



UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA MÉCANICA AUTOMOTRIZ

Implementación de un sistema de almacenamiento de energía de baja potencia para un proceso de segunda vida de baterías híbridas (NI -MH).

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

INGENIERO DE MECÁNICA AUTOMOTRIZ

Autores:

Galo Israel Calle León

Franklin Ronaldo Castro Hoyos

Director:

Dr. Efrén Fernández Palomeque

CUENCA-ECUADOR

2024

Dedicatoria

A mis padres por haberme inculcado los valores necesarios para convertirme en la persona que soy, que a pesar de muchas adversidades y problemas durante el camino han sabido brindarme su ayuda y su esfuerzo para ayudarme a salir adelante, a mis hermanos, familia y amigos que estuvieron a mi lado apoyándome y aconsejándome con cada palabra las cuales me guiaron para poder superarme.

Galo Israel Calle León.

Dedicatoria

A mis padres, por brindarme su apoyo incondicional durante todo este tiempo de mi vida universitaria, por siempre confiar en mí y en darme el mayor ejemplo de vida que ha sido la perseverancia y la responsabilidad, que me han enseñado a sobrellevar las adversidades y han sido mi pilar fundamental para ser la persona y el profesional en el que me estoy convirtiendo, a mis hermanos Marco y Nicolás por el cariño fundamental y el apoyo incondicional de ellos, a mi mejor amigo Pablo que desde el cielo nunca dejó que decayera o dejara de perseguir mi meta, a mis tías que han sido como mi segunda mamá, a mi enamorada Doménica que fue un apoyo primordial para realizar este proyecto, a toda mi familia y mis amigos cercanos que siempre me brindaron una palabra de aliento para no rendirme y poder salir adelante.

Franklin Ronaldo Castro Hoyos.

Agradecimiento

En primer lugar, agradezco a Dios por permitirme tener salud y la fuerza para permitirme llegar hasta aquí y ayudarme a cumplir uno de los objetivos principales en mi vida, a mis padres por haberme apoyado durante todo este transcurso el cual fue largo y duro, sin embargo, siempre creyeron en mí.

A la Universidad del Azuay por darme la oportunidad de estudiar y formarme para convertirme en un profesional, al igual que a mis docentes que a lo largo de la carrera universitaria no solo me impartieron sus conocimientos si no también consejos y ayudas, especialmente a nuestro tutor Efrén Fernández por guiarnos y ayudarnos en nuestro proyecto final.

Galo Israel Calle León.

Agradecimiento

Primeramente, a Dios, por brindarme la oportunidad de poder estudiar, enviarme la sabiduría y salud necesarias para poder sobrellevar mi vida académica y dar este paso que significa demasiado para mí, a mis padres por siempre confiar y creer en mí de manera incondicional a pesar de todas las adversidades que se presentaron a lo largo del camino y supieron darme su mejor consejo y ayuda necesaria.

A la Universidad del Azuay por formarme con una educación de calidad y convertirme en un buen ser humano y profesional, a mis docentes que a lo largo de la carrera universitaria supieron guiarnos y formarnos de mejor manera para no perdernos en el camino y brindar lo mejor de nosotros en el mundo personal y profesional, de manera especial al Ing. Efrén Fernández que fue nuestro mentor y guía en la realización de este proyecto. A mi compañero de proyecto Galo, por ser un buen compañero y sobre todo amigo que siempre me impulsó y apoyó a lo largo de nuestra vida personal y profesional, a todos mis amigos que hicieron de la vida universitaria un tiempo inolvidable con buenos y malos momentos que siempre los voy a recordar.

Franklin Ronaldo Castro Hoyos

Implementación de un sistema de almacenamiento de energía de baja potencia para un proceso de segunda vida de baterías híbridas (Ni – MH).

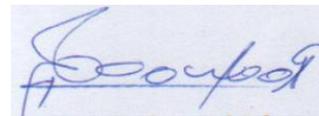
Resumen

El presente trabajo fue elaborado con la finalidad de realizar la implementación de un sistema de almacenamiento de energía de baja potencia, para aprovechar los recursos en un proceso de segunda vida de las baterías de vehículos híbridos (Ni-MH), para ello inicialmente se realizó un análisis previo del estado de las baterías y determinamos la capacidad restante para un segundo uso de las mismas. Posteriormente se realizó el proceso de recuperación de cada una de las baterías mediante la utilización de fuentes de alimentación, con corrientes y voltajes controlados, para después someterlas a un nuevo ciclo de descarga mediante un consumidor. Finalmente se realizó cada uno de los procesos de recuperación y se dio paso a la implementación de dicho sistema mediante el uso de módulos fotovoltaicos, un convertidor de voltaje, un regulador de carga solar, un inversor y las baterías, para la aplicación de carga de una bicicleta eléctrica.

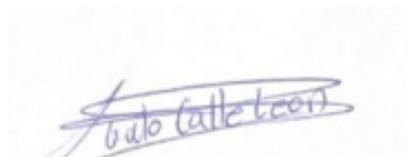
Palabras Claves: Baterías (Ni-MH), regulador de carga solar, convertidor de voltaje, inversor, módulos fotovoltaicos, bicicleta eléctrica.



Ing. Efrén Fernández PHD.
Director del Trabajo de Titulación



Ing. Robert Rockwood Iglesias Msc.
Coordinador de escuela



Galo Israel Calle León
Autor



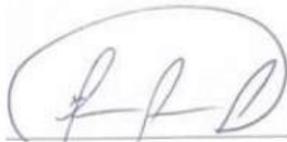
Franklin Ronaldo Castro Hoyos
Autor

Implementation of a low power energy storage system for a second life process of hybrid batteries (Ni – MH).

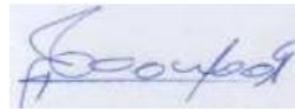
Abstract

This work was elaborated with the purpose of carrying out the implementation of a low power energy storage system to take advantage of the resources in a second life process of batteries of hybrid vehicles (Ni-MH). For this, a previous analysis of the state of the batteries to determinate the remaining capacity for a second use of it was elaborated. Subsequently, the recovery process of each battery was performed through the use of power sources with controlled currents and voltages, to then submit them to a new discharge cycle through a consumer. Finally, each of the recovery processes were made for the implementation of the system through the use of photovoltaic modules, a voltage converter, a solar charge regulator, an inverter and batteries for the application of charging of electric bikes.

Keywords: Batteries (Ni-MH), solar charge controller, voltage converter, inverter, photovoltaic modules, electric bicycle.

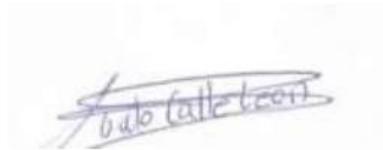


Ing. Efrén Fernández PHD.
Thesis Director



Ing. Robert Rockwood Iglesias Msc.
School Director

Translated by



Galo Israel Calle León
Author



Franklin Ronaldo Castro Hoyos
Author



Índice de contenido

Dedicatoria.....	ii
Dedicatoria.....	iii
Agradecimiento.....	iv
Agradecimiento.....	v
Resumen.....	vi
Abstract.....	vii
Índice de contenido.....	viii
Índice de tablas	ix
Índice de figuras	x
Índice de anexos.....	xi
Introducción.....	1
Materiales y métodos.....	2
Recolección y verificación de las baterías de Ni - MH	2
Verificación de voltaje y clasificación de las baterías de Ni – MH.....	3
Procesos de descarga	4
Procesos de carga	5
Cálculos	5
Horas de luz solar pico.....	5
Consumo de energía	5
Irradiación y Hora solar pico	6
Número de paneles solares	7
Regulador de carga solar	8
Número de baterías	8
Inversor	9
Cableado	9
Implementación del prototipo experimental	10
Resultados y discusiones	11
Conclusiones	13
Referencias	13
Anexos	15

Índice de tablas

Tabla 1. Especificaciones de las Baterías de NI – MH.....	2
Tabla 2. Contabilidad de Baterías	2
Tabla 3. Factor K para la inclinación de los paneles solares	5
Tabla 4. Irradiación Global de la Ciudad de Cuenca	6
Tabla 5. Cálculo de HSP Corregida	6
Tabla 6. Conductividad Eléctrica del Cable	9
Tabla 7. Clasificación de baterías	11
Tabla 8. Proceso de descarga de las baterías	11
Tabla 9. Proceso de recuperación de baterías	12
Tabla 10. Proceso de carga de baterías	12
Tabla 11. Proceso de carga de una batería	12
Tabla 12. Carga de la Bicicleta eléctrica	12

Índice de figuras

Fig. 1 batería de Ni – MH	2
Fig. 2 recolección y verificación de baterías	2
Fig. 3 Medición de voltajes de baterías	3
Fig. 4 Metodología de los procesos de descargas a baterías de Ni – MH	3
Fig. 5 Metodología de los procesos de descargas a baterías de Ni – MH modificada	4
Fig. 6 Proceso de descarga a baterías de Ni – MH	4
Fig. 7 Proceso de carga a baterías de Ni – MH	4
Fig. 8 Horas de luz solar en Cuenca	5
Fig. 9 Datos del cargador de la Bicicleta Eléctrica	5
Fig. 10 Valores de coeficientes de pérdidas	6
Fig. 11 Valores de coeficientes de pérdidas	7
Fig. 12 Valores de coeficientes de pérdidas	7
Fig. 13 Sección de cable	9
Fig. 14 Regulador de carga solar y Paneles Solares	9
Fig. 15 Configuración del regulador de carga solar – corte de voltaje	10
Fig. 16 Configuración del regulador de carga solar – encendido de la carga de las baterías	10
Fig. 17 Configuración del regulador de carga solar – apagado del sistema de almacenamiento	10
Fig. 18 Esquema del sistema de almacenamiento de energía de baja potencia	10
Fig. 19 Implementación del sistema de almacenamiento de energía de baja potencia	10

Índice de Anexos

Anexo 1. Manual de Usuario del Regulador de Carga Solar15

Implementación De Un Sistema De Almacenamiento De Energía De Baja Potencia Para Un Proceso De Segunda Vida De Baterías Híbridas (Ni – MH)

Dr. Efrén Fernández

Universidad del Azuay

Facultad de Ciencia y Tecnología
Ingeniería Mecánica Automotriz

Cuenca, Ecuador
efernandez@uazuay.edu.ec

Galo Israel Calle León

Universidad del Azuay

Facultad de Ciencia y Tecnología
Ingeniería Mecánica Automotriz

Cuenca, Ecuador
gcalle16@es.uazuay.edu.ec

Franklin Ronaldo Castro Hoyos

Universidad del Azuay

Facultad de Ciencia y Tecnología
Ingeniería Mecánica Automotriz

Cuenca, Ecuador
ronaldo_017@es.uazuay.edu.ec

Resumen. _ El presente trabajo fue elaborado con la finalidad de realizar la implementación de un sistema de almacenamiento de energía de baja potencia, para aprovechar los recursos en un proceso de segunda vida de las baterías de vehículos híbridos (Ni-MH), para ello inicialmente se realizó un análisis previo del estado de las baterías y determinamos la capacidad restante para un segundo uso de las mismas. Posteriormente se realizó el proceso de recuperación de cada una de las baterías mediante la utilización de fuentes de alimentación, con corrientes y voltajes controlados, para después someterlas a un nuevo ciclo de descarga mediante un consumidor. Finalmente se realizó cada uno de los procesos de recuperación y se dio paso a la implementación de dicho sistema mediante el uso de módulos fotovoltaicos, un convertidor de voltaje, un regulador de carga solar, un inversor y las baterías, para la aplicación de carga de una bicicleta eléctrica. **Palabras Claves:** Baterías (Ni-MH), regulador de carga solar, convertidor de voltaje, inversor, módulos fotovoltaicos, bicicleta eléctrica.

Palabras Claves: Baterías (Ni-MH), segunda vida de baterías, regulador de carga solar, módulos fotovoltaicos, bicicleta eléctrica.

Abstract. _ This work was elaborated with the purpose of carrying out the implementation of a low power energy storage system to take advantage of the resources in a second life process of batteries of hybrid vehicles (Ni-MH). For this, a previous analysis of the state of the batteries to determinate the remaining capacity for a second use of it was elaborated. Subsequently, the recovery process of each battery was performed through the use of power sources with controlled currents and voltages, to then submit them to a new discharge cycle through a consumer. Finally, each of the recovery processes were made for the implementation of the system through the use of photovoltaic modules, a voltage converter, a solar charge regulator, an inverter and batteries for the application of charging of electric bikes.

Keywords: Batteries (Ni-MH), second life of batteries, solar charge controller, photovoltaic modules, electric

bicycle.

I. Introducción

Dados los avances de los nuevos sistemas vehiculares se ha visto la necesidad de reducir las emisiones contaminantes y aumentar la protección del medio ambiente dando así paso a la creación y utilización de vehículos híbridos. [1]

Actualmente el parque automotor de Ecuador ha tenido un gran crecimiento en los últimos años, a pesar de la pandemia y según datos y estadísticas registradas, “En el año 2021 se registró un récord de ventas de vehículos híbridos y eléctricos, con un total de 4.269 y 348 unidades, respectivamente [2], sin embargo, en nuestro país aún no se tienen claros cuales pueden ser los procedimientos e igualmente las normativas para el tratamiento de los diferentes compuestos químicos de esta clase de baterías, lo cual puede generar un gran impacto ambiental en el futuro, [3] por lo cual se ha visto la necesidad de realizar estudios de investigación y se ha podido apreciar que en este tipo de baterías se puede realizar procesos de segunda vida, es decir como sistemas de almacenamiento de energía para en un futuro poder reducir el impacto ambiental al igual que la contaminación que este tipo de baterías podrían llegar a ocasionar. [3]

En el medio local, se ha planteado una metodología que consta de cinco etapas para procesos de segunda vida de este tipo de baterías, la primera el retiro del paquete de baterías (Ni-MH) defectuosas del vehículo, la segunda etapa el desarmado del paquete de baterías y su verificación de forma, la tercera etapa en la que se comprueban el estado de salud, carga y reacondicionamiento de cada una de las celdas de la batería, la cuarta etapa se trata del proceso de montaje de las baterías reestablecidas, y finalmente la etapa cinco, la muestra de la implementación de los paquetes de baterías usadas como una fuente de alimentación, además, cabe destacar que se ocuparon 5 racks de baterías las cuales generan alrededor de 3.6KW cada uno, dando un total de generación de energía de 18KW obteniendo como resultados

una reducción de 20% en costos y un aporte de energía de 4.4KWh de un total de 14KWh. [3]

En el medio internacional, en Madrid, se ha realizado el diseño y cálculo de una instalación fotovoltaica para un consumo de 81315 Wh, basado en el programa PVsyst, para datos de ubicación e irradiación, así también los cálculos en los cuales se destaca el consumo de energía diario dependiendo de los elementos tales como compresores, ventiladores, computadores, entre otros, en la cual a partir de ello se logra definir el número y tipo de paneles solares, así como también el regulador y número de baterías según los resultados obtenidos. [10]

El objetivo del presente estudio, es desarrollar un sistema de almacenamiento de energía de baja potencia para un proceso de segunda vida de baterías de Ni-MH, aplicado para la carga de bicicletas eléctricas en el cual realizaremos un estudio del estado actual de cada una de las baterías, para después realizar el debido proceso de recuperación y reacondicionamiento de las baterías, descartando aquellas que no cumplan con los parámetros indicados de recuperación., y finalmente la implementación en un prototipo experimental, para verificar el funcionamiento de las celdas y sus alcances basados en energía fotovoltaica.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología está dividida en 6 fases:

- A. Recolección y verificación del estado de las baterías de Ni - MH
- B. Verificación de voltaje y clasificación de las baterías de Ni - MH
- C. Procesos de descarga.
- D. Procesos de carga
- E. Cálculos
- F. Implementación del prototipo experimental.

A. Recolección y verificación de las baterías de Ni - MH

Las baterías de Ni - MH son utilizadas en vehículos híbridos como el Toyota Prius modelo "C" las cuales cuentan con las siguientes características [4] [6].

Tabla 1: Especificaciones de las Baterías de NI - MH

Especificaciones de las baterías de Ni - MH	
Voltaje nominal	7.2 V
Número de Células	6
Voltaje de cada Célula	1.2V
Capacidad de carga	6.5 A/h
Potencia Nominal	46.8 Watts



Fig. 1 batería de Ni - MH

Al tener baterías de Ni - MH que han sido descartadas para utilizarlas en los vehículos híbridos específicamente en el modelo Toyota Prius, se realizó un proceso de recolección; en la Universidad del Azuay ya se contaban con algunos racks de baterías completamente armados y descartados por fallas por lo cual se procedió a realizar un seguimiento a todas estas baterías e inspeccionarlas, en primer lugar se contabilizó el total de baterías que se tenían y a continuación se realizó una revisión de forma externa a todas las celdas con el objetivo de descartar a aquellas que se encuentren defectuosas, entre los posibles defectos que se pueden encontrar son grietas y roturas, quemaduras en sus bordes o exceso de sulfatación y deformaciones como hinchazones en las celdas, en la Tabla 2 se puede observar la contabilización y verificación realizadas a las baterías.

Tabla 2: Contabilidad de Baterías

Baterías	Cantidad
Rack de baterías armadas	20
Rack de 4 baterías	8
Baterías en bodega	2
Baterías desechadas por mal estado	23
Total	53



Fig. 2 recolección y verificación de baterías.

Realizado el proceso de recolección y verificación del total de baterías, se registraron 53 unidades, de las cuales 23 baterías fueron descartadas debido a los defectos señalados anteriormente lo que imposibilita realizar el siguiente proceso de segunda vida, es decir para realizar la siguiente fase de procesos de carga y descarga se registraron un total de 30 baterías.

B. Verificación de voltaje y clasificación de las baterías de Ni - MH

El método a realizar en primera instancia para los procesos de carga y descarga es la verificación del voltaje de las baterías, es necesario realizar dicho proceso ya que con ello se podrá evaluar el estado de las celdas; se clasificaron en 2 grupos de acuerdo al voltaje medido, con baterías mayores o iguales a 6.5 voltios se clasifican como grupo A, baterías menores a 6.5 voltios se clasificaron como grupo B.



Fig. 3 Medición de voltajes de baterías

Realizado la comprobación y clasificadas las 30 baterías, se obtuvo que 19 baterías son de tipo A y 11 son de tipo B como se observa en la Tabla 7, con ello los procesos de carga y descarga se realizarán únicamente en las baterías tipo A.

Para realizar los procesos de descarga y carga se realizó basado en la metodología que se observa en la Figura 4, en dicha metodología se indica que puede existir el efecto de descarga profunda [5], es decir que la batería llegue al 0 absoluto en su voltaje; para baterías de Ni - MH el voltaje de descarga está comprendido entre 1 y 1.2v [7].

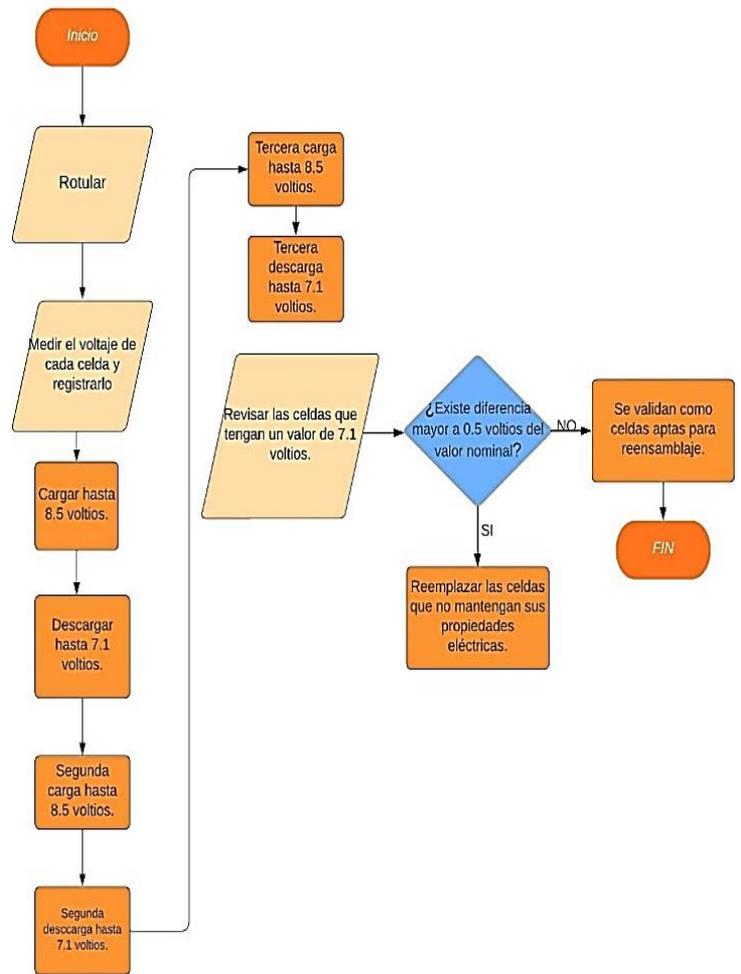


Fig. 4 Metodología de los procesos de descargas a baterías de Ni - MH.

Para evitar el efecto de la descarga profunda en las baterías de Ni - MH, se procedió a modificar la metodología que se presenta en la Figura 4, mediante la propuesta de la metodología que se observa en la Figura 5.

Mediante esta metodología se pretende evitar dicho efecto, además de evitar la inversión de polaridad la cual a su vez se da por el efecto de la autodescarga, es decir que mientras la batería está en reposo pierde la capacidad de carga, con ello se pretende lograr obtener un proceso de recuperación de baterías que permita un segundo uso de las mismas, aumentando los ciclos de carga, así como también se realizará el reposo de cada una de las celdas hasta que se mantengan en un voltaje mayor o igual a 7V, caso contrario las baterías que no logren cumplir con este voltaje serán desechadas.

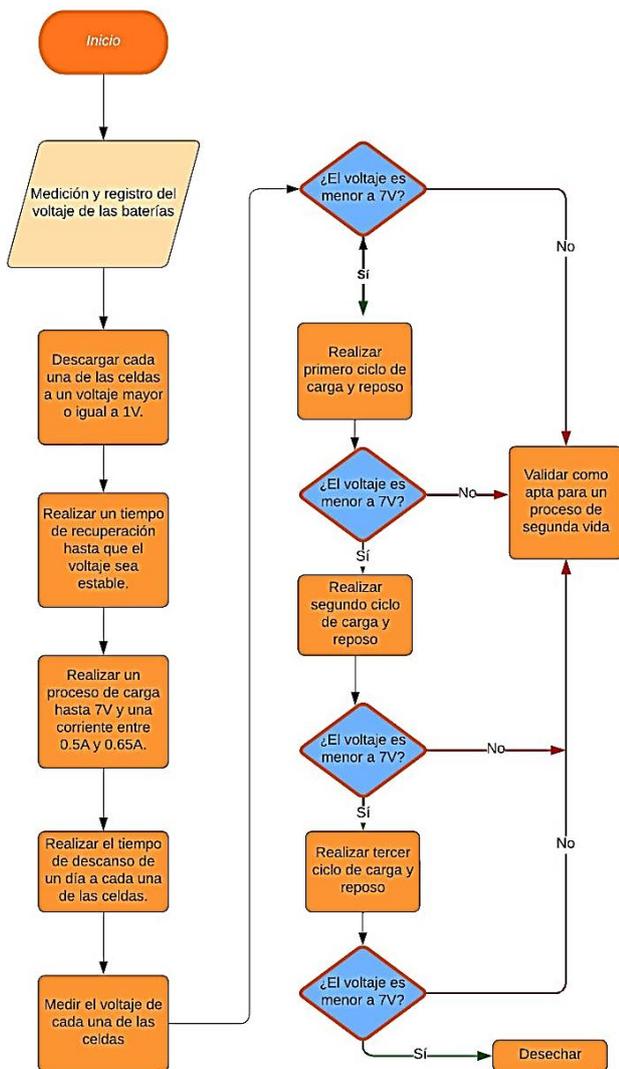


Fig. 5 Metodología de los procesos de descargas a baterías de Ni – MH modificada

Dentro de los procesos de carga y descarga de las baterías se tomó en cuenta los tiempos de recuperación, con ello se puede establecer el voltaje al cual se estabiliza cada una de las celdas para comprobar su funcionamiento y en su defecto desechar aquella que tenga un comportamiento irregular.

C. Procesos de descarga

En la recuperación de las baterías para procesos de segunda vida, uno de los procedimientos a seguir son los procesos de descarga, estos procesos permiten monitorear el comportamiento de las baterías cuando son sujetos a trabajos con una cierta carga, para ello se utilizó un consumidor de 12v, 21 Watts y 1.75A como se indica en la siguiente figura.



Fig. 6 Proceso de descarga a baterías de Ni - MH

Los procesos de descarga se realizaron de manera controlada, evitando que la temperatura supere los 22° C [5], ya que uno de los factores que más influyen en la degradación y desgaste de las baterías es la temperatura [8]; los tiempos de descarga fueron llevados a cabo de manera experimental y cronometrada, como se muestra en la Tabla 8 y 9.

D. Procesos de carga

Para los procesos de carga, se definió el voltaje a cargar, el cual debido a las características de este tipo de baterías se realizó a un voltaje máximo de 7.2v y una corriente de 0.50A a 0.65A, así también se cronometró el tiempo que tarda la batería en llegar al voltaje establecido, como se muestra en la Tabla 10.

Posteriormente se procedió a realizar un día de descanso para cada una de las celdas, con el fin de que el voltaje se regule y se estabilice, este método también se conoce como balanceo de baterías [5].

A continuación, se procedió a medir el voltaje de cada celda, y se realizó un segundo sub proceso de carga, con la diferencia de que se llevó a cabo en un tiempo máximo de 10 minutos de carga, el voltaje y corriente a cargar se mantienen iguales; en caso de que el voltaje sea menor a 7v se procede a realizar un segundo ciclo de carga y en su defecto hasta un tercer ciclo de carga, si al haber realizado los 3 ciclos de carga y el voltaje siga siendo menor a 7v, se desecharán estas baterías.



Fig. 7 Proceso de carga a baterías de Ni – MH

E. Cálculos

Para la implementación del sistema de almacenamiento de las baterías de NI – MH, se analizó como primer punto el/los elementos de consumo, el sistema se utilizará como una pequeña estación de carga para una bicicleta eléctrica, en donde se realizará el cálculo del consumo al momento de cargar la bicicleta; para ello se utilizará una de las bicicletas eléctricas de la Universidad del Azuay.

Horas de Luz Solar

El primer punto a realizar en el cálculo del sistema de almacenamiento de energía es las horas de luz solar que existe en la ciudad de Cuenca, en la Figura 8 se puede observar en promedio por cada mes la cantidad de horas de luz solar. [9]

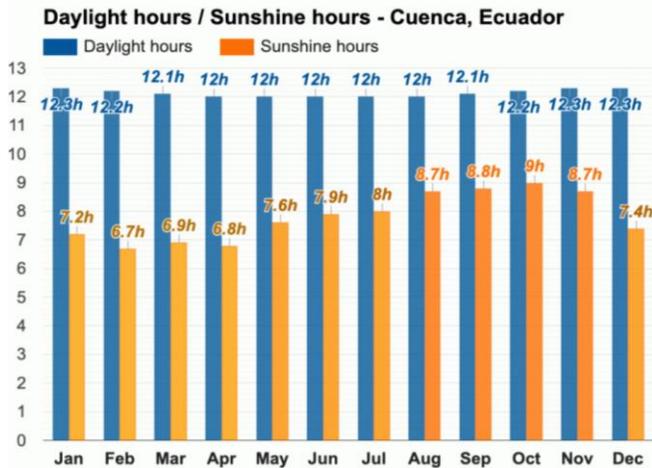


Fig. 8 Horas de luz solar en Cuenca. [9]

Posteriormente para obtener un solo valor, se promedió la luz solar de cada uno de los meses, obteniendo un valor de 7,81 horas de luz solar promedio al año, con lo cual se utilizará el valor de 8 horas de luz solar al día para realizar los cálculos siguientes.

Consumo de energía.

El consumo de energía como se observa en la ecuación (2) se realizó mediante el número de elementos a consumir, en nuestro caso es una bicicleta; la potencia (1) al cual se carga la bicicleta y las horas en las que la estación de carga funcionará.

Número de bicicletas = 1

Voltaje de salida del cargador = 42V

Corriente de salida del cargador = 2A

Horas de funcionamiento al día = 8 horas



Fig. 9 Datos del cargador de la Bicicleta Eléctrica.

$$Potencia\ Cargador = Voltaje \times Intensidad \quad (1)$$

$$Potencia\ Cargador = 42v \times 2A$$

$$Potencia\ Cargador = 84W$$

$$Consumo\ de\ Energía \left(\frac{Wh}{día} \right) = Potencia \times \frac{Horas}{día} \quad (2)$$

$$Consumo\ de\ Energía\ por\ día = 84W \times 8 \frac{horas}{día}$$

$$Consumo\ de\ Energía\ por\ día = 672 \frac{Wh}{día}$$

Irradiación y Hora Solar Pico (HSP)

La irradiación es la energía incidente en una superficie por unidad de superficie y por el tiempo, se puede medir en (KWh/m2 o MJ/m2), la hora Solar Pico o HSP es la unidad que mide la irradiación solar de un lugar, es decir, es la energía por unidad de superficie, se puede medir en (KWh/m2) [10].

Para realizar este cálculo, se obtuvo la latitud de la ciudad de Cuenca, la cual es de 3°, dicho valor se encontró mediante el software PVsyst, posterior a ello mediante la Tabla 3 y según el promedio de los valores de cada mes se encontró el valor más alto para conseguir la inclinación adecuada para los paneles solares y el factor K (factor de corrección para la inclinación del panel) que son los valores de cada mes según corresponda [11].

Tabla 3: Factor K para la inclinación de los paneles solares

Latitud = 3°

Incl	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1.02	1.01	1	.98	.97	.94	.97	.98	1	1.02	1.03	1.03
10	1.04	1.02	.99	.96	.94	.93	.93	.96	.99	1.03	1.05	1.05
15	1.05	1.02	.98	.93	.89	.88	.89	.93	.98	1.03	1.06	1.06
20	1.05	1.02	.96	.9	.85	.83	.84	.89	.96	1.02	1.06	1.07
25	1.05	1	.94	.86	.79	.77	.79	.85	.93	1.01	1.06	1.07
30	1.04	.98	.9	.81	.74	.7	.73	.8	.9	.99	1.05	1.07
35	1.02	.96	.87	.76	.67	.63	.66	.75	.86	.97	1.04	1.05
40	1	.93	.82	.7	.6	.56	.59	.69	.82	.94	1.02	1.04
45	.97	.89	.77	.64	.53	.49	.52	.63	.76	.9	.99	1.01
50	.94	.85	.72	.58	.46	.41	.44	.56	.71	.85	.95	.98
55	.9	.8	.66	.51	.38	.32	.37	.49	.65	.81	.91	.94
60	.85	.75	.6	.44	.3	.24	.28	.41	.58	.75	.87	.9
65	.8	.69	.54	.36	.22	.16	.2	.34	.52	.69	.81	.85
70	.75	.63	.47	.29	.14	.12	.12	.26	.44	.63	.76	.79
75	.69	.57	.4	.21	.12	.11	.1	.18	.37	.56	.69	.73
80	.62	.5	.33	.13	.11	.1	.1	.1	.29	.49	.63	.67
85	.56	.43	.25	.12	.11	.1	.09	.09	.22	.41	.56	.6
90	.49	.36	.18	.11	.1	.09	.08	.08	.14	.34	.49	.53

Para el Sistema de almacenamiento, los paneles solares deberán tener una inclinación de 5°, debido a que los resultados indicaron un valor de 0.996, el cual es el valor más alto de todos, este proceso se realizó mediante un promedio de todos los meses en cada grado de inclinación.

Posterior a ello se obtuvo los valores de Irradiación Global de la ciudad de Cuenca mediante el software PVsyst en base a la latitud de la ciudad y la ubicación de la misma.

Tabla 4: Irradiación Global de la Ciudad de Cuenca

Mes	Irradiación Horizontal Global	Irradiación Difusa Horizontal	Velocidad del viento
-	KWh/m2/día	KWh/m2/día	m/s
Enero	5.15	2.56	1.97
Febrero	4.95	2.71	1.74
Marzo	4.66	2.78	1.86
Abril	4.69	2.35	1.85
Mayo	4.35	1.95	2.09
Junio	4.28	1.80	2.32
Julio	4.28	2.10	3.04
Agosto	4.46	2.49	3.09
Septiembre	4.72	2.40	2.66
Octubre	5.12	2.55	2.03
Noviembre	5.56	2.37	1.23
Diciembre	5.37	2.47	1.92

Seguidamente, y según el cálculo de HSP corregida (3) los valores de K' (factor de corrección de efectos atmosféricos) y K'' (factor de corrección por orientación) serán igual a 1, ya que no estará en una estructura ya establecida y la orientación optima debe ser de norte – sur [10].

$$HSP \text{ Corregida} = HSP \times K \times K' \times K'' \quad (3)$$

Tabla 5: Cálculo de HSP Corregida

HSP Corregida			
Meses	Irradiación Global (HSP)	Factor de inclinación (K)	HSP Corregida
Enero	5.15	1.02	5.25
Febrero	4.95	1.01	5.00
Marzo	4.66	1	4.66
Abril	4.69	0.98	4.60
Mayo	4.35	0.97	4.22
Junio	4.28	0.94	4.02
Julio	4.28	0.97	4.15
Agosto	4.46	0.98	4.37
Septiembre	4.72	1	4.72
Octubre	5.12	1.02	5.22
Noviembre	5.56	1.03	5.73
Diciembre	5.37	1.03	5.53

Número de Paneles Solares

Antes de iniciar con el cálculo de los paneles solares, es necesario saber cuál es el rendimiento de la instalación (4) ya que dependerá de los elementos que forman parte de la misma, se tendrá en cuenta las pérdidas de diversos factores, con ello se podrá estimar el rendimiento general del sistema de almacenamiento de energía [10]:

Los coeficientes de pérdidas de los factores son los siguientes.

K_b = Pérdidas en el proceso de acumulación

K_r = Pérdidas en el controlador de carga

K_a = Autodescarga de la batería

K_i = Pérdidas por el rendimiento del inversor

K_v = Otras Pérdidas no consideradas

P_d = Profundidad de descarga admisible

N = Número de días de autonomía

Los valores para cada uno de los coeficientes se encuentran en las Figuras 10 y 11 respectivamente.

K_b	Pérdidas en el proceso de acumulación
0,05	Acumuladores nuevos, sin descargas intensas
0,1	Acumuladores viejos, descargas intensas
K_r	Pérdidas en el controlador de carga
0,1	Controlador de carga eficiente
0,15	Controlador de carga antiguo, poco eficiente
K_a	Autodescarga de la batería
0,002	Baterías de baja autodescarga, sin mantenimiento
0,005	Baterías estacionarias de energía solar
0,012	Baterías de alta autodescarga
K_i	Pérdidas por el rendimiento del inversor
0	No hay inversor en la instalación
0,05	Rendimiento inversor 95%
0,1	Rendimiento inversor 90%
0,15	Rendimiento inversor 85%
0,2	Rendimiento inversor < 85%

Fig. 10 Valores de coeficientes de pérdidas [10].

Kv	Otras pérdidas no consideradas
0,1	Si no se han tenido en cuenta pérdidas en cableado y equipos
0,05	Si ya se ha realizado un estudio detallado de pérdidas
Pd	Profundidad de descarga máxima admisible
0,9	Batería descargada hasta el 90%
0,8	Batería descargada hasta el 80%
0,7	Batería descargada hasta el 70%
0,6	Batería descargada hasta el 60%
0,5	Batería descargada hasta el 50%
0,4	Batería descargada hasta el 40%
0,3	Batería descargada hasta el 30%
N	Número de días de autonomía
3	Vivienda fines de semana
5	Vivienda habitual
15	Instalaciones especiales con servicio prioritario
20	Instalaciones especiales alta fiabilidad

Fig. 11 Valores de coeficientes de pérdidas [10].

En el sistema de almacenamiento de energía se utilizarán baterías recicladas, un controlador de carga CY-K20A, las baterías tienen una alta autodescarga, alrededor de un 20% por mes [12], el inversor tiene alrededor de un 90% de rendimiento, además no se tendrá en cuenta pérdidas por cableado ya que es un sistema pequeño, la profundidad de descarga de las baterías son de alrededor del 80% [13] y los días de autonomía son 6 según el horario de clases de la Universidad del Azuay, el rendimiento de nuestro Sistema de almacenamiento es el siguiente.

$$R = (1 - Kb - Ki - Kr - Kv) \times \left(1 - Ka \times \frac{N}{Pd}\right) \quad (4)$$

$$R = (1 - 0.1 - 0.1 - 0.15 - 0.1) \times \left(1 - 0.012 \times \frac{5}{0.8}\right)$$

$$R = 0.508$$

Según el rendimiento calculado del sistema la energía necesaria daría es la siguiente:

$$\text{Energía diaria necesaria} = \frac{\text{Consumo de energía diaria}}{\text{Rendimiento del Sistema}} \quad (5)$$

Donde:

Consumo de energía por día = 672 Wh

Rendimiento del Sistema = 0.508

$$\text{Energía diaria necesaria} = \frac{672 \text{ Wh}}{0.508}$$

$$\text{Energía diaria necesaria} = 1320.88 \text{ Wh al día}$$

Se realizó el cálculo de la energía generada por un panel solar, para ello es necesario saber que se utilizará un panel solar de tipo Policristalino modelo SZYL - P100 - 18C debido a su bajo coste en comparación a los paneles de tipo Monocristalino, además que tiene un mejor comportamiento a temperaturas altas, las características del panel solar se pueden observar en la Figura 12.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Tipo de módulo	Poli-Cristalino
Potencia máxima	100W
Tolerancia salida de potencia	0/+5%
Voltaje de circuito abierto	21.3VDC
Corriente de cortocircuito	6.08A
Voltaje en potencia máxima	17.8VDC
Corriente en potencia máxima	5.62A
Eficiencia	14.5%
Max. serie de fusible	10A
Caja de conexiones (grado de protección)	-IP65
Máxima tensión del sistema	1000VDC
Rango de temperatura de funcionamiento	-40°C to 85°C
Peso	7.6kg
Celda (cantidad / material / número de barras colectoras)	72 / silicio multicristalino / 4 or 5
Dimensiones (Altura*Ancho*Profundidad)	1030mm/670mm/35 mm
Calificaciones y certificado	IEC 61215, IEC 61730, CE, ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, BS OHSAS 18001:2007, SA 8000:2015

Fig. 12 Valores de coeficientes de pérdidas

Posteriormente se realizó el cálculo de la energía generada por el panel solar “EPS” (6) y el número de paneles necesarios de la siguiente manera (7):

$$EPS = \text{Potencia nominal del Panel} \times \text{HSP Corregido} \quad (6)$$

Donde:

Potencia nominal del Panel Solar = 100W

HSP Corregido 4.02

Se debe resaltar que el HSP Corregido utilizado es de 4.02 perteneciente al mes de junio, mes en el que existe menor cantidad de Irradiación y por ende el cálculo se basará en este mes asumiendo la peor condición de irradiación para asegurar un cálculo favorable para el resto de meses.

$$EPS = 100W \times 4.02$$

$$EPS = 402 \text{ Wh}$$

Por lo tanto, la cantidad de paneles necesarios son:

$$\text{Número Paneles necesarios} = \frac{\text{Energía diaria necesaria}}{\text{Energía generada por el Panel}} \quad (7)$$

En donde:

Energía diaria necesaria = 1320.88 Wh

Energía generada por el Panel Solar = 402 Wh

$$\text{Número de Paneles necesarios} = \frac{1320.88 \text{ Wh}}{402 \text{ Wh}}$$

$$\text{Número de Paneles necesarios} = 3.28$$

Sin embargo, en este tipo de instalaciones lo habitual es aplicar un factor de seguridad del 20% [10], por lo cual el cálculo del número de paneles aplicando el factor de seguridad se realiza mediante el producto del consumo de energía por día y el factor de seguridad, obteniendo la energía diaria necesaria “EDN” (8).

$$EDN = \text{Consumo de energía por día} \times \text{factor de seguridad} \quad (8)$$

$$\text{Energía diaria necesaria} = 672 \text{ Wh} \times 1.2$$

$$\text{Energía diaria necesaria} = 806.4 \text{ Wh}$$

Por lo tanto, el número de paneles solares necesarios es:

$$\text{Número Paneles necesarios} = \frac{\text{Energía diaria necesaria}}{\text{Energía generada por el Panel}}$$

$$\text{Número de Paneles necesarios} = \frac{806.4Wh}{402Wh}$$

$$\text{Número de Paneles necesarios} = 2.01$$

Aplicando el factor de seguridad de 20% es necesario 2 paneles solares y el sistema de almacenamiento funcionará correctamente, por lo tanto, esta es la cantidad que se implementará.

Regulador de Carga Solar

De acuerdo a las especificaciones de los paneles solares a utilizarse, y según las conexiones entre los mismos, el cálculo del regulador de carga solar será en base a los datos obtenidos de los paneles solares.

Datos:

$$\text{Potencia nominal del panel solar} = 100W$$

$$\text{Tensión máxima del panel solar} = 17.8V$$

$$\text{Corriente máxima del panel solar} = 5.62A$$

$$\text{Número de Paneles a utilizar} = 2$$

$$\text{Tensión en Serie} = 17.8V \times 2 \quad (9)$$

$$\text{Tensión en Serie} = 35.6V$$

$$\text{Intensidad en Serie} = 5.62A$$

$$\text{Tensión en paralelo} = 17.8V$$

$$\text{Intensidad en Paralelo} = 5.62A \times 2 \quad (10)$$

$$\text{Intensidad en Paralelo} = 11.24 A$$

Según los cálculos obtenidos, se observa que la tensión máxima de trabajo de los paneles solares es de 35.6V y una tensión de 5.62A, pero por motivos de costo se utilizará un regulador de carga solar que abastezca una tensión máxima de 30V y una corriente de 20A.

Número de Baterías

Para realizar el cálculo del número de baterías es necesario saber el tipo de batería a utilizar y sus especificaciones. Las baterías de Ni-MH, cuentan con un voltaje de 7.2V y una corriente de 6.5 Ah por cada celda, además de la profundidad de descarga que representa un 80%, pero para efectos del cálculo se utilizará un valor típico de descarga profunda de 60% [10].

En primer lugar, se debe calcular la capacidad de las baterías (11) para una autonomía de alrededor de 2 días, ya que el sistema almacenamiento de energía se utilizará durante 8 horas diarias en 6 días a la semana dando un total de 48 horas utilizables del sistema de almacenamiento, que transformando las horas a días por motivos del cálculo se obtiene un valor de 2 días.

$$\text{Capacidad} = \frac{(\text{Consumo diario} \times \text{días de autonomía})}{\text{Profundidad de descarga} \times V \text{ instalación}} \quad (11)$$

Donde:

$$\text{Consumo diario} = 806.4 \text{ Wh/día}$$

$$\text{Días de autonomía} = 2$$

$$\text{Profundidad de descarga} = 0.6 \text{ (60\%)}$$

$$\text{Voltaje de la instalación} = 35.6V$$

$$\text{Capacidad} = \frac{806.4Wh}{\text{día}} \times 2 \text{ días}$$

$$\text{Capacidad} = 75.51 \text{ Ah}$$

El voltaje máximo del conjunto de paneles solares es de 35.6V, sin embargo, se asociarán en serie 4 baterías que nos darán un voltaje máximo de 28.8v y 6.5Ah por cada grupo, esto debido a que el voltaje de las baterías no debe sobrepasar los 30V que es lo que permite el regulador de carga solar, para cumplir la capacidad de 75.51 Ah, se necesitarán alrededor de 12 conjuntos de baterías, con lo cual se necesitará un total de 48 baterías.

Inversor

El inversor solar es un componente que convierte la corriente continua (DC) generada por los paneles solares y las baterías en corriente alterna (AC); se aplicará un factor de seguridad de 20% con el que pueda soportar toda la potencia del sistema que es de 84W. Se debe tener en cuenta que al momento de realizar la carga de la bicicleta eléctrica demanda una energía de 672 Wh/día, al utilizar el factor de seguridad mencionado se calculó que todo el sistema requiere una energía diaria necesaria de 806.4 Wh.

$$P_{\text{simultánea}} = \text{Potencia} \times \frac{\text{horas}}{\text{día}} \quad (12)$$

$$P_{\text{simultánea}} = 84W \times \frac{8\text{horas}}{\text{día}} = 672Wh/\text{día}$$

$$P'_{\text{simultánea}} = P_{\text{simultánea}} \times 1.2 \quad (13)$$

$$P'_{\text{simultánea}} = \frac{672Wh}{\text{día}} \times 1.2 = 806.4Wh$$

Por lo tanto y aplicando el factor de seguridad se debe utilizar un inversor que cubra mínimo 100.8W, es decir con ello se asegurara que pueda soportar los 806.4 Wh necesarios.

Cableado

El sistema de cableado será diseñado tomando en cuenta las condiciones que sean necesarias en cada uno de los tramos, es decir la tensión, intensidad y la longitud de cable que se va a utilizar [10]. El sistema al ser compacta, no se necesitará longitudes de cable extensas, pero si se deberá considerar un tipo de cableado que sea resistente a los cambios constantes del clima, y por tanto tenga máximo aislamiento, para lo cual usaremos la siguiente fórmula:

$$S = \frac{2 * L * I}{\Delta V * k}, \text{ donde} \quad (14)$$

S = Selección del cable

L = Longitud del cable

I = Intensidad máxima de corriente en el cable

ΔV = Caída de tensión permitida en el tramo

k = Conductividad eléctrica del cable

De acuerdo al código eléctrico ecuatoriano literal 10.12, la caída de tensión máxima permitida es del 5% [14]. Para este sistema de almacenamiento se utilizará la recomendación de la IDAE, es decir la caída de tensión podrá ser hasta de

1.5% [10], para asegurar un correcto funcionamiento de todo el sistema. La temperatura de funcionamiento tanto para el sistema como para el cableado será de máximo 20°C y el material a utilizar será cobre, por lo cual se utilizará una conductividad eléctrica del cable de 59 m/Ω*mm² [15].

Tabla 6: Conductividad Eléctrica del Cable

Material	Resistividad (Ω · m) a 20°C	Conductividad (S/m) a 20°C
Plata (Ag)	1.59 x 10 ⁻⁸	6.30 x 10 ⁷
Cobre (Cu)	1.68 x 10 ⁻⁸	5.96 x 10 ⁷
Oro (Au)	2.44 x 10 ⁻⁸	4.10 x 10 ⁷
Aluminio (Al)	2.82 x 10 ⁻⁸	3.5 x 10 ⁷
Calcio (Ca)	3.36 x 10 ⁻⁸	2.98 x 10 ⁷
Tungsteno (W)	5.60 x 10 ⁻⁸	1.79 x 10 ⁷
Zinc (Zn)	5.90 x 10 ⁻⁸	1.69 x 10 ⁷
Níquel (Ni)	6.99 x 10 ⁻⁸	1.43 x 10 ⁷
Litio (Li)	9.28 x 10 ⁻⁸	1.08 x 10 ⁷
Hierro (Fe)	1.0 x 10 ⁻⁷	1.00 x 10 ⁷

Para realizar el cálculo del cableado desde los paneles hacia el regulador en serie, se utilizó una longitud de 5m y una caída de tensión de 0.534V, y así tendremos lo siguiente:

$$S = \frac{2 * L * I}{\Delta V * k}$$

$$S = \frac{2 * 5m * 5.62A}{0.534V * 59m/\Omega * mm^2} = 1.88mm^2$$

Para el cálculo del cableado desde las baterías hacia el regulador, desde el regulador hacia el convertidor de voltaje, y desde el convertidor de voltaje hacia el inversor, se utilizará una longitud de 1m, ya que el sistema es muy compacto, y se obtuvieron los siguientes resultados:

$$S = \frac{2 * L * I}{\Delta V * k}$$

$$S = \frac{2 * 1m * 5.62A}{0.354V * 59m/\Omega * mm^2} = 0.36mm^2$$

Según los resultados obtenidos, es necesario una sección de cable de 2.5 mm² para el tramo desde los paneles solares hacia el regulador, para los tramos desde las baterías hacia el regulador, desde el regulador hacia el convertidor de voltaje, desde el convertidor de voltaje hacia el inversor, y desde las baterías hacia el regulador se usará un cable de 1 mm² de sección, ya que al realizar el cálculo, la sección de cable es muy pequeña y para evitar futuros daños se utilizará una sección de cable mayor a la calculada.

Columna 1a	Columna 1b	Columna 2	Columna 3	Columna 4	Columna 5a	Columna 5b
Indicación de sección norteamericana buscada		Conversión geométrica	Sección nominal métrica que cumple los requisitos eléctricos	Sección nominal métrica buscada		Magnitud norteamericana que cumple los requisitos eléctricos
AWG	kcmil	mm ²	mm ²	mm ²	AWG	kcmil
9		6,63			8	
10		5,26	6	6	9	
11		4,17			10	
12		3,31	4	4	11	
13		2,62			12	
14		2,08	2,5	2,5	13	
15		1,65			14	
16		1,31	1,5	1,5	15	
17		1,04			16	
18		0,82	1	1	17	
19		0,65	0,75	0,75	18	
20		0,52			19	
21		0,41	0,5	0,5	20	
22		0,33	0,34	0,34	21	
23		0,26			22	
24		0,20	0,25	0,25	23	
25		0,16			24	
26		0,13	0,14	0,14	25	

Fig. 13 Sección de cable [16]

F. Implementación del prototipo experimental

En la implementación del prototipo experimental, se utilizará dos paneles solares con una capacidad de 100W, 17.8 VDC y 5.62A, estos paneles serán conectados en serie, estos serán conectados hacia el regulador de carga solar a través de cables, así también las baterías ya formadas los conjuntos se conectarán al regulador de carga solar mediante cables previamente establecidos, el regulador de carga solar junto con las baterías funcionará a un voltaje máximo de 30V y 20A.



Fig. 14 Regulador de carga solar y Paneles Solares

La configuración del regulador de carga solar se llevó a cabo mediante pruebas de rendimiento en el cual se pudo establecer el funcionamiento del sistema para que trabaje el mayor tiempo posible de manera eficiente y continua. Para lograr dicho funcionamiento se tuvo en cuenta el voltaje en el cual los paneles dejan de funcionar, con ello se configuró a un voltaje de 24V, este es el voltaje más bajo al cual el regulador permite dejar de enviar carga mediante los paneles solares.

Posteriormente se configuró que las baterías entren en un funcionamiento a 27V, esto con el fin de que tanto los paneles solares y las baterías comiencen a funcionar simultáneamente y en la mayoría de tiempo que exista luz solar el panel cargue a las baterías y trabajen al mismo tiempo.

La configuración para que el sistema completo deje de funcionar, se estableció en un voltaje de 18V, es decir las baterías dejaran de abastecer al sistema cuando las mismas hayan llegado a 18V, esto también ayuda a que las baterías no se descarguen por completo y alargan su vida útil, una vez que el sistema deja de funcionar, los paneles solares cargarán nuevamente a las baterías hasta llegar a 27V y el sistema entrará en funcionamiento nuevamente; cabe recalcar que los paneles solares trataran de llegar hasta los 28.8V, es decir un máximo de 7.2V en cada celda siempre que los efectos del clima lo permitan.



Fig. 15 Configuración del regulador de carga solar – corte de voltaje de los paneles solares



Fig. 16 Configuración del regulador de carga solar – encendido de la carga de las baterías



Fig. 17 Configuración del regulador de carga solar – apagado del sistema de almacenamiento

Realizada la configuración del regulador de carga solar se continuó con la conexión del sistema, desde la salida del regulador, es decir la carga que se aplicará, se hizo mediante un convertidor de voltaje de 30VDC a 12 VDC, con ello podremos utilizar el inversor el cual tiene una potencia de 300W y nos permitirá convertir los 12VDC a 110VAC para poder realizar la carga hacia la bicicleta eléctrica.

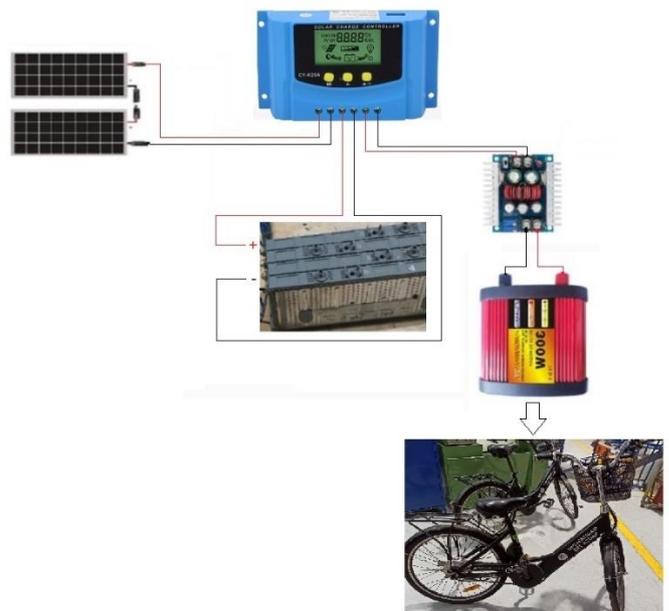


Fig. 18 Esquema del sistema de almacenamiento de energía de baja potencia

La carga de la bicicleta eléctrica se llevó a cabo en cuatro días diferentes, como se muestra en la Tabla 12, en el cual se puede observar los diferentes resultados tomando en cuenta que los datos registrados fueron realizados con diferentes parámetros de clima para observar si existe una alteración a la hora de realizar la carga a la bicicleta eléctrica.

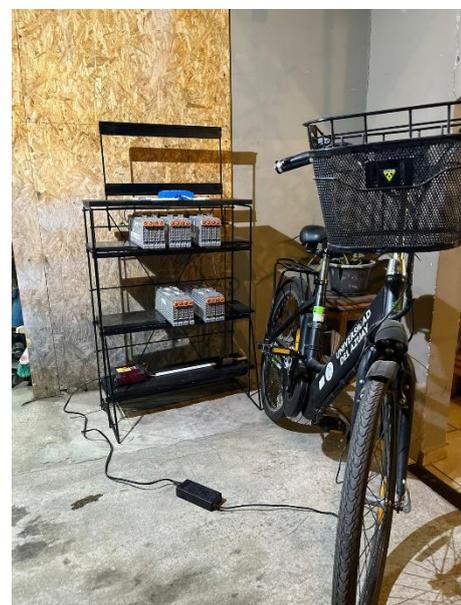


Fig. 19 Implementación del sistema de almacenamiento de energía de baja potencia

III. RESULTADOS Y DISCUSIONES

En esta tabla se muestra los voltajes de cada una de las baterías y como fueron clasificadas.

Tabla 7: Clasificación de baterías

Número de Baterías	Voltaje Medido [V]	Tipo
1	6.9	A
2	6.11	B
3	7.6	A
4	7.1	A
5	7.3	A
6	7.1	A
7	7.3	A
8	6	B
9	7	A
10	7.3	A
11	4.47	B
12	6.9	A
13	7.1	A
14	6.9	A
15	6.97	A
16	6.31	B
17	7	A
18	4.36	B
19	7	A
20	7.1	A
21	5.74	B
22	6.15	B
23	5.46	B
24	6.13	B
25	6.9	A
26	5.55	B
27	5.41	B
28	7.1	A
29	6.95	A
30	7	A

Tabla 8: Proceso de descarga de las baterías

Procesos de Descarga			
Número de Baterías	Voltaje Inicial [V]	Tiempo de descarga	Voltaje Final [V]
1	6.9	15 min 44 seg	1.2
2	7.6	12 min 56seg	2
3	7.1	18 min 56 seg	2
4	7.3	24 min	2
5	7.1	12 min 48 seg	1.1
6	7.3	16 min 18 seg	2.4
7	7	6 min 22 seg	1.2
8	7.3	33 min 40 seg	2.4
9	6.9	24 min 05 seg	1.1
10	7.1	67 min 03 seg	3.5
11	6.9	18 min 10 seg	1.4
12	6.9	25 min 42 seg	1.1
13	7	50 min 32 seg	3.5
14	7	42 min 54 seg	2.3
15	7.1	23 min 15 seg	2.3
16	6.9	45 min 15 seg	2.4
17	7.1	5 min 04 seg	1
18	6.9	7 min 10 seg	1
19	7	13 min 10 seg	2.1

Al observar los resultados de la Tabla 8, podemos apreciar que a pesar de que en algunas baterías las cuales tienen un voltaje mayor o igual a 7V, estas llegan a descargarse en un menor tiempo comparadas con baterías que tienen un voltaje menor a 7V, como es el caso de las baterías 2, 7 y 17, respectivamente, esto nos indica que la capacidad de la batería es la que ha sido afectada, es decir la célula de dichas baterías no están trabajando de manera uniforme, por lo cual una célula o varias tienden a descargarse más rápido que otras células.

Tabla 9: Proceso de recuperación de baterías

Procesos de Descarga		
Número de Baterías	Tiempo de Recuperación	Voltaje Recuperado [V]
1	14 min 30 seg	6.3
2	19 min 46 seg	5.9
3	18 min 11 seg	4.9
4	16 min 19 seg	5.1
5	16 min 35 seg	5.5
6	13 min 12 seg	5.9
7	11 min 59 seg	5.9
8	21 min 51 seg	4.2
9	18 min	5
10	24 min 11 seg	4.9
11	17 min 45 seg	5.9
12	14 min 11 seg	4.9
13	10 min 21 seg	5.4
14	12 min 03 seg	4.1
15	17 min 07 seg	5.3
16	16 min 18 seg	5.1
17	17 min 30 seg	4.8
18	8 min 27 seg	5.4
19	13 min 15 seg	5.6

En ciertas baterías los voltajes y tiempos de recuperación de la Tabla 9 nos indican una alerta cuando se realice los procesos de carga, debido a que en baterías con un voltaje menor a 5V pueden indicar síntomas de una alta autodescarga con lo cual llega a afectar a la capacidad de carga de estas celdas.

Tabla 10: Proceso de carga de baterías

Proceso de carga		
Tiempo de carga	Voltaje de carga [V]	Corriente [A]
14 min 20 seg	7.2	0.50 - 0.65
9 min 12 seg	7.2	0.50 - 0.65
23 min 18 seg	7.2	0.50 - 0.65
18 min 33 seg	7.2	0.50 - 0.65
13 min 07 seg	7.2	0.50 - 0.65
10 min 14 seg	7.2	0.50 - 0.65
9 min 11 seg	7.2	0.50 - 0.65
22 min 07 seg	7.2	0.50 - 0.65
20 min 33 seg	7.2	0.50 - 0.65
12 min 48 seg	7.2	0.50 - 0.65
23 min 13 seg	7.2	0.50 - 0.65
9 min 21 seg	7.2	0.50 - 0.65
32 min 30 seg	7.2	0.50 - 0.65
8 min 35 seg	7.2	0.50 - 0.65

13 min 10 seg	7.2	0.50 - 0.65
20 min 50 seg	7.2	0.50 - 0.65
4 min 32 seg	7.2	0.50 - 0.65
7 min 29 seg	7.2	0.50 - 0.65
13 min 04 seg	7.2	0.50 - 0.65

Implementando la metodología tal como se muestra en la Figura 5, se observa como todas las baterías alcanzan su tensión de funcionamiento óptimo, el cual es de 7.2V a una corriente entre 0.50A y 0.65A, dicha corriente de carga se definió en base a 1/10 de la capacidad de carga el cual es de 6.5Ah, con esta corriente aseguramos una carga eficiente progresiva y controlada, así mismo, se debe poner atención en los tiempos de carga de las celdas, pues es un factor clave para verificar si el funcionamiento de la batería es el correcto o es posible efectuar hasta dos o tres ciclos de carga.

Tabla 11: Proceso de carga de una batería

Batería 5	
Voltaje Inicial 6.49V	Voltaje de Carga 7.2V
Corriente de carga	0.65 A
Tiempo de carga 10 min	Voltaje medido 7.3V
Tiempo de reposo 2 min	Voltaje medido 7.28 V
Tiempo de reposo 5 min	Voltaje medido 7.24 V
Tiempo de reposo 10 min	Voltaje medido 7.21 V
Ciclos de carga	1

Observando la Tabla 11 como muestra de ejemplo de una de las baterías y aplicando la metodología propuesta, se observa como la tensión de las baterías empiezan a estabilizarse, sin embargo, fue necesario aplicar dos ciclos de carga en cinco baterías y tres ciclos de carga en dos baterías para conseguir estabilizar a un voltaje de 7.2V, además de ello también se puede verificar que la capacidad de carga se ha recuperado si bien no en su totalidad pero si para poder realizar procesos de second life.

Tabla 12: Carga de la Bicicleta eléctrica

Carga de la Bicicleta Eléctrica	
Clima	Tiempo de Carga
Soleado	4 h 35 min
Parcialmente Soleado	5 h 13 min
Parcialmente Nublado	5 h 53 min
Nublado	6 h 05 min

Realizada la implementación y en base a la Tabla 12, se puede observar que los tiempos de carga de la bicicleta eléctrica varían según el clima, es decir los días en donde existe mayor cantidad de luz solar, el tiempo de carga es menor debido a que los paneles permanecen cargados la mayor parte del tiempo o casi en su totalidad, por lo que el regulador de carga solar mantiene cargadas a las baterías en

su voltaje nominal de 28.8V por cada rack, a su vez en días en donde existe poca cantidad de luz solar el proceso de carga tomará más tiempo debido a que el funcionamiento del sistema será mayormente por parte de las baterías.

IV. CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos podemos demostrar que fue necesario aumentar los ciclos de carga, descarga y el balanceo de las baterías, esto nos permitió recuperar gran parte de la capacidad de carga de las baterías, así como también prolongar la vida útil de las mismas, esto genera que al momento de que el sistema comience a funcionar principalmente las baterías, la descarga de las mismas sea en un mayor tiempo.

Se determinó que el rendimiento del sistema de almacenamiento es de alrededor de un 50.8%, así mismo es posible mejorar el rendimiento del mismo hasta un 64% mediante el uso de un controlador de carga eficiente y un inversor nuevo que nos asegure al menos un 95% de eficiencia.

A pesar de estar en el Ecuador y ser la zona en donde la luz solar impacta de forma directa, además en base a los datos de la irradiancia se aprecian que otros factores como la gran cantidad de nubes o el clima muy cambiante afectan para que el sistema de almacenamiento de energía no trabaje con la eficiencia deseada y el tiempo de carga no sea mayor a 4h y 35min.

Mencionar que como principal ventaja, este proyecto utiliza una fuente de energía alternativa que nos ayuda a reducir la contaminación hacia el medio ambiente, sin embargo también se debe tener en cuenta que el modo de funcionamiento depende mucho de la cantidad de energía solar que los paneles pueden captar a pesar de contar con baterías para almacenamiento de energía, esto debido al desgaste de las mismas ya habiendo realizado los procesos de recuperación, es así como se puede apreciar que cuando menos cantidad de luz solar existe la carga hacia la bicicleta eléctrica será más lenta y prolongada.

V. REFERENCIAS

[1] Chele, D. (2017). Vehículos híbridos, una solución interina para bajar los niveles de contaminación del medio ambiente causados por las emisiones provenientes de los motores de combustión interna. Universidad Internacional del Ecuador. [Tesis de grado].

[2] AEADE. (2022). Anuario 2022 AEADE. <https://www.aeade.net/anuario/>

[3] Fernández, E., Rojas, D., Cordero, D & Espinoza, M. (2021). The Second Life of Hybrid Electric Vehicles Batteries Methodology of Implementation in Ecuador. Universidad del Azuay.

[4] Saavedra, J & Sibri, J. (2018). "ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE BATERÍAS USADAS EN

VEHÍCULOS HÍBRIDOS DURANTE EL PROCESO DE RECUPERACIÓN". Universidad Politécnica Salesiana. [Tesis de grado].

[5] Rocha, D., Fernández, E., Rojas, D., & Torres, H. (2022). Implementación De Metodología Para La Recuperación Y Selección De Baterías De Níquel Hidruro Metal Usadas En Vehículos Híbridos. Universidad del Azuay. [Tesis Posgrado]

[6] Toyota. (2004). Manual de Desguace de la batería del HV. <https://docplayer.es/24239267-Manual-de-desguace-de-la-bateria-del-hv.html>

[7] Vera, J. (2003). "CARGA RAPIDA DE BATERÍAS DE Ni - Cd Y Ni - MH DE MEDIA Y GRAN CAPACIDAD. ANALISIS, SINTESIS Y COMPARACIÓN DE NUEVOS MÉTODOS". Universidad de Oviedo. [Tesis de grado]

[8] Pérez, M., Angueta, A., Guasumba, J. & Calera, D. (2022). Estimación de la vida útil de las baterías de los vehículos híbridos causas y consecuencias. Revista Científica Dominio de las Ciencias

[9] Weather Atlas. (03 de julio de 2023). Clima y previsión meteorológica mensual Cuenca, Ecuador. <https://www.weather-atlas.com/es/ecuador/cuenca-clima>

[10] Guevara, J. (s.f). DISEÑO Y CALCULO DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA AISLADA. Universidad Politécnica de Madrid

[11] Cleanergysolar. (s.f). Factor de corrección de K para superficies inclinadas. www.cleanergysolar.com

[12] Llopis, R., Pastor, J., Jiménez, A & Sales, C. (2014). DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA AISLADA PARA UNA EXPLOTACIÓN AVÍCOLA. Universitat Jaume I. [Tesis Posgrado].

[13] Manly. (07 de julio de 2023). Como juzgar el tiempo de carga de las baterías de NIMH. <https://es.manly-battery.com/info/how-to-judge-the-charging-time-of-nimh-batteries-63853524.html#:~:text=Seg%C3%BAAn%20el%20tipo%20de%20bater%C3%ADa,entre%203%20y%205%20a%C3%B> los.

[14] Comité ejecutivo de la norma ecuatoriana de la construcción. (2011). INSTALACIONES ELECTROMECCANICAS. Capítulo 15 <chrome-extension://efaidnbmninnibpcapjpcglclefindmkaj/https://inmobiliariadja.files.wordpress.com/2016/09/nec2011-cap-15-instalaciones-electromec3a1nicas-021412.pdf>

[15] Materiales Phemtycs. (10 de julio de 2023). ¿Qué es la conductividad eléctrica? <https://materiales.phemtycs.com/que-es-la-conductividad-electrica/>

[16] Uruwire (s.f). Dimensiones norteamericanas para cables y conductores - comparación con dimensiones europeas www.uruwire.com

Anexos

Anexo 1

Manual de Usuario del Regulador de Carga Solar

User's Manual



SAFETY INSTRUCTIONS

1. Make sure your battery has enough voltage for the controller to recognize the battery type before first installation.
2. The battery cable should be as short as possible to minimize loss.
3. The regulator is only suitable for lead acid batteries: OPEN, AGM, GEL. It is not suited for nickel metal hydride, lithium ions or other batteries.
4. The charge regulator is only suitable for regulating solar modules. Never connect another charging source to the charge regulator.

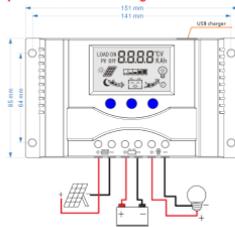
PRODUCT FEATURES

1. Build-in industrial micro controller.
2. Big LCD display, with 5V USB charger.
3. PWM charge management.
4. Build-in short-circuit protection, open-circuit protection, reverse protection, over-load protection.
5. Dual mosfet Reverse current protection, low heat production.

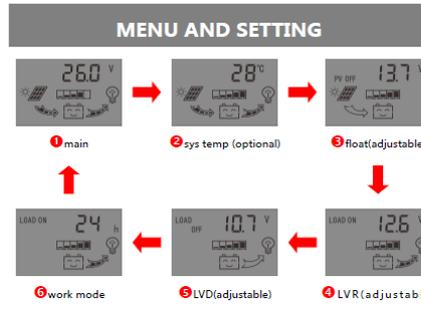
SYSTEM CONNECTION

1. Connect the battery to the charge regulator - plus and minus.
 2. Connect the photovoltaic module to the regulator - plus and minus.
 3. Connect the consumer to the charge regulator - plus and minus.
- The reverse order applies when deinstalling!

An improper sequence order can damage the controller!



DISPLAY	
	MENU
	UP
	DOWN
	Charging iron.
	Discharging iron.
	Day iron.
	Night iron.
	Timer iron.
	Load iron.
	Battery capacity iron.
	System is working good.
	Battery voltage is too low, output is close, when battery get recharge to LVR voltage, the output will open again.



- Menu and setting:
1. press [MENU] to switch between display 1-6.
 2. press [DOWN] to ON/OFF output at main display (when workmode is 24h).
 3. unplug the temp sensor if you dont need temperature compensation.
 4. on display 4-6. press [MENU] 5s to enter setting, while the numbers are

flashing, press [UP]/[DOWN] to choose what you need, then press [MENU] again to save and exit, or long press [DOWN] to restore.

5. work mode : [0h] -Dusk to dawn [24h] always on [1h] - [23h] light open+timer

TROUBLE SHOOTING

Situation	Probable cause	Solution
Charge icon not on when sunny	Solar panel opened or reversed	Reconnect
Load icon off	Mode setting wrong	Set again
	Battery low	recharge
Load icon slow flashing	Over load	Reduce load watt
Load icon slow flashing	Short circuit protection	Auto reconnect
Power off	Battery too low/reverse	Check battery/connection

TECHNICAL PARAMETER

MODEL	1210	1220	1230	4810	4820	4830
Batt voltage	12V/24V auto			48V		
Charge current	10A	20A	30A	10A	20A	30A
Discharge current	10A	20A	30A	10A	20A	30A
Max Solar input	<50V			<80V		
Buck charge	14.2V					
Float charge	13.7V(factory setting)					
Discharge stop	10.7V(factory setting)					
Discharge reconnect	12.6V(factory setting)					
USB output	5V/2A					
Self-consume	<10mA					
Temperature compensation	-4mV/Cell/°C					
Control mode	PWM					
Operating range	-35--60 °C					
Size/Weight	150*86*35mm /200g					

*all red color voltage X2 ,X4 while using 24V /48V system.

*Product specifications are subject to change without prior notice.