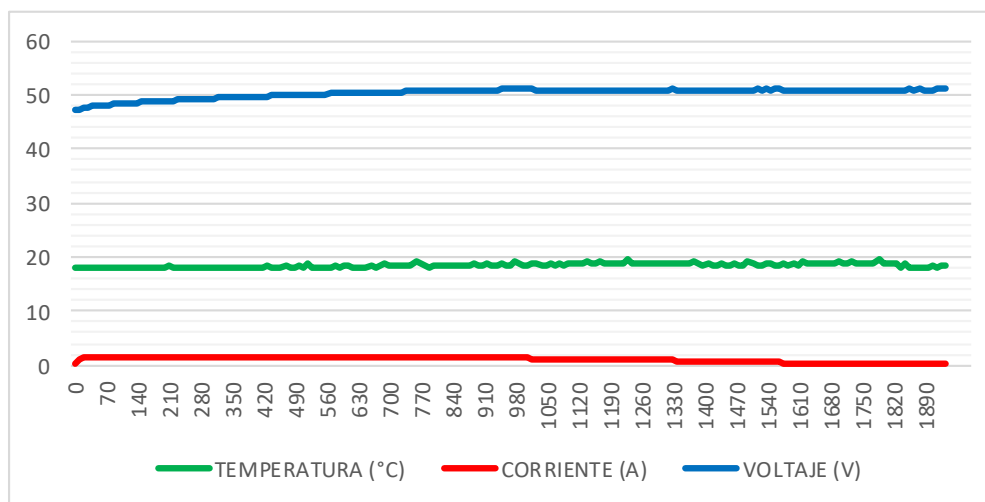
TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)	CORRIENTE (A)	VOLTAJE (V)
0	17,8859	0,253334	47,0302
60	18,1075	1,52642	48,0199
120	18,2181	1,51349	48,439
180	18,1801	1,50319	48,7592
240	17,9718	1,50494	49,0533
300	18,0999	1,49802	49,2999
360	18,0208	1,49883	49,5372
420	18,0693	1,49616	49,7342
480	18,1523	1,51022	49,9369
540	18,1583	1,50709	50,0887
600	18,2995	1,48925	50,2501
660	18,3203	1,48156	50,3856
720	18,39	1,5	50,5366

TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)	CORRIENTE (A)	VOLTAJE (V)
780	18,3731	1,49131	50,6579
840	18,3996	1,49061	50,7714
900	18,5716	1,49017	50,8742
960	18,461	1,5065	51,0036
1020	18,6287	1,02989	50,9724
1080	18,6377	0,891368	50,8526
1140	19,1059	0,893744	50,8472
1200	18,7807	0,89716	50,8903
1260	18,8244	0,875324	50,9227
1320	18,856	0,872779	50,9618
1380	19,0485	0,687963	50,916
1440	18,8278	0,675494	50,9223
1500	19,1302	0,701854	50,9532
1560	18,5502	0,698822	50,9682
1620	19,1182	0,38672	50,8915
1680	18,8897	0,412825	50,8971
1740	18,9551	0,394535	50,9104
1800	18,8397	0,39391	50,9533
1860	18,1003	0,402074	50,9665
1920	18,2059	0,406812	50,9741

Nota: Los datos presentados en esta tabla han sido seleccionados cada minuto, mientras que en la prueba 3 del archivo digital adjunto se encuentran los datos completos de la prueba de carga módulo 2 R1 Batería 43.2 V-6.5 A/h tomados cada 10 segundos.

Figura 25

Voltaje/corriente/temperatura vs tiempo carga rápida batería 43.2 V-6.5 A/h



Nota: Las curvas de la gráfica presentada corresponden a los valores completos tomados cada 10 segundos, mostrados en la prueba 3 del archivo digital adjunto.

La gestión de carga comienza con un voltaje de 47.03 V e inicia su ascenso al 118.25% de su capacidad nominal equivalente a 51 V (carga masiva), este proceso lo realiza en un tiempo de 16 minutos. Se mantiene en ese periodo (absorción) por un tiempo correspondiente a 1 minuto, después de ello empieza su descenso al voltaje de flotación el cual termina en un valor de voltaje de 50.9 V durante 15 minutos. La carga se realiza en un periodo de 32 min, 20 segundos.

La corriente tiene un valor inicial de 0.25 A, pero al cabo de 10 segundos se incrementa a 1,5 A, y se mantiene durante 17 minutos, después de este instante la corriente comienza su

descenso (absorción) a 0.39 amperios en 9 minutos 50 segundos, de aquí en adelante se mantiene constante (flotación) con pequeñas variaciones de 0.03 amperios en repetidas ocasiones.

La temperatura se mantiene estable durante todo el proceso de carga, oscila entre los 17 °C y los 18 °C

4.3 Pruebas de carga media

4.3.1 Prueba de carga módulo 1 M1

Tabla 24

Prueba de Carga Media Batería 7.2 V-6.5 A/h

TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)	CORRIENTE (A)	VOLTAJE (V)
0	15,561	0,0157153	7,94424
1	15,3895	1,07397	7,73363
2	15,1498	1,07875	7,79418
3	15,2645	1,06579	7,84128
4	14,984	1,06957	7,92368
5	15,1048	1,07716	7,96398
6	15,0929	1,08281	8,0222
7	15,3862	1,07615	8,0471
8	15,0877	1,07059	8,09969
9	15,0881	1,07805	8,12291

TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)	CORRIENTE (A)	VOLTAJE (V)
10	15,0088	1,06752	8,13961
11	15,2368	1,07551	8,19666
12	15,1431	1,06236	8,21229
13	15,0417	1,08474	8,22214
14	15,0752	1,07741	8,24536
15	15,4609	1,07225	8,27495
16	15,7582	1,06744	8,30664
17	15,0337	1,07073	8,30975
18	14,9479	1,07911	8,31426
19	15,1079	1,06998	8,32447
20	15,0796	1,06471	8,35111
21	15,0885	1,08551	8,37515
22	15,068	1,07839	8,3982
23	15,0857	1,07119	8,40734
24	15,0718	1,06699	8,41287
25	15,0135	1,06699	8,41063
26	15,267	1,07675	8,41472
27	15,0095	1,07378	8,42455
28	15,1731	1,07613	8,4425
29	15,0388	1,06829	8,45617

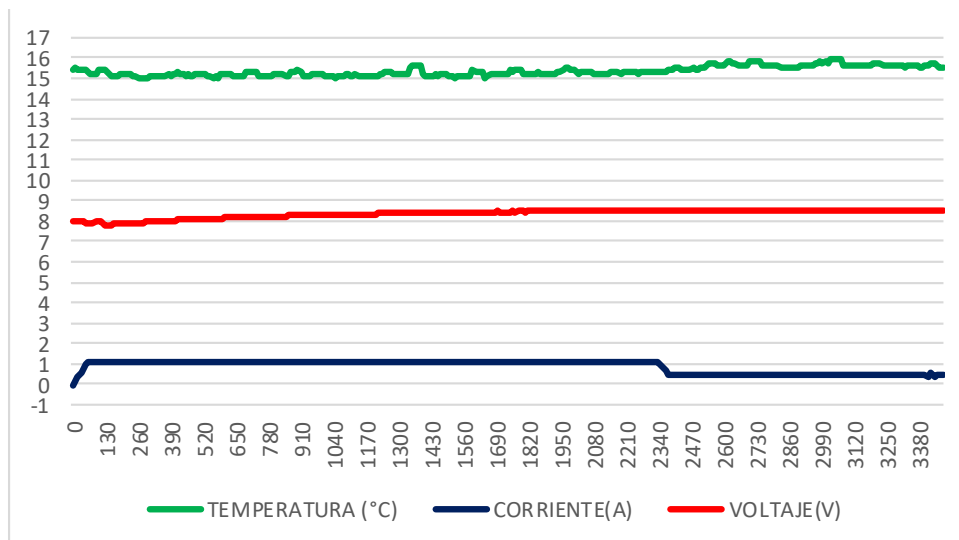
TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)	CORRIENTE (A)	VOLTAJE (V)
30	15,2086	1,05632	8,4683
31	15,4134	1,07806	8,4825
32	15,1811	1,0668	8,48957
33	15,2995	1,06811	8,48785
34	15,3927	1,08476	8,49939
35	15,2858	1,0604	8,49666
36	15,1941	1,05314	8,50006
37	15,1717	1,07576	8,50079
38	15,3772	1,07969	8,50303
39	15,2656	1,07447	8,50232
40	15,3869	0,439251	8,49691
41	15,4614	0,445643	8,49075
42	15,4572	0,433298	8,49507
43	15,4284	0,432143	8,48529
44	15,5969	0,440975	8,48003
45	15,5394	0,43062	8,46847
46	15,6716	0,439511	8,48196
47	15,5357	0,442868	8,477
48	15,5602	0,437853	8,47622
49	15,526	0,435581	8,47954

TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)	CORRIENTE (A)	VOLTAJE (V)
50	15,7299	0,436128	8,48382
51	15,6641	0,43615	8,48879
52	15,6166	0,446422	8,4835
53	15,6258	0,439648	8,48192
54	15,5458	0,432838	8,48193
55	15,6553	0,437469	8,47776
56	15,6729	0,432953	8,48222
57	15,7412	0,384464	8,48949
58	15,664	0,424558	8,49625

Nota: Los datos presentados en esta tabla han sido seleccionados cada 1 minuto, mientras que en la prueba 4 del archivo digital adjunto se encuentran los datos completos de la prueba de carga módulo 1 M1 Batería 7.2 V-6.5 A/h tomados cada 10 segundos.

Figura 26

Temperatura/voltaje/corriente vs tiempo carga media batería 7.2 V-6.5 A/h



Nota: Las curvas de la gráfica presentada corresponden a los valores completos tomados cada 10 segundos, mostrados en la prueba 4 del archivo digital adjunto.

El voltaje inicial se ubica en los 7.94 V asciende a 8.5 V (carga masiva), este proceso lo realiza en un tiempo de 35 minutos. Se mantiene en la fase de absorción por un tiempo correspondiente a 12 minutos, el voltaje desciende a 8.46 con pequeñas variaciones de 0.02 V durante 13 minutos. La carga se realiza en un periodo de 60 minutos.

La corriente comienza su gestión en 0.015 A, pero al cabo de 1 min se encuentra en su fase de carga masiva, correspondiente a 1.07 A en un tiempo de 38 minutos, a partir de aquí, la corriente comienza su descenso (absorción) a 0.4 amperios en 40 segundos, de aquí en adelante se mantiene constante (flotación) con pequeñas variaciones de máximo 0.02 A hasta el final de la carga.

La temperatura se mantiene estable en 15°C durante toda la carga.

4.3.2 Prueba de carga módulo 1 M2

Tabla 25

Prueba de carga media batería 9.6 V-6.5 A/h

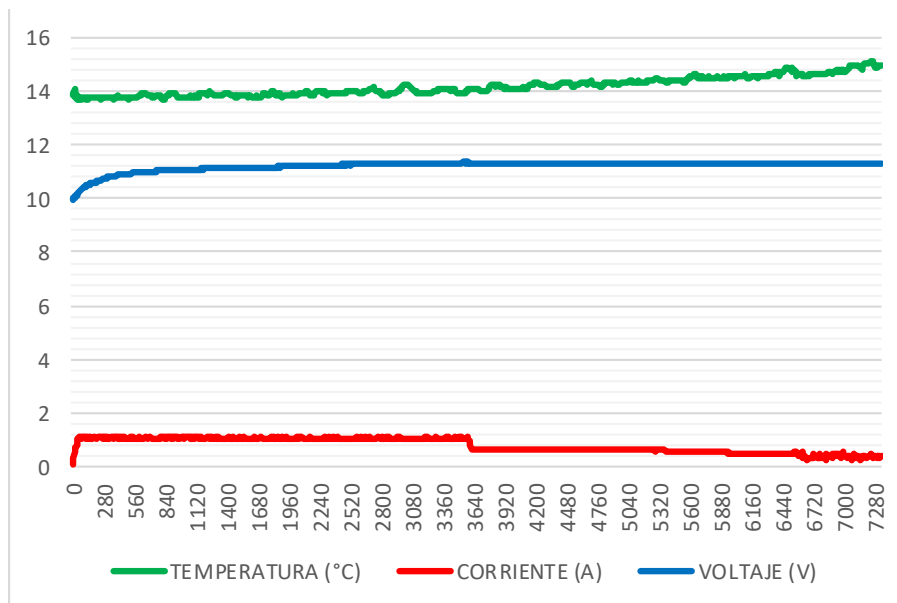
TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)	CORRIENTE (A)	VOLTAJE (V)
0	13,8646	0,0913679	9,96768
5	13,5551	1,07818	10,7805
10	13,8091	1,07614	10,978
15	13,7941	1,08103	11,0736
20	13,8618	1,07734	11,1012
25	14,3854	1,07998	11,1609
30	14,7235	1,08652	11,1786
35	13,8107	1,08061	11,2212
40	13,9633	1,09057	11,2492
45	14,8134	1,08475	11,2655
50	14,5773	1,08051	11,2765
55	14,1075	1,07444	11,3039
60	14,5984	1,0734	11,3512
65	14,1543	0,662107	11,2706
70	14,2033	0,656951	11,2697

75	14,1474	0,658786	11,2772
80	14,1976	0,658991	11,2858
85	14,3115	0,658113	11,3112
90	14,3683	0,572491	11,3079
95	14,7472	0,570969	11,3056
100	14,3906	0,482992	11,3068
105	14,4351	0,486628	11,2963
110	14,7559	0,415465	11,3143
115	14,6047	0,332646	11,3044
120	14,8375	0,376493	11,3013

Nota: Los datos presentados en esta tabla han sido seleccionados cada 5 minutos, mientras que en la prueba 5 del archivo digital adjunto se encuentran los datos completos de la prueba de carga módulo 1 M2 Batería 9.6 V-6.5 A/h tomados cada 10 segundos.

Figura 27

Temperatura/voltaje/corriente vs tiempo carga media batería 9.6 V-6.5 A/h



Nota: Las curvas de la gráfica presentada corresponden a los valores completos tomados cada 10 segundos, mostrados en la prueba 5 del archivo digital adjunto.

El voltaje inicial es de 9.96 V, el cual asciende hasta los 11.3 V (carga masiva), este proceso lo realiza en un tiempo de 55 minutos. Se mantiene constante por la fase de absorción por 6 minutos, el voltaje desciende a 11.26 V con pequeñas variaciones de 0.02 V por 1 hora 1 minuto. La carga se realiza en 2 horas, 2 minutos 30 segundos.

La corriente comienza su gestión en 0.0913 A, pero al cabo de 5 min se encuentra en su fase de carga masiva, con un valor de 1.07 A en un tiempo de 55 minutos, en ese instante, la corriente comienza su descenso (absorción) a 0.65 A en 40 segundos y se mantiene constante (flotación) con pequeñas variaciones de máximo 0.02 A hasta el final de la carga.

La temperatura se mantiene en 15°C durante toda la carga.

4.3.3 Prueba de carga módulo 2 M1

Tabla 26

Prueba de carga media batería 57.6 V-6.5 A/h

TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)	CORRIENTE (A)	VOLTAJE (V)
0	17,8859	0,280769	58,836
1	18,1075	1,08182	61,4445
2	18,2181	1,05473	62,3691
3	18,1801	1,04749	62,9595
4	17,9718	1,03841	63,3347
5	18,0999	1,02278	63,6901
6	18,0208	1,00099	63,9965
7	18,0693	0,993141	64,2727
8	18,1523	0,994474	64,5304
9	18,1583	0,988917	64,7596
10	18,2995	0,988839	64,9754
11	18,3203	0,986877	65,1899
12	18,39	0,985506	65,3638
13	18,3731	0,973885	65,5434
14	18,3996	0,983782	65,7461

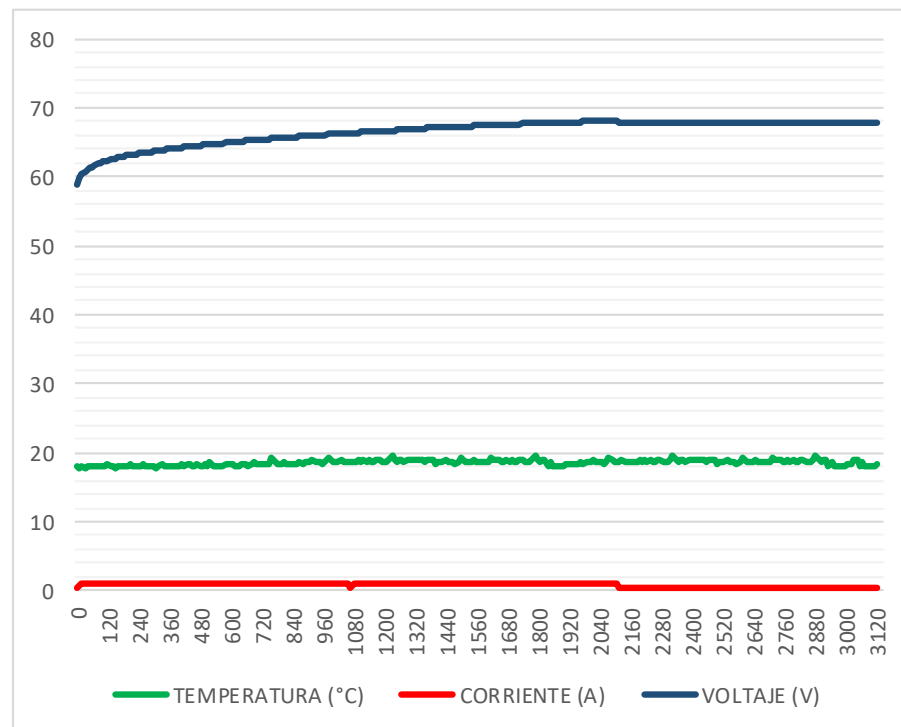
TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)	CORRIENTE (A)	VOLTAJE (V)
15	18,5716	0,966346	65,9086
16	18,461	0,957564	66,0578
17	18,6287	0,956865	66,2011
18	18,6377	1,0131	66,3695
19	19,1059	1,04882	66,4887
20	18,7807	1,05948	66,6435
21	18,8244	1,06947	66,7861
22	18,856	1,05426	66,9065
23	19,0485	1,07159	67,0604
24	18,8278	1,06137	67,1746
25	19,1302	1,06796	67,2747
26	18,5502	1,05779	67,386
27	19,1182	1,0385	67,4592
28	18,8897	1,04928	67,5623
29	18,9551	1,06259	67,6677
30	18,8397	1,06124	67,733
31	18,1003	1,04983	67,8268
32	18,2059	1,0673	67,8852
33	18,4875	1,05583	67,9712
34	18,5779	1,0609	68,0488

TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)	CORRIENTE (A)	VOLTAJE (V)
35	18,6114	1,05749	68,109
36	18,695	0,374119	67,7906
37	18,8897	0,344725	67,7442
38	18,9551	0,362922	67,7558
39	18,8397	0,333697	67,7333
40	18,8242	0,388849	67,736
41	18,7598	0,36481	67,7689
42	18,5716	0,343374	67,7806
43	18,461	0,361664	67,7832
44	18,6287	0,365499	67,8143
45	18,6377	0,367413	67,8365
46	18,7205	0,355939	67,8669
47	18,7401	0,354001	67,8885
48	18,8488	0,380692	67,9001
49	18,1051	0,384774	67,9243
50	18,1097	0,345766	67,9376
51	18,1051	0,362402	67,925
52	18,1097	0,359773	67,9457

Nota: Los datos presentados en esta tabla han sido seleccionados cada minuto, mientras que en la prueba 6 del archivo digital adjunto se encuentran los datos completos de la prueba de carga módulo 2 M1 Batería 57.6 V-6.5 A/h tomados cada 10 segundos.

Figura 28

Voltaje/corriente/temperatura vs tiempo carga media batería 57.6 V-6.5 A/h



Nota: Las curvas de la gráfica presentada corresponden a los valores completos tomados cada 10 segundos, mostrados en la prueba 6 del archivo digital adjunto.

La gestión de carga comienza con un voltaje de 58.83 V e inicia su ascenso hasta los 68.02 V, este proceso lo realiza en un tiempo de 33 minutos, 30 segundos. Se mantiene en ese periodo (absorción) por un tiempo correspondiente a 1 minuto 50 segundos, después de ello

empieza su descenso al voltaje de flotación el cual termina en un valor de voltaje de 67.7 V durante 16 minutos, 50 segundos. La carga se realiza en un periodo de 52 min, 10 segundos.

La corriente tiene un valor inicial de 0.28 A, pero al cabo de 20 segundos se incrementa a 1,08 A, y se mantiene durante 34 minutos con 30 s, después de este instante la corriente comienza su descenso (absorción) a 0.33 amperios en 1 minuto 10 segundos, de aquí en adelante se mantiene constante (flotación) con pequeñas variaciones de 0.03 amperios en repetidas ocasiones.

La temperatura se mantiene estable durante todo el proceso de carga, oscila entre los 17 °C y los 18 °C

4.4 Pruebas de carga lenta

4.4.1 Prueba de carga módulo 1 L1

Tabla 27

Prueba de Carga Lenta Batería 7.2 V-6.5 A/h

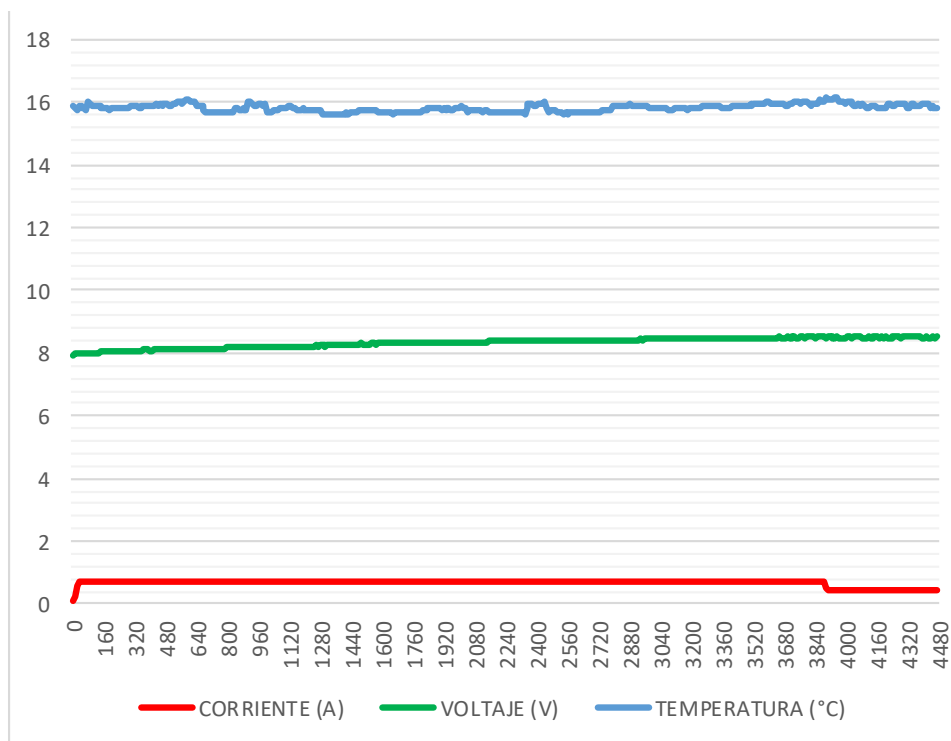
TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)	CORRIENTE (A)	VOLTAJE (V)
0	15,9098	0,0866839	7,95364
5	16,0574	0,699253	8,06448
10	15,857	0,696887	8,12513
15	15,5809	0,708437	8,18489
20	15,5231	0,70405	8,22109
25	15,6868	0,708653	8,29512

30	15,6731	0,698902	8,31468
35	15,8164	0,699554	8,34975
40	15,4571	0,709333	8,39559
45	15,6207	0,708808	8,4075
50	15,5915	0,701537	8,44034
55	15,8638	0,709944	8,48711
60	15,8243	0,706901	8,50197
65	16,7649	0,501039	8,50138
70	15,7236	0,455276	8,5018

Nota: Los datos presentados en esta tabla han sido seleccionados cada 5 minutos, mientras que en la prueba 7 del archivo digital adjunto se encuentran los datos completos de la prueba de carga módulo 1 L1 Batería 7.2 V-6.5 A/h tomados cada 10 segundos.

Figura 29

Temperatura/voltaje/corriente vs tiempo carga lenta batería 7.2 V-6.5 A/h



Nota: Las curvas de la gráfica presentada corresponden a los valores completos tomados cada 10 segundos, mostrados en la prueba 7 del archivo digital adjunto.

El voltaje inicial es de 7.95 V y se incrementa hasta los 8.5 V (carga masiva), esta fase es realizada en 60 minutos. Se mantiene constante hasta el final de la carga la cual tiene una duración total de 1 hora 15 minutos.

La corriente comienza en 0.086 A, pero al cabo de 5 min se incrementa su valor para ingresar en la fase de carga masiva, con un valor de 0.7 A durante 59 minutos; en ese instante, la

corriente comienza su descenso (absorción) a 0.4 A en 50 segundos y se mantiene constante (flotación) con pequeñas variaciones de máximo 0.02 A hasta el final de la carga.

La temperatura se mantiene en entre 15°C y 16°C durante toda la carga.

4.4.2 Prueba de carga módulo 1 L2

Tabla 28

Prueba de carga lenta batería 9.6 V-6.5 A/h

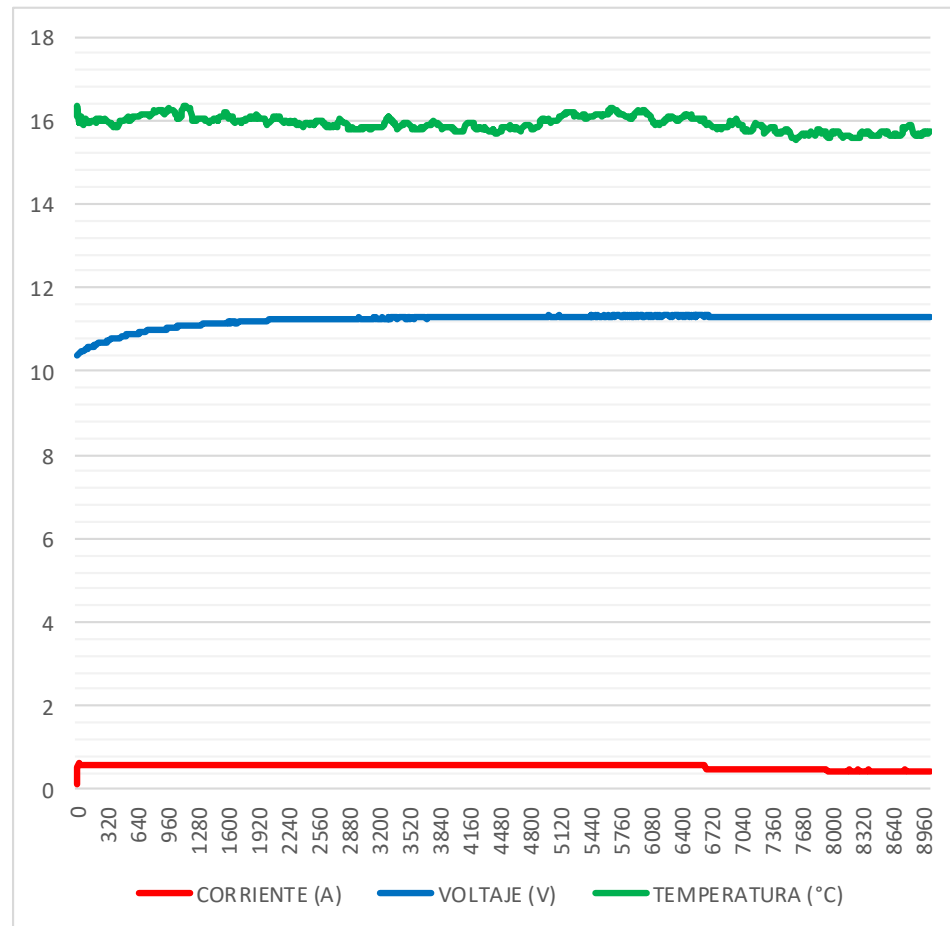
TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)	CORRIENTE (A)	VOLTAJE (V)
0	16,0936	0,121883	10,4014
5	15,9136	0,576136	10,7061
10	16,3719	0,577273	10,8851
15	16,0216	0,578718	10,9925
20	16,3039	0,577384	11,0819
25	15,9388	0,57193	11,1634
30	15,7911	0,579266	11,1783
35	16,3662	0,574752	11,228
40	15,7626	0,584441	11,2535
45	15,8363	0,572272	11,2681
50	15,9803	0,583052	11,2768
55	15,8233	0,5858	11,2687
60	15,7639	0,58821	11,2782

TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)	CORRIENTE (A)	VOLTAJE (V)
65	16,0439	0,581843	11,2786
70	15,8017	0,581919	11,2981
75	15,681	0,585168	11,2929
80	15,6881	0,585938	11,2978
85	16,0647	0,581711	11,3065
290	16,0914	0,587258	11,3106
95	16,0351	0,583555	11,3251
100	16,5543	0,580063	11,3286
105	15,9347	0,578598	11,3175
110	15,9745	0,576429	11,3302
115	15,7454	0,493425	11,2965
120	17,2579	0,498507	11,3081
125	15,5162	0,491415	11,3028
130	15,6399	0,4923	11,3046
135	15,4582	0,452836	11,3163
140	15,7366	0,45904	11,2961
145	15,8851	0,453848	11,3067
150	15,5483	0,449886	11,2989

Nota: Los datos presentados en esta tabla han sido seleccionados cada 5 minutos, mientras que en la prueba 8 del archivo digital adjunto se encuentran los datos completos de la prueba de carga módulo 1 L2 Batería 9.6 V-6.5 A/h tomados cada 10 segundos.

Figura 30

Temperatura/voltaje/corriente vs tiempo carga lenta batería 9.6 V-6.5 A/h



Nota: Las curvas de la gráfica presentada corresponden a los valores completos tomados cada 10 segundos, mostrados en la prueba 8 del archivo digital adjunto.

El voltaje inicia en 10.6 V y asciende hasta los 11.3 V (carga masiva) en un tiempo de 1 hora 21 minutos. Se mantiene constante hasta el final de la carga la cual tiene una duración total de 2 horas y 30 minutos.

La corriente inicia el proceso en 0.15 A, pero al cabo de 5 min se encuentra en su fase de carga masiva, con un valor de 0.57 A durante un tiempo de 1 hora con 46 minutos, en ese instante, la corriente comienza su descenso (absorción) a 0.49 A en 2 minutos y se mantiene constante (flotación) con pequeñas variaciones de máximo 0.02 A hasta el final de la carga.

La temperatura se mantiene estable entre 15°C y 16 °C durante toda la carga.

4.4.3 Prueba de carga módulo 2 L1

Tabla 29

Prueba de carga lenta batería 57.6 V-6.5 A/h

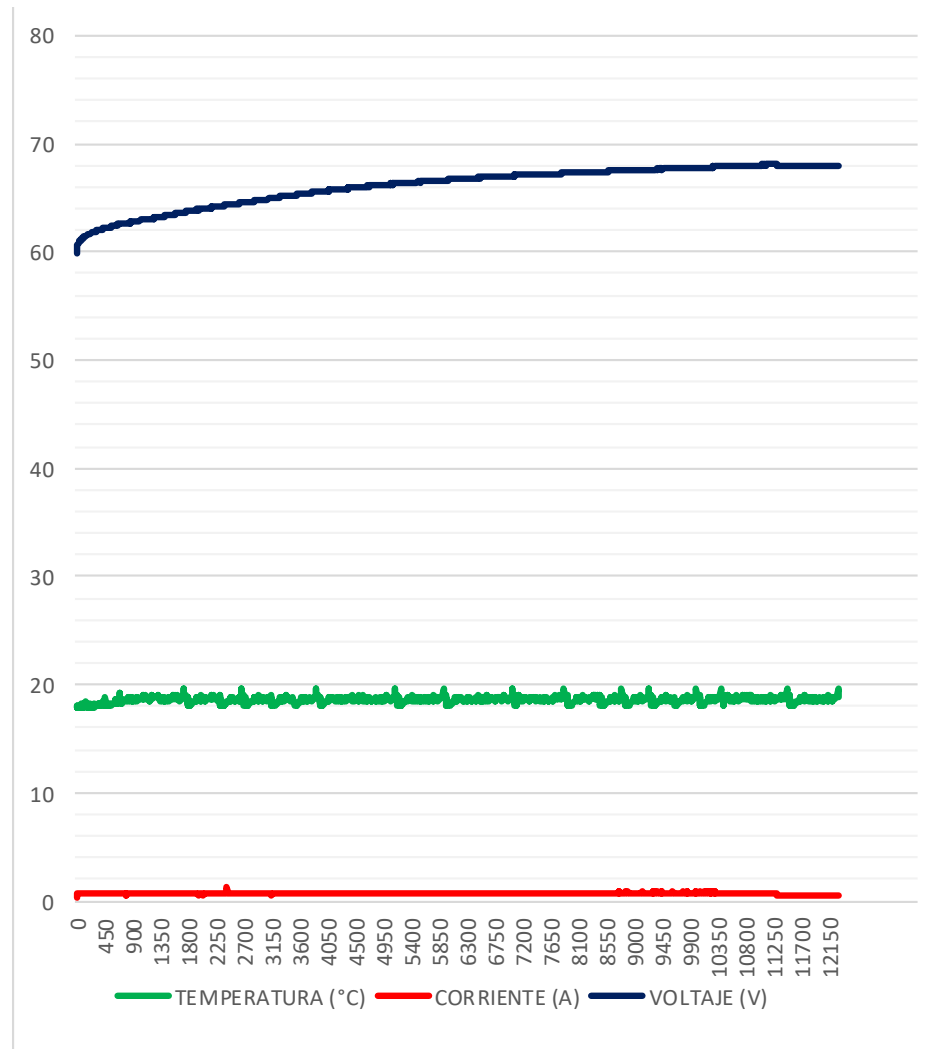
TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)	CORRIENTE (A)	VOLTAJE (V)
0	17,9537	0,286539	59,824
10	18,7693	0,656479	63,0954
20	18,7607	0,643954	63,7152
30	18,2727	0,648742	64,2963
40	18,6287	0,709231	64,8156
50	18,3996	0,72937	65,3293
60	18,5258	0,719918	65,7646
7	18,6114	0,715113	66,1067

TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)	CORRIENTE (A)	VOLTAJE (V)
80	18,5779	0,719859	66,4145
90	18,1003	0,709856	66,6552
100	18,7875	0,678968	66,8894
110	18,4875	0,723694	67,1035
120	19,1059	0,668675	67,2435
130	18,7565	0,749761	67,4086
140	18,5258	0,79517	67,5544
150	18,5502	0,762841	67,6954
160	18,4727	0,825428	67,8142
170	18,9574	0,735917	67,9792
180	19,1059	0,42556	67,927
190	18,6114	0,433769	67,9046
200	18,7693	0,428137	67,9287

Nota: Los datos presentados en esta tabla han sido seleccionados cada 5 minutos, mientras que en la prueba 9 del archivo digital adjunto se encuentran los datos completos de la prueba de carga módulo 2 L1 Batería 56.7 V-6.5 A/h tomados cada 10 segundos.

Figura 31

Voltaje/corriente/temperatura vs tiempo carga rápida batería 57.6 V-6.5 A/h



Nota: Las curvas de la gráfica presentada corresponden a los valores completos tomados cada 10 segundos, mostrados en la prueba 9 del archivo digital adjunto.

La gestión de carga comienza con un voltaje de 59.8 V e inicia su elevación de voltaje hasta los 68 V (carga masiva), este proceso lo realiza en un tiempo de 3 horas 1 minuto, 50

segundos. Se mantiene en ese periodo (absorción) por un tiempo correspondiente a 7 minutos, 30 segundos después de ello empieza su descenso al voltaje de flotación el cual termina en un valor de voltaje de 67.8V durante el resto de la carga. La carga se realiza en un periodo 3 horas 25 minutos, 12 segundos.

La corriente tiene un valor inicial de 0.28 A, pero al cabo de 10 segundos se incrementa a 0.75 A, y se mantiene 3 horas 8 minutos 30 segundos con variaciones de 0.1 A, después de este instante la corriente comienza su descenso (absorción) a 0.42 amperios en 1 minutos, de aquí en adelante se mantiene constante (flotación) con pequeñas variaciones de 0.03 amperios en repetidas ocasiones.

La temperatura se mantiene estable durante todo el proceso de carga, oscila entre los 17 °C y los 18 °C

4.5 Prueba de diagnóstico

4.5.1 Prueba de diagnóstico batería 7.2v-6.5 A/h inicial

Tabla 30

Prueba de Diagnóstico Batería 7.2 V-6.5 A/h Inicial

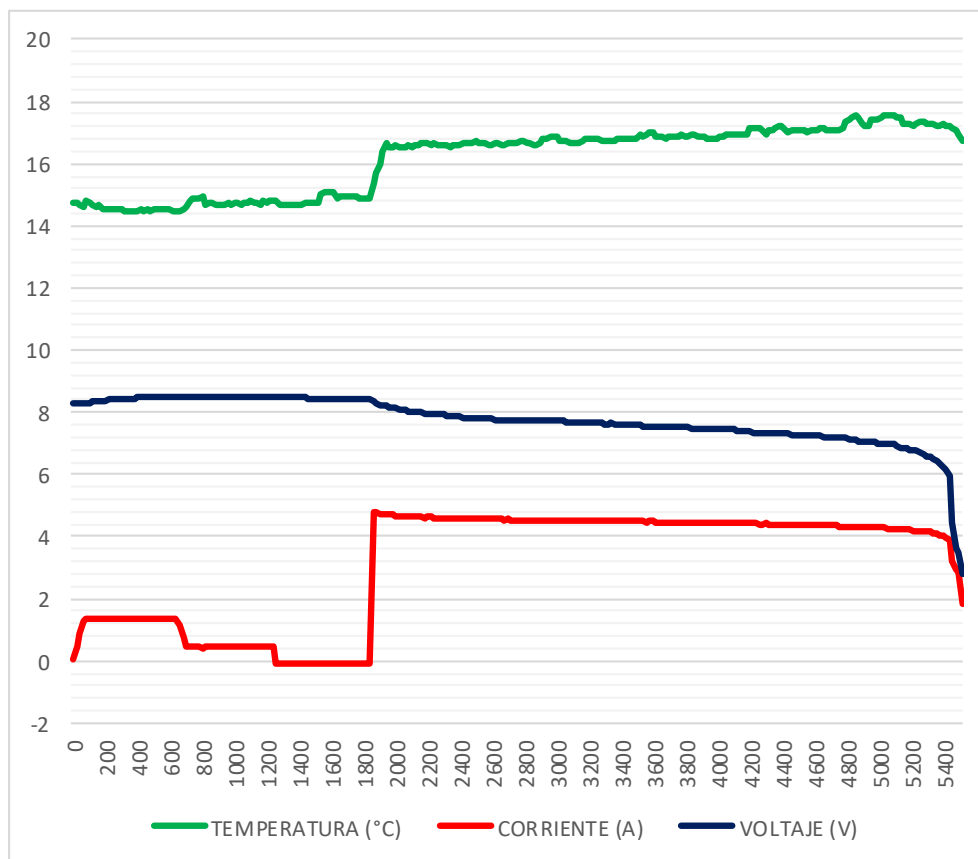
TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)	CORRIENTE (A)	VOLTAJE (V)
0	14,7678	0,0835925	8,26855
5	14,4428	1,3316	8,41009
10	14,4189	1,33258	8,50283
15	14,6956	0,434011	8,5014

TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)	CORRIENTE (A)	VOLTAJE (V)
20	14,533	0,438818	8,50007
25	14,872	-0,0886587	8,45419
30	14,9245	-0,0885182	8,42441
35	16,504	4,6389	8,02162
40	16,5539	4,58536	7,84368
45	16,656	4,54953	7,75136
50	16,785	4,52547	7,72232
55	16,7737	4,51178	7,63617
60	17,0313	4,48351	7,55169
65	16,8092	4,43708	7,46902
70	17,903	4,4204	7,37438
75	16,9762	4,38355	7,27204
80	18,2282	4,33237	7,15997
85	17,2989	4,25695	6,95278
90	17,4068	4,01413	6,26102
95	16,2838	1,80479	2,81099

Nota: Los datos presentados en esta tabla han sido seleccionados cada 5 minutos, mientras que en la prueba 10 del archivo digital adjunto se encuentran los datos completos de la prueba de diagnóstico batería 7.2V-6.5 Ah inicial tomados cada 20 segundos.

Figura 32

Gráfico temperatura/voltaje/corriente vs tiempo en diagnóstico inicial batería 7.2 V-6.5 A/h



Nota: Las curvas de la gráfica presentada corresponden a los valores completos tomados cada 10 segundos, mostrados en la prueba 10 del archivo digital adjunto.

El voltaje inicial en el proceso de diagnóstico es de 8.26 V y el voltaje final es igual a 8.5 V después de la carga en modo rápido. La carga se realizó en 20 minutos, luego se observa un estado de descanso de 10 minutos. Se inicia la gestión de descarga en la que el voltaje comienza a partir de 8.32 V y disminuye paulatinamente hasta alcanzar 6.18 V durante 60 minutos, aquí

hay una caída importante de voltaje hasta los 2.81 V, en 1 minuto 40 segundos. En cuanto a la corriente de descarga se inicia con un consumo de 4.81 A disminuyendo paulatinamente durante 60 minutos hasta alcanzar los 4 A; en el minuto 60 con 40 segundos se observa una caída significativa de 3.96 A hasta 1.8 A El proceso de descarga tiene una duración total de 1 hora, 40 segundos.

En la fase de carga la temperatura se mantiene entre los 15 °C y 16 °C, mientras que en la fase de descarga se incrementa hasta en 2.7 °C, teniendo su pico máximo en los primeros minutos de la descarga y disminuyendo hasta los 16. 37° C al final del diagnóstico.

SOH OBTENIDO: 77.93%

4.5.2 Prueba de diagnóstico batería 9.6 v-6.5 A/h inicial

Tabla 31

Prueba de diagnóstico batería 9.6 v-6.5 A/h inicial

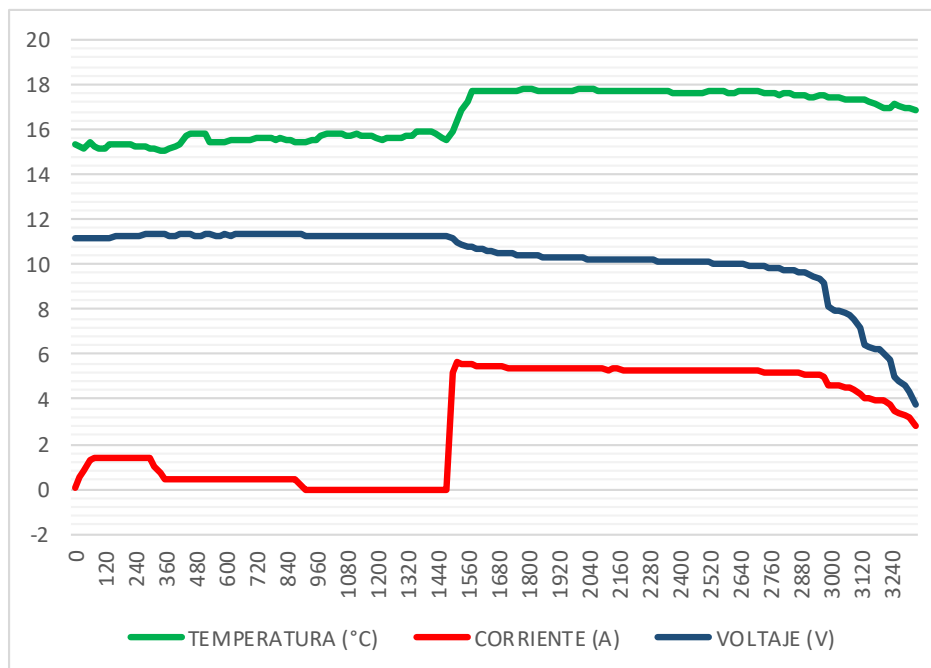
TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)	CORRIENTE (A)	VOLTAJE (V)
0	15,3199	0,0882171	11,1475
15	14,8876	1,36004	11,3414
30	15,7615	0,458817	11,3092
45	15,4548	0,155386	11,3329
60	15,6253	0,062851	11,2577
75	17,6295	5,21335	11,154
90	17,7409	5,38266	10,4054

TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)	CORRIENTE (A)	VOLTAJE (V)
105	17,7331	5,34157	10,2263
120	17,6847	5,29821	10,1261
135	17,56	5,23881	9,93316
150	17,3729	4,61119	8,13078
155	16,3774	2,85135	3,79168

Nota: Los datos presentados en esta tabla han sido seleccionados cada 5 minutos, mientras que en la prueba 11 se encuentran los datos completos de la prueba de diagnóstico batería 9.6V-6.5 Ah inicial tomados cada 20 segundos.

Figura 33

Temperatura/voltaje/corriente vs tiempo en diagnóstico inicial batería 9.6 V-6.5 A/h



Nota: Las curvas de la gráfica presentada corresponden a los valores completos tomados cada 10 segundos, mostrados en la prueba 11 del archivo digital adjunto.

El voltaje inicial en el proceso de diagnóstico es de 11.14 V y el voltaje final después del proceso de carga rápida es igual a 11.33 V, dicho proceso tuvo una duración de 15 minutos, luego se observa un estado de descanso de 10 minutos. Se inicia la descarga con un voltaje de 11.21 V, a partir de ahí se conecta un consumidor y el voltaje disminuye paulatinamente hasta alcanzar 9.14 V durante 25 minutos, aquí hay una caída importante de voltaje hasta los 3.79 V, en 6 minutos. En cuanto a la corriente de descarga se inicia con un consumo de 5.21 A y su pico máximo alcanza los 6.63 A en los siguientes 20 segundos de iniciada su descarga. De aquí

durante 24 minutos se reduce cada paulatinamente hasta alcanzar 4.96 A. A partir del minuto 25 se observa un consumo de 1 A aprox. cada 3 minutos hasta caer en 2.85 A. El proceso de descarga tiene una duración total de 30 minutos.

En la fase de carga la temperatura se mantiene entre los 15 °C y 16 °C, mientras que en la fase de descarga se incrementa hasta en 2.15 °C, teniendo su pico máximo 17.84 °C entre los primeros minutos de la descarga y disminuyendo hasta los 16. 37° C al final del diagnóstico.

SOH: 45.49%

4.5.3 Prueba de diagnóstico batería 7.6V-6.5 A/h final

Tabla 32

Prueba de Diagnóstico Batería 7.2 V-6.5 A/h Final

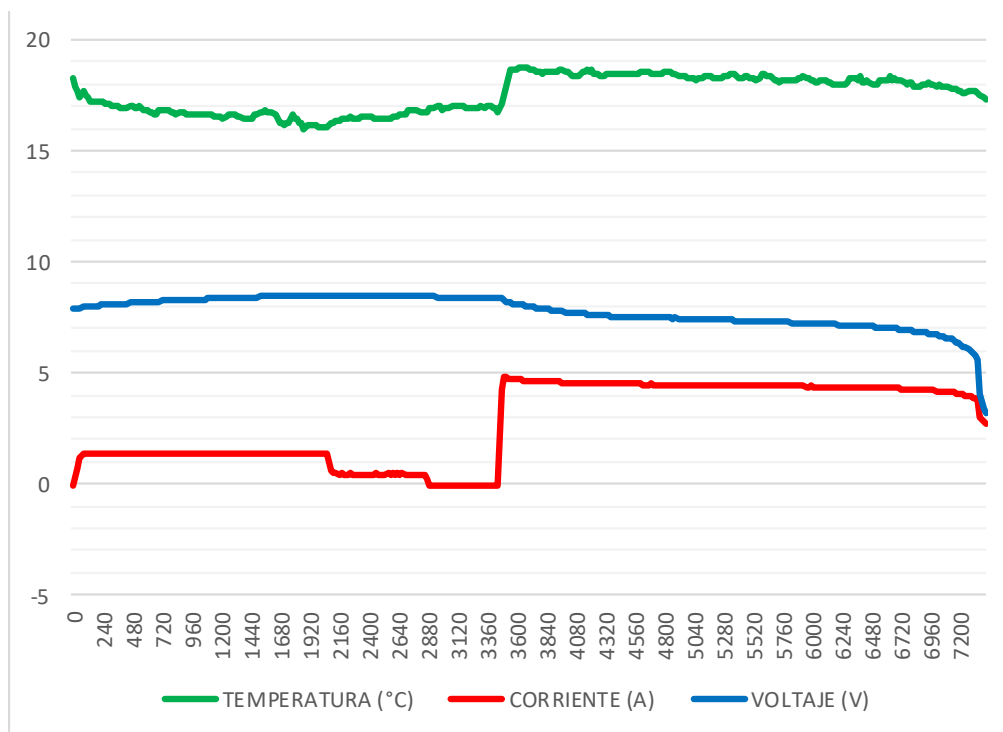
TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)	CORRIENTE (A)	VOLTAJE (V)
0	18,2621	0,048224	7,91234
5	16,9225	1,3374	8,1037
10	16,7287	1,34544	8,21484
15	16,7057	1,34441	8,30751
20	16,5463	1,34778	8,36381
25	16,4244	1,34913	8,42058
30	15,7563	1,34221	8,49356
35	16,4741	0,630752	8,50127
40	16,2907	0,444898	8,48636

TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)	CORRIENTE (A)	VOLTAJE (V)
45	16,5741	0,450491	8,48501
50	16,7786	-0,081188	8,41862
55	16,8996	-0,0883149	8,40324
60	18,7996	4,69997	8,11769
65	18,5176	4,5897	7,83583
70	18,3854	4,53459	7,64102
75	18,4797	4,49305	7,54546
80	18,7197	4,46966	7,48428
85	18,5354	4,46318	7,44476
90	18,2423	4,43471	7,35923
95	18,2411	4,40956	7,30703
100	18,0734	4,38924	7,24854
105	17,9526	4,35777	7,16265
110	17,8879	4,3219	7,05779
115	18,2619	4,25105	6,85526
120	17,5411	4,06374	6,34625
125	17,1934	2,71683	2,84754

Nota: Los datos presentados en esta tabla han sido seleccionados cada 5 minutos, mientras que en la prueba 12 del archivo digital adjunto se encuentran los datos completos de la prueba de diagnóstico batería 7.2 V-6.5 Ah final tomados cada 20 segundos.

Figura 34

Temperatura/voltaje/corriente vs tiempo en diagnóstico final batería 7.2 V-6.5 A/h



Nota: Las curvas de la gráfica presentada corresponden a los valores completos tomados cada 20 segundos, mostrados en la prueba 12 del archivo digital adjunto.

El voltaje inicial en el proceso de diagnóstico es de 7.91 V y el voltaje final después del proceso de carga rápida es igual a 8.49 V, dicho proceso tuvo una duración de 48 minutos, luego se observa un estado de descanso de 10 minutos. Se inicia la descarga con un voltaje de 8.35 V y a partir de ese instante se conecta un consumidor y el voltaje disminuye paulatinamente durante 57 minutos con 36 segundos hasta alcanzar 6.01 V, después de este valor se observa una caída importante de voltaje hasta los 2.84 V, en 2 minutos. En cuanto a la corriente de descarga se inicia con un consumo de 4.27 A y su pico máximo alcanza los 4.8 A en los siguientes

20 segundos de iniciada su descarga. De aquí durante 56 minutos se reduce cada paulatinamente hasta alcanzar 4.02 A. A partir del minuto 57 se observa un consumo de 0.1 A aprox. Cada minuto hasta caer en 2.71 A. El proceso de descarga tiene una duración total de 1 hora, 5 minutos con 40 segundos.

En la fase de carga la temperatura se mantiene entre los 15 °C y 16 °C, mientras que en la fase de descarga se incrementa hasta en 3 °C, teniendo su pico máximo 19 °C entre los primeros minutos de la descarga y disminuyendo hasta los 17. 19° C al final del diagnóstico.

SOH OBTENIDO: 83.65%

4.5.4 Prueba de diagnóstico batería 9.6 V 6-5 A/h final

Tabla 33

Prueba de diagnóstico batería 9.6 V-6.5 A/h Final

TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)	CORRIENTE (A)	VOLTAJE (V)
0	16,756	0,218692	8,50635
5	16,3712	1,35883	10,6654
10	16,4937	1,35379	11,0976
15	16,6925	1,34447	11,1851
20	16,6449	1,35228	11,2541
25	16,863	1,35094	11,2641
30	16,8637	1,34906	11,2774

TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)	CORRIENTE (A)	VOLTAJE (V)
35	16,9358	1,33536	11,2757
40	17,5037	1,34044	11,2931
45	17,5218	1,33329	11,3119
50	17,75	1,3301	11,3363
55	17,844	0,928862	11,298
60	17,6043	0,924357	11,2743
65	17,67	0,930218	11,2799
70	18,2182	0,921118	11,2918
75	18,2991	0,924439	11,2827
80	18,4466	0,929528	11,3005
85	18,0388	0,922587	11,314
90	18,7672	0,838991	11,305
95	19,8241	0,831464	11,3061
100	19,0252	0,701762	11,2959
105	19,3348	0,70976	11,2874
110	19,3547	0,702501	11,2839
115	20,0966	0,700811	11,3046
120	19,0849	0,698397	11,3084
125	19,2071	0,665991	11,302
130	18,9152	0,664903	11,3081

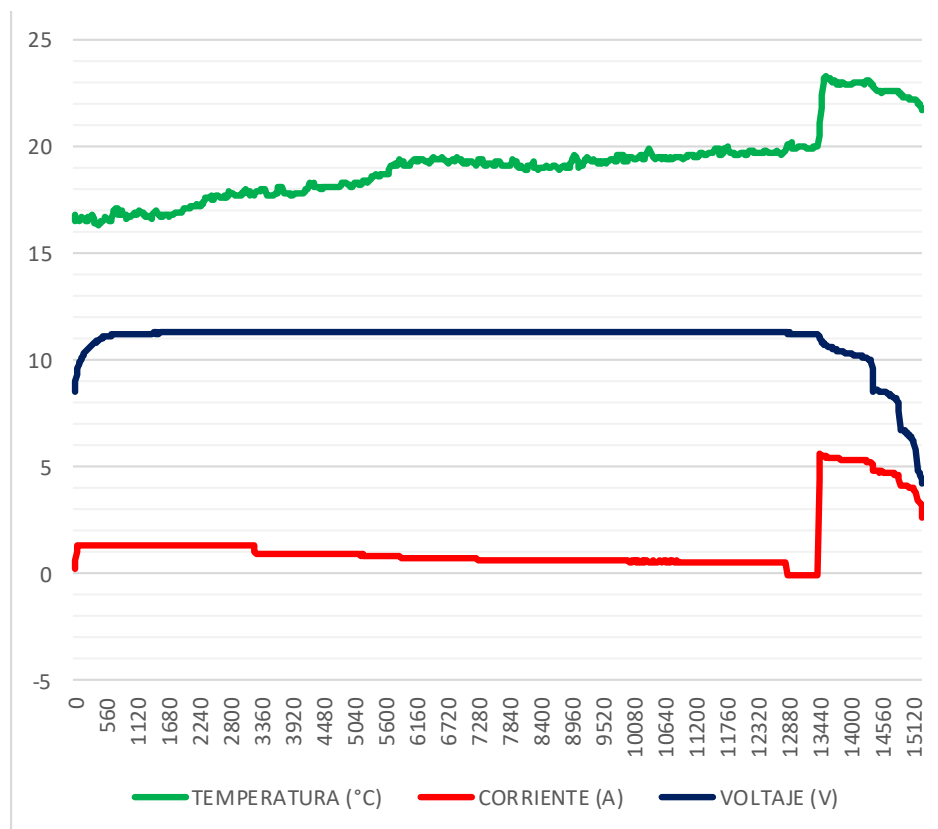
TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)	CORRIENTE (A)	VOLTAJE (V)
135	18,8508	0,675796	11,2986
140	19,1624	0,626019	11,2908
145	18,895	0,628523	11,2971
150	19,764	0,6272	11,2972
155	19,0764	0,587702	11,3105
160	19,2461	0,589842	11,2968
165	19,3627	0,581962	11,3064
170	19,5059	0,58081	11,2959
175	19,4663	0,575772	11,2952
180	19,3394	0,585844	11,3098
185	19,5502	0,533763	11,3084
190	19,4685	0,537917	11,3104
195	19,586	0,500459	11,308
200	19,5531	0,496065	11,3017
205	19,7386	0,492068	11,3064
210	19,77	0,494857	11,3091
215	20,0523	-0,0749854	11,2622
220	19,8954	-0,0716089	11,1851
225	23,1904	5,563	10,8905
230	22,9387	5,37956	10,4314

TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)	CORRIENTE (A)	VOLTAJE (V)
235	22,8914	5,31774	10,2234
240	22,9263	5,21299	9,92108
245	22,5169	4,73652	8,41103
250	22,3618	4,1412	6,67713
255	21,5433	2,63133	4,23436

Nota: Los datos presentados en esta tabla han sido seleccionados cada 5 minutos, mientras que en la prueba 13 del archivo digital adjunto se encuentran los datos completos de la prueba de diagnóstico batería 9.6 V-6.5 Ah final tomados cada 20 segundos.

Figura 35

Temperatura/voltaje/corriente vs tiempo en diagnóstico final batería 9.6 V-6.5 A/h



Nota: Las curvas de la gráfica presentada corresponden a los valores completos tomados cada 20 segundos, mostrados en la prueba 13 del archivo digital adjunto.

El voltaje inicial en el proceso de diagnóstico es de 8.5 V y el voltaje final después del proceso de carga rápida es igual a 11.3 V, dicho proceso tuvo una duración de 3 horas, 34 minutos; luego se observa un estado de descanso de 10 minutos. Se inicia la descarga con un voltaje de 11.15 V y a partir de ese instante se conecta un consumidor y el voltaje disminuye paulatinamente durante 28 minutos con 40 segundos hasta alcanzar 6.11 V, después de este

valor se observa una caída importante de voltaje hasta los 4.23 V, en 2 minutos 20 segundos. En cuanto a la corriente de descarga se inicia con un consumo de 4.45 A y su pico máximo alcanza los 5.62 A en los siguientes 20 segundos de iniciada su descarga. De aquí durante 28 minutos se reduce cada paulatinamente hasta alcanzar 4.02 A. A partir del minuto 29 se observa un consumo de 0.1 A aprox. Cada minuto hasta caer repentinamente en 2.63 A. El proceso de descarga tiene una duración total de 31 minutos.

En la fase de carga la temperatura se mantiene entre los 16 °C y 17 °C, mientras que en la fase de descarga se incrementa hasta en 5 °C, teniendo su pico máximo 22 °C entre los últimos minutos de la descarga y disminuyendo hasta los 21. 54° C al final del diagnóstico.

SOH OBTENIDO: 48.88%

4.6 Prueba de mantenimiento

4.6.1 Prueba de mantenimiento batería 7.2V-6.5 A/h

Tabla 34

Prueba de mantenimiento batería 7.2 V-6.5 A/h

TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)	CORRIENTE (A)	VOLTAJE (V)
0	15,1157	3,88412	6,28191
20	13,9173	0,0443782	6,09496
40	13,3846	1,32732	7,81625
60	13,4106	1,32726	8,02939
80	13,5583	1,32348	8,1178

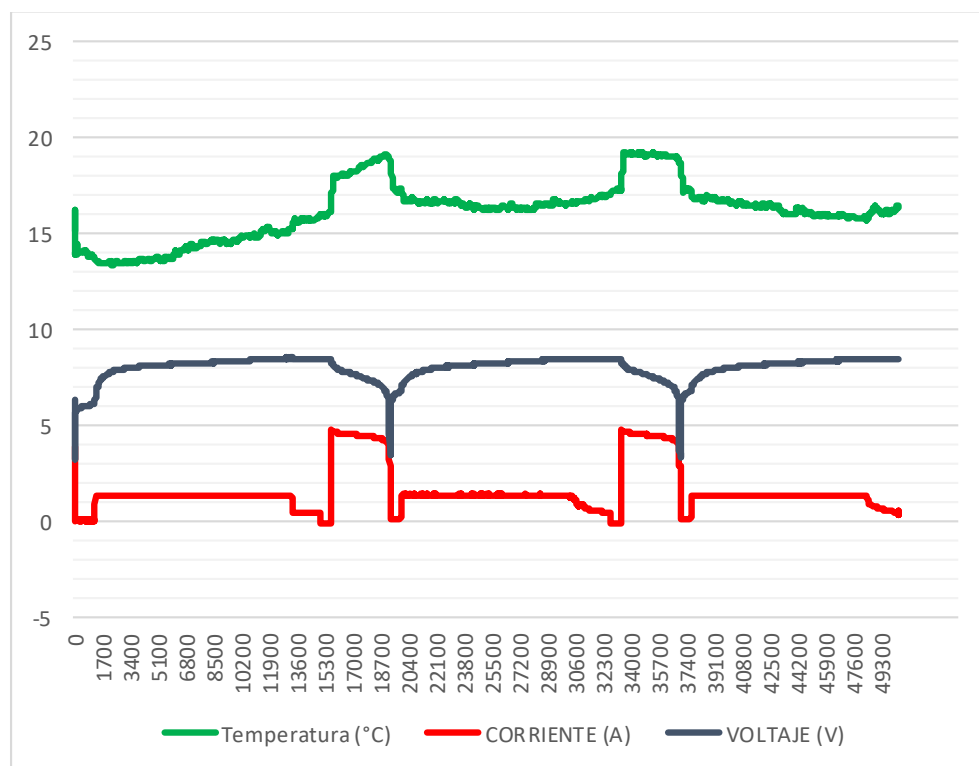
TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)	CORRIENTE (A)	VOLTAJE (V)
100	13,7071	1,33975	8,17725
120	14,2353	1,32487	8,21812
140	14,412	1,35005	8,28684
160	14,411	1,35088	8,31312
180	15,665	1,33113	8,39445
200	14,9891	1,33417	8,441
220	15,1034	1,32049	8,50071
240	15,6698	0,471985	8,47093
260	16,4383	-0,101668	8,40187
280	18,1931	4,5317	7,73683
300	18,5502	4,41719	7,37384
320	18,9574	4,08084	6,43388
340	17,4207	1,37389	7,44165
360	16,6276	1,38165	7,9126
380	16,5405	1,36664	8,05074
400	16,4154	1,35472	8,12277
420	16,3917	1,35767	8,21115
440	16,2088	1,35828	8,25621
460	16,1788	1,3718	8,31394
480	16,4636	1,35873	8,39571

TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)	CORRIENTE (A)	VOLTAJE (V)
500	16,6496	1,35794	8,46062
520	16,6335	0,787681	8,47709
540	16,987	0,471169	8,48708
560	19,2883	4,69754	8,13936
580	19,3412	4,51465	7,67299
600	18,9914	4,3936	7,32339
620	17,1553	0,0627359	6,34216
640	16,6334	1,29802	7,55694
660	17,6473	1,30689	7,92872
680	16,5764	1,32123	8,08319
700	16,2885	1,316	8,14413
720	16,3069	1,32788	8,21641
740	16,4503	1,33038	8,27671
760	15,8854	1,31958	8,31648
780	15,8735	1,32898	8,38391
800	15,7802	1,3239	8,45797
820	16,0676	0,67045	8,47804
840	16,5139	0,475372	8,49589

Nota: Los datos presentados en esta tabla han sido seleccionados cada 20 minutos, mientras que en la prueba 14 del archivo digital adjunto se encuentran los datos completos de la prueba de mantenimiento Batería 7.2 V-6.5 A/h tomados cada 20 segundos.

Figura 36

Temperatura/voltaje/corriente vs tiempo en mantenimiento final batería 7.2 V-6.5 A/h



Nota: Las curvas de la gráfica presentada corresponden a los valores completos tomados cada 20 segundos, mostrados en la prueba 14 del archivo digital adjunto.

El proceso se inicia con la primera descarga la cual tiene como voltaje inicial un valor de 6.28 V, y se descarga hasta 3.8 V en un tiempo de 1 minuto 20 segundos, y desde los 3.88 A hasta 2.68 A. La temperatura baja en este proceso de 15.1°C a 14.64 °C.

La primera carga se realiza dando como resultado un voltaje de 8.49 V en un tiempo de 4 horas 10 minutos. La temperatura oscila entre los 13 °C y 16 °C.

Se realiza un tiempo de descanso de 10 minutos. El voltaje llega a 8.39 V y se inicia el segundo proceso de descarga de 1 hora con 1 minuto, dando como resultado un voltaje de 3.4 V y una corriente final de 2.8 A, la cual partió desde los 4.72 A. La temperatura se incrementa desde los 16°C hasta los 18° C con un pico máximo de 19 °C.

Se inicia el segundo ciclo de carga dando como resultado un voltaje de 8.48 V y una duración de 3 horas 45 minutos. La temperatura desciende a los 17 °C con leves variaciones de 1 °C.

Se reposa 10 minutos y se inicia la tercera descarga con un voltaje de 8.40 V y una corriente de 4.80 A, hasta 3.33 V y 2.76 A; en 1 hora con 40 segundos. La temperatura se incrementa desde los 17°C hasta los 18° C con un pico máximo intermedio de 19 °C.

Inicia la tercera carga hasta llegar a un voltaje de 8.49 V, en un tiempo de 3 horas 42 minutos. La temperatura desciende hasta los 16.5 °C con oscilaciones leves de 1° C.

4.6.2 Prueba de mantenimiento batería 9.6 V-6-5A/h

Tabla 35

Prueba de mantenimiento batería 9.6 V-6.5 A/h

TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)	CORRIENTE (A)	VOLTAJE (V)
0	22,043	2,8032	9,28309
10	20,6215	0,0304113	9,26717
20	20,589	0,0388303	9,45631
30	20,0325	1,35398	10,6942
40	20,1792	1,34923	10,9472
50	20,5808	1,33718	11,0641
60	20,4771	1,3445	11,1168
70	20,5599	1,33736	11,1704
80	21,706	1,33831	11,2109
90	20,4512	1,35154	11,2543
100	20,3958	1,35308	11,2693
110	20,6328	1,34752	11,3253
120	20,4849	0,937898	11,3024
130	20,2289	0,765484	11,2989
140	20,2119	0,611943	11,3055

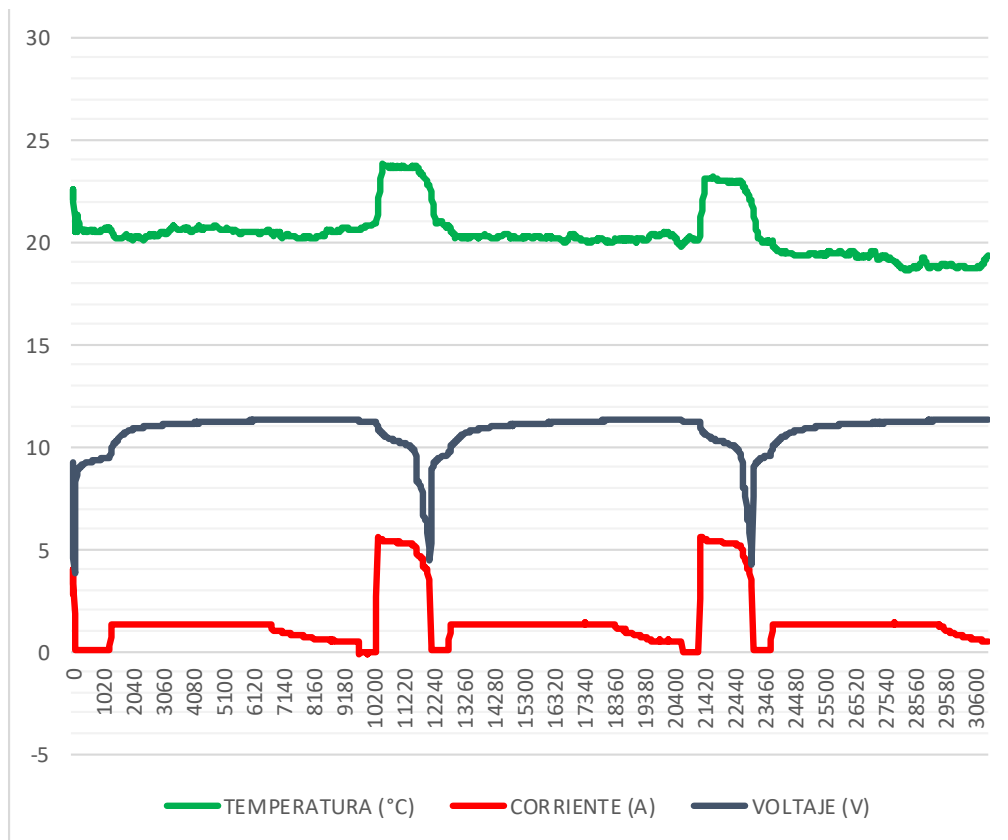
TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)	CORRIENTE (A)	VOLTAJE (V)
150	20,8488	0,531426	11,304
160	20,738	0,485046	11,3087
170	21,5389	-0,0870814	11,1858
180	23,7064	5,36777	10,4025
190	23,6745	5,27139	10,1153
200	22,7665	4,04875	6,40617
210	20,7094	0,0408686	9,55057
220	20,187	1,34229	10,5231
230	20,1976	1,34457	10,8618
240	20,0553	1,3622	10,9776
250	20,3319	1,33926	11,0676
260	20,2055	1,34206	11,1086
270	20,2946	1,34157	11,1655
280	19,9531	1,32905	11,1877
290	20,343	1,34402	11,2575
300	20,0948	1,32585	11,2711
310	19,9238	1,13797	11,3024
320	20,2117	0,772093	11,3109
330	20,3765	0,529782	11,2902
340	20,2635	0,495912	11,2991

TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)	CORRIENTE (A)	VOLTAJE (V)
350	20,0509	-0,0707731	11,2512
360	23,0604	5,4478	10,6074
370	23,0172	5,33218	10,2386
380	22,7792	5,12725	9,57312
390	20,0259	0,054058	9,35447
400	19,5802	1,34684	10,204
410	19,3816	1,33796	10,7156
420	19,6595	1,32935	10,8973
430	19,4256	1,33873	10,999
440	19,5709	1,3261	11,0764
450	19,1947	1,31873	11,1424
460	19,1881	1,33378	11,176
470	18,5787	1,34043	11,2241
480	18,8744	1,34646	11,2436
490	18,6961	1,34677	11,2699
500	18,7328	1,15195	11,3194
510	18,708	0,745198	11,3076

Nota: Los datos presentados en esta tabla han sido seleccionados cada 20 minutos, mientras que en la prueba 15 del archivo digital adjunto se encuentran los datos completos de la prueba de mantenimiento Batería 9.6 V-6.5 A/h tomados cada 20 segundos.

Figura 37

Temperatura/Voltaje/Corriente vs Tiempo en Mantenimiento Final Batería 9.6 V-6.5 A/h



Nota: Las curvas de la gráfica presentada corresponden a los valores completos tomados cada 20 segundos, mostrados en la prueba 15.

El proceso se inicia con la primera descarga la cual tiene como voltaje inicial un valor de 9.28 V, y se descarga hasta 3.82 V en un tiempo de 1 minuto 40 segundos, y desde los 2.80 A hasta 1.83 A. La temperatura baja en este proceso de 22.04°C a 21.20 °C.

La primera carga se realiza dando como resultado un voltaje de 11.32 V en un tiempo de 2 horas 41 minutos. La temperatura oscila entre los 20 °C y 21 °C.

Se realiza un tiempo de descanso de 10 minutos. El voltaje llega a 11.17 V y se inicia el segundo proceso de descarga de 30 minutos con 40 segundos, dando como resultado un voltaje de 4.44 V y una corriente final de 3.25 A, la cual partió desde los 5.62 A. La temperatura se incrementa desde los 21°C hasta los 22° C con un pico máximo de 23 °C.

Se inicia el segundo ciclo de carga dando como resultado un voltaje de 11.32 V y una duración de 2 horas 22 minutos. La temperatura oscila entre los 19 y 20 °C

Se reposa 10 minutos y se inicia la tercera descarga con un voltaje de 11.18 V y una corriente de 5.63 A, hasta 4.25 V y 3.15 A; en 30 minutos 20 segundos. La temperatura se incrementa desde los 21°C hasta los 23° C con un pico máximo en su descarga inicial.

Inicia la tercera carga hasta llegar a un voltaje de 11.31 V, en un tiempo de 2 horas 13 minutos. La temperatura oscila entre 18 y 20 °C.

4.7 Análisis y discusión de resultados

4.7.1 Análisis de carga

Tabla 36

Análisis carga M1 7.2 V-6.5 A

	Carga Rápida			Carga Media			Carga Lenta		
	M	A	F	M	A	F	M	A	F
Tiempo	1 h 22	8		35	12		1 h	Hasta	
Voltaje	min 10	min	27 min	min	min	13 min		el	-
	s							final	
Voltaje (V)	6.8 -	8.5	8.43	7.94 -	8.5	8.46	7.95 -	8.5	8.5
	8.5			8.5			8.5		
Razón de Carga	0.019	-	-	0.016	-	-	0.009	-	-
Tiempo	1 h 34	1	Hasta	38		Hasta el	59		Hasta el
Corriente	min	min	el final	min	40 s	final	min	50 s	final
	36s								
Corriente (A)	1.3	0.3	0.3±0.1	1.07	0.4	0.4±0.02	0.7	0.4	0.4±0.02
Tiempo total de Carga	2 h 7 min			1 h			1 h 15 min		

	Carga Rápida			Carga Media			Carga Lenta		
	M	A	F	M	A	F	M	A	F
Temperatura (°C)	15.8-17.9			15			15-16		

Nota: M: Carga Masiva, A: Carga de Absorción, F: Carga de Flotación.

En la tabla anterior se han comparado los valores de carga de la batería de 7,2 V 6.5 A/h, en la cual se ha determinado diferentes razones de carga con base en el voltaje y tiempo de su carga masiva, dando como resultado en carga rápida una razón de carga de 0.019, en carga media 0.016 y carga lenta 0.009. Esto se debe principalmente a la tasa de corriente que se suministra en los diferentes tipos de carga. Se debe tener en cuenta que las baterías no se encontraban completamente descargadas al momento de la prueba, por lo que los resultados del tiempo pueden parecer contradictorios.

Se observa que la fase de absorción se incrementa en función de la tasa de corriente de carga, cuanto menor sea esta, mayor será el tiempo de absorción.

En el caso de la Carga Lenta, es imperceptible la fase de flotación ya que el voltaje final no muestra un decrecimiento, esto se debe también a la tecnología de Ni-MH, en la cual se vuelve inapreciable la caída de voltaje final.

La diferencia de razones de carga entre carga rápida y media comparado con la razón de carga lenta, se debe a que en una batería de hidruro metálico no se recomienda la carga lenta, pues puede llegar a dañar la batería.

Tabla 37

Análisis carga M1 9.6 V-6.5 A

	Carga Rápida			Carga Media			Carga Lenta		
	M	A	F	M	A	F	M	A	F
Tiempo	16 min	2 min	17 min	55 min	6 min	1 h 1 min	55 min	Hasta el final	-
Voltaje	40 s	20 s							
Voltaje (V)	10.68-11.3	11.3	11.2	9.96-11.3	11.3	11.26	10.6-11.3	11.3	11.3
Razón de Carga	0.039	-	-	0.024	-	-	0.012	-	-
Tiempo	13 min	1 min	Hasta el final	55 min	40 s	Hasta el final	1 hora	2 min	Hasta el final
Corriente	40 s	40 s					46 min		
Corriente (A)	1.3	0.4	0.4±0.01	1.07	0.65	0.3±0.1	0.57	0.4	0.2±0.1

	Carga Rápida			Carga Media			Carga Lenta		
	M	A	F	M	A	F	M	A	F
Tiempo total de Carga		36 min			2 h 2 min 30 s			2 h 30 min	
Temperatura (°C)		13			13-14			15-16	

Nota: M: Carga Masiva, A: Carga de Absorción, F: Carga de Flotación.

Se han comparado los valores de carga de la batería de 9,6 V 6.5 A/h, en la cual se ha determinado diferentes razones de carga con base en el voltaje y tiempo de su carga masiva, dando como resultado en carga rápida una razón de carga de 0.039, en carga media 0.024 y carga lenta 0.012. Esto se debe principalmente a la tasa de corriente que se suministra en los diferentes tipos de carga. Se debe tener en cuenta que las baterías no se encontraban completamente descargadas al momento de la prueba, por lo que los resultados del tiempo pueden parecer contradictorios.

La diferencia de razones de carga entre carga rápida y media comparado con la razón de carga lenta, se debe a que en una batería de hidruro metálico no se recomienda la carga lenta, pues puede llegar a dañar la batería. El valor de temperatura solo varía 1 °C por lo que no existe riesgo de daño alguno en el proceso de carga.

En el caso de la Carga Lenta, es imperceptible la fase de flotación ya que el voltaje final no muestra un decrecimiento, esto se debe también a la tecnología de Ni-MH, en la cual se vuelve inapreciable la caída de voltaje final. Se observa también que la fase de absorción se incrementa en función de la tasa de corriente de carga, cuanto menor sea esta, mayor será el tiempo de absorción.

Tabla 38

Análisis carga M2

BATERÍA/ CARGA	43.2 V-6.5 A (Rápida)			(57.6 V-6.5 A) Media			(57.6 V-6.5 A) Lenta		
	M	A	F	M	A	F	M	A	F
Tiempo	16	1	Hasta	33	1	Hasta	3 h 1	7 min	Hasta el
Voltaje	min	min	el final	min 30 s	min 50 s	el final	min	50 s	final
Voltaje (V)	47.03- 51	51	50.9	58.83- 68.02	68.02	67.7	59.8- 68.02	68.02	67.8
Razón de Carga	0.43	-	-	0.27	-	-	0.045	-	-
Tiempo	17	9	Hasta	34	1	Hasta	3 h 8		Hasta el
Corriente	min	min 50 s	el final	min 30 s	min 10 s	el final	min	1 min	final
Corriente (A)	1.5	0.39	0.4±0.3	1.08	0.33	0.4±0.3	0.75	0.42	0.04±0.03

BATERÍA/ CARGA	43.2 V-6.5 A (Rápida)			(57.6 V-6.5 A) Media			(57.6 V-6.5 A) Lenta		
	M	A	F	M	A	F	M	A	F
Tiempo total de Carga	32 min			52 min 10 s			3 h 25 min 12 s		
Temperatura (°C)	17-18			17-18			17-18		

Nota: M: Carga Masiva, A: Carga de Absorción, F: Carga de Flotación.

Se han comparado los valores de carga de la batería de 9,6 V 6.5 A/h, en la cual se ha determinado diferentes razones de carga con base en el voltaje y tiempo de su carga masiva, dando como resultado en carga rápida una razón de carga de 0.43, en carga media 0.27 y carga lenta 0.045. Esto se debe principalmente a la tasa de corriente que se suministra en los diferentes tipos de carga. Se debe tener en cuenta que las baterías no se encontraban completamente descargadas al momento de la prueba, por lo que los resultados del tiempo pueden parecer contradictorios.

La profunda diferencia entre la razón de carga lenta comparada con las razones de carga media y rápida se visualizan mayormente en esta prueba, dado que existe una reducción significativa en su razón de carga. El valor de temperatura solo varía 1 °C por lo que no existe riesgo de daño alguno en el proceso de carga.

En el caso de la Carga Lenta, es imperceptible la fase de flotación ya que el voltaje final no muestra un decrecimiento, esto se debe también a la tecnología de Ni-MH, en la cual se vuelve inapreciable la caída de voltaje final. Se observa también que la fase de absorción se incrementa en función de la tasa de corriente de carga, cuanto menor sea esta, mayor será el tiempo de absorción.

4.7.2 *Análisis de diagnóstico*

Tabla 39

Análisis diagnóstico inicial vs final batería 7.2 V- 6.5 A/h

	Inicial	Final
Voltaje inicial de carga (V)	8.26	7.91
Voltaje final de carga (V)	8.5	8.49
Razón de Carga	0.0120	0.0121
Tiempo de carga	20 min	48 min
Temperatura de carga (°C)	15-16	15-16
Voltaje inicial de descarga (V)	8.32	8.35
Voltaje final de descarga (V)	2.81	2.84
Corriente inicial de descarga	4.81	4.27
(A)		
Corriente final de descarga	1.8	2.71
(A)		
Tiempo de descarga	1 h 40 s	1 h 6 min

Temperatura de descarga (°C)	17.7-16.37	17-19
SOH	77.93%	83.26%

Nota: Para la fase de carga se utilizó el modo de Carga Rápida.

El principal y más notorio cambio en el diagnóstico presentado en la prueba inicial vs la final es el tiempo de descarga, el cual aumenta un 10.88% con respecto a la primera descarga, lo que genera que el estado de salud de la batería aumente un 5.33%. Se demuestra entonces que el proceso de mantenimiento generó un resultado positivo en cuanto al aumento de SoH.

Tabla 40

Análisis diagnóstico inicial vs final batería 9.6 V- 6.5 A/h

	Inicial	Final
Voltaje inicial de carga (V)	11.14	8.5
Voltaje final de carga (V)	11.33	11.3
Razón de carga	0.0126	0.0130
Tiempo de carga	15 min	3 h 34 min
Temperatura de carga (° C)	15-16	16-17
Voltaje inicial de descarga (V)	11.21	11.15
Voltaje final de descarga (V)	3.79	4.23

Corriente inicial de descarga	5.21	5.62
(A)		
Corriente final de descarga	2.85	2.63
(A)		
Tiempo de descarga	30 min	31 min
Temperatura de descarga	16-17	21-22
(°C)		
SOH	45.49%	48.88%

Nota: Para la fase de carga se utilizó el modo de Carga Rápida.

El cambio más importante que sufrió la batería al ser sometida a un mantenimiento es la variación de su tiempo de descarga, la cual aumenta un 3.33% con respecto a su descarga inicial. El estado de salud aumentó en un 3.39%, demostrando un resultado positivo en el incremento del SOH por medio de la intervención del mantenimiento controlado.

4.7.3 Análisis de mantenimiento

Tabla 41

Análisis pruebas de mantenimiento

	BATERÍA 7.2 V-6.5 A/h	BATERÍA 9.6 V-6.5 A/h
PRIMERA DESCARGA		
Voltaje inicial (V)	6.28	9.28
Voltaje final (V)	3.8	3.82
Corriente inicial (V)	3.88	2.80
Corriente final (A)	2.68	1.83
Temperatura (°C)	15.1-14.64	22.04-21.20
Tiempo	1 min 20 s	1 min 40 s
PRIMERA CARGA		
Voltaje inicial (V)	3.8	3.82
Voltaje final (V)	8.49	11.32
Temperatura (°C)	13-16	20-21
Tiempo	4 h 10 min	2 h 41 min
SEGUNDA DESCARGA		
Voltaje inicial (V)	8.39	11.71
Voltaje final (V)	3.4	4.44
Corriente inicial (V)	4.72	5.62
Corriente final (A)	2.8	3.25

	BATERÍA 7.2 V-6.5 A/h	BATERÍA 9.6 V-6.5 A/h
Temperatura (°C)	16-19	21-23
Tiempo	1 h 1 min	30 min 40 s
SEGUNDA CARGA		
Voltaje inicial (V)	3.4	4.44
Voltaje final (V)	8.48	11.32
Temperatura (°C)	17±1	19-20
Tiempo	3 h 45 min	2 h 22 min
TERCERA DESCARGA		
Voltaje inicial (V)	8.40	11.18
Voltaje final (V)	3.33	4.25
Corriente inicial (V)	4.80	5.63
Corriente final (A)	2.76	3.15
Temperatura (°C)	17-19	21-23
Tiempo	1 h 40 s	30 min 20 s
TERCERA CARGA		
Voltaje inicial (V)	2.76	4.25
Voltaje final (V)	8.49	11.31
Temperatura (°C)	16.5±1	18-20
Tiempo	3 h 42 min	2 h 13 min

Nota: Los datos presentados en esta tabla son un resumen de los resultados totales.

Según los valores obtenidos en los mantenimientos se observa que los tiempos de carga disminuyen progresivamente desde la primera carga, y los tiempos de descarga se mantienen iguales. La temperatura de carga aumenta paulatinamente en el proceso de mantenimiento, mostrando un incremento significativo en las fases de descarga y encontrando un equilibrio en la última carga.

Capítulo V

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

- Se ha determinado el proceso de mantenimiento controlado óptimo en las baterías de alta gama, en el cual, intervienen parámetros de voltaje, corriente y temperatura obtenidos con base a las características nominales de diseño del acumulador, estos son responsables directos de la correcta carga y descarga en un programa de gestión. Los valores de dichos parámetros varían en función de los subprocesos de carga, los cuales tienen relación directa la vida útil de una batería; si en su proceso de carga no recibe un valor adecuado de corriente y voltaje a una temperatura óptima, principalmente en su fase final, se generarán averías y acortamiento de su ciclo de vida, dado que la fase más incidente en un posible daño a la batería es la flotación, debido a que si ha llegado a su voltaje máximo y se sigue alimentándola no se podrá elevar en una sobrecarga sino se generará un efecto de absorción de corriente masiva en el acumulador y por ende se produce daños en su estructura, del mismo modo el ignorar los límites de profundidad de descarga como voltaje de corte y DoD, generarán un efecto similar. Los límites de carga y descarga que se han descrito en el presente proyecto aseguran un mantenimiento adecuado en baterías ya que consideran todos los valores que intervienen en la gestión de la misma.
- Se ha construido un sistema de gestión de baterías en un rango de 0 a 20 Voltios y 24 a 72 Voltios con una capacidad nominal de hasta 15 A/h, basado en la selección de elementos cuya base ha sido la investigación del proceso adecuado de carga y descarga de una batería. La potencia máxima de trabajo en el sistema es de 255.42 Watts, la cual ha sido determinada en

función de los límites y rangos permitidos en un ciclo de gestión con el fin de precautelar la vida útil de la batería.

- Se ha generado un programa de diagnóstico de vida útil de la batería con función a su parámetro SoH, el cual se centra en la relación directa que tiene la capacidad real de la batería versus su capacidad nominal, tomando en cuenta los factores intervinientes en las mediciones de corriente y voltaje, dando como resultado una condición numérica para la evaluación del posible reemplazo de una batería en el sistema para el que fue diseñado, dicho dato porcentual de vida no debe ser menor al 80%.

5.2 Recomendaciones

- Es necesario enfatizar el estudio del comportamiento de las baterías en un sistema de gestión tomando en cuenta factores en el ambiente como la presión atmosférica, la humedad, etc. Y de cómo estos factores influyen o no en el desarrollo de una gestión óptima.
- Para futuras investigaciones, determinar la relación del número de ciclos de carga y descarga y la relación directa con la vida útil de la batería, es necesario determinar un número máximo de ciclos permisibles en un programa de mantenimiento.
- Se recomienda incrementar la potencia del sistema de gestión de la batería y analizar los cambios en el comportamiento de los módulos y controladores en el proceso, debido que, a mayor corriente de carga y descarga, los elementos que intervienen en el sistema tienen un desempeño distinto al descrito en este proyecto.

Capítulo VI

6. Marco administrativo

6.1 Recursos humanos

El recurso humano que intervino en la presente investigación se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 42

Recursos humanos

Ord.	Nombre	Actividad
1.	Diego Gallo	Investigador
2.	Cristhian Valverde	Investigador
3.	Ing. Stalin Mena	Colaborador Científico

6.2 Recursos materiales

Los recursos materiales utilizados en la presente investigación se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 43

Recursos materiales

Ord.	Material	Costo Unitario (\$)	Cantidad	Costo Total (\$)
1	Módulo Step Up	150	1	150
2	Módulo Step Down	40	1	40
3	Fuente 12 V 1.5 A	40	1	40
4	Fuente 24 V 30 A	450	1	450
5	Fuente 5 v 1.5 A	5	1	5
6	Sensor de Corriente	5	2	10
7	Potenciómetro	10	2	20
8	Arduino	20	1	20
9	Cables	0.5	50	25
10	Diodos	5	2	10
11	Estructura	130	1	130
TOTAL				900

6.3 Recursos tecnológicos

Los recursos tecnológicos utilizados en la presente investigación se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 44

Recursos tecnológicos

Ord.	Material	Costo Unitario (\$)	Cantidad	Costo Total (\$)
1.	Computador	80	1	550
2.	Multímetro Automotriz	20	1	120
3.	Osciloscopio	40	1	130
TOTAL (\$)				800

6.4 Costo neto del proyecto

El costo total del proyecto titulado: “*INVESTIGACIÓN DEL PROCESO DE MANTENIMIENTO CONTROLADO DE BATERÍAS DE ALTA GAMA UTILIZADAS EN SISTEMAS DE PROPULSIÓN ELÉCTRICA*” se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 45

Costo neto del proyecto

Ord.	Material	Costo Unitario (\$)	Cantidad	Costo Total (\$)
1.	Recursos Materiales	900	1	900
2.	Recursos Tecnológicos	750	1	800
3.	Movilidad	300	1	300
TOTAL (\$)				2000

6.5 Propuesta de costos para un modelo industrial

Para una posible aplicación se tiene como datos los mismos recursos materiales a mayor escala, por lo que en el caso de los módulos se reduce su precio a la mitad por la importación en masa, los recursos tecnológicos son de vida prolongadas por lo que no se requieren para cada diseño y construcción del sistema de gestión, la movilidad se ve reducida por producción en masa, los costos se detallan en la siguiente tabla:

Ord.	Material	Costo Unitario (\$)	Cantidad	Costo Total (\$)
1.	Recursos Materiales	900	1	580
2.	Movilidad	100	1	100
TOTAL (\$)				680

Un cargador Mastervolt de características similares (Sin control en tiempo real) tiene un precio de \$600 en Amazon, el costo de envío ronda los 300 dólares, un costo neto de \$900. El precio de la propuesta puede competir con este mercado por lo que se podría generar una empresa ecuatoriana de sistemas de gestión de baterías.

Bibliografía

- Arduino (2021). *Arduino Nano*. Arduino. Recuperado el 16 de marzo de 2021
<https://store.arduino.cc/usa/arduino-nano>
- Ayob, A., Mohamed, A., Hoque, M., y Hannan, M. (2017). Review of energy storage systems for electric vehicle applications: Issues and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69 (1), 771-789. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.171>
- Bergveld, H., Krujit, W. y Notten, P. (2002). *Battery Management Systems*. Springer Science Netherlands
- Buchli, B., Aschwanden, D. y Beutel J. (2013) Battery State-of-Charge Approximation for Energy Harvesting Embedded Systems. *Lecture Notes in Computer Science*, 7772.
https://doi.org/10.1007/978-3-642-36672-7_12
- Buchmann, I. (2020). *BU-409 Charging Lithium-ion*. Battery University. Recuperado el 31 de agosto de 2020.
https://batteryuniversity.com/learn/article/charging_lithium_ion_batteries
- Buchmann, I. (2020). *BU-408 Charging Nickel-Metal-Hidruro*. Battery University.
 Recuperado el 31 de agosto de 2020.
https://batteryuniversity.com/learn/article/charging_nickel_metal_hydride
- Branco Marqués, J. M. (2014). *Battery Management System (BMS) for Lithium-Ion Batteries* [master dissertation, University of Coimbra]. Repositorio institucional.
<http://hdl.handle.net/10316/39038>

Campillo, J., Carli G., Chen, D., Dahlquist, E., Dallinger, D., Danilov, D., Ghaviha, N., Khors, R., Kouro, S., Madlener, R., Marano, V., Marwitz, S., Mierau, M., Notten, P., Ozansoy, C., Krishna, V., Rivera, S., Shafiei, A., Selim, T.,... Zimmerman, N. (2017) *Technologies and Applications for Smart Charging of Electric and Plug-in Hybrid Vehicles*. Springer International Publishing Switzerland. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-43651-7>

Chargetek (2015). *Battery charger basics*. Recuperado el 02 de agosto del 2020 de <https://chargetek.com/basic-information.html>

Gagliano, A., & Nocera, F. (2017). Analysis of the performances of the electric energy storage in residential applications. *International Journal of Heat and Technology*, 35(1), 41-48. <https://doi.org/10.18280/ijht.35Sp0106>

Hayes, J. & Abas G. (2017). *ELECTRIC POWERTRAIN Energy Systems, Power Electronics and Drives for Hybrid, Electric and Fuel Cell Vehicles*. John Wiley & Sons Ltd.

Institute of Electric and Electronic Engineers. (2020). IEEE Recommended Practice for Sizing Lead-Acid Batteries for Stationary Applications, *IEEE*, 1-69, <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2020.9103320>.

Institute of Electric and Electronic Engineers. (2014). IEEE Recommended Practice for Maintenance, Testing, and Replacement of Valve-Regulated Lead-Acid (VRLA) Batteries for Stationary Applications - Amendment 1: Updated VRLA Maintenance Considerations, *IEEE*, 1-44, <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2006.99014>.

- Kim, I. (2019). A Technique for Estimating the State of Health of Lithium Batteries Through a Dual-Sliding-Mode Observer. *IEEE transactions on Power Electronics*, 25(4), 1013-1022.
<https://doi.org/10.1109/TPEL.2009.2034966>
- Lacroix, S., Laboure E. y Hilairret, M. (2010). An Integrated Fast Battery Charger for Electric Vehicle. *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, (1), 1-6.
<https://doi.org/10.1109/VPPC.2010.5729063>
- Larminie, J. & Lowry J. (2012). *ELECTRIC VEHICLE TECHNOLOGY EXPLAINED*. (2da ed., pp.19-77). John Wiley & Sons Ltd.
- Mahmoudzadeh, A., Pesiridis, A., Rajoo, S., Martinez-Botas, R. y Esfahanian, V. (2017). A review of Battery Electric Vehicle technology and readiness levels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 414-430. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.138>
- Liu, K., Li, K., Peng, Q. y Zhang, C. (2018). A brief review on key technologies in the battery management system of electric vehicles. *Frontiers of Mechanical Engineering*, 14, 47-64.
<https://doi.org/10.1007/s11465-018-0516-8>
- Martinez Bertran, J. (2020). *Métodos de estimación del estado de carga de baterías electroquímicas* [tesis de ingeniería, Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona]. Repositorio institucional UPCommons. <http://hdl.handle.net/2117/104855>
- Mi, C. & Masrur, A. (2018). *Hybrid Electric Vehicles Principles and Applications with practical Perspectives*. (2da ed., p-29). John Wiley & Sons Ltd.

- Navarro, P. (2019). *INSTRUCCIÓN 2019/S-149 TV-108 Aclaraciones técnicas y criterios para la formulación de denuncias de vehículos ligeros propulsados por motores eléctricos*. [Archivo PDF]. <http://www.dgt.es/Galerias/seguridad-vial/normativa-legislacion/otras-normas/normas-basicas/Instruccion-VMP-y-otros-vehiculos-ligeros.pdf>
- Nemry, F., Leduc, G., & Muñoz A. (2009). *Plug-in Hybrid and Battery-Electric Vehicles: State of the research and development and comparative analysis of energy and cost efficiency*. (pp. 29). JRC Technical Notes
- Neves de Melo, H., Trovão, P., Pereirinha, P., Jorge, H., & Antunes, H. (2017) A Controllable Bidirectional Battery Charger for Electric Vehicles with Vehicle-to-Grid Capability. *IEEE Transactions On Vehicular Technology*, 67(1), 114-123.
<https://doi.org/10.1109/TVT.2017.2774189>
- Ng, K. S., Moo, C. S., Chen, Y. P., & Hsieh, Y. C. (2009). Enhanced coulomb counting method for estimating state-of-charge and state-of-health of lithium-ion batteries. *Applied energy*, 86 (9), 1506-1511. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.11.021>
- Mastervolt. (2020). *Power Book*. Damen Drukkers Werkendam
- MIC (2020). *AXIAL SILASTIC GUARD JUNCTION STANDARD RECTIFIER*. MIC
- Ouyang, M., Ren, D., Lu, L., Li, J., Fen, X., Han, X. y Liu, G. (2015). Overcharge-induced capacity fading analysis for large format lithium-ion batteries with $\text{Li}_y\text{Ni}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}_2 + \text{Li}_y\text{Mn}_2\text{O}_4$ composite cathode. *Journal of Power Sources* 279, 326-635. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2015.01.051>

Pérez, E. (2010). *Protocolo SPI (Serial Peripheral Interface)*.

Real Academia Española. (s.f.). Mantenimiento. *En Diccionario de la lengua española*.

Recuperado el 31 de julio de 2020, de: <https://dle.rae.es/mantenimiento>

Rolls Battery Engineering (2019). *Battery user Manual*. Rolls Battery Engineering

Tashakor, N., Farjah, E. & Ghanbari, T. (2017). A Bi-directional Battery Charger with Modular Integrated Charge Equalization Circuit. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 32, (3).
<https://doi.org/10.1109/TPEL.2016.2569541>

Varta. (11 de febrero de 2020). Cómo cargar la batería de un coche. Recuperado el 25 de junio de 2020 // www.varta-automotive.es/es-es/soporte-para-baterias-varta/carga/como-cargar-la-bateria-de-un-coche

Vidyanandan, K. (2019). Batteries for Electric Vehicles. *Energy Scan: A House e-Journal of Corporate Planning*, 1 (38), 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.171>

Xiong, R., Li, L. y Tian, J. (2018). Towards a smarter battery management system: A critical review on battery state of health monitoring methods. *Journal of Power Sources* 405, 18-19. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2018.10.019>

Xiong, R., Sun, W., Yu, Q., y Sun, F. (2020). Research progress, challenges and prospects of fault diagnosis on battery system of electric vehicles. *Applied Energy* 279, 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115855>

Yang, R., Xiong, R., Ma, S., y Lin, X. (2020). Characterization of external short circuit faults in electric vehicle Li-ion battery packs and prediction using artificial neural networks.

Applied Energy 276, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114253>

Young, K., Wang, K., Wang, L. y Strunz, K. (2013). Electric Vehicle Battery Technologies. En R.

García y J. Peças (Eds.), *Electric Vehicle Integration into Modern Power Networks* (pp. 15-

56). Springer-Verlag. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-0134-6_2

Anexos