



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA



CARACTERIZACIÓN Y MODELACIÓN DE UNA BATERIA DE
ION - LITIO EN EL FUNCIONAMIENTO DE UNA
EMBARCACIÓN ELÉCTRICA SOSTENIBLE EN LA BAHÍA DEL
LAGO TITICACA

TESIS

PRESENTADA POR:

JOEL BRAHAM AMANQUI MAMANI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PUNO – PERÚ

2024



JOEL BRAHAM AMANQUI MAMANI

CARACTERIZACIÓN Y MODELACIÓN DE UNA BATERIA DE ION - LITIO EN EL FUNCIONAMIENTO DE UNA EMBARCACI...

My Files

My Files

Universidad Nacional del Altiplano

Detalles del documento

Identificador de la entrega
tmcoi::8254-412969855

91 Páginas

Fecha de entrega
5 de 2024, 1:15 p.m. GMT-5

12,376 Palabras

Fecha de descarga
5 de 2024, 1:28 p.m. GMT-5

73,778 Caracteres

Nombre de archivo
TESIS_BRAHAM.pdf

Tamaño de archivo
3.7 MB





11% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 12 palabras)

Fuentes principales

- 11% Fuentes de Internet
- 2% Publicaciones
- 6% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y lo revise.



M. Sc. Freddy Churi Acosta
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
CIP: 139745



M.Sc. Felipe Condori Chambilla
SUBDIRECTOR DE INVESTIGACION
EPIME





DEDICATORIA

A la memoria de mi abuelo Guillermo Mamani, de quien siempre tuve un apoyo incondicional y el cual perdurará a través de la eternidad.

A la comunidad científica, con el anhelo de poder contribuir con el presente trabajo.

Joel Braham Amanqui Mamani



AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional del Altiplano – Puno; Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Electrónica y Sistemas; Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica por su formación académica.

Al Programa Nacional de Investigación Científica y Estudios Avanzados del CONCYTEC, por financiar este proyecto de investigación: Proyecto N° PE501083087-2023-PROCIENCIA.

A mi asesor de tesis, Dr. Julio Fredy Chura Acero, por su orientación y apoyo a lo largo del proceso de investigación; quien depositó su confianza en mí para poder realizar este proyecto de investigación.

A mi familia, en especial a mi madre Nohemí Mamani y mi tía María Mamani, por su inquebrantable fe y apoyo en mi vida.

A las entidades y personas que hicieron posible la realización de la presente investigación: Astillero Caballero; Corporación Polarium; ePropulsion; DICAPI – Puno; AEUTTAL; Comunidad Campesina Uros Chulluni; Jose Turpo; Janio Quispe.

Joel Braham Amanqui Mamani



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	14
ABSTRACT.....	15
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	17
1.1.1. Problema general.....	17
1.1.2. Problemas específicos	17
1.2. OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN	18
1.2.1. Objetivo general	18
1.2.2. Objetivos específicos.....	18
1.3. JUSTIFICACIÓN	18
1.3.1. Ambiental	18
1.3.2. Tecnológica	18
1.3.3. Económica.....	19
1.3.4. Social.....	19



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1.	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	20
2.1.1.	Antecedentes internacionales	20
2.1.2.	Antecedentes nacionales	23
2.2.	BASES TEÓRICAS	23
2.2.1.	El litio	23
2.2.2.	Celdas de ion - litio	24
2.2.3.	Baterías de litio.....	31
2.2.4.	Caracterización de baterías de litio	34
2.2.5.	Modelamiento de baterías de litio	35

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.	MATERIALES.....	38
3.1.1.	Lancha eléctrica.....	38
3.1.2.	Batería de ion – litio	39
3.1.2.1.	Celdas de la batería e163	40
3.1.2.2.	Display para la obtención de datos	42
3.1.3.	Motor eléctrico	44
3.1.4.	Panel solar	45
3.1.5.	Controlador de carga solar	47
3.1.6.	Mathworks inc.....	48
3.1.6.1.	Simulink®.....	49
3.1.6.2.	Simscape™	49
3.2.	METODOLOGÍA	50



3.2.1. Enfoque, alcance y diseño.....	50
3.2.2. Matriz de consistencia.....	50
3.2.3. Población y muestra.....	52
3.2.4. Técnicas e instrumentos.....	52
3.2.5. Aplicación de los instrumentos.....	52
3.2.6. Delimitación espacial.....	53
3.2.7. Delimitación temporal.....	54
3.2.8. Procesamiento de datos.....	55

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. AUTONOMÍA.....	56
4.2. CARGA SOLAR.....	61
4.3. MODELAMIENTO.....	62
4.3.1. Diseño de batería e163.....	62
4.4. DISCUSIÓN.....	71
V. CONCLUSIONES.....	74
VI. RECOMENDACIONES.....	75
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77
ANEXOS.....	81

Área : ENERGÍAS RENOVABLES

**Tema : CARACTERIZACIÓN Y MODELACIÓN DE UNA BATERÍA DE ION –
LITIO EN EL FUNCIONAMIENTO DE UNA EMBARCACIÓN ELÉCTRICA
EN LA BAHÍA DEL LAGO TITICACA.**

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 19 de diciembre de 2024



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Propiedades del litio.....	24
Tabla 2 Características de funcionamiento de una batería Ion - Litio	26
Tabla 3 Tipos de carcasas y propiedades	32
Tabla 4 Características de diseño de la embarcación eléctrica	38
Tabla 5 Características de la batería e163.....	39
Tabla 6 Características de la celda de la batería e163.....	41
Tabla 7 Características del motor Navy 6.0.....	44
Tabla 8 Características del panel solar que usa Kallpa Electric	46
Tabla 9 Características del arreglo fotovoltaico instalado en Kallpa Electric	47
Tabla 10 Características del controlador solar ePropulsion.....	48
Tabla 11 Matriz de consistencia.....	50
Tabla 12 Condiciones de prueba.....	56
Tabla 13 Características de funcionamiento de una embarcación convencional de servicio turístico.....	87



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Componentes de la batería.....	25
Figura 2 Celdas cilíndricas.....	28
Figura 3 Celda prismática	29
Figura 4 Celda tipo bolsa	30
Figura 5 Válvula de ventilación.....	33
Figura 6 Display.....	34
Figura 7 Modelo matemático de una batería.....	36
Figura 8 Proceso de modelamiento de una batería	37
Figura 9 Embarcación eléctrica llamada Kallpa Electric.....	38
Figura 10 Características de la batería e163	40
Figura 11 Celda de la batería e163	41
Figura 12 Display de la batería e163	42
Figura 13 Datos mostrados por el display de la batería e163	42
Figura 14 Controlador de mando remoto.....	43
Figura 15 Datos mostrados por el display del mando de control remoto	43
Figura 16 Motor Navy 6.0	44
Figura 17 Panel solar que usa Kallpa Electric	46
Figura 18 Controlador solar ePropulsion.....	47
Figura 19 Descripción del estado del indicador de luz del controlador solar	48
Figura 20 Trayectoria de prueba - Google Maps.....	53
Figura 21 Trayectoria de prueba - Google Earth	54
Figura 22 Autonomía de la BIL e163	57
Figura 23 Potencia consumida por el motor Navy 6.0.....	58



Figura 24	Velocidad de navegación.....	58
Figura 25	Datos del display mientras se descarga la batería.....	59
Figura 26	Datos del display mientras se carga la batería.....	59
Figura 27	Descarga de la BIL en el trayecto de retorno	60
Figura 28	Potencia de consumo del motor Navy 6.0	60
Figura 29	Velocidad de navegación en el trayecto de retorno.....	61
Figura 30	Carga solar.....	61
Figura 31	Command window.....	62
Figura 32	App Battery Builder	63
Figura 33	Modelamiento de la celda.....	63
Figura 34	Modelamiento del ensamblaje en paralelo	64
Figura 35	Modelamiento del módulo de la batería	64
Figura 36	Modelamiento del ensamblaje del módulo.....	65
Figura 37	Modelamiento del paquete que conforma una batería.....	65
Figura 38	Archivo .slx de la batería e163 para simulación.....	66
Figura 39	Parámetros de cargador en la simulación	67
Figura 40	Temperatura de simulación	67
Figura 41	Parámetros de descargador en la simulación.....	67
Figura 42	Diagrama de bloques de la simulación.....	68
Figura 43	Taza de descarga de la simulación	68
Figura 44	Datos estadísticos de la Figura 43	69
Figura 45	Taza de descarga en 2100 segundos.....	69
Figura 46	Comportamiento de la tensión de descarga en la simulación.....	70
Figura 47	Comportamiento de la temperatura interna de la BIL en la simulación....	71
Figura 48	Datos estadísticos de la Figura 47	71



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1: Documento de solicitud para obtener información detallada de la arquitectura de la BIL e163	81
ANEXO 2: Conexión eléctrica de la lancha Kallpa Electric.....	82
ANEXO 3: Solicitud para hacer pruebas	83
ANEXO 4: Acta con las asociaciones y comunidades involucradas en las pruebas.....	85
ANEXO 5: Evaluación económica de Kallpa Electric con una lancha convencional ...	87
ANEXO 6: Parte del equipo de diseño y construcción de Kallpa Electric	89
ANEXO 7: Declaración jurada de autenticidad de la tesis	90
ANEXO 8: Autorización para el depósito de la tesis en el Repositorio Institucional....	91



ACRÓNIMOS

DOD	Profundidad de descarga
BIL	Batería de Ion Litio
RNR	Red neuronal recurrente
LIPO	Polímero de Litio
BMS	Sistema de gestión de batería
DICAPI	Dirección general de capitanías y guardacostas
VMP	Voltaje a máxima potencia
IMP	Corriente a máxima potencia
VOC	Voltaje en circuito abierto
ISC	Corriente en corto circuito
CALB	China Aviation lithium battery Co.,ltd
AEUTTAL	Asociación de Empresas Unificadas de Transporte Turística
	Acuático los Uros
GEI	Gases de Efecto Invernadero



RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue caracterizar y modelar una batería de ion litio en el funcionamiento de una lancha eléctrica sostenible. La batería en estudio fue el modelo e163 de la marca ePropulsion®, de composición química catódica LiFePO_4 (fosfato de hierro y litio), con una configuración de conexión de celdas 16S1P, la cual se encuentra instalada en una embarcación eléctrica que se encuentra operativa en la bahía del lago Titicaca - Puno. La metodología empleada desarrolla un enfoque cuantitativo, de alcance descriptivo, y diseño no experimental. Los datos fueron obtenidos a través del display que tiene la batería y el mando remoto del motor, los cuales realizaron las mediciones en tiempo real. Para caracterizar la batería se sometió a distintos ensayos durante el mes de octubre del año 2024, estos ensayos consistían en medir la autonomía de la batería y comportamiento del sistema de carga mediante paneles solares. Una vez obtenidos los datos experimentales se procedió con el modelamiento del comportamiento de la batería, con las herramientas Simscape™ Battery™ y Simulink® con la finalidad de predecir su comportamiento sin comprometer la vida útil de la batería. Los resultados mostraron que la tasa de descarga a máxima potencia del motor, es a razón de 1 % por cada minuto de recorrido y la autonomía de la batería fue de aproximadamente una hora con treinta minutos. A su vez el modelamiento corrobora la caracterización descrita. Compartimos el proceso de modelado de baterías para que puedan ser replicados o mejorados en otros proyectos.

Palabras Clave: Batería de litio, Caracterización, Electromovilidad, Modelamiento.



ABSTRACT

The objective of this research was to characterize and model a lithium-ion battery in the operation of a sustainable electric boat. The battery under study was the e163 model of the ePropulsion® brand, with a cathodic chemical composition of LiFePO₄ (lithium iron phosphate), with a 16S1P cell connection configuration, which is installed in an electric boat that is operational in the bay of Lake Titicaca - Puno. The methodology used develops a quantitative approach, of descriptive scope, and non-experimental design. The data were obtained through the display on the battery and the remote control of the engine, which performed the measurements in real time. To characterize the battery, it was subjected to different tests during the month of October 2024. These tests consisted of measuring the autonomy of the battery and the behavior of the charging system using solar panels. Once the experimental data was obtained, the battery behavior was modeled using the Simscape™ Battery™ and Simulink® tools in order to predict its behavior without compromising the battery's useful life. The results showed that the discharge rate at maximum engine power was 1% for each minute of travel and the battery's autonomy was approximately one hour and thirty minutes. In turn, the modeling corroborates the characterization described. We share the battery modeling process so that it can be replicated or improved in other projects.

Keywords: Characterization, Electromovility, Lithium battery, Modelation.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El principal uso del mineral de litio es la manufactura de baterías, convirtiéndose en un mineral estratégico de cara al cambio de modelo energético que busca sustituir los combustibles fósiles por energías renovables (National Geographic España, 2022).

Dicho mineral se encuentra en diversas partes del mundo. En América del Sur lo poseen mayoritariamente Chile, Bolivia y Argentina, conocido como el “triángulo del Litio” (De la Puente et al., 2023). En Perú se descubrió una reserva de 5.53 millones de toneladas según la compañía Macusani Yellowcake, el cual según la Universidad Nacional de Ingeniería (2023, 20:00) podría significar un avance en la industrialización del país y la producción de baterías de Litio; además, sería sumamente importante comercializar el mineral con un valor agregado, puesto que significaría añadir un 95 % al precio de materia prima.

Según la Dirección General de Eficiencia Energética (2023) la implementación masiva de la electromovilidad genera mejoras en la calidad de vida de las personas; puesto que, la electromovilidad tiene gran potencial para mitigar el cambio climático y puede contribuir con el cumplimiento de los compromisos del país adquiridos en el marco del Acuerdo de París, que implicará reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en 20% al 2030 con respecto a los niveles verificados en el año 2010.

Según Schmerler et al. (2019) en el Perú hace falta la producción científica y tecnológica respecto a las tecnologías involucradas en la electromovilidad, por esa razón el presente proyecto de investigación tiene dos motivaciones principales: primero realizar estudios sobre la tecnología de Batería de Ion Litio (BIL) en aplicaciones de



electromovilidad (embarcación eléctrica). Segundo, como propuesta de aplicación futura en el sistema de transporte dentro del lago Titicaca, con el ánimo de contribuir con la descarbonización del planeta y aprovechar los recursos renovables (eólicos, solares, otros) para una nueva forma de transporte.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los esfuerzos globales por la mitigación del cambio climático hacen que veamos hacia tecnologías “más amigables¹” con el medio ambiente; sin embargo, la falta de antecedentes académicos hace que no podamos implementar nuevas tecnologías de forma fiable.

1.1.1. Problema general

¿Cuáles son las características y el modelamiento que describan el funcionamiento de la BIL dentro de una lancha eléctrica sostenible en la bahía del lago Titicaca?

1.1.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es la autonomía de la BIL de la lancha eléctrica sostenible en la bahía del lago Titicaca?
- ¿Cuál es el comportamiento del sistema de carga solar en el funcionamiento de la lancha eléctrica en la bahía del lago Titicaca?
- ¿Qué modelamiento es el adecuado para simular la BIL en la bahía del lago Titicaca?

¹ Entre comillas, puesto que, en el proceso de extracción del Litio se producen daños al medio ambiente (EURONEWS, 2022).



1.2. OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN

1.2.1. Objetivo general

Caracterizar y modelar una batería de Ion – litio en el funcionamiento de una lancha eléctrica sostenible en la bahía del lago Titicaca – Puno.

1.2.2. Objetivos específicos

- Registrar la autonomía de la BIL en el funcionamiento de la lancha eléctrica en la bahía del lago Titicaca.
- Describir el comportamiento del sistema de carga solar en el funcionamiento de la lancha eléctrica en la bahía del lago Titicaca.
- Modelar una BIL para simular y predecir su comportamiento en la bahía del lago Titicaca.

1.3. JUSTIFICACIÓN

1.3.1. Ambiental

Se estima que se generan hasta 2500 toneladas de CO₂ a causa del uso de combustibles fósiles para la movilidad turística – lacustre en el trayecto de Puno – Uros; además de posibles derrames de aceites o combustibles derivados del petróleo directamente al lago. La presente investigación pretende promover el uso de tecnologías que puedan mitigar estos peligros medioambientales.

1.3.2. Tecnológica

La tecnología de equipos eléctricos trae consigo mejoras ambientales, económicas y sociales.



Esta investigación pretende promover la incursión de la tecnología eléctrica, la cual ayudaría a mitigar los daños medioambientales de forma inmediata, a su vez significaría un avance tecnológico, con sistemas de transporte más eficientes y factibles.

1.3.3. Económica

El beneficio económico del uso de equipos eléctricos para la propulsión de embarcaciones también es considerable, más aún si estos utilizan las fuentes renovables para su funcionamiento. A su vez que estos equipos necesitan menos mantenimientos. Lo cual quiere decir que podríamos dejar de preocuparnos por el costo de combustible, el cambio de aceite, entre otros.

1.3.4. Social

Naturalmente la mitigación de la emisión de gases de efecto invernadero en la atmosfera traería mejoras al medio ambiente. Por otro lado, los viajes serían más placenteros, pues los motores eléctricos son casi silenciosos en la navegación.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

La mayoría de investigaciones existentes se centran principalmente en la celda de la BIL. Pocas investigaciones se han realizado en configuraciones multiceldas, módulos o paquetes (Tanim et al., 2021).

2.1.1. Antecedentes internacionales

En la investigación realizado por Azemtsop & Mustafa (2024), en Turquía, titulado “Modelado y simulación de un modelo de batería en serie y en paralelo en MATLAB/Simulink” nos muestra una metodología de simulación multicelda, en el cual se hace un arreglo en serie – paralelo, específicamente con celdas de la marca Eaton® con la finalidad de poder predecir su comportamiento en aplicaciones de electromovilidad.

En la investigación realizado por Milia et al. (2023), titulada “Ingeniería de sistemas de propulsión seguros alimentados por batería a través de la simulación y la optimización” nos muestra el proceso para tener una batería, desde la delimitación de los requisitos de construcción, hasta la fabricación de la batería física; sin embargo esta debe ser simulada, dicha simulación consta de dos etapas, la primera es un modelamiento rápido cumpliendo los requisitos de diseño y la segunda, una aproximación de los datos de entorno para una simulación de mayor fidelidad. Los autores nos muestran que la simulación es el camino más seguro para poder construir prototipos seguros.



En la investigación realizada por Liao & Wang (2022), en China, titulado “Estudio de la influencia de las condiciones del entorno operativo en el rendimiento de un sistema de baterías de litio” se realizan pruebas a una celda de Li – ion de tipo bolsa, para conocer la influencia de la baja presiones, la temperatura y la humedad en el interior de una celda. Mostrando sus resultados después de 200 ciclos y desmontando la celda para ver el estado interno de la celda bajo las variables mencionadas; concluyendo así que: las bajas o nulas presiones agudizan el deterioro de la batería puesto que, el electrolito precipita hacia el lado ánodo, y las temperaturas bajas ayudaban a aumentar la resistencia interna de la celda, de tal manera que, disminuye la capacidad de almacenamiento de la celda; por otro lado, las bajas temperaturas externas pueden provocar una condensación dentro de una batería, lo cual representa un peligro en la seguridad, a causa de algún cortocircuito al interior de la batería.

En la investigación realizada por Martin (2022), nos muestra metodología de caracterización de una celda de Ion – litio, tomando como referencia la tensión que tendrá la BIL en un momento determinado; para lo cual utilizó redes neuronales de modelos supervisados.

En la investigación realizado por Zhao et al. (2019), nos muestra una forma de modelado mediante una Red Neuronal Recurrente (RNR); escoge esa metodología ya que, el Modelado de Circuito Equivalente (MCE) tiene algunas limitaciones y complicaciones en el modelamiento de ecuaciones no lineales; el cual es común ver en el comportamiento de las BIL. El estudio es realizado a dos tipos de celdas de ion – litio, Panasonic y Sony; a su vez las pruebas son realizadas distintas temperaturas (-10°C, 0°C, 10°C, 25 °C); teniendo a los datos de entrada:



la corriente y la potencia; y como salida: el comportamiento de las mismas según las temperaturas mencionadas.

En la investigación realizada por Cortés-carmona et al. (2016), en Chile, titulada “Estudio del Efecto Altura en un Sistema de Empaque de Baterías de Ion Litio” se realizan pruebas a una batería con refrigeración forzada (con ventilador) en dos condiciones distintas, a 0 m.s.n.m. y 4000 m.s.n.m.; siendo la principal variación la presión atmosférica que disminuye en un 27 % a mayor altitud, lo cual provoca un incremento fútil de 1 °C y un incremento de 87 veces la potencia requerida del ventilador a 4000 m.s.n.m. para mantener a la temperatura adecuada a las celdas de litio. Con lo cual se concluye que, el diseño de los empaques de las baterías de litio debería ser personalizadas según la zona geográfica de uso.

En la investigación realizada por Dogger et al. (2011), en Holanda, titulada “Caracterización de baterías de iones de litio para la gestión inteligente de almacenamiento distribuido conectado a la red” nos muestra la relación que tiene la DOD, el ciclado y la temperatura ambiente con la degradación de una celda de polímero de litio (LIPO), para aplicación en almacenamiento de energía en la generación distribuida. Los resultados obtenidos en la investigación demuestran que: primero, la resistencia interna de la celda aumenta con un porcentaje mayor del DOD, reduciendo la capacidad de la celda y por ende la vida útil de la misma; segundo, la disminución de la temperatura ambiente influye en el aumento de la resistencia interna de la celda, según los autores por la menor conductividad iónica del electrodo y el gel polimérico.



2.1.2. Antecedentes nacionales

La investigación realizada por Molina (2023), Perú, titulada “Evaluación de un prototipo de electrolinera solar fotovoltaica aplicado a la propulsión de embarcaciones de pesca artesanal en Arequipa” nos muestran las pruebas que se le hacen a un banco de baterías de litio para poder recargar a baterías más pequeñas usadas en embarcaciones pesqueras. Las pruebas se realizamos con distintos tipos de carga: solar, grupo electrógeno, red doméstica.

El uso de embarcaciones eléctricas en el Perú es un tema poco estudiado; las principales aplicaciones de este tipo de embarcaciones son para fines deportivos o de entretenimiento; sin embargo la Universidad Nacional de Ingeniería – Lima, impulsa proyectos a través de su centro de investigación “Naylamp - UNI” los cuales participaron en un concurso internacional europeo “Energy Boat Challenge - Mónaco” con el objetivo de ser líderes de la región en gestión de proyectos sostenibles de investigación direccionados a la industria naval (Noticias Imagen FIM, 2021).

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. El litio

El litio es el tercer elemento de la tabla periódica, después del hidrógeno y del helio, y, además, el primero del grupo de los metales alcalinos. De un atractivo color blanco plateado, es el menos denso de todos los metales. De hecho, es tan liviano que flota en el agua, y tan blando que puede ser cortado con un cuchillo. Sin embargo, la característica que en la actualidad lo convierte en un elemento tan codiciado y estratégico, es su gran capacidad para el almacenamiento de energía, ya que, en comparación con otros materiales, permite la acumulación de altas

densidades de carga en un espacio relativamente pequeño. (National Geographic España, 2022)

Tabla 1

Propiedades del litio

Nombre	Propiedad
Peso atómico	6.94 g
Potencial nominal a 25 °C	-3.05 V
Densidad	0.534 g/cm ³
Valencia	1
Punto de fusión	180.5 °C
Punto de ebullición	1347 °C
Electronegatividad	0.98

Nota. Adaptado de Handbook of batteries (pág. 332), por Linden & Reddy, 2002. McGraw-Hill.

2.2.2. Celdas de ion - litio

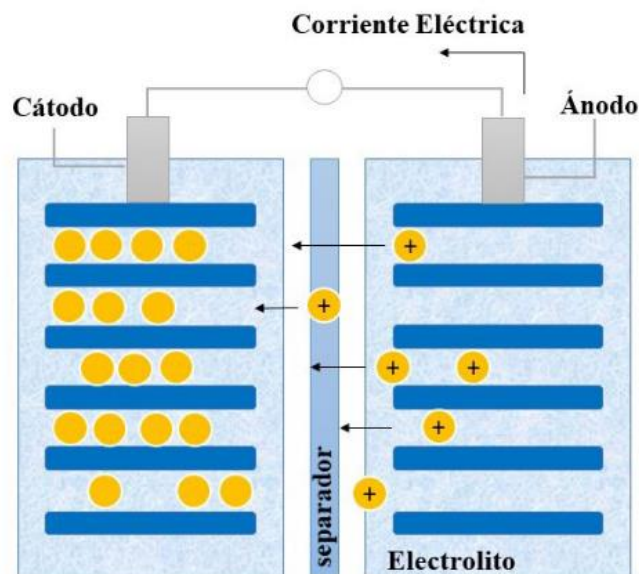
Una celda es la unidad básica de una batería, así, varias celdas conectadas en serie y/o paralelo constituyen una batería. Está formada como se muestra en la Figura 1, por dos electrodos, uno positivo (cátodo) y uno negativo (ánodo), un electrolito y un separador que impide el contacto entre ambos electrodos (Olmo, 2019).

El proceso básico de funcionamiento es como lo describe Horiba (2014) El ánodo sufre una reacción de oxidación durante el proceso de descarga mientras que en el proceso de carga sufre una reacción de reducción. Para el caso de cátodo tenemos una reacción de reducción durante el proceso de descarga y una reacción de oxidación durante el proceso de carga. En el proceso de descarga, el

movimiento de los electrones desde el ánodo al cátodo mediante el electrolito genera una corriente que puede ser usado por una carga. En el proceso de carga sucede lo contrario, al suministrar una corriente a la batería, los electrones del cátodo regresan al ánodo.

Figura 1

Componentes de la batería



Nota. Adaptado de Baterías de ion litio: características y aplicaciones (pág. 2), por Quintero et al., 2021, Revista de I+D Tecnológico. CC BY-NC-SA 4.0

Generalmente el cátodo está compuesto de moléculas de litio y otros elementos como cobalto, níquel, hierro, manganeso, potasio, entre otros. Todos ellos con una electronegatividad baja y media, la cual les permite ceder con mayor facilidad sus electrones de valencia en el proceso de descarga. El ánodo generalmente está compuesto de grafito, el carbono es elemento electronegativo, lo cual facilita la recepción de electrones en el proceso de descarga.

Las características generales del funcionamiento de las baterías de Ion – Litio se muestran en la Tabla 2.



Tabla 2

Características de funcionamiento de una batería Ion - Litio

Características	Rango de funcionamiento
Voltaje de operación de una celda	2.5 – 4.2 <i>V</i>
Energía específica	100 – 158 <i>Wh/Kg</i>
Densidad de energía	245 – 430 <i>Wh/L</i>
Tasa continua de capacidad	Común 1 <i>C</i> Alto 5 <i>C</i>
Tasa de capacidad de pulso	Hasta 25 <i>C</i>
Ciclo de vida a 100% de DOD	Comúnmente 3000
Ciclo de vida de 20 – 40% de DOD	Sobre los 20000
Tasa de autodescarga	2 – 10 %
Rango de temperatura de operación	-40 – 65°C
Efecto memoria	Ninguno
Densidad de potencia	2000 – 3000 <i>W/L</i>
Potencia específica	700 – 1300 <i>W/Kg</i>

Nota. Adaptado de Handbook of batteries (pág. 334), por Linden & Reddy, 2002. McGraw-Hill.



El potencial de salida de las baterías se debe a la diferencia de potencial entre ambos compuestos de los electrodos. Para tener un potencial lo más alto posible, se debe seleccionar un material como electrodo positivo, con un potencial alto de intercalación o transferencia de electrones respecto al Litio y como electrodo negativo, con un material que sea lo más bajo posible (Fonseca, 2011)

El material del electrodo positivo suele ser un óxido metálico con una estructura en capas, como óxido de litio y cobalto (LiCoO_2), o un material con una estructura en túnel, como óxido de litio y manganeso (LiMn_2O_4), sobre un colector de corriente de papel de aluminio. El material del electrodo negativo suele ser un carbono gráfico, también un material en capas, sobre un colector de corriente de cobre. En el proceso de carga/descarga, los iones de litio se insertan o extraen del espacio intersticial entre las capas atómicas dentro de los materiales activos. Se han utilizado cuatro tipos de electrolitos en las baterías de iones de litio: electrolitos líquidos, electrolitos en gel, electrolitos poliméricos y electrolitos cerámicos (Linden & Reddy, 2002)

2.2.2.1. Topología de las celdas de litio

Las baterías cuyo componente principal es el litio se tipifican en varias, las cuales rigen su funcionamiento por el proceso de reducción y oxidación que sufren los iones de dicho elemento o elementos compuestos. Cabe mencionar que, en un sentido general se refieren también como baterías de Ion – Litio a todas las baterías cuyo compuesto principal es el litio, esta connotación colectiva no es precisa, y en esta sección aclararemos las principales diferencias.

2.2.2.1.1. Según su empaquetadura

- **Cilíndricas**

Las características principales de una celda de tipo cilíndrica son las siguientes: carcasa duradera, generalmente aluminio; amplia disponibilidad; baja capacidad de celda 2 – 3 Ah; seguridad de paquete menor; su uso se da en aparatos eléctricos y electrónicos de poca capacidad (NCPower, 2023).

Figura 2

Celdas cilíndricas



Nota. Extraído de NanoGraf bate récords en la densidad de energía con sus celdas cilíndricas 18650, HYE, 2022. https://www.hibridosyelectricos.com/coches/nanograf-records-densidad-energia-celdas-cilindricas-18650_63856_102.html

En una investigación realizada por El Idrissi et al. (2023) demuestran que una celda cilíndrica puede operar de manera segura, sin perder significativamente su capacidad o falla mecánica, en comparación con una de bolsa en condiciones de baja presión.

- **Prismáticas**

Las características principales de una celda de tipo prismática son las siguientes: carcasa duradera, generalmente de aluminio y plástico; alta capacidad de la celda, alrededor de 100 – 300 Ah; el uso de este tipo de celda se da en el sector industrial o en el sector automotriz, en donde se requiere gran capacidad de almacenamiento (NCPower, 2023).

Figura 3

Celda prismática



Nota. Extraído de L173F163 3.2V 163ah Lithium Iron Phosphate Battery Long Life Cycle, GreFlow, 2022. <https://www.lifepo4storagebattery.com/sale-13856737-1173f163-3-2v-163ah-lithium-iron-phosphate-battery-long-life-cycle.html>

- **Bolsa**

Las características principales de una celda de tipo bolsa son las siguientes: capacidad media, alrededor de 20 – 40 Ah; bajo coste por la carcasa; fragilidad en la carcasa; limitaciones en el sistema de empaquetamiento; su aplicación es para entornos donde se requieren altos voltajes y bajas capacidades o el aprovechamiento del lugar de instalación (NCPower, 2023).

Figura 4

Celda tipo bolsa



Nota. Extraído de Sakuú comercializará celdas de metal de litio y electrolito sólido en 2022, HYE, 2022. https://www.hibridosyelectricos.com/coches/sakuu-comercializara-celdas-metal-litio-electrolito-solido-2022_55684_102.html

2.2.2.1.2. Según el material catódico

La composición química de la cual está compuesto el polo positivo de una celda de litio cambia sus características eléctricas, a continuación, tenemos los elementos más conocidos:

- Litio Cobalto Óxido (LiCoO_2)

Es el material más utilizado para cátodos. Aunque sus capacidades son más bajas que las de óxidos basados en níquel-cobalto-aluminio (NCA), LiCoO_2 ofrece estabilidad y se encuentra en dispositivos móviles y cámaras.

- Litio Manganeso Óxido (LiMn_2O_4)

Destaca por su seguridad mejorada y alta estabilidad térmica, aunque su vida útil es limitada. Se utiliza en herramientas eléctricas, dispositivos médicos y trenes de potencia.



- Litio Níquel Manganeso Cobalto Óxido (LiNiMnCoO_2) – NMC
Combina níquel, manganeso y cobalto, ofreciendo un equilibrio entre celdas de energía y potencia. Usado en herramientas eléctricas y bicicletas eléctricas.
- Litio Hierro Fosfato (LiFePO_4) – LFP
Material más reciente para cátodos, utilizado en vehículos eléctricos por su bajo costo, seguridad y durabilidad. Su densidad energética es más baja que otras baterías Li-ion (Electricity - Magnetism, s.f.).

2.2.3. Baterías de litio

El ensamblaje de las baterías de litio está compuesto de una configuración específica de celdas, dispuestas en serie y paralelo según sean los requerimientos de potencia para su aplicación. A su vez, esta cuenta con otros componentes como: sistema de gestión de batería (BMS), carcasa, display, sistema de ventilación, otros.

2.2.3.1. BMS

Un sistema de administración de batería, cuyas siglas en inglés son (BMS) es un circuito electrónico capaz de monitorear un paquete de celdas para que funcionen en los parámetros seguros de operación (voltaje, corriente y temperatura) durante su carga y descarga. Estos circuitos siguen el estado de cada una de las celdas; es decir, alarman o desconectan si el paquete se encuentra fuera de los parámetros seguros de operación además de equilibrar o igualar el voltaje (Pérez & Walteros, 2016).

2.2.3.2. Carcasa

Es la parte estructural de la batería, la cual proporciona rigidez, seguridad y influye en su rendimiento. Los materiales más usados para su fabricación son: PVC, plástico, metal y aluminio (TRITEK, s.f.).

Tabla 3

Tipos de carcasas y propiedades

Propiedad	Carcasa de PVC	Carcasa de plástico	Carcasa de metal	Carcasa de aluminio
Material	Cloruro de polivinilo	Varios plásticos (por ejemplo, ABS)	Acero, Acero inoxidable, Acero niquelado	Aleación de aluminio
Peso	Ligeros	Ligeros	Más pesado	Ligeros
Fortaleza	Bajo a moderado	Moderado	Alta	Alta
Durabilidad	Moderado	Moderado	Alta	Alta
Resistencia a la Corrosión	Limitada	Limitada	Moderado (con recubrimiento adecuado)	Alta
Conductividad Térmica	Baja	Baja	Moderado	Alta
Conductividad eléctrica	Aislante	Aislante	Conductivo (puede requerir aislamiento)	Aislante
Resistencia al impacto	Baja	Moderado	Alta	Moderado
Flexibilidad de diseño	Alta	Alta	Bajo a moderado	Alta
Costo	Baja	Bajo a moderado	Moderado	Moderado a alto
Facilidad de fabricación	Alta	Alta	Moderado	Moderado
Reciclabilidad	Moderado	Moderado	Alta	Alta

Nota. Adaptado de 4 tipos de carcasas para baterías de litio: comparación completa, TRITEK.

<https://tritekbattery.com/es/4-casing-types-for-lithium-batteries-pvc-plastic-metal-and-aluminum/>

2.2.3.3. Ventilador

La batería que usamos cuenta con un dispositivo de ventilación pasiva, como se puede apreciar en la figura.... Cuenta con una válvula de ventilación (5) con protección IP 67, la cual permite regular la temperatura y presión al interior de la batería; eso le permite mitigar los efectos causados por la altitud geográfica.

La importancia de un ventilador es súbita, puesto que, en el proceso de carga y descarga la batería incrementa su temperatura interna, incrementando también su presión y emanando gases, la cual podría significar un riesgo de fuga térmica en las celdas y provocar una explosión. Estos dispositivos disipan estos gases y equilibran la presión interna y externa en la batería y protegen eficazmente contra la suciedad, el polvo, la condensación, la humedad y el agua (GORE, s.f.)

Estas válvulas permiten la regulación de presión interna dejando salir o ingresar aire al interior de equipo. Incluso puede abrir el conducto de ventilación a una presión específica (EATON, 2022)

Figura 5

Válvula de ventilación



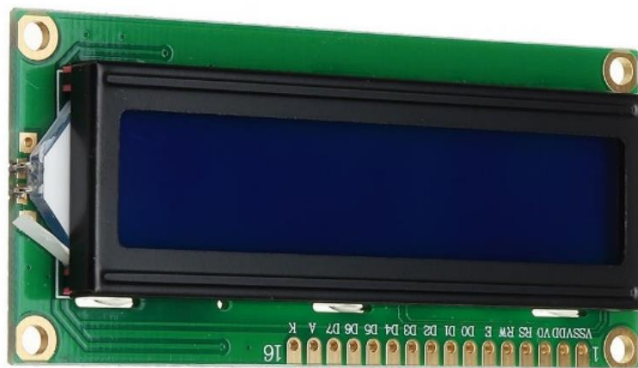
Nota. Extraído de El nuevo GORE PolyVent High Airflow para condiciones climáticas extremas logra un doble flujo de aire y una mayor protección contra la inflamabilidad ®, Gore productos, 2015. <https://www.gore.de/news-events/pressemitteilung/polyvent-high-airflow>

2.2.3.4. DISPLAY

En español sería el visualizador, es la pantalla que nos permite ver datos de un dispositivo electrónico.

Figura 6

Display



Nota. Extraído de LCD/ Liquid Crystal Display, MADE.
<https://electronicamade.com/lcd-liquid-crystal-display/>

2.2.4. Caracterización de baterías de litio

La caracterización de las BIL se puede realizar considerando distintos aspectos como: estado de carga (SOC), profundidad de descarga (DOD), temperatura ambiente, temperatura interna en la batería, voltaje a tiempo real, tiempo de descarga, entre otros. En nuestra investigación nos centraremos en la carga y descarga de la BIL.

2.2.4.1. La autonomía

La autonomía de la batería se refiere a la cantidad de tiempo que un dispositivo electrónico puede funcionar antes de requerir una recarga. Esto es generalmente medido en horas, y depende del tipo de dispositivo, así como el uso que se le dé al mismo (Muy Tecnológicos, s.f.).

2.2.4.2. Carga

Se puede describir el comportamiento del proceso de carga de una batería. Este proceso puede ser de distintas maneras, respetando los límites de operación establecidos por el fabricante. Podríamos cargar la batería con un sistema de paneles fotovoltaicos, un sistema de aerogeneradores, electrolíneas, entre otros.

2.2.5. Modelamiento de baterías de litio

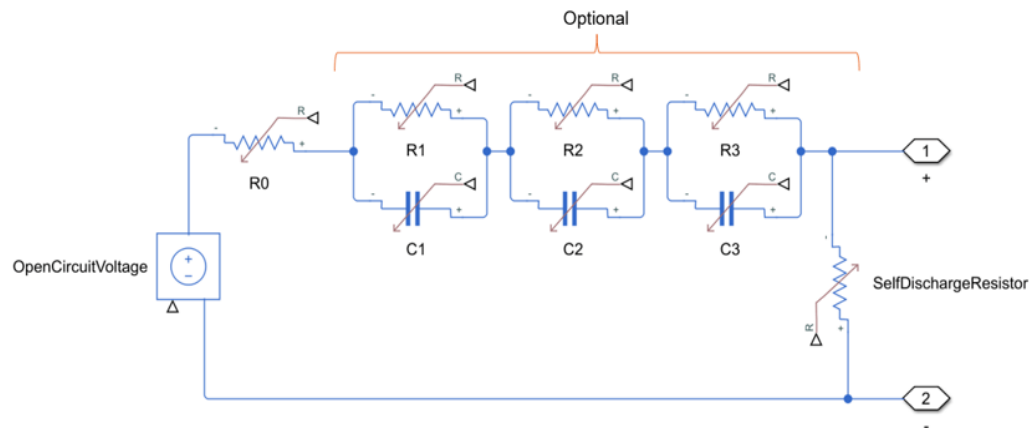
El modelamiento de la batería que usaremos (e163 - ePropulsion®) lo realizamos mediante las herramientas: Simscape™ Battery™ y Simulink® de MatWorks Inc.

El modelado de las BIL se realiza considerando comúnmente dos aspectos: modelo electroquímico y modelo eléctrico de circuito equivalente. El primero se basa en las características constructivas y los fenómenos electroquímicos que se producen al interior de una celda. El segundo modelo simula el comportamiento de la batería (Rodríguez, 2017)

En el presente trabajo de investigación nos centraremos en los modelos matemáticos utilizados en Matlab®. En la Figura 7 se puede apreciar la referencia del modelo eléctrico de circuito equivalente usado por Simulink® para realizar las pruebas.

Figura 7

Modelo matemático de una batería



Nota. Recopilado de Battery Equivalent Circuit, MatWorks Inc., 2023.

<https://la.mathworks.com/help/simscape-battery/ref/batteryequivalentcircuit.html>

Donde: R_0 es la resistencia interna de la batería o resistencia instantánea, los circuitos $R - C$ en paralelo representan la dinámica de funcionamiento interno de la batería, la interacción del litio en los electrodos, la interacción del litio en el electrolito (Cortés-carmona et al., 2016).

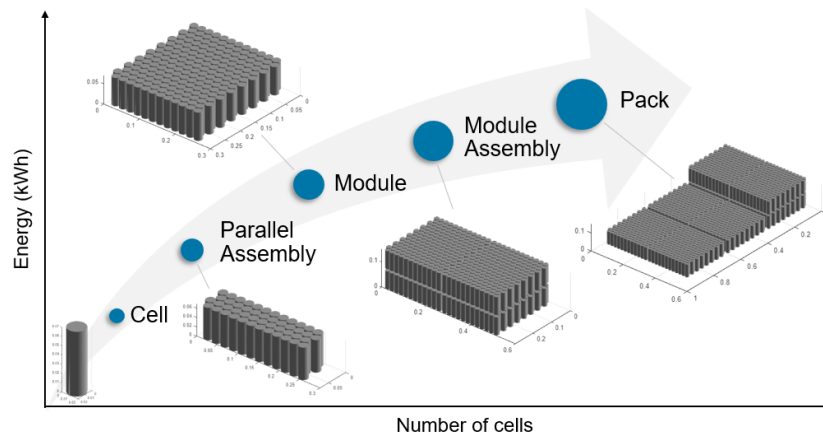
El modelamiento térmico de una celda es importante ya que, al haber pérdidas por efecto joule en la batería se genera calor, el cual influye a distintos aspectos como: la seguridad, la vida útil y su funcionamiento.

Cabe mencionar que la mayoría de las pruebas para poder contrastar la validez del modelamiento, se realizan con celdas de baterías, las cuales son las unidades manipulables, más accesibles para hacer pruebas; sin embargo, nuestro proyecto no contempla el desmontaje interno de los equipos eléctricos de la embarcación.

Según la secuencia de diseño de una batería con la herramienta battery™, primero se debe diseñar una celda con las características requeridas, hasta llegar al pack, el cual sería la batería, como se muestra en la Figura 8.

Figura 8

Proceso de modelamiento de una batería



Nota. Recopilado de Apply Parameter Variation to Cells in Module, MatWorks Inc., 2023.

<https://la.mathworks.com/help/simscape-battery/ug/apply-parameter-variation-to-cells-module.html>

2.2.5.1. Estado de carga SOC

El estado de la carga de una batería describe la cantidad restante de electricidad disponible en las celdas. Se define como la relación de la carga restante de la batería, dividida por la carga máxima que puede entregar la batería. Se expresa en porcentaje, aunque cada vehículo puede representarlo de una forma diferente (Foroscocheseléctricos, 2022).

$$SOC = \frac{C_{restante}}{C_{máxima}}$$

Donde:

SOC : Estado de carga

C : Capacidad de la batería

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES

3.1.1. Lancha eléctrica

Esta embarcación eléctrica sostenible llamada “Kallpa Electric”, es la primera lancha solar registrada por la Dirección general de capitanías y guardacostas (DICAPI) en el Perú, la cual consta de las siguientes características:

Tabla 4

Características de diseño de la embarcación eléctrica

Características	Dimensiones
Eslora	7500 mm
Manga	2200 mm
Espejo	500 mm
Capacidad de tripulantes	6 personas
Velocidad de crucero	12 Km/h

Figura 9

Embarcación eléctrica llamada Kallpa Electric



Nota. Elaboración propia

3.1.2. Batería de ion – litio

La BIL que usaremos es de la marca ePropulsion®, es una marca China cuya fábrica se encuentra en Guangdong, las características de la BIL, son las siguientes:

Tabla 5

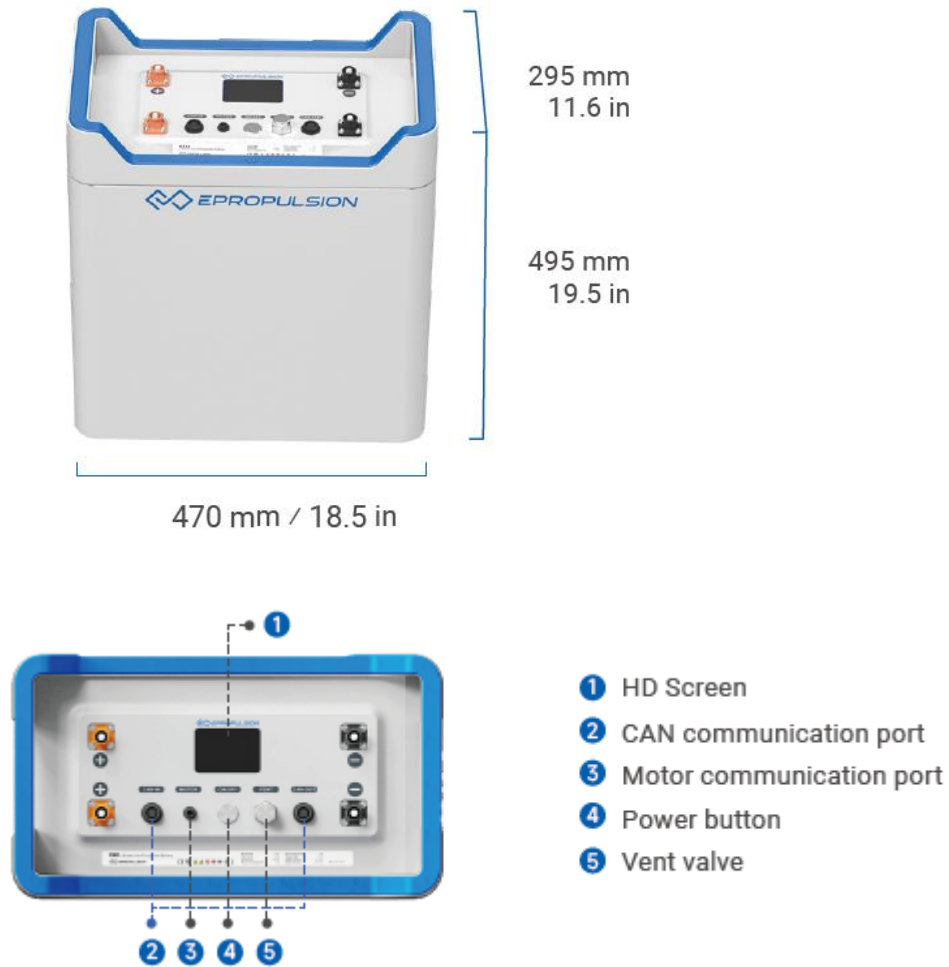
Características de la batería e163

Características	Modelo E163
Composición química	Litio Fosfato de Hierro (LiFePo4)
Capacidad	8345 Wh/ 163 Ah
Voltaje nominal	51.2 V
Voltaje de desconexión	41.6 V
Voltaje final de carga	57.6 V
Máxima corriente de descarga continua	150 A
Máxima corriente de carga	150 A
Vida útil	3000 ciclos a 80% de DOD
Peso	76 Kg
Dimensiones	470 * 295* 495 mm
Conexión serial	N/A
Conexión paralela	Hasta 16 del mismo modelo
Configuración de celdas	16S1P
Tiempo de carga (220 V)	7.2 h
Temperatura de carga recomendada	0°C - 55°C
Temperatura de descarga recomendada	-10°C – 60°C
Temperatura de almacenamiento	-20°C – 45°C tres meses -10°C - 25° C seis meses
Nivel de batería recomendado para almacenamiento	45% - 50%
Posición recomendada de montaje	Display arriba o logotipo arriba
Clasificación de embarque	UN3480, Clase 9. UN38.3 Certificado
Certificaciones	CE, UKCA, FCC
Garantía	2 años

Nota. Adaptado de E-Series Battery User Manual (pág. 6), ePropulsion, 2023. www.epropulsion.com.

Figura 10

Características de la batería e163



Nota. Extraído de E-Series Battery User Manual (pág. 5), ePropulsion, 2023. www.epropulsion.com

3.1.2.1. Celdas de la batería e163

Las celdas que utiliza la batería E163 de ePropulsion®, son de la empresa China CALB (China Aviation lithium battery Co.,ltd), cuyas características son las siguientes:

Tabla 6

Características de la celda de la batería e163

Característica	Detalles
Tipo de celda de batería	Fosfato de hierro y litio (LiFePO4)
Número de modelo	CALB L173F163
Morfología de celda	Prismática
Voltaje nominal	3.2V
Capacidad nominal	163Ah
Ciclo de vida	>3000 ciclos
Tensión de trabajo	2.5-3.65V
Resistencia interna	0.3 – 0.5 mΩ
Fin del voltaje de descarga	2.5V
Método de carga	0.3C CC CV
Corriente de descarga continua máx.	163A 1C
Max (Largo) Corriente de descarga de pulso	326 A, una duración máxima: 3min
Max. (Corto) Corriente de descarga de pulso	489 A
Dimensiones	174mm x 36,4 mm x 230,5 mm
Peso	3.19± 0.15 Kg
Material de la cáscara	Aluminio

Nota. Adaptado de Celdas de batería CALB LiFePO4 L173F163 3.2V 163Ah, por LYTH ENERGY TECHNOLOGY. <https://lythbattery.com/calb-lifepo4-battery-cells-l173f163-3-2v-163ah/?lang=es>.

Figura 11

Celda de la batería e163



Nota. Extraído de L173F163 3.2V 163ah Lithium Iron Phosphate Battery Long Life Cycle, GreFlow, 2022.

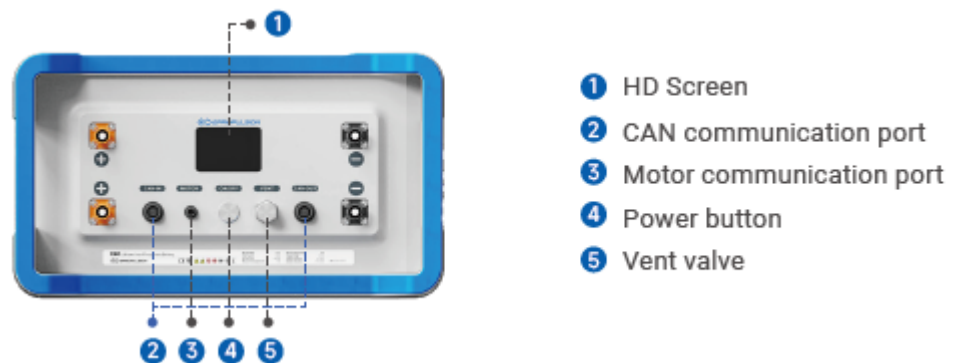
<https://www.lifepo4storagebattery.com/sale-13856737-l173f163-3-2v-163ah-lithium-iron-phosphate-battery-long-life-cycle.html>

3.1.2.2. Display para la obtención de datos

Los datos serán obtenidos mediante el display (1) de la batería y del mando remoto del motor:

Figura 12

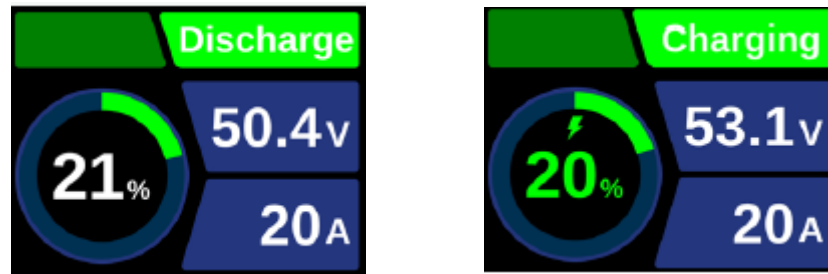
Display de la batería e163



Nota. Extraído de E-Series Battery User Manual (pág. 5), ePropulsion, 2023. www.epropulsion.com

Figura 13

Datos mostrados por el display de la batería e163



Nota. Extraído de E-Series Battery User Manual (pág. 16 - 17), ePropulsion, 2023. www.epropulsion.com

La Figura 13 nos muestra los datos de carga y descarga de la batería en tiempo real, a su vez tenemos los datos de tensión, corriente y estado de carga.

Figura 14

Controlador de mando remoto



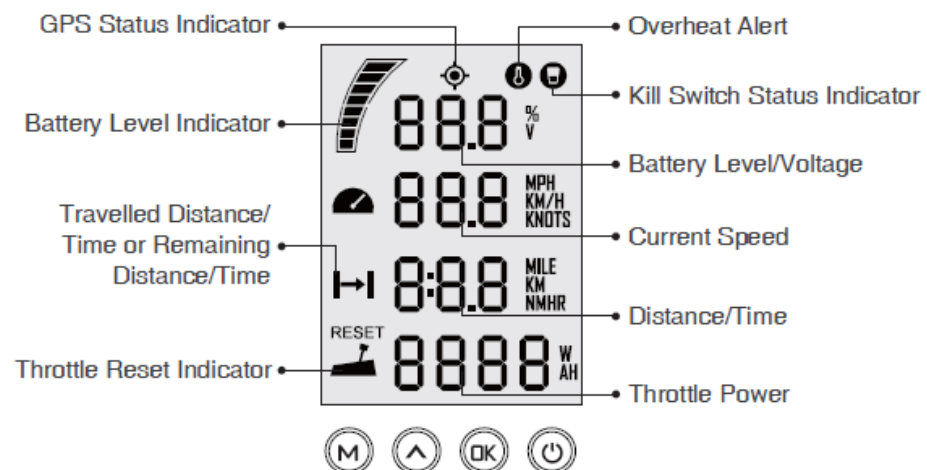
Nota. Extraído de Navy Series Electric Outboard Motor, ePropulsion.

<https://www.epropulsion.com/navy/> Los datos que nos permite ver el display del mando de control remoto son los siguientes:

Estos dispositivos nos permiten conocer los siguientes parámetros en tiempo real de la batería y el motor: SOC, voltaje, corriente, velocidad de navegación, tiempo navegado, potencia consumida, otros.

Figura 15

Datos mostrados por el display del mando de control remoto



Nota. Extraído de Navy Series Electric Outboard Motor (pág. 23), ePropulsion.

www.epropulsion.com

3.1.3. Motor eléctrico

El motor eléctrico que usa la embarcación es de tipo fuera de borda, de la marca ePropulsion®, modelo Navy 6.0, caña larga; el cual tiene las siguientes características:

Figura 16

Motor Navy 6.0



Nota. Extraído de Navy 6.0 User Manual (pág. 1), ePropulsion, 2019. www.epropulsion.com.

Tabla 7

Características del motor Navy 6.0

Características	Descripción
Tipo	Eléctrico
Modelo	Navy 6.0



Características	Descripción
Voltaje/corriente nominal	48 V/ 125 A
Voltaje nominal de entrada	39 – 60 V DC
Máxima potencia de entrada (adelante/retroceso)	6 Kw / 4 Kw
Comparación a potencia de motor de combustible	9.9 HP
Máxima eficiencia general	57 %
Máxima velocidad de rotación	1550 rpm
Sistema de control	Remoto / Mando popero
Comunicación con el controlador	Inalámbrico / alámbrico
Dimensiones	413*308*1200 mm
Longitud del eje	765 mm
Peso	28.4 Kg
Capacidad de aceite para engranaje	285 ml
Aceite para engranaje recomendado	API GL-4 SAE 90
Temperatura de ambiente para la operación	-25° C – 50° C

Nota. Adaptado de Navy 6.0 User Manual (pág. 9), ePropulsion, 2019. www.epropulsion.com.

3.1.4. Panel solar

Kallpa Electric cuenta con un arreglo fotovoltaico como se muestra en el ANEXO 2 Cuenta con seis paneles distribuidos de la siguiente manera: cuatro en el techo, dos en los laterales; de los cuales cinco están conectados en paralelo para obtener mayor corriente, el que no está conectado nos sirve para el sistema auxiliar de la lancha, el cual comprende: fuentes de energía para cargar celulares, ventilador, luces internas, luces de navegación, alarma, otros.

Figura 17

Panel solar que usa Kallpa Electric



Nota. Extraído de PANEL SOLAR MONOCRISTALINO 270W 24VDC – RENE PV, Inmótica.
<https://inmotica Peru.com/producto/panel-solar-monocristalino-270w-24vdc-renepv/>

Tabla 8

Características del panel solar que usa Kallpa Electric

Característica	Descripción
Modelo	RD270M2
Tipos de celda	Monocristalino
Marca	RenePV®
Potencia máxima	270 W
Eficiencia	15.98 %
VMP	31.35 V
IMP	8.61 A
VOC	38.16 V
ISC	8.65 A
Dimensiones	1640*992*35
Peso	17.4 Kg

Nota. Adaptado de PANEL SOLAR MONOCRISTALINO 270W 24VDC – RENE PV, Inmótica.
<https://inmotica Peru.com/producto/panel-solar-monocristalino-270w-24vdc-renepv/>

Tabla 9

Características del arreglo fotovoltaico instalado en Kallpa Electric

Características	Descripción
Potencia nominal instalado	1350 W
VMP	31.35 V
IMP	43.05 A
Peso	87 Kg

Nota. Elaboración propia

3.1.5. Controlador de carga solar

Kallpa Electric cuenta con un controlador de carga solar que es de la misma marca ePropulsion®.

Figura 18

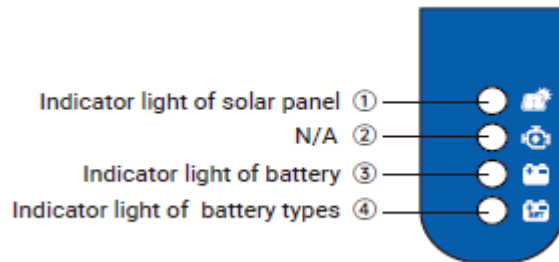
Controlador solar ePropulsion



Nota. Extraído de E Battery Solar Charger 48V 1600W (pág. 1), ePropulsion, 2023. www.epropulsion.com.

Figura 19

Descripción del estado del indicador de luz del controlador solar



Nota. Extraído de E Battery Solar Charger 48V 1600W (pág. 3), ePropulsion, 2023. www.epropulsion.com.

Tabla 10

Características del controlador solar ePropulsion

Características	Descripción
Voltaje nominal	51.2 V
Rango de voltaje de carga	41.6 – 57.6 V
Corriente máxima de carga	30 A
Potencia máxima de entrada	1600 W
Corriente máxima de entrada	50 A
Voltaje máximo de entrada	60 V
Eficiencia	99 %
Temperatura de operación	-35° C – 65° C
Grado de protección	IP65
Peso	5.3 Kg
Dimensiones	233*262*100 mm

Nota. Adaptado de E Battery Solar Charger 48V 1600W, epropulsion. (pág. 3), ePropulsion, 2023. www.epropulsion.com.

3.1.6. Mathworks inc.

Es una empresa que pone a disposición softwares de análisis matricial y simulación de sistemas físicos.

3.1.6.1. Simulink®

Simulink es un entorno de diagramas de bloque que se utiliza para diseñar sistemas con modelos multidominio, nos permite simular antes de implementar en hardware y analizar un sistema físico sin necesidad de escribir código (The MathWorks, 2024).

3.1.6.2. Simscape™

Simscape permite crear rápidamente modelos de sistemas físicos dentro del entorno de Simulink. Con Simscape, puede crear modelos de componentes físicos basados en conexiones físicas que se integran directamente con diagramas de bloques y otros paradigmas de modelado. Puede modelar sistemas, tales como motores eléctricos, rectificadores de puente, actuadores hidráulicos y sistemas de refrigeración, agrupando los componentes fundamentales en un esquema. Las herramientas complementarias de Simscape ofrecen prestaciones de análisis y componentes más complejos. (The MathWorks, 2024)

3.1.6.3. Simscape™ Battery™

Simscape Battery ofrece herramientas de diseño y modelos parametrizados para diseñar sistemas de baterías y evaluar el comportamiento de sistemas de baterías en condiciones normales y de fallo. Battery Pack Model Builder es una herramienta de diseño que permite evaluar interactivamente distintas arquitecturas de paquetes de baterías. Esta herramienta automatiza la creación de modelos de simulación que coincidan con la topología deseada del paquete de baterías

e incluye conexiones de placas de refrigeración para evaluar respuestas eléctricas y térmicas (The MathWorks Inc, 2024).

3.2. METODOLOGÍA

3.2.1. Enfoque, alcance y diseño

El presente trabajo de investigación presenta un **enfoque** cuantitativo, pues la medición de las variables es obtenida numéricamente y en un contexto específico. En cuanto al **alcance**, es una investigación descriptiva, ya que se caracteriza el comportamiento de una batería sin considerar las causas. El **diseño** es no experimental, ya que no se manipulan las variables, por lo tanto, la medición de las variables se realiza mediante la observación.

3.2.2. Matriz de consistencia

Tabla 11

Matriz de consistencia

Problema	Objetivos	Variables	Dimensiones	Metodología
¿Cuáles son las características de funcionamiento de la BIL dentro de una lancha eléctrica en la bahía del lago Titicaca?	Caracterizar y modelar una batería de Ion – litio en el funcionamiento de una lancha eléctrica sostenible en la bahía del lago Titicaca – Puno.	<ul style="list-style-type: none"> Descarga de la batería. Carga de la batería. 	<ul style="list-style-type: none"> Consumo de energía del motor eléctrico. Energía suministrada por el sistema fotovoltaico SOC 	Enfoque: Cuantitativo Alcance: Descriptivo Diseño: No experimental Población: 1 batería



Problema	Objetivos	Variables	Dimensiones	Metodología
<p>¿Cuál es la autonomía de la BIL en la lancha eléctrica en la bahía del lago Titicaca?</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuál es el comportamiento del sistema de carga solar en el funcionamiento de la lancha eléctrica en la bahía del lago Titicaca? • ¿Cuál es el modelo matemático adecuado para simular las condiciones ambientales de la bahía 	<p>Registrar la autonomía de la BIL en el funcionamiento de la lancha eléctrica en la bahía del lago Titicaca.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Describir el comportamiento del sistema de carga solar en el funcionamiento de la lancha eléctrica en la bahía del lago Titicaca. • Modelar una BIL para simular y predecir su comportamiento en la bahía del lago Titicaca 			<p>de Ion litio</p> <p>Muestra: 1 batería de Ion litio</p> <p>Técnica: La observación</p> <p>Instrumentos: Display de batería y mando de control remoto</p>



Problema	Objetivos	Variables	Variaciones	Dimensiones	Metodología
del lago Titicaca?					

3.2.3. Población y muestra

En la presente investigación tenemos como población a la primera embarcación eléctrica sustentable en el país, y la muestra es la misma. Se tomaron los datos numéricos de las pruebas realizadas a dicha embarcación.

3.2.4. Técnicas e instrumentos

Las técnicas elegidas para la presente investigación son la observación; porque recopila la información necesaria de los fenómenos que varían a través del tiempo; y la revisión documental, ya que para poder obtener los datos de las variables de forma precisa y confiable se tuvieron que leer los manuales.

El instrumento de recolección de datos que se usó, es el protocolo de observación, el cual consiste en medir el estado de carga de la batería desde el momento en que el motor eléctrico se enciende, hasta llegar a un destino exacto. La medición se realizó desde el minuto cero, hasta terminar, con intervalos de un minuto.

3.2.5. Aplicación de los instrumentos

Para recoger la información se realizaron las siguientes actividades:

- Se gestionó el permiso de navegación para hacer las pruebas respectivas a los equipos eléctricos (ANEXO 3).
- Se comunicó a los tripulantes de la embarcación la fecha exacta de

pruebas.

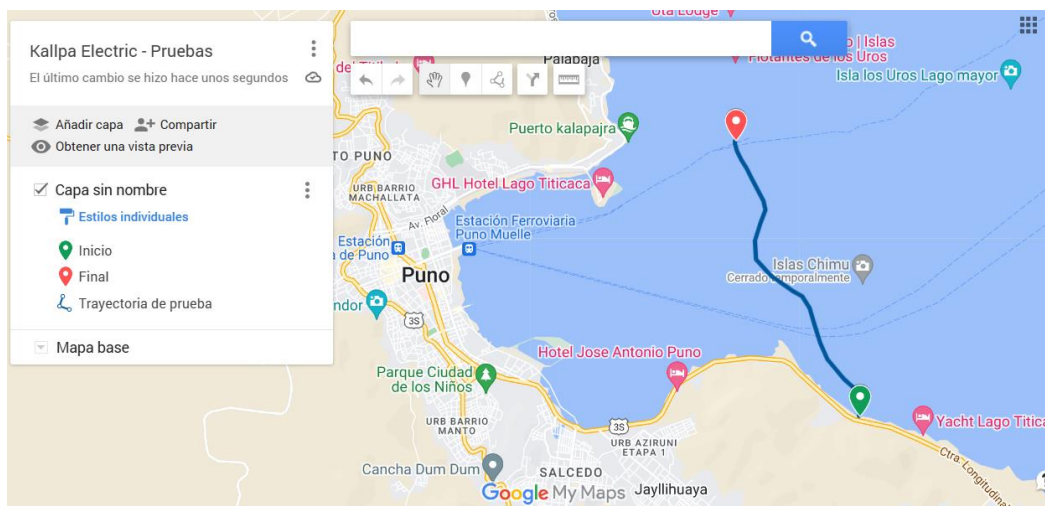
- Se capacitó a los tripulantes sobre la mitigación de riesgos dentro de la lancha eléctrica.
- Se capacitó a los tripulantes - asistentes de investigación, sobre la precisión en la medición de las variables.
- Desde el minuto cero, empezamos con las mediciones hasta llegar a un lugar específico.

3.2.6. Delimitación espacial

Las pruebas fueron realizadas en el departamento de Puno, específicamente en la bahía del lago Titicaca, el cual se encuentra a 3825 m.s.n.m.

Figura 20

Trayectoria de prueba - Google Maps



Nota. Extraído de Google Maps,

<https://www.google.com/maps/d/edit?hl=es&mid=12r8CeIBmGws00UXlvuhPeIwNtYAc2oXI&ll=-15.83868006156861%2C-70.00097270018986&z=13>

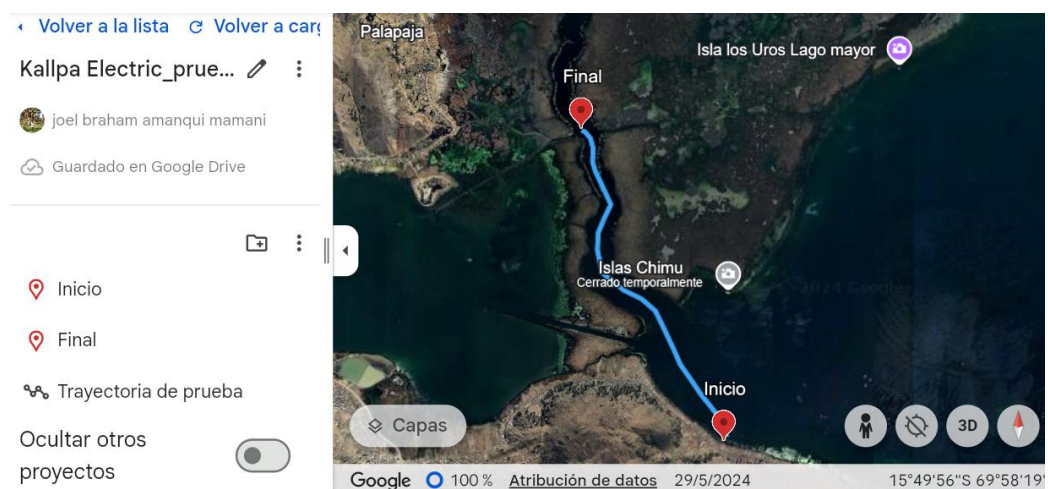
La Figura 20 nos muestra la trayectoria de navegación realizada por la embarcación Kallpa Electric, la cual comprende como inicio: el astillero naval

Caballero, ubicado en Ojerani – Puno, Km 10 y finaliza su trayecto en la Isla de los Uros.

La trayectoria recorrida en las pruebas tiene una distancia de 5.5 Km. Como se puede observar en la Figura 21, el trayecto es guiado por un canal oscuro, el cual representa la profundidad necesaria para navegar.

Figura 21

Trayectoria de prueba - Google Earth



Nota. Extraído de Google Earth, <https://earth.google.com/web/@-15.83241962,-69.97202111,3820.04419577a,15303.76909002d,30y,359.99999998h,0t,0r/data=CgRCaggBMikKJwolCiExZV9YMU5kVGFBOXJCdjdXUWJ1SnotSi1YbWhhNW5KUVAgAToDCgEwSggI88eUywEQAQ>

3.2.7. Delimitación temporal

Las pruebas fueron realizadas en el mes de octubre, tal como se puede observar en los permisos solicitados a la autoridad competente y a los involucrados en las pruebas, tales como: la Asociación de Empresas Unificadas de Transporte Turística Acuático los Uros (AEUTTAL) la junta directiva de la comunidad de los Uros (ANEXO 4).



Las pruebas fueron realizadas en el siguiente horario: empezamos a las 10:30 a.m. y concluimos a las 13:10 p.m. UTC – 5. Este horario fue elegido para aprovechar la mayor irradiancia y obtener mayor energía.

3.2.8. Procesamiento de datos

El procesamiento de los datos obtenidos en la observación fue realizado mediante el programa Matlab®.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las condiciones de funcionamiento de la embarcación eléctrica son las siguientes:

Tabla 12

Condiciones de prueba

Característica	Condición
Carga solar	Activada
Distancia de recorrido	5.84 Km
Horario de pruebas	10 am – 1 pm
Velocidad de navegación	12 Km/h
Temperatura ambiente (Senamhi)	18 °C
Potencia de motor constante	6000 W

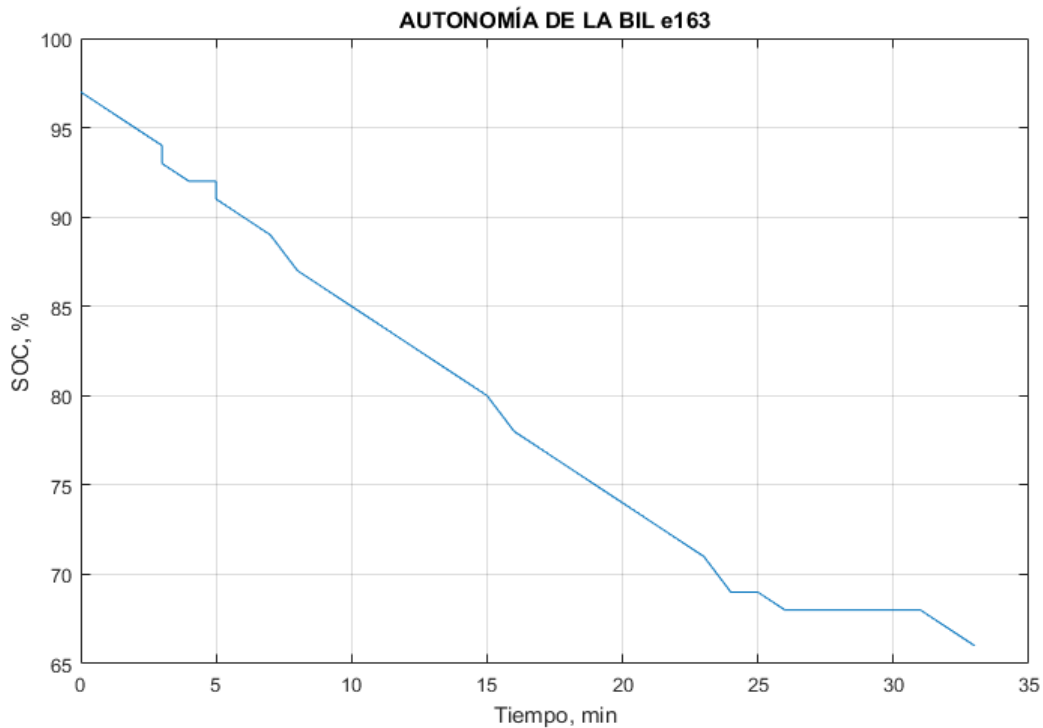
Nota: Los datos de la Tabla 12 pueden ser considerados constantes.

4.1. AUTONOMÍA

La Figura 22 representa la autonomía de la BIL en el trayecto de ida, donde se puede apreciar que el estado de carga disminuye de 97 % a 64 % en un tiempo aproximado de 34 minutos.

Figura 22

Autonomía de la BIL e163

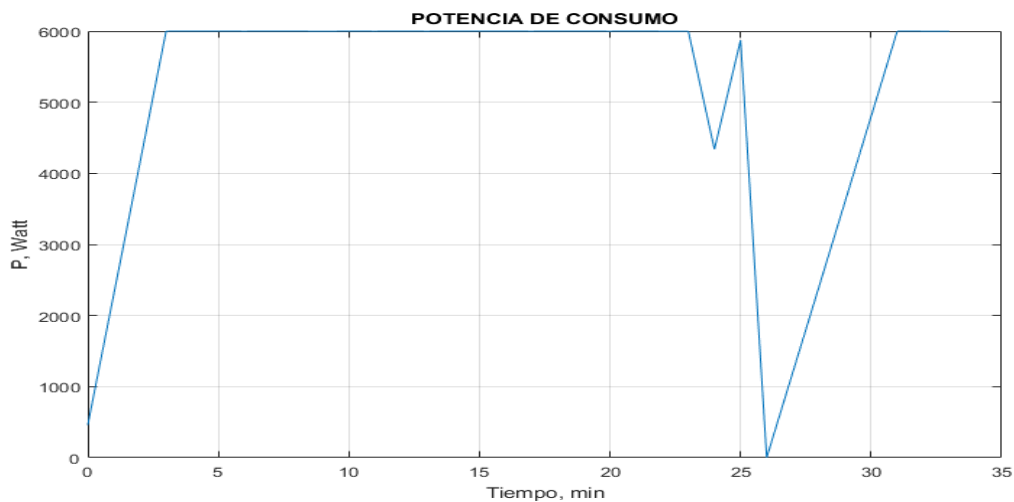


Nota. Elaboración propia.

Cabe precisar que durante este tiempo el consumo de corriente es como se muestra en la Figura 25, en simultaneo la carga solar con una corriente, como se muestra en la Figura 26. La deformación de la curva en el minuto 26 al 31, se debe a una variación en la potencia de consumo del motor al reducir la velocidad de navegación, como se muestran en la Figura 23. Según nuestra gráfica podemos darnos cuenta que el consumo de la BIL es a razón de 1 % por cada minuto de recorrido según las condiciones de la Tabla 12.

Figura 23

Potencia consumida por el motor Navy 6.0

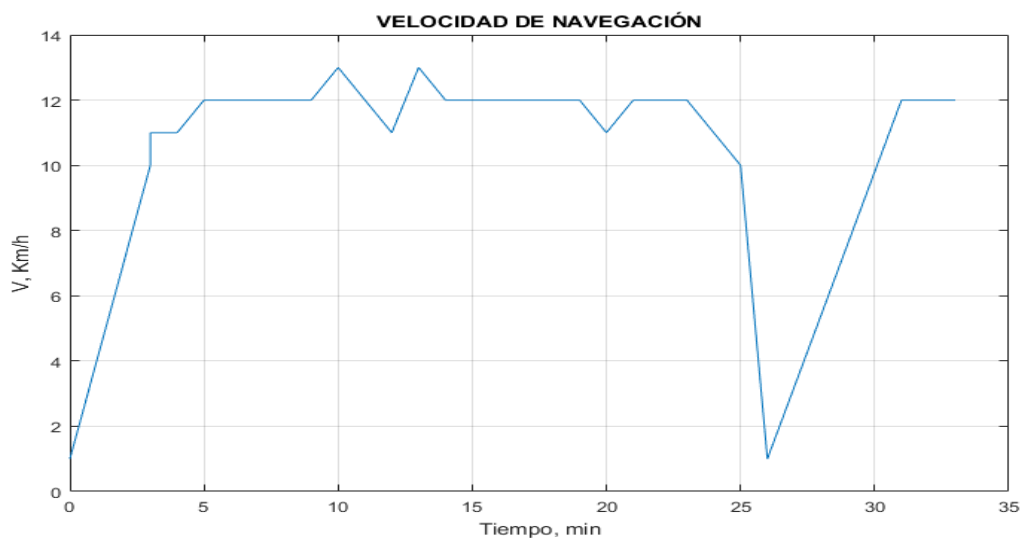


Nota. Elaboración propia.

La Figura 24 nos muestra la variación de la velocidad de navegación durante las pruebas; como se puede contrastar con la Figura 23, una disminución de la velocidad de navegación significa que reducirá la energía (W.h) de consumo del motor, lo cual se repercute en la energía que esta extrae de la batería. Por lo tanto, la autonomía de la BIL tiene relación directa con la velocidad de navegación.

Figura 24

Velocidad de navegación



Nota. Elaboración propia.

Figura 25

Datos del display mientras se descarga la batería



Nota. Elaboración propia

Figura 26

Datos del display mientras se carga la batería

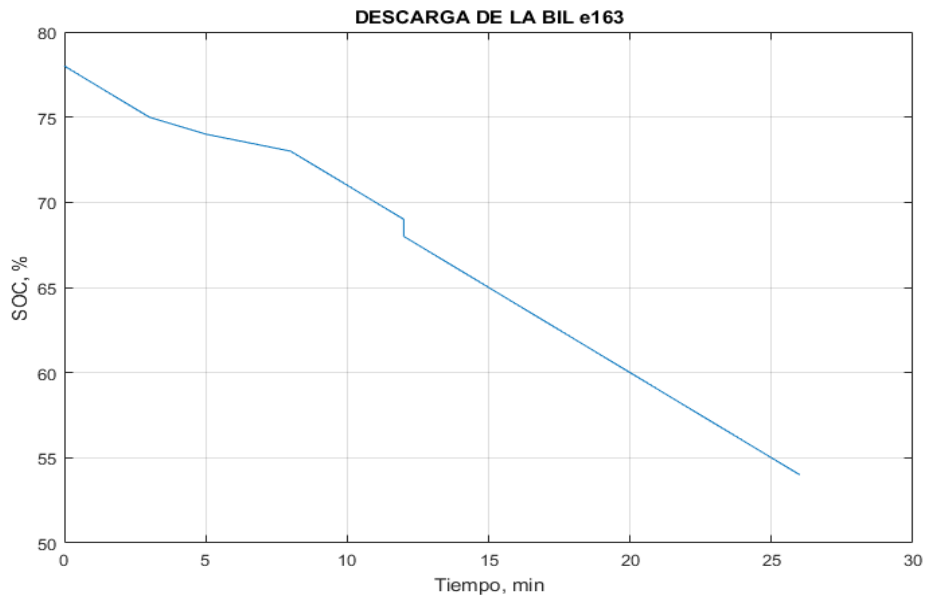


Nota. Elaboración propia

La Figura 27 nos muestra la tasa de descarga de la BIL en el trayecto de regreso:

Figura 27

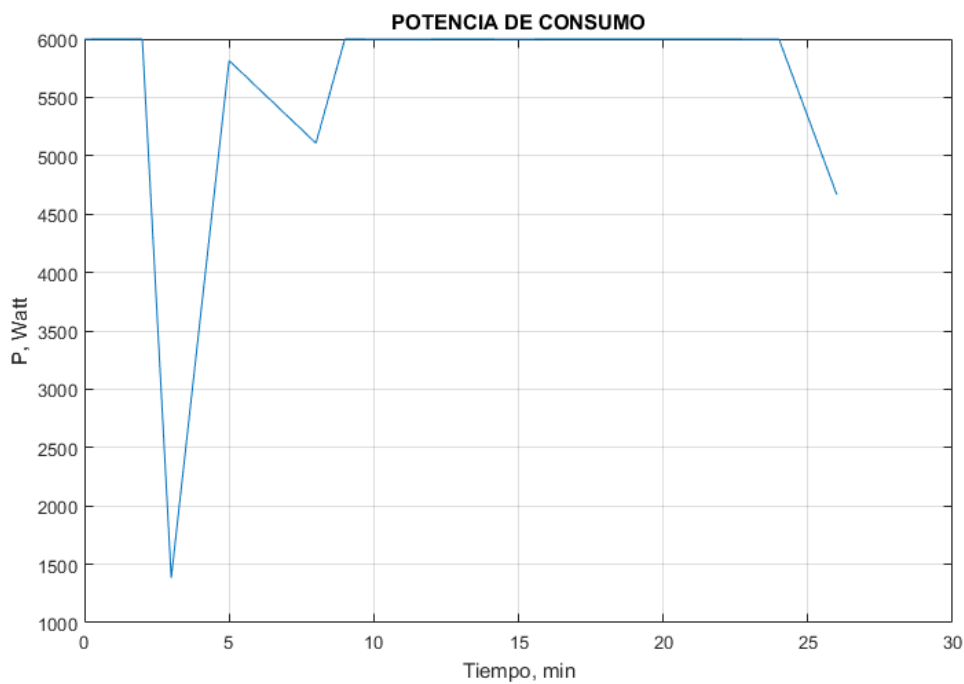
Descarga de la BIL en el trayecto de retorno



Nota. Elaboración propia

Figura 28

Potencia de consumo del motor Navy 6.0



Nota. Elaboración propia

Figura 29

Velocidad de navegación en el trayecto de retorno

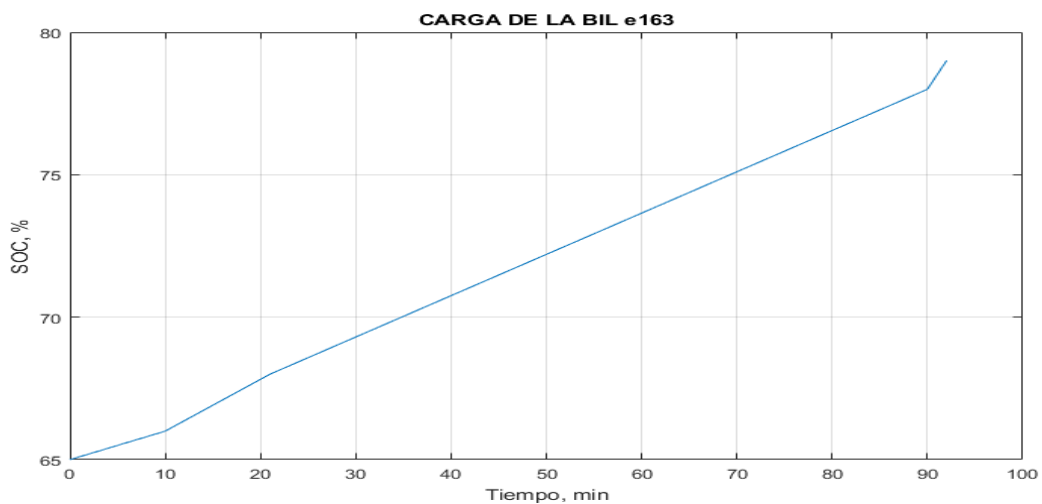


4.2. CARGA SOLAR

La carga solar compuesta de un sistema de paneles solares y un controlador de carga, se mantiene siempre activada con el fin de aprovechar mejor la energía obtenida por el sistema de paneles solares. La Figura 30 nos muestra la carga de la batería sin consumo de corriente por el motor, es decir en estado estacionario de la embarcación. Las mediciones se realizaron en los siguientes horarios 11:06 am – 12:37 pm UTC – 5.

Figura 30

Carga solar



Se puede observar que, en una hora y media, la batería se carga 13 %. Cabe mencionar que el arreglo de paneles solares está dispuesto de tal manera que se aproveche al máximo el espacio disponible y puedan ser instalado la mayor potencia posible, sin sobre pasar los límites de operación del controlador de carga.

4.3. MODELAMIENTO

El modelamiento de la batería que usamos se realizó con las herramientas Simscape™ Battery™ y Simulink® de la empresa MathWorks Inc.

El modelado y simulación se realizó con la versión gratuita de Matlab® - R2024a, el cual cuenta con las ultimas actualizaciones para nuestro modelamiento.

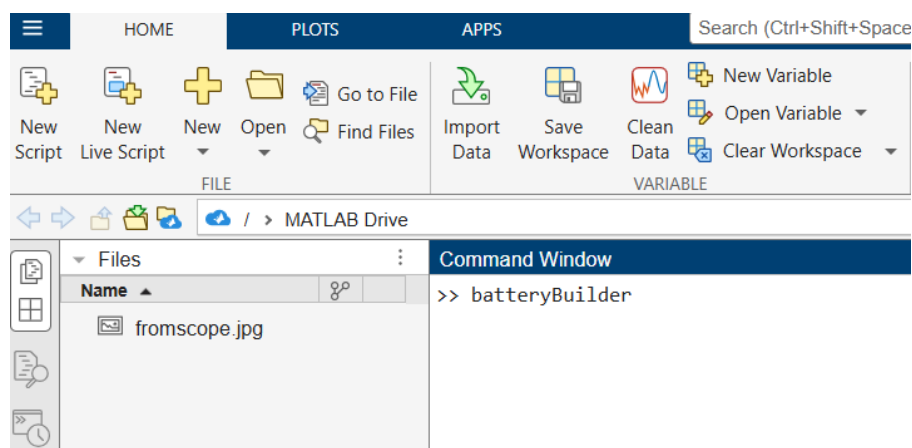
Detallaremos secuencialmente el procedimiento que seguimos para nuestro propósito:

4.3.1. Diseño de batería e163

Abrimos la herramienta Simscape™ Battery™ introduciendo el siguiente comando en la ventana de comandos de MatLab®.

Figura 31

Command window

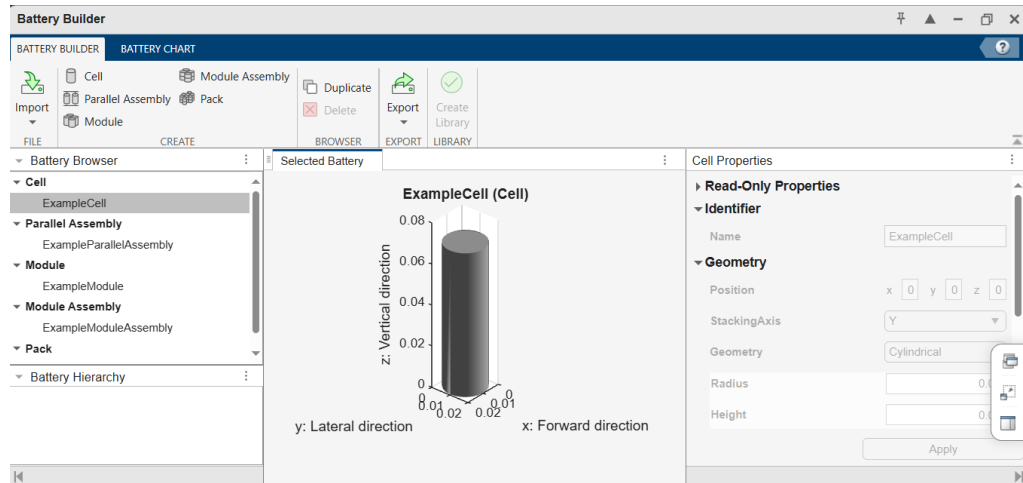


Nota. Extraído de MatLab Online, 2024. <https://matlab.mathworks.com/>

En seguida se abre una nueva ventana:

Figura 32

App Battery Builder

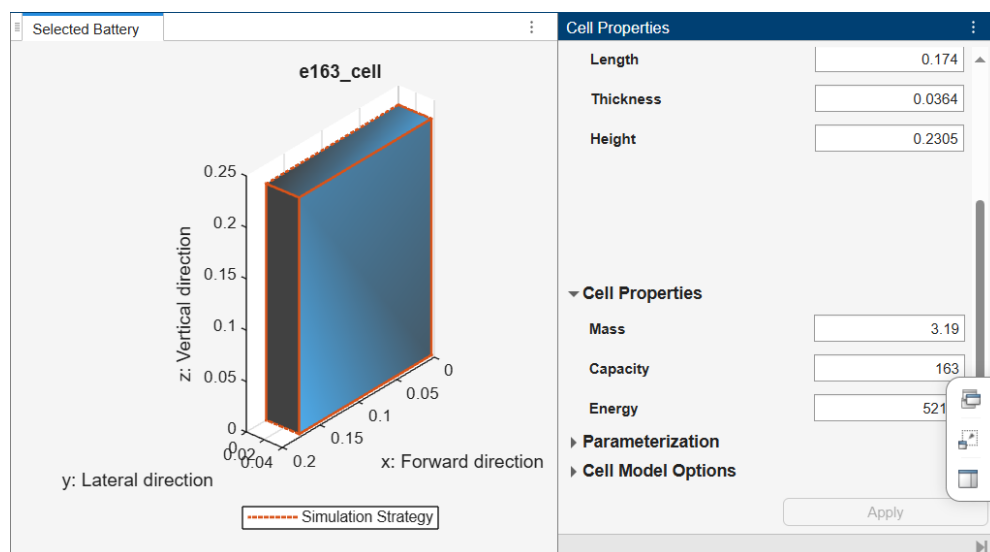


Nota. Extraído de MatLab Online, 2024. <https://matlab.mathworks.com/>

Ahora procedemos a introducir los datos que nos solicita de acuerdo la Figura 34, para crear una celda con las mismas características que las que usa nuestra batería e163.

Figura 33

Modelamiento de la celda

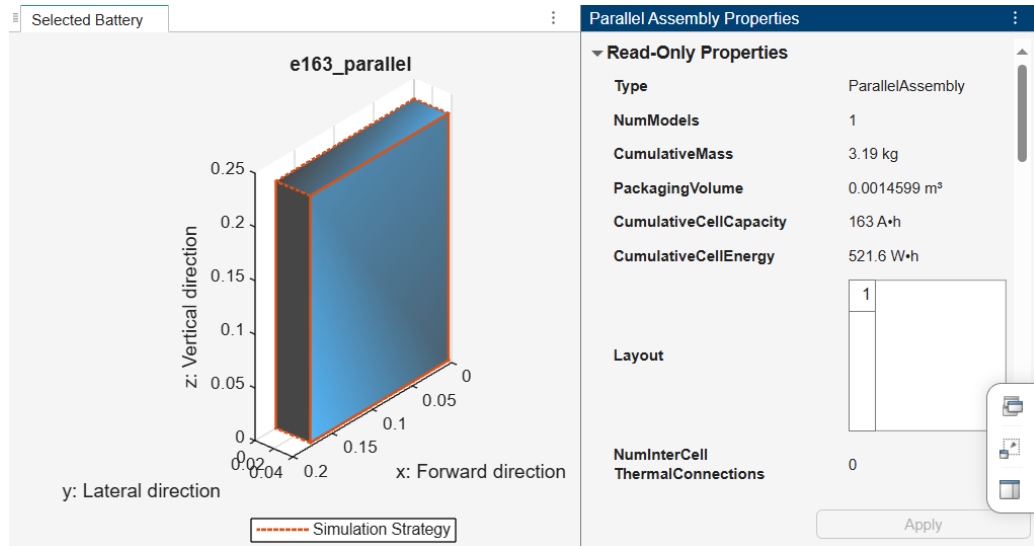


Nota: Extraído de MatLab Online, 2024. <https://matlab.mathworks.com/>

Ahora pasamos al siguiente nivel *ParallelAssembly*, como se muestra en la Figura 35. La configuración de la batería que usamos es 16S1P.

Figura 34

Modelamiento del ensamblaje en paralelo

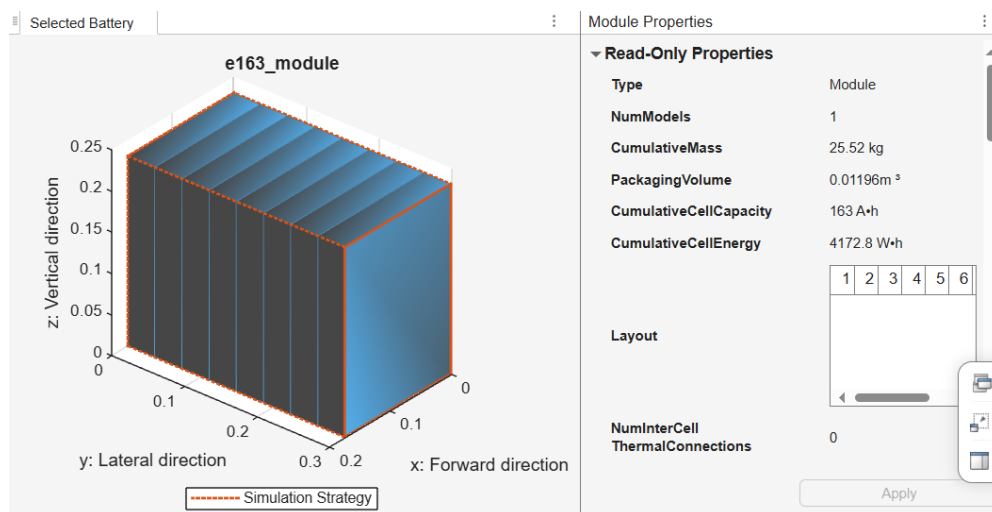


Nota. Extraído de MatLab Online, 2024. <https://matlab.mathworks.com/>

Ahora diseñamos la parte *module*:

Figura 35

Modelamiento del módulo de la batería

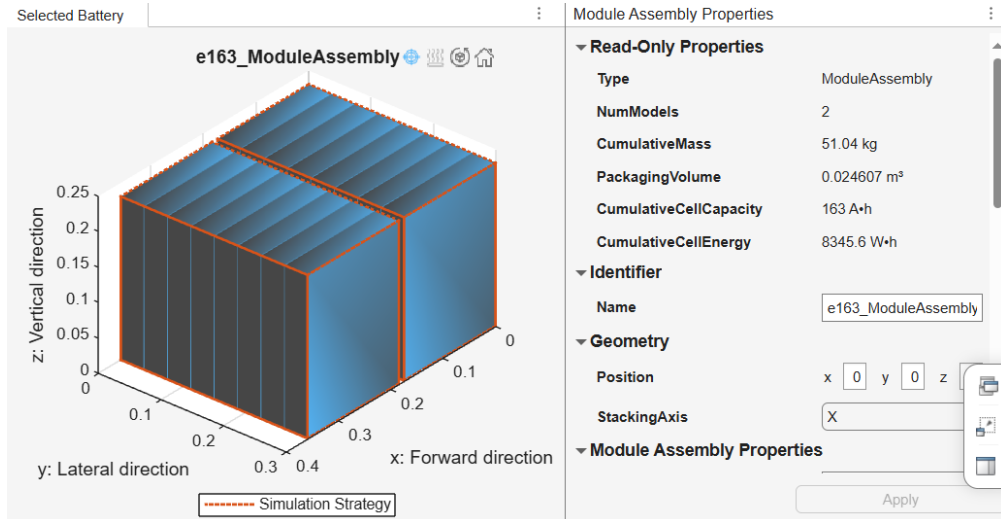


Nota. Extraído de MatLab Online, 2024. <https://matlab.mathworks.com/>

Ahora diseñamos la parte *moduleAssembly*:

Figura 36

Modelamiento del ensamblaje del módulo

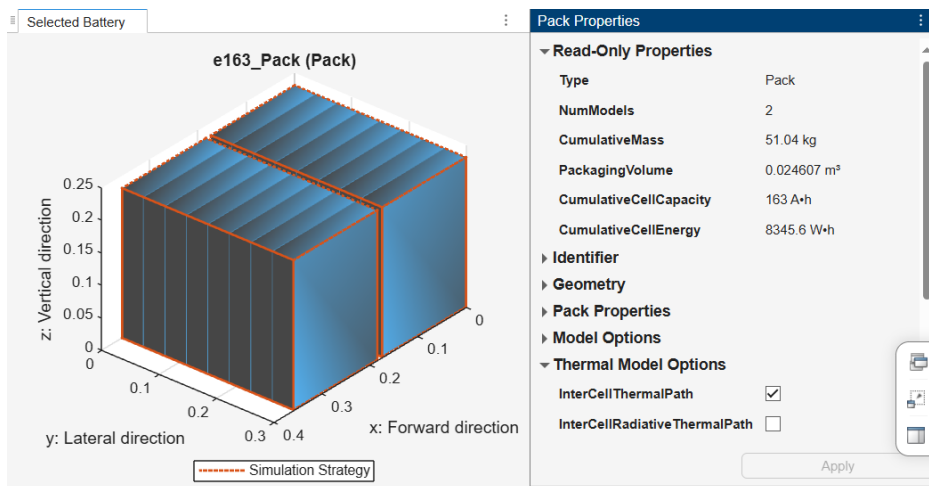


Nota. Extraído de MatLab Online, 2024. <https://matlab.mathworks.com/>

Ahora diseñamos la última parte *pack*:

Figura 37

Modelamiento del paquete que conforma una batería

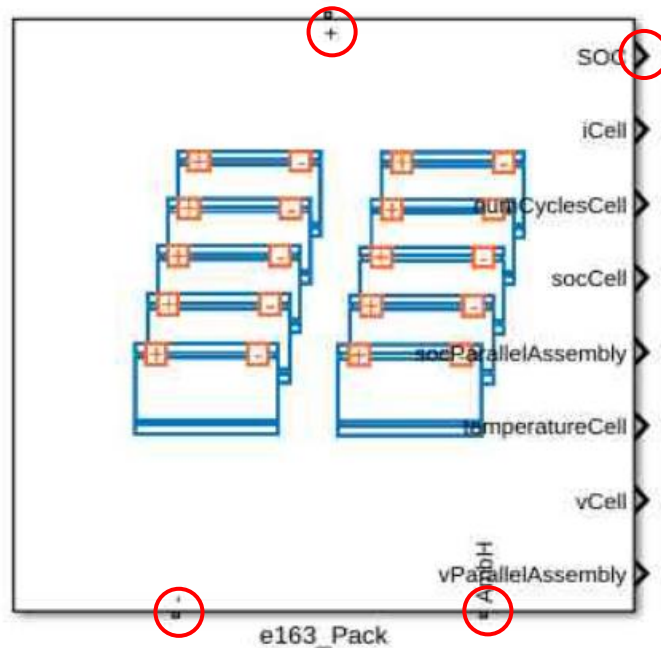


Nota. Extraído de MatLab Online, 2024. <https://matlab.mathworks.com/>

Una vez creado el pack completo se crea una librería con archivos *.m* y *.slx* para usarlos en Simulink®.

Figura 38

Archivo .slx de la batería e163 para simulación



Nota. Extraído de MatLab Online, 2024. <https://matlab.mathworks.com/>

Al final creamos el archivo como el de la Figura 39, del cual usamos los puertos marcados de color rojo, lo cuales son:

- + : Positivo de la batería
- : Negativo de la batería
- SOC : Estado de carga de la batería
- AmbH : Puerto térmico

El modelamiento final de la batería está compuesto de un sistema térmico, que simula la variación de temperatura, según los datos climatológicos de la bahía del lago Titicaca, como se muestra en la Figura 40. Un bloque para cargar la batería según la intensidad de corriente promedio que obtendremos de los paneles solares, como se muestra en la Figura 39. Una carga continua de descarga, que

simula al motor en actividad con sus parámetros como se muestra en la Figura 41.

Dispositivos Scope, para poder obtener los datos gráficamente.

Figura 39

Parámetros de cargador en la simulación

NAME	VALUE
Constant charging current	15 A
Voltage threshold	57.6 V
Constant charging voltage	53 V
Current threshold	30 A

Nota. Extraído de MatLab Online, 2024. <https://matlab.mathworks.com/>

Figura 40

Temperatura de simulación

NAME	VALUE
Temperature	293 K

Nota. Extraído de MatLab Online, 2024. <https://matlab.mathworks.com/>

Figura 41

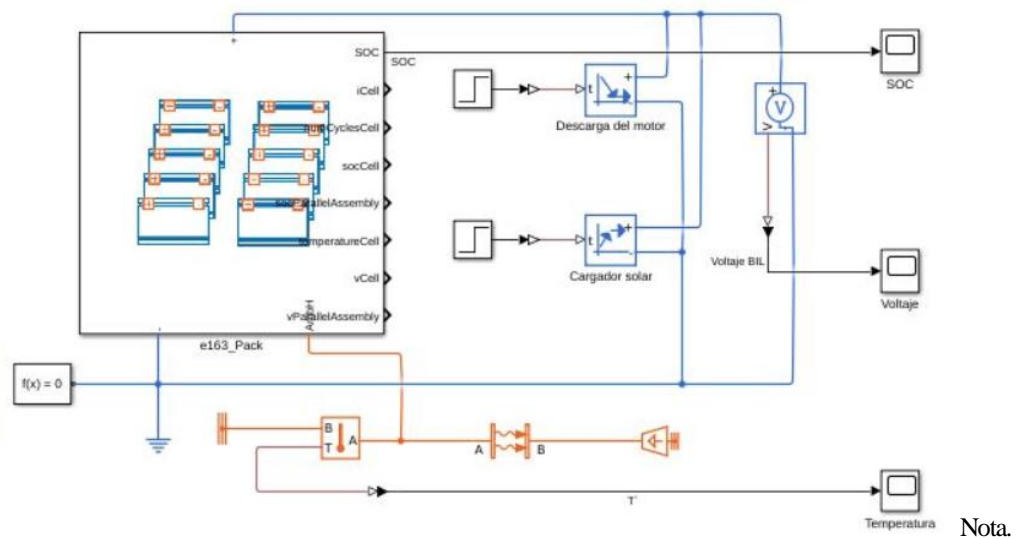
Parámetros de descargador en la simulación

NAME	VALUE
Constant discharging current	104 A
Voltage threshold	41.6 V

Nota. Extraído de MatLab Online, 2024. <https://matlab.mathworks.com/>

Figura 42

Diagrama de bloques de la simulación

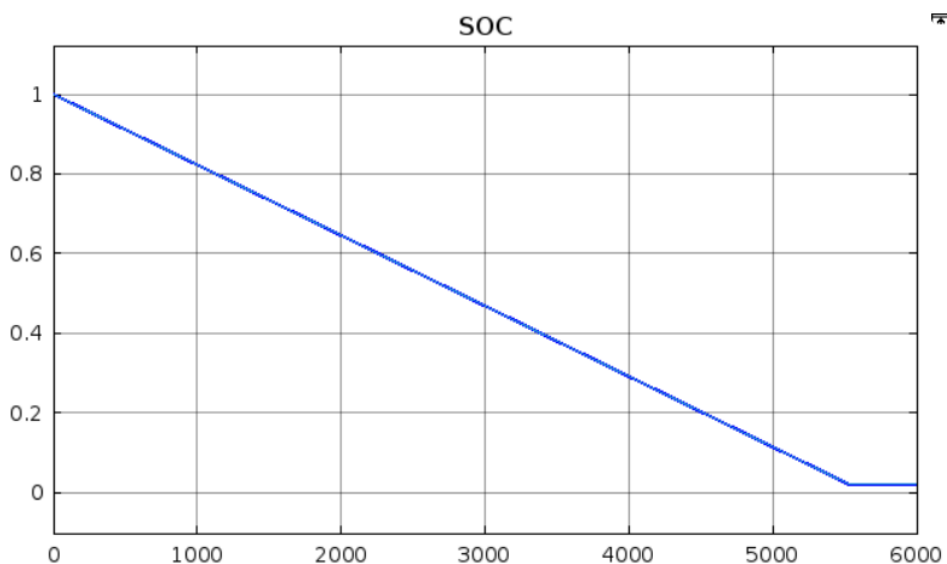


Extraído de MatLab Online, 2024. <https://matlab.mathworks.com/>

Las siguientes gráficas nos muestran los datos obtenidos del modelamiento de la BIL e163 y su posterior simulación.

Figura 43

Taza de descarga de la simulación

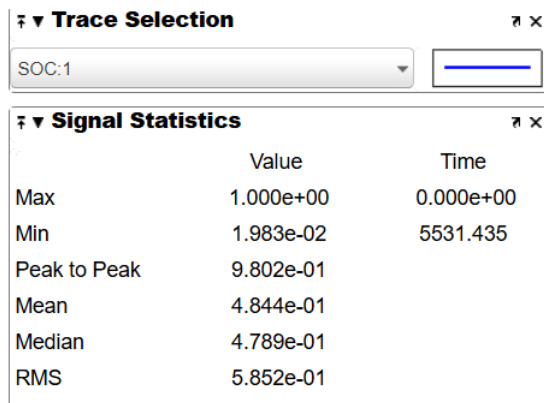


Nota. Extraído de MatLab Online, 2024. <https://matlab.mathworks.com/>

Al ser constantes la carga y descarga, la gráfica muestra un comportamiento de descarga lineal.

Figura 44

Datos estadísticos de la Figura 43

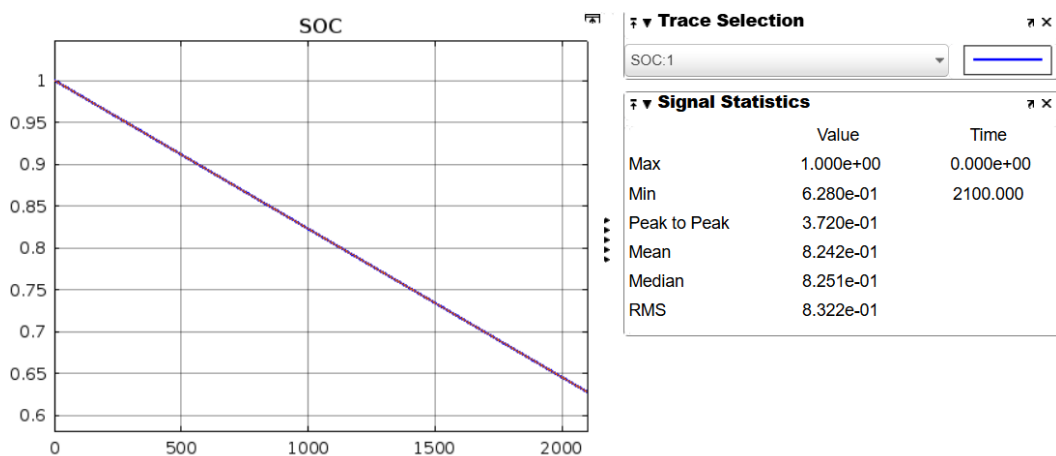


Nota. Extraído de MatLab Online, 2024. <https://matlab.mathworks.com/>

Podemos observar que el valor mínimo de SOC corresponde al tiempo 5531 segundos. Lo cual serían 01:32 hh:mm de funcionamiento continuo de la batería. Corroborando con la caracterización de la batería, vemos en la Figura 43 una simulación con coincide con el tiempo de descarga en la caracterización de la BIL.

Figura 45

Taza de descarga en 2100 segundos



Nota. Extraído de MatLab Online, 2024. <https://matlab.mathworks.com/>

Podemos observar que para 35 minutos tenemos un estado de carga de 6.28, lo cual representaría el 63 % de la batería.

Analizando el error relativo en nuestra simulación.

$$E_{rel}(\%) = \frac{X_{medido} - X_{real}}{X_{real}} * 100$$

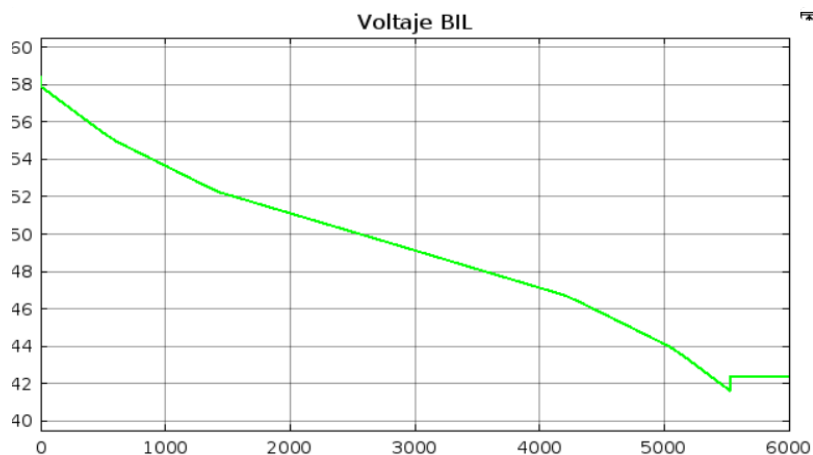
$$E_{rel}(\%) = \frac{63 - 66}{66} * 100$$

$$E_{rel}(\%) = \pm 4.6$$

La Figura 46 nos muestra el comportamiento del potencial eléctrico de la batería en función del tiempo.

Figura 46

Comportamiento de la tensión de descarga en la simulación

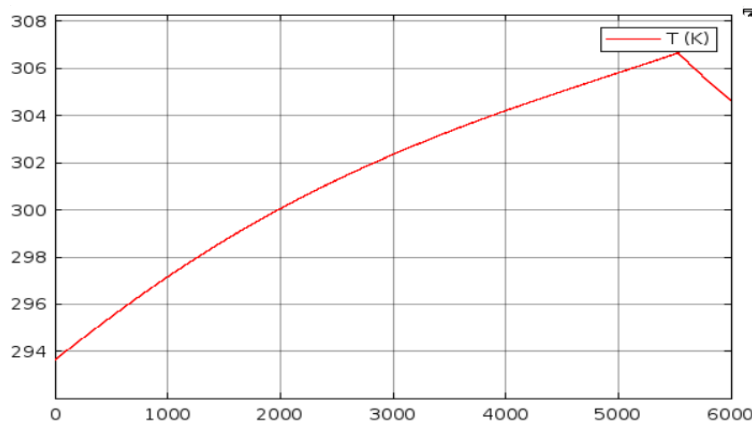


Nota. Extraído de MatLab Online, 2024. <https://matlab.mathworks.com/>

La Figura 47 nos muestra el comportamiento de la temperatura en el interior de la BIL, podemos observar que esta incrementa y se asemeja a una función de raíz. Variando de 20.85 °C a 33.85°C en el proceso de funcionamiento de 100 a 0 % en el estado de carga.

Figura 47

Comportamiento de la temperatura interna de la BIL en la simulación



Nota. Extraído de MatLab Online, 2024. <https://matlab.mathworks.com/>

Figura 48

Datos estadísticos de la Figura 47

Signal Statistics		
	Value	Time
Max	3.067e+02	5531.435
Min	2.936e+02	1.000
Peak to Peak	1.301e+01	
Mean	3.013e+02	
Median	3.022e+02	
RMS	3.013e+02	

Nota. Extraído de MatLab Online, 2024. <https://matlab.mathworks.com/>

4.4. DISCUSIÓN

En el artículo de Azemtsop & Mustafa (2024), nos muestra una simulación realizada en Simulink®. A diferencia de este estudio que es el más reciente en cuanto a simulación multicelda, podemos afirmar que la metodología es distinta a la aplicada en nuestra investigación, pues en este caso a pesar de que sus resultados son prometedores en cuanto a la exactitud, no es la más idónea para proyectos más refinados, o donde se busca una mejor adaptación a entornos reales, puesto que en su metodología se forman arreglos de celdas de forma manual sin considerar aspectos como: la influencia de la



temperatura externa o interna en el comportamiento de los parámetros de corriente, o nivel de carga. Por lo cual es recomendable usar las herramientas dispuestas en MathWorks™; como es Simscape Battery™ para el modelamiento de baterías más robustas en cuanto a su similitud con el comportamiento de baterías reales.

Podríamos afirmar que el artículo de Milia et al. (2023), es el que más se asemeja a la metodología de modelamiento utilizado en nuestra investigación; debemos mencionar que en la presente investigación solo abarcamos la primera parte, de las dos que mencionan los autores, siendo esta la simulación rápida. Y queda pendiente la simulación detallada, considerando elementos de disipación de calor dentro de la batería y su influencia en el rendimiento de la misma.

El estudio realizado por Cortés-carmona et al. (2016) nos hizo desistir parcialmente de uno de nuestros objetivos iniciales, el cual era caracterizar la influencia de la temperatura y presión atmosférica en condiciones extremas, como pueden ser consideradas en la región de Puno a 3825 m.s.n.m. y temperaturas que oscilan entre -6°C – 17°C ; puesto que, la influencia de estas variables en la batería se manifestaba siempre y cuando esta permanecía en una carcasa cerrada, en nuestro caso eso no iba a ocurrir ya que nuestra BIL cuenta con un válvula de ventilación, la cual equilibra la presión externa e interna de la batería. Este estudio es enfocado desde una perspectiva general (batería), viendo la influencia de la temperatura y presión en variables como corriente o voltaje. Sin embargo, sería interesante también verlo desde un punto de vista más interna (celda).

Respecto al estudio realizado por Liao & Wang (2022), podemos reconocer que inicialmente nuestra investigación tenía como objetivo poder caracterizar la influencia de las condiciones ambientales de la región de Puno en el comportamiento de la batería; sin embargo, este objetivo se fue descartando puesto que, para nuestro propósito al igual que



los autores mencionados deberíamos hacer pruebas en celdas unitarias e incluir técnicas más avanzadas, como: espectroscopía o métodos de elementos finitos. Estas técnicas escapan de nuestra metodología de investigación propuesta. Otro de los desafíos para tal propósito es el microclima que se genera dentro de la embarcación en función a la temperatura ambiente. Puesto que, al tener la superestructura cerrada, contando solo con una puerta de ingreso y salida, las temperaturas varían drásticamente, en especial a temperaturas altas, lo cual dificulta la precisión en la toma de muestras. En el futuro no se descarta hacer pruebas con celdas unitarias de las mismas características de la cual está constituida la BIL e163 de ePropulsion®.

Inicialmente se consideraron hacer simulaciones de la BIL por dos métodos: mediante la herramienta Simscape Battery™ y mediante redes neuronales, como lo hicieron Martin (2022) y Zhao et al. (2019). La primera se realizó satisfactoriamente, y la segunda quedó descartada por la insuficiente cantidad de datos de entrenamiento de las neuronas; se debe mencionar que para que la simulación sea fidedigna se requieren la mayor cantidad de datos para el entrenamiento. En futuras investigaciones se podrá contar con mayor data para implementar esta técnica de simulación.



V. CONCLUSIONES

Los datos de la caracterización de BIL nos muestran las siguientes conclusiones:

- Se pudo conocer la autonomía de la BIL, la cual es de una hora y veinticinco minutos al 20 % del DOD.
- Se pudo determinar que la tasa de descarga de la batería es de 1 % de SOC por cada minuto de navegación.
- Se pudo determinar que la carga solar es a razón de 10 % de SOC en una hora, aproximadamente.

Los datos de la modelación y simulación de BIL nos muestran las siguientes conclusiones:

- Se pudo conocer que la autonomía de la BIL en un ciclo de descarga profunda (100 a 0 % del SOC) es de una hora y treinta y dos minutos.
- Se pudo conocer que la BIL incrementa 13 °C en su temperatura interna, en un ciclo completo de descarga profunda.
- Se pudo corroborar que el error en la simulación no excede el 5 %.

Un análisis económico raudo, comparando una embarcación convencional y una eléctrica de mismas dimensiones nos muestra que se podrían ahorrar 2422.50 soles en un año (ANEXO 5).



VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda y alienta a que las próximas investigaciones con esta embarcación puedan buscar otras alternativas de generación eléctrica a bordo de la embarcación (nitrógeno) o en su defecto poder instalar paneles solares más eficientes o con características más idóneas para mayor aprovechamiento en la carga de la BIL.
- Respecto al estudio de la BIL, se recomienda que tome una postura más experimental, considerando variables las siguientes: la temperatura ambiente, es decir, haciendo pruebas en temporadas de invierno y en distintos horarios (es recomendable no salir muy tarde por el incremento del oleaje), observando la influencia de esta variable en la autonomía de la BIL. La velocidad, y poder medir la autonomía de la BIL.
- Se recomienda hacer modelamientos más exhaustivos de la batería, haciendo uso de los demás puertos para una simulación más detallada. Y con datos variables en el consumo de corriente del motor y en la carga de paneles solares.
- Se recomienda hacer uso de nuevas técnicas de simulación de baterías como son las redes neuronales, para tener mayor fiabilidad en los resultados y poder adaptar los datos obtenidos en el control de variables (sobre descarga, autonomía, otros).
- Según los presupuestos estimados en la construcción de Kallpa Electric, el porcentaje del presupuesto que se destina en la adquisición de la BIL es 25 % por lo cual, se recomienda promover las investigaciones para extraer, procesar y producir las BIL en nuestro país (considerando en todo momento un estricto respeto al medio ambiente y el entorno involucrado en su aprovechamiento) lo cual significaría no solo la reducción de costos en la implementación de tecnologías que involucren a las BIL, sino también el desarrollo tecnológico del país.



- Según Tafur (2022) hasta la fecha de su investigación no se ha podido advertir, que exista ley, reglamento u otra norma que gestione específica y jurídicamente el uso, manipulación, disposición, reusó y reciclaje de las baterías de vehículos eléctricos. Lo cual es preocupante, debido a que se está haciendo promoción de la electromovilidad y la energía verde, descuidándonos en temas de residuos sólidos a causa de su aprovechamiento. Por lo cual se insta a ocuparse con anticipación en políticas de gestión de residuos electrónicos, específicamente de batería de Ion litio. Por lo pronto la batería de usamos tiene una vida útil de aproximadamente ocho años haciendo uso diario; y una vez que haya cumplido con su vida útil podemos contactarnos con el proveedor para enviarlo a su lugar de ensamblaje.
- Es recomendable hacer estudios sobre futuras electrolineras específicamente para embarcaciones eléctricas en el lago Titicaca, con estas propuestas nos acercaremos al propósito de tener un sistema de transporte más eficiente, sustentable y ecológico.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Azemsop, T., & Mustafa, Ş. (2024). Modeling and Simulation of a Series and Parallel Battery Pack Model in MATLAB/Simulink. *Turkish Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 4(1), 2–12. <https://doi.org/10.5152/tepes.2024.23024>
- Cortés-carmona, M., Mallco, A., Calderón, W., Reyes, J., & Palma, R. (2016). Estudio del Efecto Altura en un Sistema de Empaque de Baterías de Ion Litio. *EnerSOL*, December. <https://www.researchgate.net/publication/311273939%0AEstudio>
- De la Puente, L., Escalante, M., & Escarcena, G. (2023). *Imaginando litio : Puno y gobernanza pre-minera*. October. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.12001.89447>
- Dirección General de Eficiencia Energética. (2023). *Integración de electromovilidad en Perú Evaluación de medidas, impactos y posibilidades económicas analizando diferentes casos de uso en diversas redes representativas de las EDEs en Perú*.
- Dogger, J. D., Roossien, B., & Nieuwenhout, F. D. J. (2011). *Characterization of Li-Ion Batteries for Intelligent Management of Distributed Grid-Connected Storage*. 26(1), 256–263.
- El Idrissi, F., Gravante, E., Ramesh, P., & D'Arpino, M. (2023). Characterization of Li-ion Batteries under Low Pressure for Electric Air Mobility. *2023 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo, ITEC 2023*, 1–8. <https://doi.org/10.1109/ITEC55900.2023.10186971>
- Electricity - Magnetism. (n.d.). *Batería de óxido de litio y manganeso | Composición, cátodo y aplicaciones*. Retrieved November 6, 2024, from <https://www.electricity-magnetism.org/es/bateria-de-oxido-de-litio-y-manganeso-composicion-catodo-y-aplicaciones/>
- EURONEWS. (2022). *Los campos de litio en Sudamérica revelan el lado oscuro de nuestro futuro “verde” | Euronews*. <https://es.euronews.com/green/2022/02/03/los-campos-de-litio-en-sudamerica-revelan-el-lado-oscuro-de-nuestro-futuro-verde>
- Fonseca, J. H. (2011). CELDAS, PILAS Y BATERÍAS DE ION - LITIO UNA ALTERNATIVA PARA?? *Journal Boliviano de Ciencias*, 8, 41–48.



- Foroscocheselectricos. (2022). *Estado de carga (SOC) y estado de salud (SOH)*.
<https://foroscocheselectricos.com/diccionario/soc-soh>
- Horiba, T. (2014). Lithium-ion battery systems. *Proceedings of the IEEE*, 102(6), 939–950. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2014.2319832>
- Liao, C., & Wang, J. (2022). Study on the influence of operating environment conditions on the performance of power lithium battery system. *2022 IEEE International Conference on Electrical Engineering, Big Data and Algorithms, EEBDA 2022*, 688–692. <https://doi.org/10.1109/EEBDA53927.2022.9744827>
- Linden, D., & Reddy, T. B. (2002). *HANDBOOK OF BATTERIES* (third). McGraw - Hill. <https://dl.icdst.org/pdfs/files/b334382400c223631bea924f87b0a1ba.pdf>
- Martin, A. (2022). Caracterización de baterías a partir de datos abiertos mediante técnicas de inteligencia artificial. In *Universidad de Zaragoza*.
<https://zaguan.unizar.es/record/112622/files/TAZ-TFG-2022-641.pdf>
- Milia, L., Lenzi, V., & Lachaux, R. (2023). *Engineering Safe Battery-powered Propulsion Systems Through Simulation and Optimization*. 1–8.
https://www.researchgate.net/publication/371686462_Engineering_Safe_Battery-powered_Propulsion_Systems_Through_Simulation_and_Optimization
- Molina, J. A. (2023). *Evaluación de un prototipo de electrolinera solar fotovoltaica aplicado a la propulsión de embarcaciones de pesca artesanal en Arequipa*. Universidad Tecnológica del Perú.
- Muy Tecnológicos. (n.d.). *Autonomía de la batería - Qué es, definición y concepto - Muy Tecnológicos*. Retrieved November 6, 2024, from
<https://www.muytecnologicos.com/diccionario-tecnologico/energia/autonomia-de-la-bateria>
- National Geographic España. (2022, September 30). *Litio, el nuevo oro blanco*.
https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/litio-nuevo-oro-blanco_18822
- NCPower. (2023). *Celdas de litio: diferencias, usos y cómo elegir las mejores - NCPower*. <https://ncpower.es/celdas-de-litio-diferencias-usos-y-como-elegir-las-mejores/>



- Noticias Imagen FIM. (2021). *Naylamp-UNI, equipo multidisciplinario participará por primera vez en el “Energy Boat Challenge”, Mónaco, en representación de la UNI*. <https://fim.uni.edu.pe/noticias/investigacion/naylamp/>
- Olmo, G. (2019). *CARACTERIZACIÓN DE BATERÍAS DE LITIO PARA EL ESTUDIO DEL ENVEJECIMIENTO* [Universidad Politécnica de Madrid]. https://oa.upm.es/57278/1/TFG_GUILLERMO_OLMO_ESTEBAN.pdf
- Pérez, J., & Walteros, Y. (2016). *SISTEMA DE GESTIÓN DE CARGA PARA BATERÍAS DE ION-LITIO* (Issue 1610) [PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA]. [https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/21433/PerezValderra maJorgeIvan2016.pdf?sequence=1](https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/21433/PerezValderra%20maJorgeIvan2016.pdf?sequence=1)
- Rodriguez, Á. I. (2017). *MODELO PARA LA BATERÍA DE ION DE LITIO DE UN VEHICULO ELÉCTRICO*.
- Schmerler, D., Velarde, J. C., Rodríguez, A., & Solis, B. (2019). *Electromovilidad, Conceptos, políticas y lecciones aprendidas para el Perú*. Osinergmin. [https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios s_Economicos/Libros/Osinergmin-Electromovilidad-conceptos-politicas-lecciones-aprendidas-para-el-Peru.pdf](https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinergmin-Electromovilidad-conceptos-politicas-lecciones-aprendidas-para-el-Peru.pdf)
- Tafur, L. A. (2022). *Residuos de Baterías de Vehículos Eléctricos y su Regulación*. <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/10153>
- Tanim, T. R., Dufek, E. J., & Sazhin, S. V. (2021). Challenges and needs for system-level electrochemical lithium-ion battery management and diagnostics. *MRS Bulletin*, 46(5), 420–428. <https://doi.org/10.1557/s43577-021-00101-8>
- The MathWorks, I. (2024a). *Simscape - MATLAB*. <https://la.mathworks.com/products/simscape.html>
- The MathWorks, I. (2024b). *Simulación y diseño basado en modelos con Simulink - MATLAB*. 2024. <https://la.mathworks.com/products/simulink.html>
- The MathWorks Inc. (2024). *Simscape™ Battery™ User 's Guide*. https://la.mathworks.com/help/pdf_doc/simscape-battery/battery_ug.pdf



TRITEK. (n.d.). *4 tipos de carcasas para baterías de litio: comparación completa.*

Retrieved November 6, 2024, from <https://tritekbattery.com/es/4-casing-types-for-lithium-batteries-pvc-plastic-metal-and-aluminum/>

Zhao, R., Kollmeyer, P. J., Lorenz, R. D., & Jahns, T. M. (2019). A Compact Methodology Via a Recurrent Neural Network for Accurate Equivalent Circuit Type Modeling of Lithium-Ion Batteries. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 55(2), 1922–1931. <https://doi.org/10.1109/TIA.2018.2874588>



ANEXOS

ANEXO 1: Documento de solicitud para obtener información detallada de la arquitectura de la BIL e163



Av. Floral 1153, Puno, Postal code 21001
+51 963 999 993
jchura@unap.edu.pe

28/06/2024

Dear, ePropulsion

Corporacion Polarium E.I.R.L

Receive greetings from the Department of Electrical Mechanical Engineering of the National University of the Altiplano, Peru.

We are currently working on a Lithium battery research; that is the reason that we purchased a lithium battery from you company (E163), Navy 6.0, solar charger.

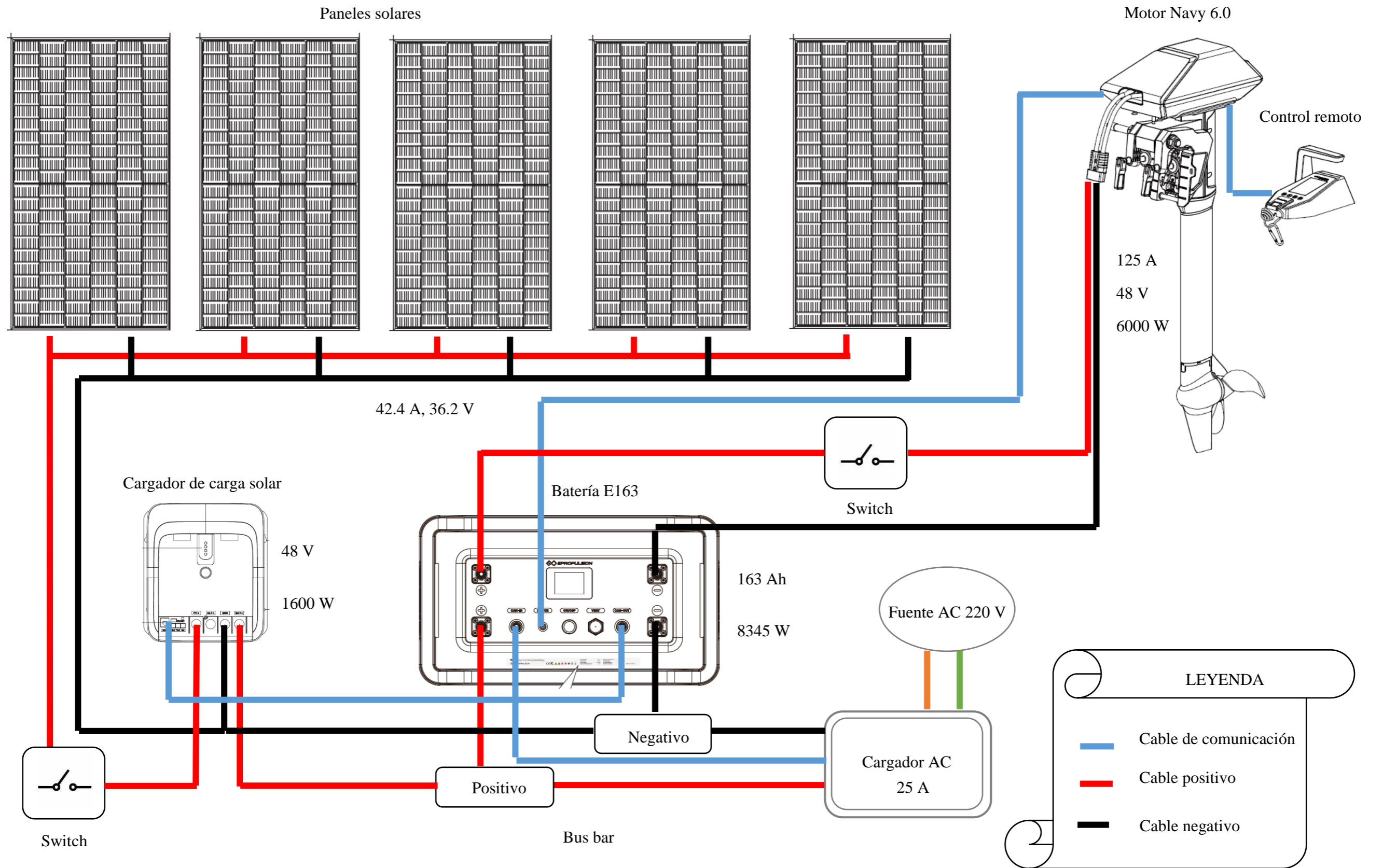
We have the intention to transform the industry of the transportation in the Titicaca lake toward green power source. In that sense. We need to research and spread the benefit of your technology. For this purpose, we would request more information regarding the internal construction characteristics of the battery, such as: the type of cells, the characteristics of the BMS, the ventilation valve, temperature data of the cells in operation.

We will be attentive to your response, thank you.

Dr. Julio Fredy Chura Acero
National University of the Altiplano Puno.



ANEXO 2: Conexión eléctrica de la lancha Kallpa Electric





ANEXO 3: Solicitud para hacer pruebas

"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

SOLICITO: PERMISO DE NAVEGACIÓN PARA PRUEBA DE MAQUINAS ELECTRICAS DE LA EMBARCACIÓN KALLPA ELECTRIC

Señor
Capitán de Fragata
Capitán de Puerto de Puno
Anthony Gutiérrez Tong

DIRECCION GENERAL DE CAPITANIAS Y GUARDACOSTAS	
OFICINA DE ATENCION AL USUARIO	
RECIBIDO	
FECHA:	11/10/2024
HORA: 17:40	GRADO/HOMBRE: Win SUC
CARGO: CAPITAN DE PUERTO	
DIRECCION: PUNO	

Yo Joel Braham Amanqui Mamani, identificado con D.N.I. Nº 73495514 con domicilio en Jr. 12 de agosto Nº 501, del distrito de San Miguel, provincia de San Román, departamento de Puno. Con el debido respeto digo:

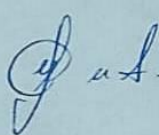
Por motivos de cumplir con las pruebas necesarias de las máquinas eléctricas, con fines de seguridad e integridad de la embarcación eléctrica y la tripulación, solicito permiso para navegar para probar los equipos eléctricos de propulsión de nuestra embarcación.

Dicha prueba sería realizada el día domingo 13 de octubre a horas 9:00 a.m.

POR LO EXPUESTO

Ruego a ud. Acceder a mi petición por ser de justicia.

Puno, 11 de octubre de 2024



.....

Joel Braham Amanqui Mamani



"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

SOLICITO: PERMISO DE
NAVEGACIÓN PARA PRUEBA DE
MÁQUINAS ELÉCTRICAS DE LA A
EMBARCACIÓN KALLPA
ELECTRIC.

SEÑOR
Capitán de Fragata
Capitán de Puerto de Puno
Antony Gutiérrez Tong

DIRECCIÓN GENERAL DE CAPITANÍAS Y GUARDACOSTAS	
OFICINA DE ATENCIÓN AL USUARIO	
RECIBIDO	
FECHA: 30 OCT 2024	PRIMA:
HORA: 9:36	GRADO/NOMBRE: Col. S. M. C.

Yo, JOSE MIEGUL TURPO DIAZ, identificado con
DNIN° 48061628, con domicilio en Jr. Cancharani
N°1273 barrio llavini de la ciudad de Puno, ante
Ud. me presento y expongo:

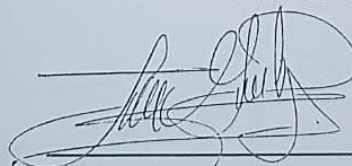
Por motivo de cumplir con las pruebas necesarias de las maquinas eléctricas, con
fines de seguridad e integridad de la embarcación eléctrica y la tripulación, solicito
permiso para navegar, probar los equipos eléctricos de propulsión de nuestra
embarcación.

Dicha prueba se realizará el día jueves 31 de noviembre del 2024 a partir de las
9:00 am.

Por lo expuesto:

Ruego a Ud. acceder a mi solicitud.

PUNO, 30 de octubre del 2024


JOSE MIGUEL TURPO DIAZ
DNI N° 48061628

ANEXO 4: Acta con las asociaciones y comunidades involucradas en las pruebas

1

Siendo las 7:41 a.m. del día 26 de agosto de 2023, nos reunimos en la oficina del presidente AEUPTAL, Sr. Juan, el fiscal, el coinvestigador Ing. Norman Beltrán y Teista Joel Bracam Qui. Para poner en conocimiento del proyecto de la construcción de una línea solar y su autorización.

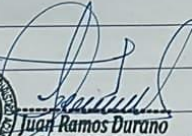

Se



El presidente se compromete en apoyar la iniciativa y en la medida de sus funciones, con el transporte desde Puno a Uros o viceversa.

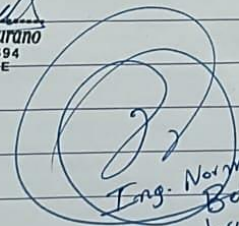
Se pone en conocimiento el proyecto de investigación sobre una la construcción de una embarcación eléctrica la cual tendrá un periodo de ejecución aproximado de un año y medio a partir de Julio del presente año.

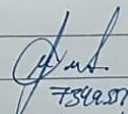
El presidente de la asociación de lancheros no da la autorización para poder realizar las pruebas en la bahía del lago Titicaca y los Uros.

Siendo las 8:04 a.m. se concluye la reunión, firmando las personas presentes en conformidad de la reunión.


 **Juan Ramos Durano**
DNI: 01318694
PRESIDENTE


 **Alfonso Charco Lucano**
DNI: 01316784
FISCAL

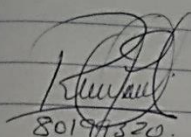

Ing. Norman Beltrán
coinvestigador
UNA - PUNO



Joel Bracam Qui
7542574

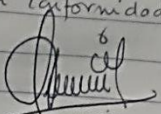
3

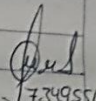
Siendo las 8.42 a.m. del día 25 de abril de 2024 nos reunimos con el actual presidente de la AEUPTA2, en donde se ratifican los acuerdos tomados con la anterior junta directiva.

Firmando las personas presentes en conformidad.


80199320


Richard Porcela Chalco
DNI: 80199320
PRESIDENTE



SECRETARIO
AEUPTA2
DNI: 43199686
Willy P. Pacanara Coila



73495514
TESTISTA DEL PROYECTO

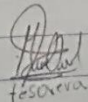
Siendo las 14:45 horas del día 2 de mayo del presente año, nos reunimos con la actual junta directiva de la comunidad de los Uros, en donde se pone en conocimiento el proyecto de construcción de una embarcación eléctrica con fines de investigación.


Teniendo el visto bueno y la venia para poder realizar las pruebas en el trayecto de puerto muelle hacia los Uros de parte de sus autoridades.

Se concluye la reunión, firmando las personas presentes en conformidad.


Percy Lujano Vilca
DNI: 01343256
PRESIDENTE DE LA COMUNIDAD UROS CHULLUPU


Percy Vilca Coila
DNI: 45127780
VICE PRESIDENTE DE LA COMUNIDAD UROS CHULLUPU


tesorera


73495514
DEL PROYECTO

ANEXO 5: Evaluación económica de Kallpa Electric con una lancha convencional

Tabla 13

Características de funcionamiento de una embarcación convencional de servicio turístico

Descripción	Características
Eslora	7.5 m
Propulsión	Motor fuera de borda Yamaha 15 HP
Trayectoria	Puerto Banquero – Uros (5521 m)
Consumo de combustible	0.5 galón de gasolina (ida y vuelta)
Costo de galón	S/ 17.00
Tiempo de navegación	30 – 40 min (ida o vuelta)
Tripulantes	8 personas incluyendo al conductor
Salidas en temporada alta	2 – 3 veces al día
Salidas en temporada baja	1 vez al día

Nota. Elaboración propia.

Haciendo un análisis económico del costo de navegación de una embarcación convencional de servicio turístico hacia los Uros, de similares dimensiones de Kallpa Electric, podemos observar que en temporada baja se gastarían 8.50 soles al día, en un año serían 3102.50 soles, sin considerar el cambio de aceite y otros mantenimientos del motor ni el cobro de los pasajes a los turistas. En comparativa los equipos eléctricos son de bajo mantenimiento, puesto que su garantía oscila entre los 8 a 12 años. Kallpa Electric en un día despejado podría realizar sin inconvenientes un trayecto de ida y vuelta, más una ida; podría completar la vuelta; sin embargo, esto agotaría la carga de la batería, comprometiendo su vida útil, el costo de navegación en este caso es 0.00 soles, ya que la



principal fuente de energía es suministrada por los paneles solares que captan la radiación del sol. Si nos preguntamos por las temporadas nubladas, la respuesta podría recaer en la carga de la batería mediante su cargador convencional, el cual puede ser conectado a un tomacorriente de 220 voltios en corriente alterna, el tiempo de carga aproximado es de siete horas. En este caso tendríamos que descontar el costo de consumo de energía eléctrica doméstica, sabemos que el costo por un KW.h es aproximadamente 0.54 soles, multiplicando esto por las siete horas de carga, tendríamos una facturación de 3.78 soles diarios, sabemos también que la temporada de nubes puede comprender desde noviembre a abril, siendo seis meses, multiplicando este tiempo por la facturación obtenemos aproximadamente 680.00 soles, restando esta cantidad a 3102.50, obtenemos un ahorro de 2422.50 soles aproximadamente al año.

ANEXO 6: Parte del equipo de diseño y construcción de Kallpa Electric





ANEXO 7: Declaración jurada de autenticidad de la tesis



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Joel Braham Amanqui Mamani
identificado con DNI 73495514 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, **Programa de Segunda Especialidad**, **Programa de Maestría o Doctorado**
Ingeniería Mecánica Eléctrica

informo que he elaborado el/la **Tesis** o **Trabajo de Investigación** denominada:

“ CARACTERIZACIÓN Y MODELACIÓN DE UNA BATERIA DE ION - LITIO

EN EL FUNCIONAMIENTO DE UNA EMBARCACIÓN ELÉCTRICA

SOSTENIBLE EN LA BAHÍA DEL LAGO TITICACA ”

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 29 de noviembre del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella



ANEXO 8: Autorización para el depósito de la tesis en el Repositorio Institucional



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Joel Braham Amanqui Mamani,
identificado con DNI 73495514 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
Ingeniería Mecánica Eléctrica

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“ CARACTERIZACIÓN Y MODELACIÓN DE UNA BATERIA DE ION - LITIO
EN EL FUNCIONAMIENTO DE UNA EMBARCACIÓN ELÉCTRICA
SOSTENIBLE EN LA BAHÍA DEL LAGO TITICACA ”

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 29 de noviembre del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella