UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

METODOLOGÍAS PARA LA EVALUACIÓN, CARACTERIZACIÓN Y REUTILIZACIÓN DE BATERÍAS DE LITIO EN FORMATO 18650 PARA APLICACIONES DE SEGUNDA VIDA

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL ELÉCTRICO

FELIPE ANDRÉS DUPOUY CORTÉS

PROFESOR GUÍA:
ANDRÉS CABA RUTTE

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
FRANCISCO CASADO CASTRO
PATRICIO MENDOZA ARAYA

ESTE TRABAJO HA SIDO PARCIALMENTE FINANCIADO POR:
BEAUCHEF PROYECTA

SANTIAGO DE CHILE
2021

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR
AL TÍTULO DE MAGÍSTER EN CIENCIAS
DE LA INGENIERÍA
POR: **FELIPE ANDRÉS DUPOUY CORTÉS**
FECHA: 2021
PROF. GUÍA: ANDRÉS CABA

METODOLOGÍAS PARA LA EVALUACIÓN, CARACTERIZACIÓN Y REUTILIZACIÓN DE BATERÍAS DE LITIO EN FORMATO 18650 PARA APLICACIONES DE SEGUNDA VIDA

La basura electrónica o *e-waste* se refiere a los desechos de productos electrónicos que se han acercado o han alcanzado el final de su vida útil. El incremento en la ultima década de productos electrónicos y la entorno a las problemáticas ambientales de la gestión de la basura electrónica abren espacio a discusiones de cómo enfrentar el impacto del ser humano sobre el medio ambiente. Ante esto, la economía circular es un cambio de paradigma sobre el cual es necesario desarrollar técnicas y métodos para determinar que elementos pueden ser reutilizados, que elementos pueden ser reciclado y que elementos deben ser desechados de forma segura para el ambiente.

Uno de estos elementos de los cuales hay que hacerse cargo antes de que se vuelva e-waste son las diversas baterías de ion-litio que se utilizan en cientos de componentes día a día. En particular el formato 18650 de estas baterías son utilizadas en productos desde computadores portátiles hasta vehículos eléctricos o sistemas de almacenamientos de energía de capacidad industrial.

El objetivo de este trabajo es presentar metodologías para la evaluación y caracterización de baterías de litio 18650 para ser reutilizados en aplicaciones de segunda vida. Para ello se realizan mediciones de voltaje de circuito abierto, impedancia y de capacidad por medio de pruebas de ciclado completo de carga-descarga-carga.

Se han realizado estas pruebas sobre 170 celdas de litio 18650 recuperadas desde computadoras portátiles, de las cuales fue posible recuperar 105 celdas (61.76 %) se encuentran en condiciones para ser usada nuevamente, mientras que las 65 celdas restantes se descartan de ser reutilizadas tras detectarse fallas en su estructura interna que limitan su capacidad o representan un riesgo si son puestas en operación. Se realiza un análisis y una caracterización explicando las situaciones que justifican la presencia y el uso de baterías que se encuentran en condiciones de operación, pero que han sido desechadas.

Además a modo ilustrativo de aplicaciones con baterías de segunda vida se presenta el diseño de un sistemas de almacenamiento de energía solar basado en un banco de baterías recuperadas y el diseño de un sistema de gestión y control para este sistema.

Se concluye al evaluar y caracterizar baterías de litio que un número considerable de estas son desechadas en condiciones en las cuales pueden ser aprovechadas para nuevas aplicaciones. Se insta a considerar posibles modelos comerciales para implementar estos procesos de reutilización en el territorio nacional.

Agradecimientos

En primer lugar, agradecer a Beauchef Proyecta por apoyar este trabajo con interés y financiamiento, el cual me permitió experimentar y desarrollar para enfrentar este desafío.

Quiero agradecer al profesor Andrés Caba quien me brindó su apoyo y me guío paso a paso en este trabajo. Sin importar el inconveniente, desafío, estallido social o pandemia, el profesor nunca permitió que eso me detuviera y me enseñó a siempre buscar las soluciones, pues sin problemas el mundo no necesitaría ingenieros.

Agradecer a mis amigos y amigas, en especial a Matías, Francisca y Danae con quienes tuve el gusto de compartir salas de clases, tareas y pruebas. Algunas veces pude repetir el gusto de compartir las mismas clases de Otoño en Primavera con ellos.

Finalmente quiero agradecer especialmente a mi familia, uno de los pilares fundamentales de mi vida y quienes me formaron en la persona que soy. A mis padres Eduardo y Graciela, mi abuela Isabel, mi hermano Juan Eduardo y mis mascotas Sizy y Deedee.

Tabla de Contenido

1. Introducción **1**

2. Objetivos **2**
2.1. Objetivo General 2
2.2. Objetivos Específicos 2

3. Marco Teórico **3**
3.1. Baterías de Litio 3
3.1.1. Conceptos Característicos de Baterías Ion-Litio 5
3.1.2. Características de las baterías de Ion Litio 7
3.1.3. Sistema de Gestión de Baterías 8
3.2. Métodos de Pruebas de Baterías 9
3.3. La economía circular y el manejo de residuos electrónicos. 10

4. Propuesta metodológica **13**
4.1. Recuperación y obtención de baterías 13
4.1.1. Antecedentes del uso de baterías en productos convencionales 13
4.1.2. Escenarios para la recuperación de baterías 14
4.2. Evaluación de baterías 15
4.2.1. Obtención de Baterías 15
4.2.2. Metodología para la evaluación del estado de celdas 17
4.2.2.1. Etapa 1: Inspección General 17
4.2.2.2. Etapa 2: Identificación de valores 17
4.2.2.3. Etapa 3: Pruebas de ciclado y medición de valores 18

5. Desarrollo del proyecto **20**
5.1. Resultados 20
5.1.1. Prototipo controlador de baterías para 10V 20
5.1.2. Pruebas de capacidad de celdas 21
5.2. Análisis de resultados 26
5.2.1. Prototipo de controlador basado en arduino 26
5.2.2. Resultados de pruebas de capacidad de celdas 26
5.2.3. Caracterización de la recuperación de baterías 28
5.2.4. Reutilización de baterías recuperadas 29

6. Propuesta de diseño para aplicaciones de almacenamiento energético 30
6.1. Características generales del diseño 30
6.1.1. Diseño del contenedor para las baterías 34
6.1.2. Desarrollo microcontrolador 36
6.1.2.1. Medición de voltajes 37
6.1.2.2. Medición de temperatura 38
6.1.2.3. Medición de corriente 38
6.1.2.4. Pantallas de información y sistemas de memoria 38
6.1.2.5. Alimentación Arduino 38
6.1.2.6. Sistema de ventilación 38
6.1.3. Otras alternativas de diseño 38

7. Conclusiones 40

Bibliografía 42

Índice de Tablas

3.1. Ventajas y desventajas de baterías de litio.[5] 8
5.1. Datos nominales de celdas recuperadas 22
5.2. Resultados de evaluación de celdas 18650. 24
5.3. Resumen de los resultados de las pruebas de evaluación de las celdas. 24
6.1. Tabla de características del prototipo. 34

Índice de Ilustraciones

3.1. Esquema de carga y descarga de una batería de litio. [1] 3
3.2. Esquema de niveles que componen una batería. [32] 4
3.3. (Izq) Celdas conectadas en serie (S4P1). (Der) Celdas conectadas en paralelo (S1P4). Fuente: Battery University. [6] 4
3.4. Distintos formatos de celdas de litio.[14] 5
3.5. Diagrama celda 18650 Samsung INR110500-25R.[7] 7
3.6. Esquema de procesos en la economía circular.[20] 11
3.7. Modelo economía circular ley REP Chile, Ministerio del Medio Ambiente. (2019)[33] 12
4.1. Baterías de portátiles en proceso de desarme. Imagen de autor. 16
4.2. Captura de la base de datos de Second Life Storage. Imagen de autor. 18
4.3. Cargador/probador de baterías Liitokala Lii-500. Imagen de autor. 19
5.1. Prototipo sistema de control 10 V. Imagen de autor. 20
5.2. Prototipo sistema de control 10V. Imagen de autor. 21
5.3. Esquema de protección CID de una batería. La placa PTC (azul) aumenta la resistencia de la celda al aumentar la temperatura para reducir la corriente eléctrica. Este efecto es reversible. La placa principal del CID (Naranja) se quiebra bajo presión e interrumpe permanentemente el flujo de corriente. [49] 23
5.4. Celdas con distintos grados de daño por corrosión. Imagen de autor. 25
6.1. Diagrama propuesta de prototipo. 30
6.2. Inversor Epever SHI400.[42] 31
6.3. Cinta aislante térmica Kapton. Imagen de autor. 31
6.4. Níquel de 10 mm para soldar baterías.. Imagen de autor. 32
6.5. Battery Management System para 24 V 20 A. Imagen de autor. 33
6.6. Conector XT60 para 60 A. Imagen de autor. 33
6.7. Captura de pantalla del programa Hex-Cell-Holder de OpenSCAD. Imagen de autor. 35
6.8. Contenedor (Parte superior) y separadores (par inferior) para batería 1S12P. Imagen de autor. 36
6.9. Diagrama conexiones del controlador. 37

Capítulo 1

Introducción

Un desafío vigente en el mundo actual, es el incentivo que tienen las políticas de descarbonización y el uso de energías que sean limpias, renovables y cuya producción sea sustentable en el tiempo. Chile no es ajeno a este desafío, y ya cuenta con una matriz de energía cuya generación se sustenta a un 20 % con energías renovables [44]. Esto representa un desafío a gran escala y de múltiples aristas, que requiere cambios que involucran activamente a los gobiernos, grupos ecónomos y las personas del país. Entre estos, cambios culturales que significan replantear los procesos productivos de los distintos productos utilizados en el territorio nacional y pensar más allá de la aparente vida útil que estos presentan. De igual forma, una tecnología que esta adquiriendo un papel protagonista en el mundo moderno son las baterías de Ion Litio, cuyas cualidades de alta capacidad y densidad energética han permitido desarrollar toda clase de productos. Estas baterías se pueden encontrar en diversas aplicaciones, desde los celulares que se utilizan diariamente por millones, pasando por vehículos eléctricos hasta grande sistemas de almacenamiento de energía del orden de los Mega Watts-hora.

A su vez, el desarrollo tecnológico-urbano de las ciudades del país invita a enfrentar los desafíos de sustentabilidad y de recursos energéticos con iniciativas innovadoras, que involucren al nuevo modelo productivo llamado economía circular, el modelo económico de desarrollo sustentable que propone utilizar cada recurso de la cadena productiva de forma eficiente introduciendo procesos de reutilización y reciclaje para minimizar la generación de desechos en el ciclo de producción. En consideración de lo anterior, se plantea el desafío de buscar soluciones innovadoras que preparen a la fuerza productiva nacional para enfrentar el excedente de baterías de Ion Litio una vez que los productos en lo que alguna vez fueron parte terminen su ciclo de vida útil. Se identifica así, un potencial de reutilizar baterías, ya que si bien en conjunto el producto ya no opera de manera satisfactoria para el usuario, esto no representa que necesariamente el componente de las baterías haya sido agotado. Así se propone la hipótesis, apoyada por las experiencias previas expuestas en [24] y [26], que dentro de un *pack* de baterías que ha sido desechado es posible encontrar baterías que aún están en condiciones correctas de operación y que se comente un grave error que atenta contra el medio ambiente al desecharlas cuando pueden ser reutilizadas.

En el presente trabajo de título, se identifica el potencial de recuperar el recurso de baterías de Ion-Litio formato 18650, los métodos para recuperar, caracterizar y evaluar las condiciones de dichas baterías y se presenta una propuesta de diseño para un nuevo producto que utilice como eje central a este elemento recuperado y reutilizado.

Capítulo 2

Objetivos

2.1. Objetivo General

El principal objetivo de este trabajo ha sido desarrollar técnicas y procesos para la caracterización de estado y evaluación de la reutilización de baterías de litio formato 18650 para aplicaciones de segunda vida, es decir, su reutilización en nuevas aplicaciones.

2.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar y hacer prognosis sobre el estado de las baterías reutilizadas.
- Caracterizar la recuperación y evaluación de baterías de litio 18650, identificando las situaciones que permiten o no permiten tal recuperación o la llamada segunda vida.
- Hacer una análisis sobre el estado actual de las baterías de ion litio recuperadas. Identificando el contexto en que han logrado ser recuperadas, su potenciales usos y sus limitantes.
- Identificar y caracterizar situaciones y procesos por los cuales las baterías son desechadas sin completar su vida útil.
- Promover técnicas de elaboración e implementación de productos en base a la economía circular, innovación tecnológica y reutilización de baterías de litio.
- Presentar el diseño de un equipo centrado en utilizar las baterías recuperadas, como sistema de almacenamiento de energía solar basado en necesidades técnicas.

Capítulo 3

Marco Teórico

3.1. Baterías de Litio

La baterías de Litio o Ion-Litio es un dispositivo de descarga electro-estática (SDE, por sus siglas en ingles) el cual es capaz de transformar energía química almacenada en su interior en energía eléctrica por medio de una reacción de oxido reducción.

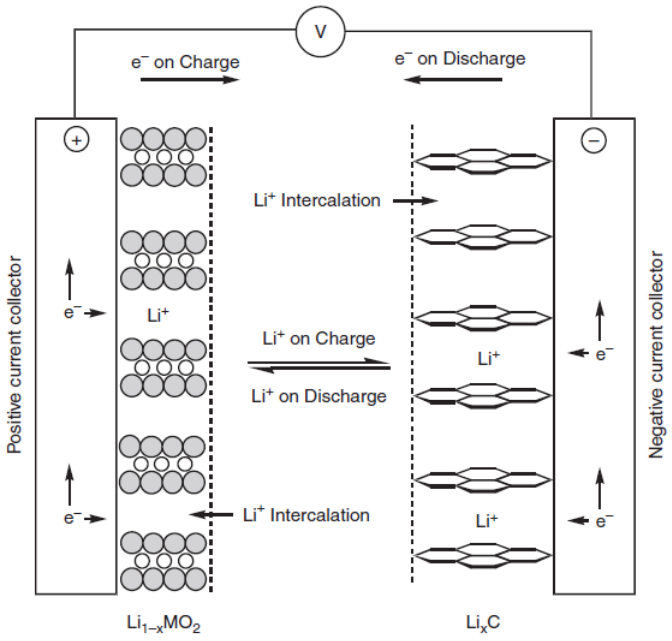


FIGURE 26.3 Schematic of the electrochemical process in a Li-ion cell.

Figura 3.1: Esquema de carga y descarga de una batería de litio. [1]

Se utilizan materiales compuestos por litio como los electrodos de carga positiva y negativa. Durante el ciclo de la batería, los iones de litio se mueven de un electrodo a otro conforme la batería es cargada y descargada. Generalmente, el electrodo positivo (cátodo) esta compuesto de un oxido metálico, como es el Oxido de Litio-Cobalto ($LiCoO_2$), con un colector de corriente hecho de aluminio. Por su parte, el electrodo negativo (ánodo) esta generalmente

compuesto por grafito con un colector de corriente de cobre. Durante el proceso de carga y descarga, los iones de litio (Li^+) son insertados o retirados del espacio intersticial entre las capas de átomos de los materiales mencionados anteriormente. [2] [5]

Existen dos categorías principales de baterías en general: Las baterías primarias y secundarias. La diferencia entre estas es que las primera solo poseen un único ciclo de descarga y no son recargables, mientras que las ultimas poseen múltiples ciclos de carga y descarga.[3]

Otra distinción importante al definir las baterías de litio es que la palabra "batería"se utiliza como un termino general para describir a estos elementos de almacenaje, cuando existen 3 niveles en la estructura de una batería: las celdas, los módulos y los paquetes de baterías.[4]

Las celdas son las unidades básicas de una batería, formados por un cátodo, un ánodo y un elemento electrolítico. Al conjunto de celdas conectadas entre sí y montadas en una estructura para protegerlo del calor, vibraciones y desgaste físico se le conoce como modulo, y al agrupar varios módulos entre si en el montaje final se obtienen un “pack” o paquete, lo que se reconoce finalmente como la batería propiamente tal.

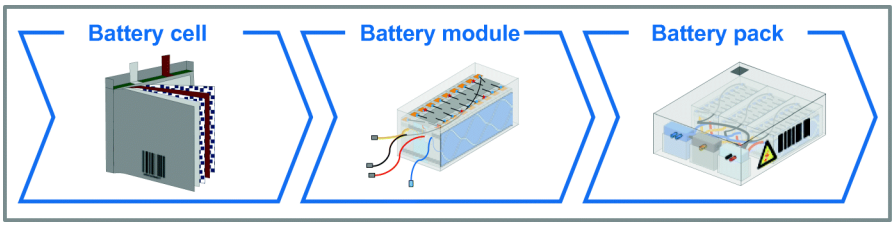


Figura 3.2: Esquema de niveles que componen una batería. [32]

Debido a lo anterior, a nivel industria se ha formando la nomenclatura $XSYP$, donde X se refiere a la cantidad de módulos en serie e Y en la cantidad de celdas en paralelo. Así, una batería 3S2P corresponde a 3 módulos conectados en serie de 2 celdas en paralelo. Esto permite identificar rápidamente aspectos técnicos de la batería, como: Su voltaje nominal, la cantidad de módulos, la configuración de estos y estimar la capacidad nominal de la batería.

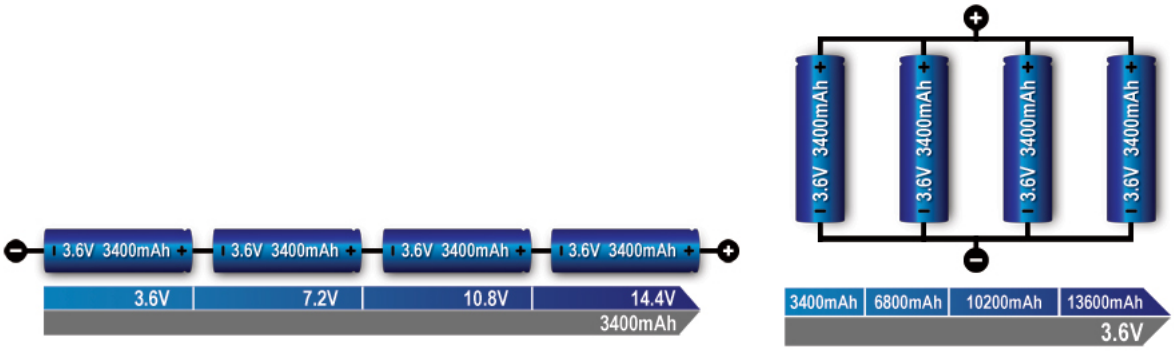


Figura 3.3: (Izq) Celdas conectadas en serie (S4P1). (Der) Celdas conectadas en paralelo (S1P4). Fuente: Battery University. [6]

Las distintas configuraciones nacen de la necesidad de obtener valores de capacidad (Ah) y voltajes (V) distintos para distintas aplicaciones. Si bien en general las celdas de Ion-Litio poseen un voltaje nominal de 3.6 V, el conectar más de un modulo en serie, sus voltajes se suman, aumentado el voltaje total de la batería. Por otro lado, al conectar múltiples celdas en paralelo, se suman sus capacidades, permitiendo almacenar y descargar más energía en la batería.[6]

Existen distintos formatos de baterías de Ion-Litio. Entre ellos, uno de los más utilizado es el formato 18650 de celdas recargables. En este formato la batería tiene una forma cilindra, cuyas dimensiones son 18 milímetros de diámetro y 65 milímetros de alto.[7]

Figura 3.4: Distintos formatos de celdas de litio.[14]

3.1.1. Conceptos Característicos de Baterías Ion-Litio

A continuación se describen ciertos conceptos claves para clasificar y describir a las baterías de Ion-Litio, basados en [8] [9] [10].

- **Voltaje**: Medido en Volts. Se refiere al diferencial de potencia medido entre los electrodos de la batería. Para las baterías de Ion-Litio se considera como voltaje nominal el valor de 3,6 V. Típicamente, el voltaje de carga máxima es de 4,2 V y el de descarga máxima es de 2,5 V. Baterías con voltajes inferiores a los valores nominales sufren de oxidación de los elementos electrolíticos, dañando la batería y no permitiendo que sea posible volverlas a cargar.

- **Capacidad**: Capacidad se refiere a la energía específica en Amperes-hora (Ah) y representa la descarga en corriente que soporta la batería por unidad de tiempo. En otras palabras, una batería con capacidad de 3000 mAh puede operar durante una hora, descargando 3 Amperes.

- **Energía**: Así como en la capacidad, la energía se refiere a la capacidad de la batería de entregar cierta potencia en Vatios por unidad de tiempo (Wh). Así, una batería de 2 kWh puede entregar una potencia de 2 kW por 1 hora.

- **C-rate**: Corresponde a la relación de descarga de una batería con respecto a su capacidad nominal. A una tasa de 1C, la batería se descarga o carga a su capacidad nominal, mientras que a 0,5C la batería se descarga o carga a la mitad del Amperaje nominal por el doble de tiempo. Un *C-rate* mayor a 1 corresponde a una situación de sobre descarga con respecto a la capacidad nominal.

- **Resistencia Interna**: Corresponde a la resistencia eléctrica total de la batería en sí misma. Siempre existe un grado de variación de este valor entre baterías (aunque sean de la misma serie de producción) debido de las imperfecciones en los distintos elementos conductores que conforman a la batería. Una variación con respecto a los valores nominales puede indicar perdida de eficiencia y degradación de la batería, ya que el incremento de la resistencia interna significa una mayor perdida calórica al operar la batería. También es de importancia el utilizar celdas con resistencia internas compatibles y similares, de forma de evitar des-balancear la carga de la batería en su conjunto; al des-balancear las cargas entre los módulos y celdas se produce el efecto de tener módulo cuyos niveles de cargas disminuyen más rápido que otros, acortando la vida útil de la batería. Las medidas de resistencia interna varían según las condiciones de operación (como temperatura, intensidad de carga/descarga, modo de operación, entre otras).

- **Energía y densidad específica**: La energía específica caracteriza a la batería por su relación Energía en Vatios-hora con su peso en Kilogramos. La densidad específica indica la relación entre la energía que almacena la batería en Vatios-hora y el volumen en litros.

- **Profundidad de descarga**: *Depth of Discharge* o DoD por sus siglas en ingles, hace referencia al porcentaje de capacidad de la batería utilizado durante una operación de descarga con respecto a la capacidad nominal de la batería. El DoD es una consideración importante al utilizar baterías. Por lo general, los datos de fábrica de las baterías incluyen un valor de DoD a respetar. El descargar ciertos tipos de baterías, como las de Ion litio, por sobre este valor genera una degradación en la capacidad de la batería y una reducción en los ciclos de una batería. En general, la recomendación para baterías de Ion Litio es no superar un DoD de 80 %.

- **Ciclos de carga**: Los ciclos en una batería es un valor de referencia a la cantidad de veces en la que se puede cargar y descargar la batería en su totalidad. No es necesario ni recomendado descargar la batería en su totalidad para obtener un ciclo, sino que el porcentaje acumulado de descargas y cargas permiten contabilizar los ciclos. Dependiendo de las condiciones de operación, las baterías pueden ver afectado la cantidad de ciclos que soportan, acortando su vida útil.

- **Estado de carga**: SoC, por su sigla en ingles de *State of Charge*, es un indicador de la cantidad de carga que posee la batería en relación a la carga total de la batería totalmente cargada. El SoC no es una valor que se pueda medir directamente desde la energía química almacenada en la batería, sino que es un valor estimado desde distintas

mediciones a la batería. Entre los métodos para estimar el valor de SoC destacan los métodos de Voltaje abierto (*Open Voltaje Method*) y el *Coulomb Counting*. El primer método destaca por su simplicidad de operación, en el que se mide el voltaje abierto entre los terminales de la batería y cuya medición se compara con los perfiles de las curvas de voltaje de las baterías. Por su parte, el *Coulomb Counting* mide la capacidad de la batería consumida, al integrar los flujos de corrientes positivos de la batería sobre el tiempo, entregando un estimado de la energía transada por la batería.

- **Fin de Vida**: EoL, del ingles *End of Life* se identifica como el estado de una batería que al descargarse a 1C, su capacidad es un 80 % o menor con respecto al valor nominal.

3.1.2. Características de las baterías de Ion Litio

Las baterías de litio son una tecnología con décadas de desarrollo, pero desde 2010 han presentado un aumento explosivo en su demanda y usos en distintos productos. Tal desempeño en el mundo actual es entendible al notar las ventajas que estas poseen sobre otras tecnologías. Con valores altos de densidad energética (hasta 640 Wh/L) y energía especifica (240 Wh/Kg). Esto hace que esta tecnología sea atractiva para aplicaciones con sensibilidad al peso o volumen a ocupar. Otra ventaja, es la amplia gama de aplicaciones, formatos y modelos que existen para baterías de litio. El interés de las industrias por utilizar estas baterías ha impulsado un amplio desarrollo de esta tecnología para hacer mejores y más eficientes baterías. Debido a lo anterior, el precio de las baterías de litio ha disminuido año a año. [11]

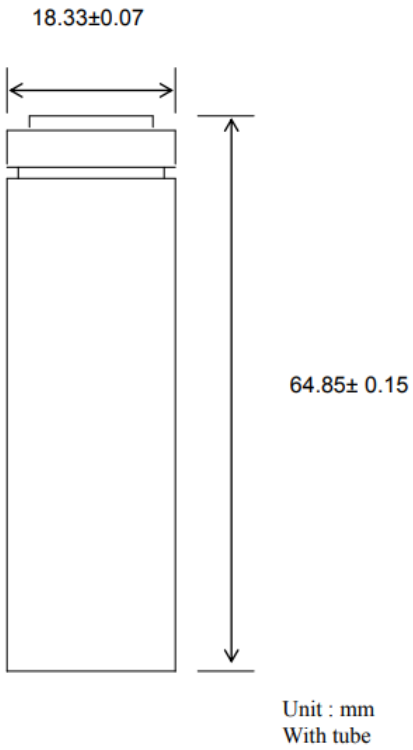


Figura 3.5: Diagrama celda 18650 Samsung INR110500-25R.[7]

Las desventajas de las baterías de litio consideran que aunque el precio ha disminuido, aún es considerablemente más alto que otras alternativas de mercado (como las baterías de plomo). Además, estas requieren circuitos de protección que aumenta los costos de implementación. Otro desafío del litio, es que las baterías sufren degradación o perdida de capacidad si la operación no respeta los rangos operacionales de voltaje y temperatura adecuados. Finalmente, existe el riesgo de *thermal runaway* o escape térmico, donde un cortocircuito genera que la batería aumente su temperatura, lo que a su vez hace aumentar la conductividad de la batería, aumentando la corriente en el cortocircuito y produciendo un mayor efecto de calentamiento óhmico. Esto produce una reacción en cadena en la batería o un bucle que auto-alimenta la reacción de la batería. El peligro de este fenómeno es el riesgo de explosión o incendios eléctricos de clase C. [12] [13] [15] [28]

En la tabla 3.1, se resumen las principales ventajas y desventajas presentadas anteriormente.

Tabla 3.1: Ventajas y desventajas de baterías de litio.[5]

Ventajas	**Desventajas**
Las celdas son selladas y requieren mínima mantención	Costo inicial moderado
Largo ciclo de vida	Sufre de degradación a altas temperaturas
Amplio rango de operación térmica	Requiere de circuitos de protección
Baja tasa de auto-descarga	Perdida de capacidad por daño mecánico
Alta capacidad de potencia y descarga	Degradación por sobre-carga y sobre-descarga
Alta eficiencia	Peligro de Thermal runaway
Alta densidad energética y energía especifica	
No sufre de efecto memoria	
Flexibilidad de diseño por medio de distintas químicas y formatos	

3.1.3. Sistema de Gestión de Baterías

Un punto de interés en la operación de la baterías, es que,al identificar fallas en baterías, es posible que el daño se producto de un modulo o celda en particular cuya falla o desperfecto arrastre al resto de la batería a problemas como sobre-descargas, perdida de capacidad o mal funcionamiento en general. Esto se explica por que al poseer una celda en mal estado, su ciclo de descarga se ve acelerado de tal forma que almacena menos energía. Por consiguiente, el voltaje de la batería en total disminuye de forma anticipada, no pudiendo entregar la energía requerida según aplicación.[26] [51]

Para evitar la situación anterior y otras que puedan afectar a la operación correcta de la batería, es que existen distintos sistemas de protección que miden el voltaje de los distintos módulos en una batería, al presentar celdas en mal estado, estas bajas en los voltajes

de los módulos son identificadas como un estado de falla y se interrumpe la operación de la baterías. Estos sistemas de protección son los llamados Sistemas de Gestión de Baterías o *Battery Management Systems* (BMS). Los BMS son circuitos electrónicos que se encargan de gestionar el uso de la baterías y prevenir situaciones de riesgo en su operación. Si bien existen distintas topologías para ello, en general el principio básico de operación de un BMS es medir el voltaje de cada modulo en serie de la batería y desconecta la salida de la batería hacia el equipo donde se utiliza si se detecta algún valor anormal o fuera de los rango de operación permitidos por el BMS. La principal tarea de de un BMS es proteger cada celda (o modulo) en un batería, manteniéndola en su rango de operación segura.[16] [52]

Entre las tareas que gestiona un BMS están: La carga y descarga segura de la celda, evitar sobre-corrientes en la baterías (tanto durante la carga como en la descarga), desconectar en caso de detectar sobre-voltajes o bajo-voltajes en cualquiera de los módulos, el balanceo de módulos durante la carga (mantener los niveles de carga de los módulos de la batería en un rango cercano) y, si posee los elementos de medición adecuado, la gestión térmica de la batería. Esto ultimo para evitar que la batería se sobre-caliente u opere en ambientes con temperaturas muy bajas o demasiado altas ya que una mala gestión térmica de la batería es un factor que acorta la vida útil de esta.[16] [52]

Una característica importante de los BMS es si utiliza un único puerto para la carga y descarga de las baterías (Single Port BMS o puerto común) o si utiliza puertos separados (Dual Ports BMS o puertos separados). Este ultimo utiliza un puerto para hacer la carga de baterías y otro separado para hacer la descarga de la batería. La topología de los circuitos de puertos separados poseen una menor economía de cable, ya que utiliza cables separados para conectar al cargador. Sistemas de gestión más avanzados poseen capacidades de registro de eventos, estado de la batería y comunicaciones para monitorizar, gestionar y operar de manera activa a las baterías. [16] [17][28]

3.2. Métodos de Pruebas de Baterías

Debido a las diferencias intrínsecas que existen en la fabricación de las distintas baterías y las diferencias en los procesos entre cada fabricante es que no existe un método único para predecir y establecer con claridad el estado de salud de una batería. Debido a esto, solo se puede estimar el estado de vida de una baterías por medio de mediciones a distintas características de estas mismas.[38] [53] [54]

Mediciones de voltaje, impedancia, capacidad de carga, capacidad de descarga y temperatura, entre otras, son capaces de entregar distintas piezas de información sobre el estado de una batería. Cada una de estas características se relaciona con el comportamiento de la baterías. La capacidad medida representa a la cantidad de energía que puede ser almacenada. El voltaje entre terminarles abierto se relaciona con el estado de carga de la batería. La impedancia interna se relaciona con la capacidad de entregar corrientes y las perdidas óhmicas durante la operación. La tasa de auto-descarga se relaciona con la integridad mecánica al interior de la batería.[9]

Las mediciones de estas características son usadas como pruebas para estimar el estado

de las baterías. En general las pruebas más utilizadas son: [9] [37] [38] [53]

- **Medición de voltaje en circuito abierto**: Indicativo del estado de carga. Se es incapaz de estimar el estado de salud solo de esta medición.
- **Prueba Óhmica o de impedancia**: Se mide la impedancia interna de la batería para detectar defectos mecánicos o daño por corrosión que son indicativos de anomalías de final de vida.
- **Pruebas de ciclado completo**: La batería es sometida a ciclos de carga, descarga y carga para verificar que se alcance la capacidad declarada. Estas pruebas requieren retirar la batería de servicio por un tiempo extenso.
- **Conteo de Coulomb**: Técnica valida para aquellas baterías de las que se conoce los valores de capacidad inicial. Se basa en la medición de los flujos de corrientes desde y hacia la batería para hacer análisis sobre el estado de carga y salud de esta.
- **Espectroscopía de Impedancia Electroquímica**: Método por el que se caracteriza las propiedades electroquímicas de la batería, identificando y cuantificando valores sobre la estructura interior de la batería con los que se realizan estimaciones sobre el estado de salud de la batería.[10]

3.3. La economía circular y el manejo de residuos electrónicos.

La economía circular es un modelo productivo en donde se busca minimizar la entrada de nuevos materiales y la salida de residuos. Este modelo utiliza técnicas de reciclaje, reutilización, reparación, re-acondicionamiento, re-manufacturación, entre otros; para generar un bucle lo más cerrado posible en donde se disminuyen los ingresos de materias y las salidas de desechos. [18] [19]

En un nivel más profundo se busca que los desechos aprovechables de un proceso, puedan ser usados como material base en otro, ya sea como un producto secundario o por la recuperación de recursos, o como recursos regenerativos con valor ecológico, así como es el compost de materiales orgánicos.

Figura 3.6: Esquema de procesos en la economía circular.[20]

Lo anterior, proponen los defensores de este modelo, siempre es en pos de no generar una baja en la calidad para los usuarios de tales productos y sin generar perdida de ingresos o costos extras para los productores. Este modelo se contrasta contra el modelo de producción de economía líneal, en donde las materias primas son extraídas, los productos son consumidos o utilizados y finalmente los desechos de estos procesos son descartados y desechados.[21]

Un caso particular de desechos es el *e-waste* o basura electrónica. Este es un termino genérico para referirse a todo producto eléctrico o electrónico que haya o no alcanzado su vida útil y sea desechados. Estos pueden ser tanto reciclables, reparables o reutilizables. La basura electrónica no es necesariamente un material peligroso pero puede contener elementos como berilio, cadmio, mercurio y plomo que al acumularse con el tiempo puede tener un efecto adverso al medio ambiente.[35][36]

Si bien el problema de la basura electrónica comienza en la década de los setentas, el aumento explosivo en la demanda de productos electrónicos ha exacerbado esta situación.[36]

El modelo de economía circular presenta oportunidades para nuevos procesos industriales y oportunidades de emprendimiento e innovación, así como una forma de enfrentar el desafío del manejo de los desechos.

Por otro lado, bajo la lógica de economía circular es que se desarrollan las técnicas presentadas en esta memoria para evaluar, re-acondicionar y reutilizar baterías de Ion Litio de productos electrónicos desechados. En Chile, a 2018 se producen 8.7 Kg de e-waste o basura electrónica per cápita, de los cuales se desconoce el destino final del 83 % de lo desechado. Esto es superior al promedio mundial de 6 kilogramos per cápita. [22] [23] [33]

En Chile, para enfrentar el desafío de la gestión de residuos de forma sustentable se ha

promulgado la Ley N°20.920 de fomento al Reciclaje (ley REP). Esta ley establece los mecanismos económicos de gestión de residuos, en donde los fabricantes de ciertos productos denominados prioritarios deben organizar y financiar la gestión de los residuos derivados de estos productos. La norma se enfoca en la prevención del desecho excesivo en vertederos y la valorización de residuos de formal global, al considerar que la disposición final en los vertederos no es óptima.[33]

Los productos prioritarios se identifican de consumo masivo, de volumen significativo, pueden ser residuos peligrosos, son factibles de valorizar y se puede generar una regulación comparada con ellos.[33] Estos productos son:

- Aceites lubricantes.
- Aparatos eléctricos y electrónicos.
- Baterías.
- Pilas.
- Envases y embalajes.
- Neumáticos.

Este trabajo se configura como una alternativa para la gestión de residuos de baterías de litio en el territorio nacional.

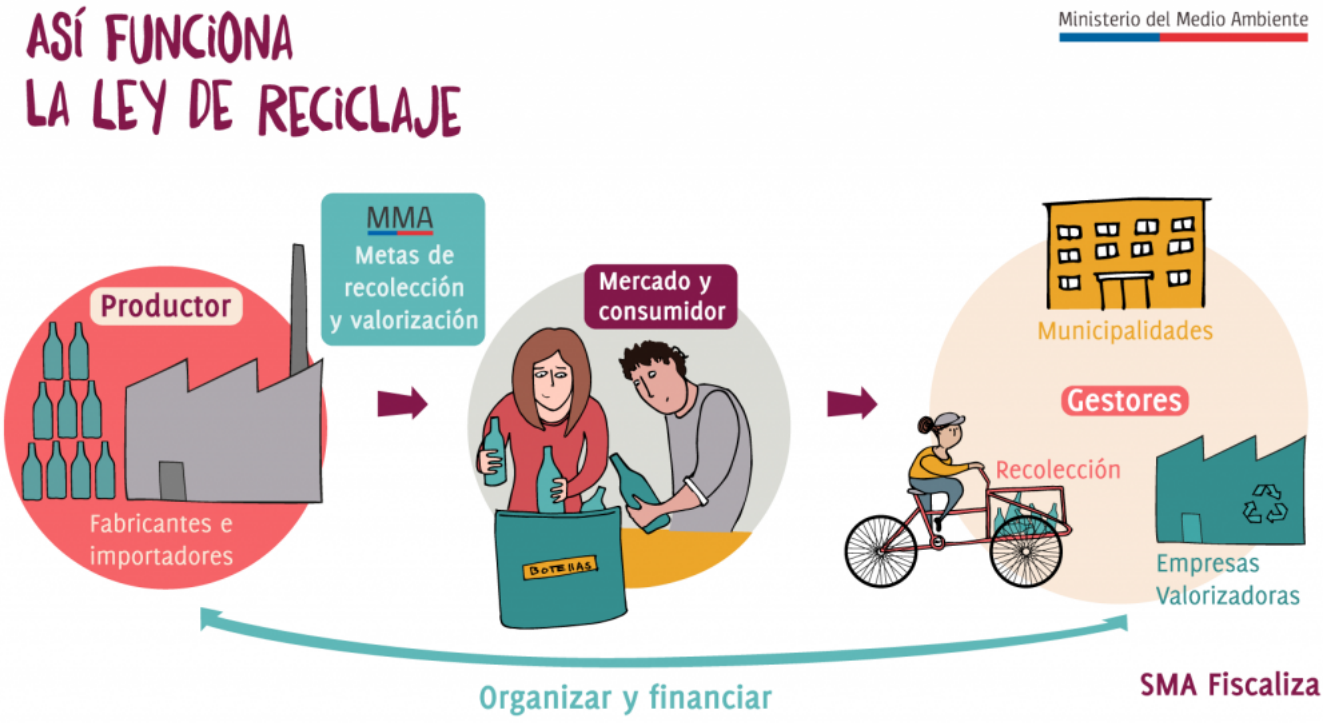


Figura 3.7: Modelo economía circular ley REP Chile, Ministerio del Medio Ambiente. (2019)[33]

Capítulo 4

Propuesta metodológica

4.1. Recuperación y obtención de baterías

4.1.1. Antecedentes del uso de baterías en productos convencionales

En primer lugar, es necesario reconocer las potenciales fuentes de baterías de litio en formato 18650. Estas baterías son utilizadas en distintos aparatos electrónicos como lo son: Computadores portátiles (notebooks), cargadores portátiles (powerbanks), vaporizarodes (vape pens) y linternas entre otros en menor medida. Otras fuentes de baterías son los distintos medios de transportes eléctricos como lo son los vehículos eléctricos (como las baterías de autos de la marca Tesla o nissan), bicicletas y scooters eléctricos y algunos modelos de vehículos tipo triciclos de carga. Por ultimo, se debe mencionar las baterías para sistemas de generación solar.[25]

Es necesario ante el interés de reutilizar baterías en aplicaciones de segunda vida el reconocer y comprender su origen y, además, identificar aquellas que son más factibles, en aspectos como cuales son las más disponibilidad y más rentabilidad de conseguir. Esto es necesario para tanto los fines de este trabajo, como para trabajos e iniciativas posteriores.

Cada fuente tiene sus propias características. Por un lado las baterías de un vehículo eléctrico presentarían una cantidad considerable de celdas para reutilizar, pero el costo económico para obtener estas es considerablemente mayor, debido al valor asociado de estas baterías.[26]

Además, en el caso de autos eléctricos, a la fecha, aún no se ha desarrollado un mercado masivo de estos. Esto implica a su vez que esta no es una fuente viable de momento para obtener las celdas; debido a que la llegada de la electro-movilidad a Chile ha sido paulatina, aun no hay baterías de autos gastadas y no hay una fuente directa que no sea importarlas del extranjero donde ya han sido reprocesados o recuperadas. En Chile, los autos eléctricos solo representan un 0,01 % del parque automotriz en 2020.[56]

Sobre los sistemas de almacenamiento de energía a nivel domiciliarios, se tiene un contexto similar. No se ha producido un desarrollo o una masificación extensa del tema en el país, por lo que no es posible identificar un mercado desarrollado de baterías de litio de donde

obtener y recuperar celdas. [57]

Distinto es el caso de vehículos menores como scooters o bicicletas, que ya tienen tiempo en el mercado nacional y se identifica la oportunidad de generar un mercado interno por donde obtener estas baterías desechadas. En el periodo desde 2018 a 2019, las importaciones y ventas de estos productos se han visto incrementadas en un 179 % para scooters eléctricos y 150 % para bicicletas eléctricas. [47] [48]

Por otro lado, las fuentes como powerbanks, vaporizadores y linternas tienen la desventaja de que la cantidad de celdas recuperables es menor. Por ejemplo, muchos modelos de vaporizadores solo utilizan una celda única. Además, por su función y modo de operación, las baterías suelen alcanzar su estado de End of Life en conjunto con los productos ya mencionados.[26]

Finalmente, se tiene el caso de los notebooks. A 2016 se estimaba que la cantidad de estos dispositivos portátiles en el país superaba los 10 millones de unidades [55]. Con ello es posible identificar además un mercado ya desarrollado para estos productos, con una orgánica de repuestos y reparaciones ya establecidos.[55]

De las posibles fuentes de celdas es importante notar que no existe un estándar de fabricación para cada tipo productos. Distintas marcas utilizan distintas configuraciones de baterías, lo que implica que existirán distintas formas de abordar el problema de recuperar las baterías para su eventual re-evaluación.[26]

4.1.2. Escenarios para la recuperación de baterías

En la sección anterior se identificaron distintos productos de uso comercial de los cuales se identifica un potencial para obtener, evaluar y reutilizar celdas de litio 18650. A continuación se presentan posibles escenarios que entregan contexto al potencial de recuperar celdas de litios de producto ya desechados.

Un aspecto importante de los productos ya mencionados es que las baterías están integradas a otros elementos que en conjunto conforman el producto original. Por ejemplo, un notebook combina tarjetas de vídeos, discos duros, pantallas, parlantes, teclados. Un vehículo eléctrico presenta toda la estructura del coche y chasis, además de los elementos electromecánicos de control, como son el "driver" o accionamiento y el motor eléctrico.[26]

Al ser sistemas que involucran múltiples elementos, estos se vuelven más complejos y admiten múltiples focos de fallas. En ocasiones, estas fallas no involucran directamente a las baterías. Entonces, al verse estos productos estropeados y desechados, entre las piezas perfectamente recuperables estarían las baterías.[24] [26]

Otro contexto a considerar, es que los productos no son directamente desechados por fallas sino que son reemplazados por nuevos modelos. Conforme se desarrollan las tecnologías, existe el interés después de cierto tiempo por los consumidores de actualizar y cambiar su modelo actual por uno más avanzado. En tal situación, aún sería posible recuperar baterías.[24] [26]

¿Pero qué sucede cuando el problema que produce descartar el producto es la batería en

si? Aún en tal situación, es posible recuperar baterías. Si bien un incidente mayor como un cortocircuito significa el fin de uso de la batería, esto no siempre es el caso. El considerar a una batería como terminada en su uso es una estimación situacional y dependiente del contexto. Ejemplo de ello son las expectativas de uso para la batería. En un vehículo eléctrico se espera que la batería permita entregar cierto rango de autonomía o kilometraje. Al no cumplir con tales expectativas para el usuario, las baterías son candidatas a ser reemplazadas. Esto no implica que la batería ha llegado al estado *End of Life*, solo que no cumple con el estándar requerido para la aplicación inicial. Nuevamente, se tiene un potencial de capacidad no utilizado en baterías.[24] [26] [30][39]

Otro caso que podría afectar el desempeño de las baterías y provocar que sean desechadas es que la falla provenga desde el BMS. Un falla en el circuito, el desgaste mecánico de algún cable o soldadura en la placa o un error en cualquiera de los sensores pueden provocar que el BMS identifique una situación anómala con respecto a la batería e interrumpa su operación. Por ejemplo, en notebooks cuyos BMS midan la temperatura de la batería, con el tiempo pueden verse afectado por fallas en la ventilación y detectar el aumento de la temperatura del equipo como peligrosa para las baterías, disminuyendo su tiempo de operación o entregando lecturas falsas de SoC.[26] [39]

Finalmente, independiente de las situaciones de fallas mencionadas anteriormente, en una batería basta que una celda se vea dañada o afectada para que la calidad y capacidad de la batería en general disminuya. Debido a que la capacidad de los módulos aumenta con la cantidad de celdas en paralelos, si una celda presenta una capacidad menor, todo el modulo se vera afectado disminuyendo su capacidad. Por consiguiente, el voltaje medido por el BMS de ese modulo disminuirá de forma más acelerada que el resto, alcanzado el limite de operación antes y generando que se activen las protecciones del BMS.[29]

De lo anterior se desprende que aunque una batería presente una falla o una aparente disminución de su capacidad, esto no implica que todas las celdas que conforman la batería se ven afectada, sino que es posible aislar la o las celdas problemáticas y reutilizar las demás en otras aplicaciones. [24] [26] [31]

4.2. Evaluación de baterías

En la siguiente sección se presentará el procedimiento general adoptado para la evaluación y recuperación de baterías de litio 18650 de segunda vida. Para ello se utilizan las técnicas de medición de voltaje abierto, medición de impedancia y pruebas de ciclados completo como métodos para decidir y evaluar el estado de las baterías a analizar.

4.2.1. Obtención de Baterías

Las 170 celdas de baterías de litio fueron obtenidas desde computadoras portátiles. Estos modelos de baterías se caracterizan por su alta capacidad de almacenamiento y su capacidad de operar bajo demanda por periodos extensos de tiempo. Poseen largos ciclos de vida, una baja tasa de auto descarga, poseen capacidades de cargado rápido, alta densidad y eficiencia energética.[40]

Figura 4.1: Baterías de portátiles en proceso de desarme. Imagen de autor.

4.2.2. Metodología para la evaluación del estado de celdas

En la siguiente sección se describe la metodología propuesta e implementada en el trabajo para realizar la caracterización de las baterías 18650. Esta se basa en los trabajos presentados en [24] y [26], en conjunto con las consideraciones de uso del equipo de pruebas de baterías Liitokala Lii-500. [61] [62] [63]

4.2.2.1. Etapa 1: Inspección General

En primer lugar se debe desarmar con cuidado cualquier carcasa en donde venga contenida la batería. Se debe tener el cuidado de no dañar el material aislante de ninguna celda, pues aquello podría producir un cortocircuito o daño a la celda. Además es importante tomar precauciones contra posibles celdas fraudulentas que circulan en el mercado. Estas celdas presentan valores falsos de capacidad y su uso representa mayor riesgo al no conocer las características reales de estas por su dudosa fabricación.[45][46]

Ya con la batería desmontada y desarmada, es importante inspeccionar visualmente que ninguna celda presente algún daño en su material aislante o en sus terminales. Es importante tomar nota del producto de procedencia original de las baterías, pues tal dato puede resultar determinante para identificar el modelo original de las celdas utilizadas, y así obtener sus datos nominales.

4.2.2.2. Etapa 2: Identificación de valores

Existe una base de datos disponible en https://secondlifestorage.com/celldatabase.php. Esta base de datos, de libre uso y cooperación comunitaria, permite catalogar e identificar distintos modelos de celdas utilizadas y obtener sus datasheets con valores nominales de las celdas. Estos valores de referencia permitirán tener *benchmarks* para las celdas y estimar la calidad de su estado. Otro valor importante a notar es el voltaje individual de las celdas, ya que este valor puede ser indicativo de celdas problemáticas a evitar usar.

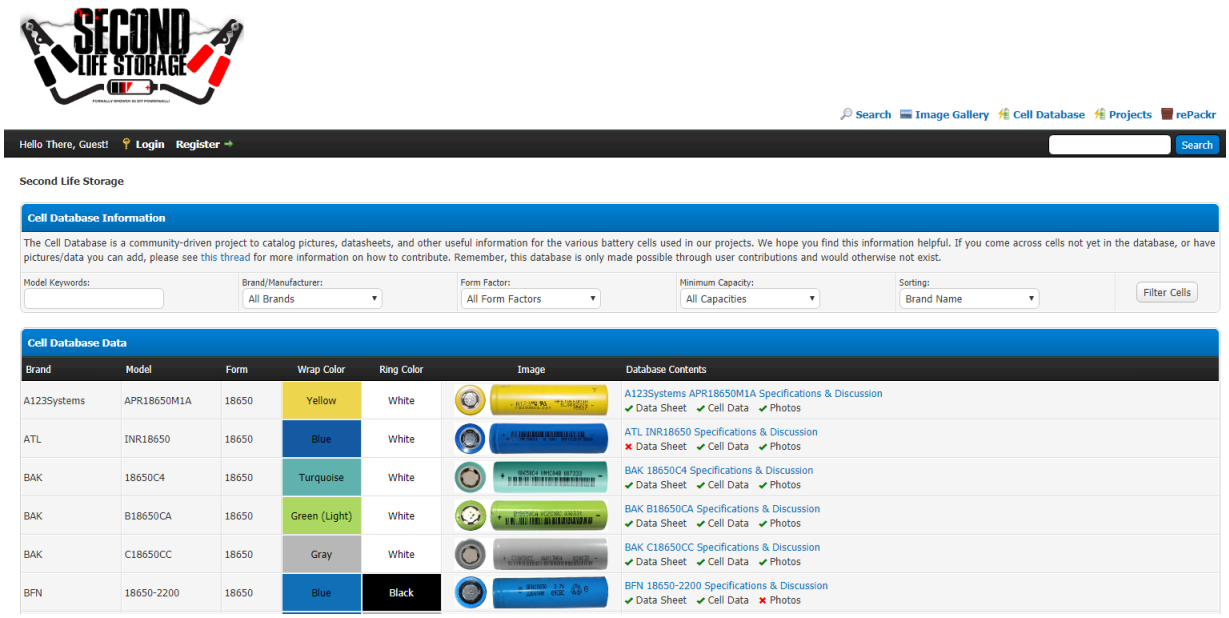


Figura 4.2: Captura de la base de datos de Second Life Storage. Imagen de autor.

4.2.2.3. Etapa 3: Pruebas de ciclado y medición de valores

Para esta etapa de prueba se utiliza el equipo Liitokala Lii-500. Este equipo es un cargador de baterías de Ion Litio con capacidades para realizar pruebas de carga y descarga de baterías. Este equipo es capaz de realizar informes con distintas mediciones disponible durante las pruebas. Entre los valores que registra se tiene:

- Capacidad (mAh)
- Voltaje (V)
- Tiempo de prueba
- Resistencia Interna (mΩ)

Al contrastar los datos obtenidos de las pruebas con los valores nominales de las celdas, se busca poder estimar el estado de vida de cada celda y su viabilidad para ser reutilizada o si estas deben ser recicladas por otros medios. Se busca así, tener grupos de celdas con características similares, con énfasis en los valores de capacidad y resistencia interna.

Un paso intermedio de esta etapa es conectar celdas con voltaje bajo en paralelo a celdas en buen estado por un periodo de tiempo de 30 segundos. Esto permite cargar las primeras celdas y elevar su voltaje a niveles aceptables para el cargador Liitokala Lii-500.

Cada prueba se realiza con 4 celdas 18650 conectadas entre cada uno de los cuatros canales disponibles del cargador. Cada Canal realiza sus pruebas de forma independiente con respecto al otro. Para cada prueba, se utilizó el modo *FAST TEST* del equipo y se seleccionó los parámetros de corriente de carga y de descarga, utilizando la opción de 1000 mAh de carga y 500 mAh de descarga. En una primera etapa las baterías son cargadas hasta registrar

un voltaje de 4,2 V.

Con las batería cargadas, se inicia un ciclo de descarga a una tasa de 500 mAh hasta que el voltaje medido en los terminales de su canal alcanza el voltaje mínimo permitido de 2,8 V. Alcanzado ese voltaje, el cargador inicia la etapa final de carga y registro. Durante el proceso de carga final, el display del cargador comienza a mostrar los valores de tiempo transcurrido, la carga acumulada en miliamperios-hora que ha sido cargada a la batería y el voltaje actual de la celda. El cargador opera bajo el régimen de voltaje constante/corriente constante. Así, la batería es cargada a una corriente de 1 A hasta alcanzar un voltaje cercano a los 4,1 V. En este punto, la corriente que carga la batería se comienza a limitar conforme aumenta el voltaje hacia el valor final de 4,2 V.

Terminada la carga, el equipo calcula el valor de resistencia interna con los datos de corriente y voltaje medidos y presenta los resultados finales, indicando en la pantalla de cada canal la palabra *END*, que señala el final de las pruebas según corresponda. La pantalla así muestra los valores finales de carga (mAh), voltaje (V), resistencia interna (mΩ) y tiempo total del proceso de carga (hh:mm).

Para los casos de celdas en estado defectuoso, las protecciones de temperatura, sobre-descarga, sobre-carga y cortocircuito detienen cualquier proceso en el canal donde esta la celda afectada. Durante las pruebas, se vigiló la temperatura en las celdas por medio de un termómetro infrarrojo. Por medio de este fue posible determinar que durante una prueba normal se alcanzan temperaturas entre los 40 y 60 grados Celsius y que la protección de temperatura se activa al alcanzar una temperatura de 80 grados Celsius.

Figura 4.3: Cargador/probador de baterías Liitokala Lii-500. Imagen de autor.

Capítulo 5

Desarrollo del proyecto

5.1. Resultados

5.1.1. Prototipo controlador de baterías para 10V

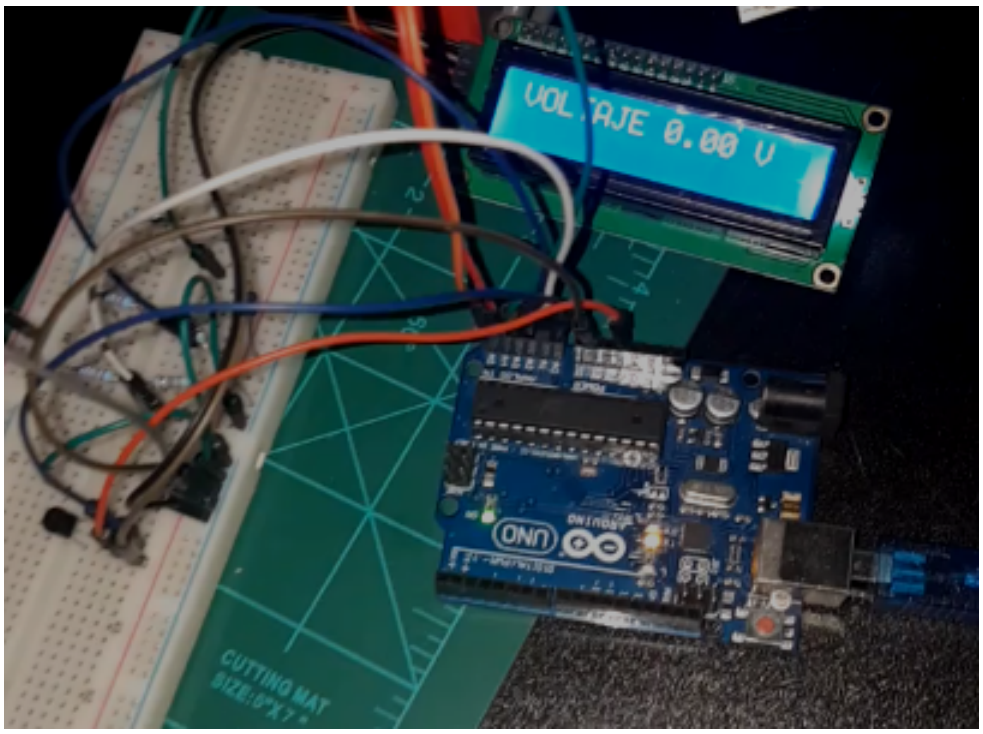


Figura 5.1: Prototipo sistema de control 10 V. Imagen de autor.

De forma preliminar y como prototipo se utilizó un arduino UNO como controlador de una batería de 10V formada por 3 celdas 18650 recuperadas de un proyecto de electrónica. El prototipo considera 3 divisores de voltaje para realizar la medición de voltaje de las baterías y un display LCD para entregar la información al usuario. Además incorpora el sensor de temperatura. Las celdas utilizadas son de marca genérica FST de capacidad nominal de 2500 mAh. Se utilizó una resistencia fija para generar una descarga y las capacidades de registros de datos del controlador para realizar mediciones de capacidad al descargar las celdas.

Las celdas fueron cargadas a una tasa aproximada de 500 mA, correspondiente a 0.2C. La baterías fueron cargadas hasta el voltaje final de 4.2V y tardaron aproximadamente 5 horas en completar la prueba.

Finalmente, se utilizo un BMS genérico de 3S y se utilizó una carga resistiva fija de 2A para descargar las baterías. El proceso de descarga a aproximadamente 2A constante tomo cerca de 1 hora y 25 minutos. La temperatura de las celdas no superó los 20 grados Celsius durante la prueba.

Al realizar pruebas de capacidad de las baterías se obtuvieron los siguientes resultados:

- Celda 1: 2467 mAh
- Celda 2: 2512 mAh
- Celda 3: 2483 mAh

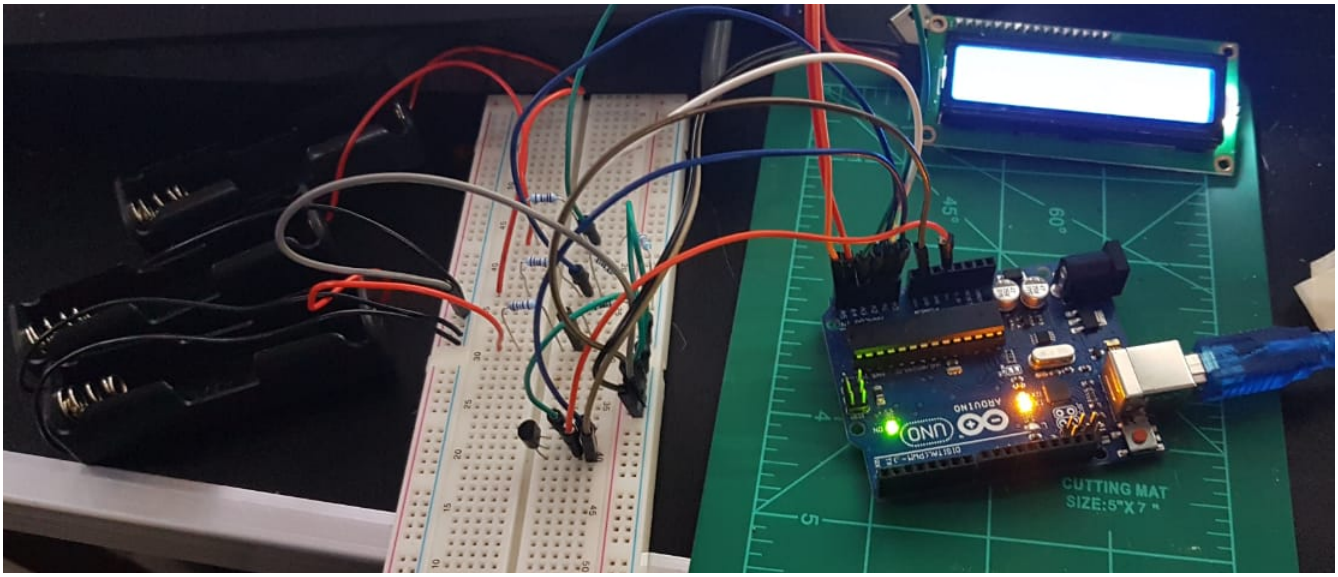


Figura 5.2: Prototipo sistema de control 10V. Imagen de autor.

5.1.2. Pruebas de capacidad de celdas

Las celdas de litios fueron obtenidas desde baterías de computadoras portátiles descartadas, de las cuales se obtuvieron 170 celdas.

Para este efecto, fue necesario intervenir las carcasa de plástico de las baterías. Debido a las técnicas constructivas utilizadas, estas carcasas se encuentran cerradas y pegadas mecánicamente, por lo que se aplicó fuerza para romper y acceder a las celdas.

Dependiendo del modelo de la baterías, estas se podrían abrir a través de distintos esfuerzos: Ciertas celdas eras accesibles retirando una lamina plástica y cortando soportes de

plástico alrededor de las celdas, lo que podía generar algún daño por contacto mecánico o por error humano sobre las celdas. Para otros modelos, bastaba girar ambos extremos de la batería en direcciones contrarias a lo largo de la batería. Esto despega y separa la carcasa de la batería sin generar mayor efecto sobre ellas.

De forma similar, para baterías de bicicleta eléctrica es necesario retirar los tornillos de las tapas superiores e inferiores, teniendo cuidado con los contactos de carga/descarga en la parte inferior y de la llave de derivación en la tapa superior. En general estas baterías son de alta descarga en comparación a las baterías de computadora portátil y vienen en na configuración en 48 V de 13 celdas en series con 4 conjuntos en paralelo.

Se identificaron los siguientes modelos de baterías:

Tabla 5.1: Datos nominales de celdas recuperadas

Marca	Codigo	Capacidad nominal (mAh)
Moli Energy	ICR-18650H	2200
Samsung	ICR18650-22B	2200
Samsung	ICR18650-22F	2200
Sony	SE US18650GR T 6B1170L130	2100
Sanyo	Sanyo UR18650A	2200
Panasonic	CGR18650CG	2250

Una vez ya separadas las baterías de su carcasas, era necesario limpiar y separar las celdas de las placas de circuitos de protección de las baterías y separar las conexiones entre celdas.

En primera etapa se descartan celdas que presentan evidente daño por corrosión debido por filtraciones del material electrolítico de las celdas. Debido a las condiciones individuales de cada celda y los procedimientos necesarios para atender cada celda, se determinó como paso inicial el medir los voltajes de cada celdas y clasificar según los siguientes rangos de voltajes, basado en [70]:

- Celdas entre 0 a 0,25 V
- Celdas entre 0,25 a 2,8 V
- Celdas entre 2,8 a 4,2 V

En el rango de 0 a 0,25 V, las celdas son candidatos a ser recicladas. Ha ocurrido una seria sobre-descarga y se puede presentar daño interior. El fusible CID de la celda puede estar roto y en caso de no detectar continuidad a través de esta, corresponde ser desechada. El fusible CID (*Current Interrupt Device*) es una protección tipo fusible, intrínseca de cada celda, con la capacidad de cortar el circuito eléctrico permanente al ser disparado por alguna situación de presión excesiva en la celda, alta temperatura o alto voltaje, según el diseño del fusible. Dependiendo del diseño de este elemento, se pierde totalmente la celda una vez activado o se regresa a su estado pre-falla [49]. Finalmente, si se es posible detectar continuidad en la celda,

es posible intentar recargar la celda y evaluar el estado, pero no es recomendado en este rango.

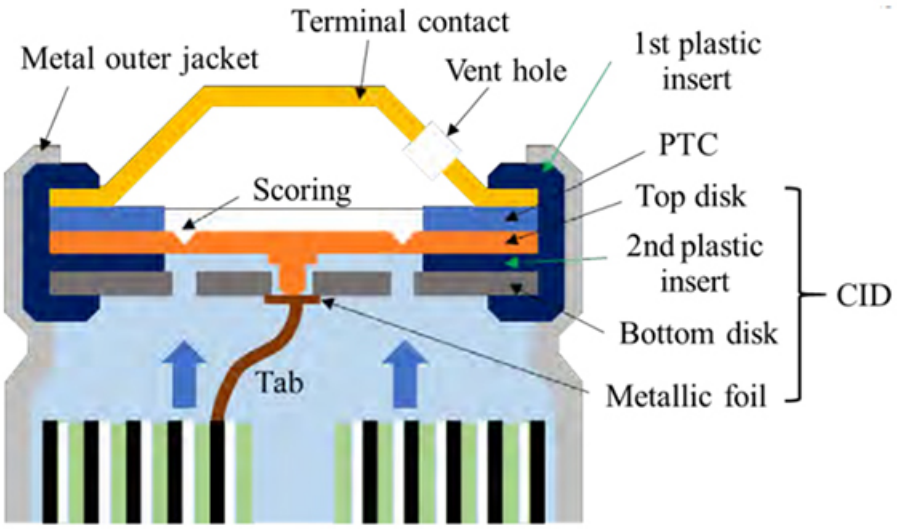


Figura 5.3: Esquema de protección CID de una batería. La placa PTC (azul) aumenta la resistencia de la celda al aumentar la temperatura para reducir la corriente eléctrica. Este efecto es reversible. La placa principal del CID (Naranja) se quiebra bajo presión e interrumpe permanentemente el flujo de corriente. [49]

En el rango de 0,25 a 2,8 V las celdas han sufrido una sobre-descarga, pero al presentar voltaje en este rango es posible recuperar celdas que solo hayan sufrido de un bajo voltaje o entrado a una etapa de sueño por las protecciones intrínsecas de la celda. En general son recuperables y es posible recuperar un buen nivel de carga. A pesar de esto, estas celdas son más propensas a fallas a futuro.

En el rango entre 2,8 a 4,2 V se tienen celdas en voltajes operativos y por lo tanto solo es necesario confirmar los niveles de cargas y revisar de que no hayan algún comportamiento irregular en estas, como perdida sostenida de voltaje en los terminales o sobre-calentamiento durante su uso en carga o descarga.

Una vez realizada esta clasificación, estas fueron procesadas en el *tester* Liikoala Lii-500. Estas pruebas consistieron en proceso de: (1) Cargar las celdas a su valor máximo de 4,2 V bajo una corriente de 1 A. (2) Descargar las celdas hasta un voltaje de 3 V, a una corriente de 500 mAh. (3) Volver a cargar las celdas a 1 A desde el voltaje mínimo hasta el máximo voltaje permisible de 4,2 V.[61] [63]

Para celdas con voltajes inferiores a los 2,2 V era necesario realizar el proceso de *Boosting*. Baterías que han sido descargadas a niveles bajo los operacionales pueden entrar a un etapa de sueño por efecto de sus protecciones. Para revertir esto, es necesario aplicar una corriente en sus terminales, la cual eleva el voltaje de la celda a un rango normal. [34]

En general, cada prueba tarda aproximadamente 17 horas, en donde cada ciclo de carga

tarda aproximadamente 3 horas y media, y el ciclo de descarga tarda 7 horas. Solo se registra el tiempo del ciclo final de carga de las pruebas. Para detectar celdas defectuosas se registra la evolución del voltaje y las temperaturas de las celdas.

En caso de detectarse una temperatura excesiva (sobre 80°C, temperatura de corte de las proteciones del *tester* Liikoala Lii-500 [61] [63]) o anomalías en los voltajes (celdas que se mantienen en un voltaje y no cambian a pesar de que estén en un ciclo carga, celdas que pierden voltaje mientras son cargadas o celdas que no alcanzan máxima carga). En términos generales, se considera a una celda como recuperada a aquellas que tras las pruebas presentan una capacidad a lo menos del 60 % con respecto a la nominal, siendo este un umbral de capacidad más relajado en comparación al estándar del 80 % de la industria ([24] [71]) pero dentro de los rangos reconocidos como preferencia aceptable para la operación en aplicaciones especificas, como sería un sistema de almacenamiento de energía. [24] [72]

Tabla 5.2: Resultados de evaluación de celdas 18650.

	Cantidad	Porcentaje [%]
Total de celdas	170	100.00
Celdas recuperadas	105	61.76
Celdas dañadas	65	38.24

De las 170 celdas probadas, 105 fueron recuperadas en las pruebas, representando al 61.76 % de la muestra. La capacidad promedio de las celdas recuperadas fue de 1881.60 mAh con una tendencia a perder capacidad cercana al 14.4 %. La celda con mayor capacidad era de la marca Sanyo modelo UR18650A que registro 2310 mAh, superando por 110 mAh a su capacidad nominal. Por su parte, la celda con la menor capacidad recuperada fue de la marca Moli Energy modelo Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H, que registró una capacidad de 1132 mAh, equivalente a una perdida de capacidad de 1068 mAh o del 48.55 % con respecto a su valor nominal.

Los resultados de las pruebas están disponibles la sección “Anexo 1: Tabla resultados de pruebas de capacidad de celdas.” del anexo del informe.

Tabla 5.3: Resumen de los resultados de las pruebas de evaluación de las celdas.

Celdas recuperadas	Capacidad (mAh)	Variación (mAh)	Variación (%)	Voltaje final (V)	IR (mΩ)
Valor promedio	1881.60	-316.79	-14.40	4.20	105.65
Valor Máx	2310.00	110.00	5.00	4.19	43.00
Valor Mín	1449.00	-751.00	-34.14	4.20	125.00

De las baterías cuyo estado no permite que sean reutilizadas o recuperadas se registraron 65 celdas. De las anteriores, 6 fueron descartas por las pruebas realizadas. 29 se vieron afectadas por daño de corrosión al filtrarse el elemento electrolítico desde su interior. Finalmente, 30 celdas registraron voltajes inferiores a 0.25 V y no lograron recuperar su carga, siendo esto

indicador de un daño en la estructura química al interior de la celda.

Figura 5.4: Celdas con distintos grados de daño por corrosión. Imagen de autor.

Finalmente, se generaron 1.7 kilogramos de basura y desechos adicionales. Estos eran principalmente componentes de plástico moldeado que contenían a las celdas, componentes electrónicos de las placas de gestión, cables de distintos calibres menores y tiras de níquel con las que se conectaban las celdas según la configuración necesaria.

5.2. Análisis de resultados

5.2.1. Prototipo de controlador basado en arduino

Por medio de este prototipo fue posible evaluar positivamente el rendimiento del tester de celdas 18650 LiitoKala-500. Además se comprobó que el arduino posee una resolución de hasta 2 decimales durante la mediciones de temperatura y voltajes con los elementos de medición utilizados en este prototipo.

El Arduino posee un tiempo de muestreo y procesamiento rápido, siendo este menor a 80 ms. A pesar de ello, es necesario considerar la depuración del muestreo de datos para evitar medidas erróneas o variaciones intempestivas de los valores por medio de técnicas de filtrado por software.

Durante el desarrollo de este trabajo se evaluó la capacidad de utilizar esta configuración de arduino para realizar pruebas de ciclado con baterías por medio de los método de conteo de coulomb y mediciones de voltaje abierto. Si bien el arduino presenta las aptitudes necesarias para realizar el manejo de datos necesarios para evaluar el estado de las baterías, hay desventajas considerables.

Es de notar que el arduino es susceptibles a interferencias externas o errores de mediciones, el cual afecta a la confiabilidad de las pruebas realizadas, pudiendo caracterizar los valores de capacidad obtenidos como valores estimativos. Por otro lado, si se plantea utilizar este controlador para realizar pruebas de capacidad de celdas, aprovechando el hecho de que mide variables similares como corrientes y voltajes en las celdas, se observa que el precio de los componentes (entre el arduino, módulos de medición y componentes de medición) hacen que el precio de construcción y elaboración de este equipo de medición sea solo marginalmente inferior al de un equipo diseñado comercialmente para este propósito como lo es el Liitokala 500, que además entrega funciones adicionales como la medición de impedancia, protecciones incorporadas y mayor confiabilidad en la toma de datos para caracterizar las baterías.

Finalmente, este desarrollo permite confirmar que el arduino y su procesador ATMEGA puede ser utilizado para gestionar activamente el banco de baterías de forma segura y confiable. Además su versatilidad permite utilizarlo tanto como equipo de control de uso de la batería como probador de esta, bajo perfiles de medición de capacidad y comportamiento bajo cargas, permitiendo un manejo integral y seguro de las baterías.

5.2.2. Resultados de pruebas de capacidad de celdas

Durante la recuperación de celdas, se detectó que 29 celdas fueron dañadas por efecto de corrosión por filtraciones del material electrolítico. La falla más recurrente es por sobredescarga de la celda. Debido a que se desconoce el estado o la razón por el cual las baterías fueron desechadas originalmente, era necesario hacer las pruebas con el cargador para determinar efectivamente la presencia de un daño interno en la celda o si solo se ha visto afectada por un no uso prolongado, decayendo el voltaje por un proceso de auto-descarga natural.

De las celdas recuperadas destaca el alto nivel de carga recuperada. Una vez que la celdas recuperan su voltaje (a través del proceso de *boosting* mencionado anteriormente), estas suelen volver a condiciones de operación normal y es posible realizar las pruebas de capacidad como a cualquier otra celda.

La mayoría de las celdas recuperadas (cerca del 61.76 % de las analizadas) recuperan su carga hasta un 80 %, esto representa una gran potencial para estas celdas de ser reutilizadas. Las resistencias internas promediaron 105.65 mΩ correspondiente a valores en órdenes correctos de las celdas. Valores muy altos (sobre los 200 mili-Ohms) de resistencia internas suelen representar un daño interno en las celdas. En el caso de las baterías recuperadas, se confirma que en general, un vez después de ser recuperadas, no se apreciarían mayores efectos adversos al interior de las celdas.

De las celdas desechadas, se identifican 3 tipos de fallas: Falla durante pruebas, daño por sobre-descarga y daño por corrosión.

Las celdas que son descartadas por falla en la prueba corresponden a aquellas cuyo valor de capacidad se ve reducido al 60 % o menos con respecto al valor nominal de fábrica, aquellas que sufren de un efecto de escape térmico que eleva la temperatura por sobre un rango de operación seguro (sobre 80°C) o para aquellas que sufren de una tasa de descarga superior a la tasa de carga en prueba. En particular la ultima representa una celda que pierde capacidad más rápido de lo que es posible cargar. La determinación de descartar celdas con capacidad al 60 % del valor nominal se basa a indicaciones típicas de industria [58] y en las observaciones del comportamiento en las pruebas, como lo es tardar demasiado tiempo en cargar en comparación a celdas con mayor capacidad bajo las mismas condiciones de carga.

En general las celdas que no superen la prueba de carga/descargas no son aptas para se reutilizadas ya que su comportamiento en prueba lleva a concluir que estas celda no presentan condiciones adecuadas para circular nuevamente en uso, no poseen capacidad de mantener una cantidad adecuada de carga y presentan indicios de que las estructuras internas que las conforman han sufrido un daño irremediable.

Las celdas que han sido descargadas hasta alcanzar un voltaje de 0 V sufren lo denominado daño por sobre-descarga. La descarga o perdida de voltaje de una batería se puede generar por el efecto natural de auto-descarga que sufren las baterías. Si estas son mantenidas sin carga por un tiempo prolongado o sufren el efecto de una falla prolongada que derive en una descarga anormal de su carga. Debido a esto y como en el caso anterior, se genera un daño interno de las baterías en el cual se producen puentes de cobre en su interior, lo que generan un efecto de inestabilidad térmica y corto circuito en la celda durante operación. En consideración a esta condición las celdas no son adecuadas para uso y deben ser recicladas.

Finalmente, las fallas más recurrente de las baterías analizadas fueron las de daño por sobre-descarga de las celdas (46.15 %) y por efecto de corrosión en las celdas (44.62 %). Ésta última se produce por efecto del material electrolítico desde el interior de la celda. Esta falla es notoria a la vista debido a la oxidación notoria desde los terminales de la celda y el fuerte olor que emana desde estas celdas. Además de estas características, el voltaje de las celdas es de 0 V, debido a la perdida de capacidad por alteración de la estructura interna de la celda. Sin necesidad de mayores pruebas, estas celdas deben ser descartadas para el reciclaje.

5.2.3. Caracterización de la recuperación de baterías

Durante las secciones anteriores se expusieron distintos resultados y situaciones en las que fue o no fue posible recuperar y evaluar el estado de las distintas celdas de litio recuperadas para su eventual reutilización. El trabajo de esta sección es explicar las distintas situaciones que permiten que celdas de una determinada batería que ya ha sido descarta puede ser recuperadas.

En primer punto, una batería que ha sido desechada no es porque necesariamente la batería se vio afectada en su operación, sino que el componente principal en donde ha sido utilizada la batería ha sido desechado por una falla en este o por el fin de la vida útil de alguna de sus partes. Por ello es que se presenta el caso en el que las celdas presentan un estado de operación correcto o sin mayor perdidas de capacidad o utilidad.

En segundo lugar, aun cuando la falla que ha generado que el equipo fuera desechado inicialmente sea específicamente de la batería esto no significa que total certeza de que la falla haya afectado a todas las celdas por igual. Explicando el punto anterior es que lo que se considera como la batería incluye más componente que solo las celdas; existen en estas piezas que pueden sufrir de desgaste mecánico como los cables que conectan distintos puntos de la batería a su controlador BMS o el puerto de conexión, el mismo circuito integrado de control de BMS que puede fallar por efecto de alguno de sus componentes electrónicos. En particular este ultimo presenta el mayor grado de efecto sobre la determinación de desechar la batería inicialmente.

Cualquier error de muestreo o evaluación del controlador de la batería (BMS) implicaría al usuario una batería en falla. Cualquier falla en el BMS ya sea de sus componentes electrónicos o de los cables por el cual realiza mediciones de temperatura o voltaje para tomar decisiones de acuerdo a su programación implicaría un estado de falla para el usuario.

Retomando el punto anterior, basta la falla u operación anómala de solo uno de las celdas que conformen a la batería para que el controlador la considere defectuosa. Si bien este proceso es correcto debido al peligro al que se expone al utilizar una celda en estado de falla, es posible identificar que el resto de las celdas no necesariamente se van a ver afectadas por el mismo fallo y como se ha encontrado en esta memoria, si se es capaz de intervenir las baterías es posible reemplazar la celda afectada o recuperar las celdas en estado operativo para ser utilizadas en otras aplicaciones.

Sobre el punto anterior surge la pregunta "¿Porque unas celdas van operar o fallar de forma independiente a las otras si son parte de la batería?". La respuesta a esta pregunta es aquella que da el sustento inicial a este trabajo:

Todas las celdas al ser fabricadas presentan diferencias intrínsecas productos de impurezas o errores en el proceso de fabricación. Estas impurezas propias de cada celda a su vez pueden hacer que algunas sean más propensas a fallar que otras, generando las situaciones mencionadas anteriormente. [59] [60]

5.2.4. Reutilización de baterías recuperadas

De los resultados obtenidos en las pruebas de capacidad y presentados en la sección "Anexo 1: Tabla resultados de pruebas de capacidad de celdas." se identifica la necesidad de clasificarlas según su capacidad.

Las celdas con un valor de capacidad menor a 1700 mAh son las que presenta la mayor degradación en capacidad de las recuperadas, es necesario entonces tener en cuenta cuanta capacidad poseen y mantener estas celdas para aplicaciones menores cuya operación sea estable y su perfil de consumo no requiera corrientes de descarga altas por periodos intensos. Por lo anterior, no se recomienda estas celdas para aplicaciones de movilidad como vehículos eléctricos.[72] Si se recomienda estas baterías para aplicaciones donde se pueda limitar el nivel de descarga. Por ejemplo, un almacenamiento de energía solar posee rangos de operación establecidos tanto por el dimensionado de los paneles solares como por el consumo que se busca con las baterías, por lo que se puede diseñar un banco de batería en torno a cumplir con estos requerimientos establecidos de antemanos, bajo un perfil de consumo conocido [24]. Adicionalmente, celdas con menor capacidad pueden fácilmente operar de forma segura en elementos electrónicos menores, como baterías portátiles de celulares o como fuente de energía para distintos proyectos de electrónica que lo requieran.[26]

Para las demás celdas, corresponde re-evaluar su valor nominal de operación, redondeando hacia abajo desde el dígito correspondiente a la centenas. Así, celdas cuyo valor de capacidad recuperada es mayor a 1700 mAh pero menor a 1800 mAh deberían ser consideradas para aplicaciones con celdas en este rango de capacidad y ser consideradas de forma nominal como celdas de 1700 mAh, por ejemplo.

Finalmente, para su reutilización es importante considerar tanto el valor de capacidad alcanzado como el valor de resistencia interna. Para mantener una batería balanceada de forma correcta es necesario que ambos valores se encuentren en rangos cercanos. Un banco en donde una celda posea menor capacidad que el resto se verá mermado en su operación por esta celda, y a su vez una celda cuya resistencia interna difiera mucho con las de su pares se verá afectada por un des-balance en su carga ya que se producirán corrientes hacia esta celda desde las demás que perderán carga al inyectar corriente a esta ultima, la cual se verá a su vez afectada por el efecto térmico de estas corrientes circulantes, afectando su estado de vida y degradándose aún más si no se toman estas precauciones.[29] [73]

Capítulo 6

Propuesta de diseño para aplicaciones de almacenamiento energético

6.1. Características generales del diseño

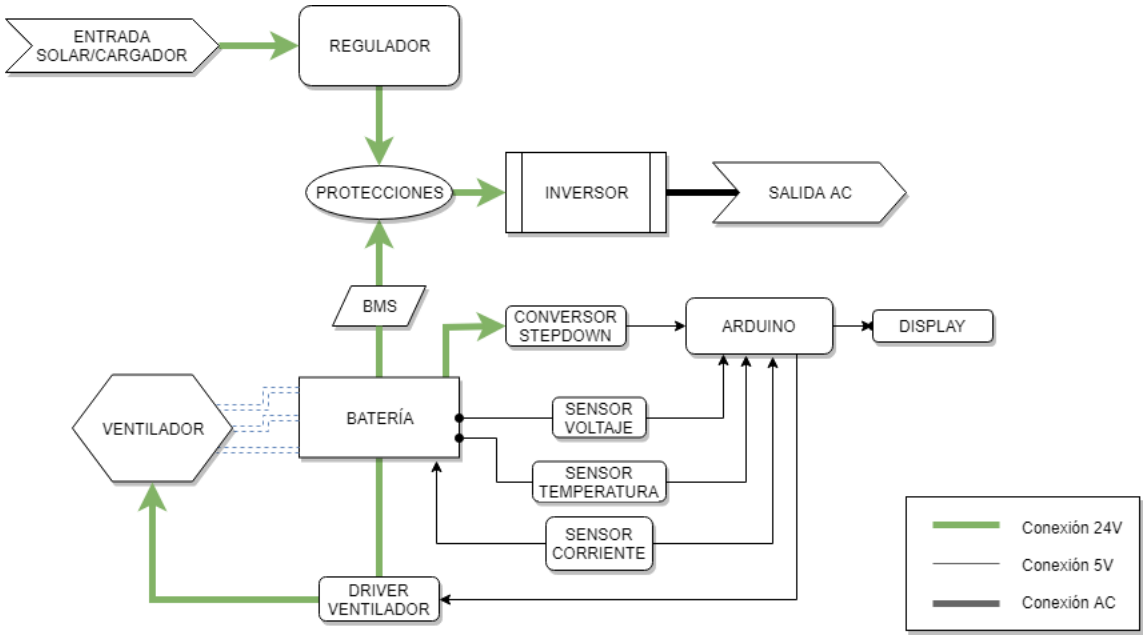


Figura 6.1: Diagrama propuesta de prototipo.

En la siguiente sección, se presenta una propuesta de diseño propio para un sistema de almacenamiento de energía solar, basado en torno a la construcción de un banco de baterías de segunda vida. La idea de esto es enfocar la reutilización de baterías en una aplicación practica y presentar un diseño en consideración de la metodología de reutilización y re-procesamiento de baterías propuesto. Debido a anterior, esta sección es una ejemplo de lo que se puede lograr con las baterías, basado en experiencias previas como [30], [66] y [67].

En consideración a los resultados obtenidos de las pruebas de capacidad de celdas se propone un banco de baterías de 24V nominales. Esto permite reducir las corrientes circulantes del sistema en comparación al estándar de 12V. Reducir las corrientes máximas que se exigen

de las baterías permiten reducir la sección de cable necesaria, los valores nominales de las protecciones y permite una operación más segura. [64]

Como consideración de diseño se limita la corriente máxima del sistema a 20 A. Con esta consideración la potencia máxima sería de 480W. Así, por la disponibilidad en el mercado nacional se propone el inversor eléctrico de la marca Epever modelo SHI400, con capacidad de entregar 400W de potencia nominal. Así, la corriente nominal de operación continua es de 16,6 A La tarea del inversor es convertir desde corriente continua en la baterías y los paneles solares a corriente alterna de 220 V. Además, se incorpora un conversor DC-DC con salida USB de 5V 2A para cargas menores.[68]

Figura 6.2: Inversor Epever SHI400.[42]

Para conseguir la capacidad necesaria, cada modulo de celdas consiste de 12 celdas conectadas en paralelo, generando una capacidad nominal de 21600 mAh. Para alcanzar los 24 V nominales, se requiere conectar 7 módulos de baterías en serie. Con esto el voltaje a 100 % de carga es de 29.4V y el voltaje mínimo o de desconexión es de 21V.[68]

Para construir los módulos de 12 celdas en paralelo, estas deben ser montadas en sus *holders* o espaciadores y ser soldadas con tiras de níquel de 10 mm cortadas a medida por una *spot-welder* o soldadora a puntos. Los terminales expuestos de níquel han de ser cubierto por cinta aislante térmica Kapton, cinta con capacidad de soportar hasta 300°C y envueltas en material termo retráctil para seguridad.[69]

Figura 6.3: Cinta aislante térmica Kapton. Imagen de autor.

Figura 6.4: Níquel de 10 mm para soldar baterías.. Imagen de autor.

El equipo presenta una interfaz de usuario por medio del cual se entrega información del sistema como: Estado de carga del equipo y los módulos, voltajes de los módulos y del equipo, Temperatura del equipo y RPM del sistema de ventilación.

Para el sistema de control se utilizará un arduino en el modelo de prototipo, para luego avanzar hacia una placa de electrónica con un procesador ATmega328, en primera instancia con una placa de prototipo de Arduino UNO. Un circuito step-down alimentará al sistema de control directamente desde las baterías. Este mide los voltajes, tanto del banco como de los módulos individuales. También registra la temperatura del equipo y gestiona la operación de los ventiladores en caso de requerirlo. Además, se busca medir las corrientes y realizar el registro de la energía entregada por el equipo, para entregar una mejor gestión de esta para el usuario.

Para la protección de la batería, se incorpora un BMS con capacidad de corriente nominal de 20 A, para 24V. Este equipo posee protección contra sobrecargas, protección contra sobre-descargas, protección contra sobre-corriente y protección contra cortocircuitos. La carga de las baterías se realiza por un regulador de carga solar de 20A, por medio del cual se utilizará la energía solar generada para cargar las baterías o alimentar las distintas cargas que el usuario requiera. Por medio del regulador de carga se es posible conectar otras fuentes de corriente continua para cargar directamente a las baterías por medio de la red eléctrica.[29]

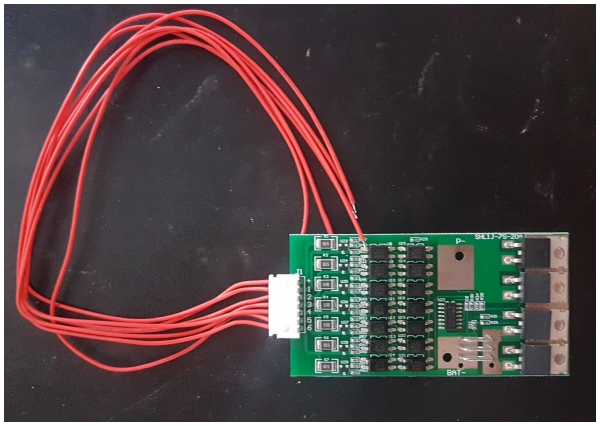


Figura 6.5: Battery Management System para 24 V 20 A. Imagen de autor.

El calibre de cables para la descarga es de 10 AWG o 6 mm2. Este calibre es capaz de soportar hasta 50 A de corriente. De forma de habilitar la carga del banco de baterías por medio de paneles solares, se incorpora un regulador de carga PWM de 20 A.

Para las conexiones entre los módulos de baterías se utilizarán conectores XT60 con capacidad de soportar hasta 60 A continuos. Dentro de la estructura que contenían al sistema se tendrán a la placa del sistema de gestión, el regulador de carga, inversor, conversor DC-DC y los enchufes para conectar aparatos y electrodomésticos a la corriente alterna del inversor. La ventilación se instalará en los costados del equipo.

Figura 6.6: Conector XT60 para 60 A. Imagen de autor.

Para protecciones se considera que la potencia máxima soportada por el equipo de inversor es de 900 W. En consideración a esto, la máxima corriente a la que se podría ver enfrentada la batería es de 40 A. Si bien el BMS está catalogado para una corriente nominal

de 20A, adicionalmente se incorporan un fusible DC de 40A. Por su parte, en la salida AC, el inversor posee incorporadas protecciones contra sobre-carga y corto circuitos.

El equipo puede ser concebido para una aplicación remota móvil en donde es necesario diseñar y construir una estructura donde montar de forma segura los componentes anterior o como una instalación fija en un cuarto eléctrico donde lo descrito anterior puede ser montado dentro de un gabinete eléctrico.

Tabla 6.1: Tabla de características del prototipo.

Voltaje Baterías	24 V
Corriente nominal	16A
Potencia nominal	400 W
Banco de baterías	7S15P
Inversor	Epsolar SHI400
Voltaje Salida AC	220 V
Conversor DC/DC	24V/5V 2 A
Controlador	Arduino UNO
Procesador	ATmega328
Sensores	Voltaje, temperatura, corriente y energía
Protecciones BMS	sobrecarga, sobre-descargas, sobre-corriente, cortocircuitos
Protecciones Inversor	Sobrecargas, sobre-corrientes, cortocircuitos
Protecciones adicionales	Fusibles 40 A

6.1.1. Diseño del contenedor para las baterías

Para generar estructuras seguras que contengan a las baterías formadas por las celdas 18650, se utiliza el programa de código abierto y licencia libre OpenSCAD utilizando el proyecto de parametrización Hex-Cell-Holder de Albert Phan. Por medio de este es posible diseñar distintas configuraciones de separadores de baterías, con cubiertas y cajas para proteger a las baterías del medio externo.

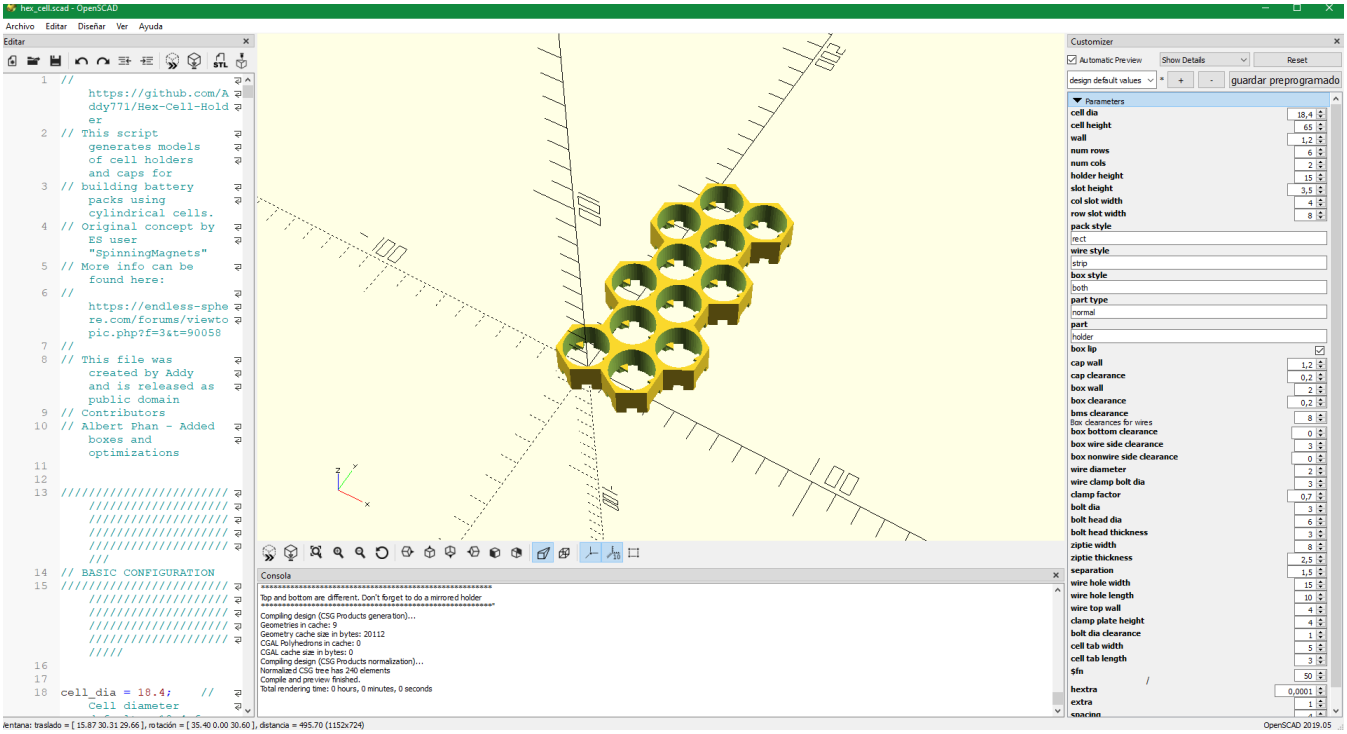


Figura 6.7: Captura de pantalla del programa Hex-Cell-Holder de OpenSCAD. Imagen de autor.

Para esto se utilizaron los parámetros para crear separadores rectangulares de 2 filas con 6 columnas para conectar las 12 celdas en paralelo a utilizar y se genero un diseño cerrado en caja. Así, por medio de este código se generó los archivos formato STL para posteriormente imprimir las piezas con impresora 3D y material PLA. Este programa es particularmente útil para generar distintos separadores y contenedores para diversas configuraciones de baterías.[41]

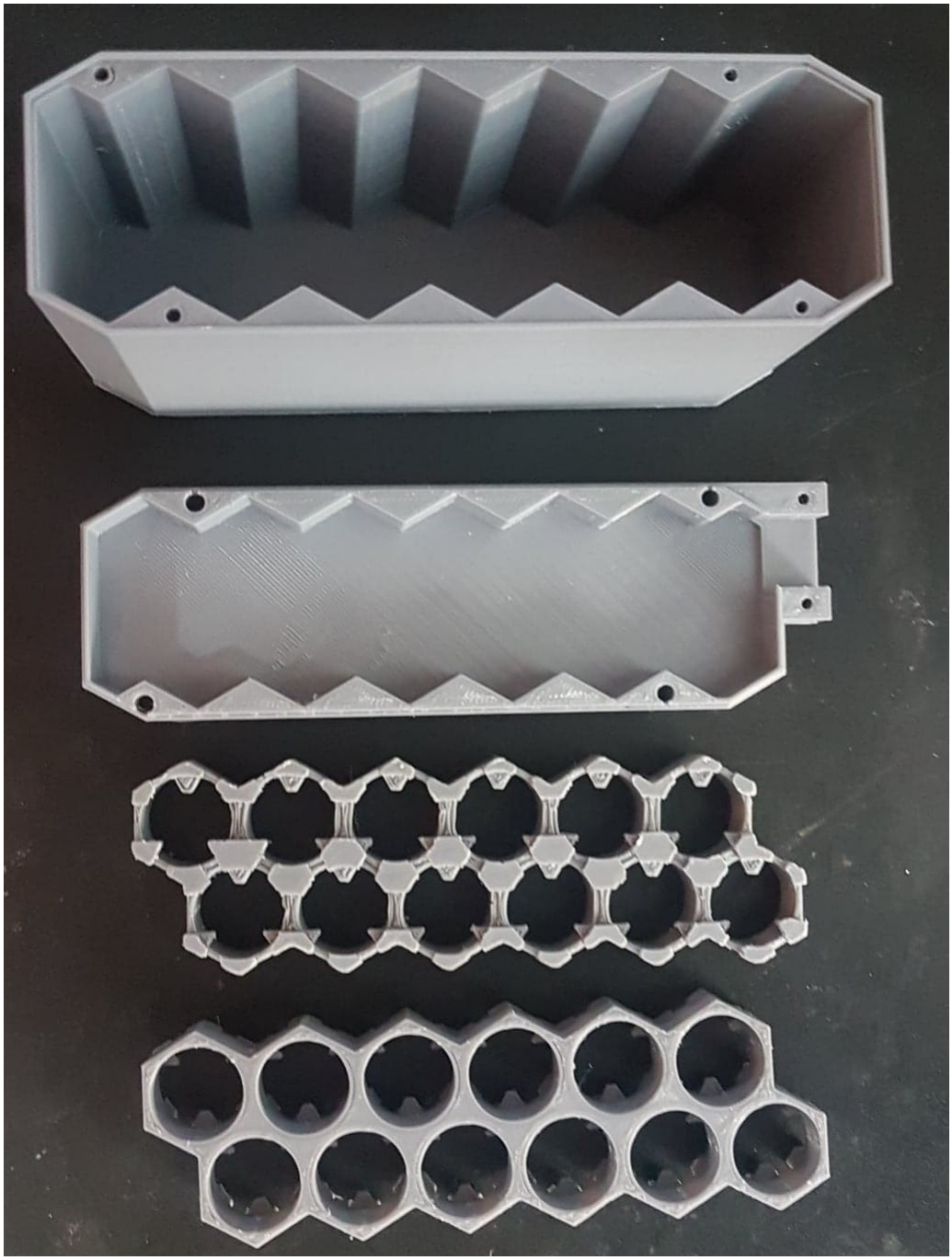


Figura 6.8: Contenedor (Parte superior) y separadores (par inferior) para batería 1S12P. Imagen de autor.

6.1.2. Desarrollo microcontrolador

El microprocesador considera las siguientes variables que debe medir:

- El voltaje abierto entre cada modulo de batería.
- La temperatura general de las baterías y equipo.
- La corriente de salida desde las baterías.

Además, este considera módulos de imagen como pantalla y un módulo de memoria para almacenar y entregar un historial de datos para el usuario.

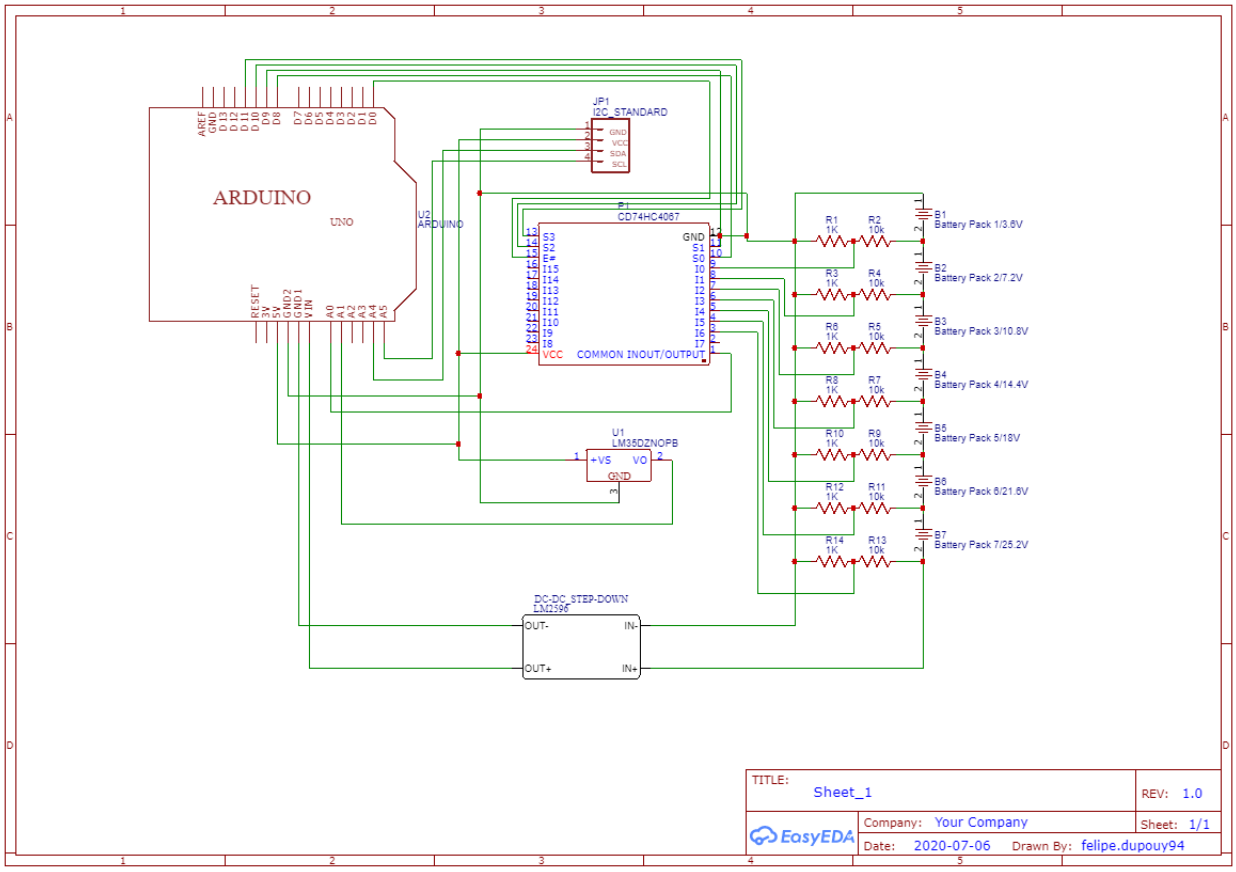


Figura 6.9: Diagrama conexiones del controlador.

Para ello se considera un Arduino UNO Rev 3 como microcontrolador con voltaje de operación de 5V, voltaje de alimentación limite entre 6 y 20 V. Además este modelo posee 14 entradas/salidas digitales, 6 entradas analógicas y una velocidad de procesamiento de 16 Mhz. [42]

6.1.2.1. Medición de voltajes

La medición de voltajes se realiza con divisores de voltaje que disminuyan el voltaje en los módulos baterías en un factor de 1/11. A través de los divisores, es posible medir entre los terminales abiertos de los módulos de las baterías, pudiendo registrar así sus voltajes.

Para resguardar la cantidad de entradas analógicas usadas del arduino, se utiliza el chip multiplexor analógico de múltiples canales 74HC4067 para las entradas de medición de los voltajes de baterías. Esto permite utilizar una única entrada analógica para los 7 *packs* de baterías del equipo.[42]

6.1.2.2. Medición de temperatura

Para hacer esta medición se utiliza un termistor en una configuración de divisor de voltaje. Al variar la resistencia con la temperatura, en la entrada del arduino varía el voltaje medido y esto puede ser ajustado a valores de temperatura. Para tal efecto, se utiliza el sensor LM35DZ. Este sensor tiene un rango de operación desde -55 a 150 grados Celsius. La información del sensor es utilizada como un valor para definir situaciones de riesgo para la integridad de la batería, generando alertas, y para controlar el uso del ventilador.[42]

6.1.2.3. Medición de corriente

Para medir las corrientes del sistema de baterías con el arduino se utiliza una resistencia *Shunt* de corriente para medir la corriente DC que circula desde y hacia las baterías. Un *Shunt* es una resistencia de muy bajo valor que se coloca en serie entre la batería y la carga que alimenta y en paralelo a un medidor de voltaje. El valor de la resistencia es elegido de tal forma de que no afecte significativamente al circuito pero que la caída de voltaje sea medible. Con esta configuración es posible medir las caídas de voltaje con el arduino y un amplificador instrumental y obtener los valores de corrientes medidos.[66]

6.1.2.4. Pantallas de información y sistemas de memoria

Para entregar la información medida anteriormente, se propone utilizar un modulo de pantalla LCD con una interfaz de usuario en donde se muestre: El voltaje de los módulos de baterías y su nivel de carga, la temperatura del sistema y la energía utilizada por el sistema.[42]

6.1.2.5. Alimentación Arduino

Para alimentar el arduino se utiliza un circuito de conversión DC/DC Step-Down LM2596 para reducir el voltaje del banco de baterías desde 24 V a 5V DC. Este circuito admite voltajes de entrada de hasta 35V DC y una corriente de salida de 2A, suficiente para admitir como entrada el banco de baterías y alimentar plenamente al arduino sin requerir una fuente externa de alimentación. La salida se conecta al pin V in del arduino, por donde pasa al regulador interno de la placa.[42]

6.1.2.6. Sistema de ventilación

Para forzar la ventilación dentro del equipo, se utiliza un ventilador de 24V el cual será manejado por medio del arduino y alimentado por el banco de baterías. Para el actuar como el driver o controlador del ventilador se utiliza un transistor mosfet en configuración de switch y el pin digital de modulación PWM del arduino.

6.1.3. Otras alternativas de diseño

Lo propuesto es una de las múltiples posibles direcciones de diseño que se puede tomar al diseñar un sistema de almacenamiento de energía en base a baterías. Siempre es importante tomar en cuenta tanto las capacidades de las baterías disponibles como las directrices de

seguridad presentes en las normativas vigentes.

Trabajar con baterías siempre presenta un alto grado de libertad y versatilidad. Se es capaz de aumentar o disminuir el tamaño del banco de baterías para distintos requerimientos. Se podría, por un lado, reducir el tamaño de celdas en serie para aplicaciones de voltaje acotado en donde se requiere una determinada capacidad para mantener un equipo (como por ejemplo un módem de internet, un equipo de registro de información, entre otros) o, por el otro, aumentar el numero de celdas en serie para obtener un voltaje de 48 V, para aplicaciones en las que se busca reducir las corrientes del sistema pero mantener cierto nivel de energía a almacenar, como sería un sistema de almacenamiento de energía para almacenar el excedente de energía de paneles solares o para energizar vehículos livianos como bicicletas o patines eléctricas. Todo lo anterior son alternativas viables, dentro del espectro de posibilidades que admitan las baterías recuperadas.

Capítulo 7

Conclusiones

El trabajo propuesto busca presentar y desarrollar técnicas y procesos para la evaluación, caracterización de estado y reutilización de baterías de litio formato 18650 para aplicaciones de segunda vida, es decir, reutilizando en nuevas aplicaciones aquellas baterías que sus condiciones de estado lo permiten. Para ello se indica la necesidad futura de levantar indicadores nacionales sobre la logística de acopiar y transar con baterías de segunda vida, en comparación con los métodos actuales de desecho y acopio en vertederos. Estos indicadores pueden ser determinantes para propuestas similares que busquen re-utilizar desechos electrónicos como método productivo en una economía circular.

Este trabajo se configura como una guía para identificar y cuantificar los esfuerzos, desafíos y potenciales ventajas de incorporar la reutilización de materiales en bienes de producción local. Esta propuesta se consolida como tal bajo la ley de fomento al reciclaje de Chile.[33]

Inicialmente, este trabajo buscaba evaluar la posibilidad de recuperar batería de litio modelo 18650 que habían sido desechadas. Se planteaba la existencia de un potencial de oportunidad en baterías que presentaban niveles aceptables de capacidad, las cuales era desechadas y que podía ser reutilizado en distintas aplicaciones. Para ello, se desarmaron distintas baterías de computadoras portátiles en distintos estados que habían sido desechadas inicialmente. De estas baterías se desconocía totalmente los regímenes de operación y la razón por la cual fueron desechadas.

Para las pruebas las baterías fueron reducidas hasta obtener celdas individuales las cuales fueron evaluada bajo los métodos descritos anteriormente. Se obtuvieron 170 celdas de baterías de litio las cuales fueron analizadas bajo una metodología conjunta de medición de voltaje abierto, medición de impedancia interna y pruebas de ciclado completo.

En las pruebas fue posible demostrar que no solo existían situaciones en las que era posible recuperar baterías con capacidad superior al 60 % de la carga nominal de fábrica, además se encontró que esta situación ocurría para la mayoría de las celdas recuperadas.

Así, es posible evaluar positivamente la reutilización de las baterías. La baterías recuperadas se pueden caracterizar en su gran parte como dentro de un rango de operación normal y con niveles de capacidad considerables en su mayoría. Se observa que en celdas cuyos valores de voltaje en terminales abiertos pueden ser cercanos a cero se pueden ver afectada por el

fenómeno del estado de latencia o sueño profundo. Este proceso reversible es una protección intrínseca para baterías que han experimentados periodos extensos sin ser cargadas. El proceso para revertir esta situación se conoce como Boosting y consiste en aplicar una corriente entre los terminarles de la celda en sueño. Tal proceso es de importante consideración para la evaluación de baterías de litio, en pos de identificar de forma temprana a candidatos a celdas para su recuperación o la identificación de anomalías en estas. El ignorar este proceso puede llevar a la perdida de celdas con capacidades en rangos que pueden ser aprovechados en otras aplicaciones de segunda vida.

En las pruebas se identificaron fallas recurrente en las celdas de litio producto del daño en la estructura química interna de estas, el cual se expresaba como un perdida total de capacidad de la celda, la incapacidad de mantener voltaje o carga tras un periodo extenso de sobre-descarga o el daño producto de corrosión por fuga del material electrolítico. Las celdas afectadas por estos defectos representaban al 40 % de la muestra y su destino final debe ser el reciclaje para la correcta gestión de sus residuos finales.

En consideración a los resultados anteriores, de existir los estímulos correctos para impulsar la reutilización y reciclado de baterías, el recuperar y revender estas baterías o productos asociados a estas batería, podría ser configurado bajo un modelo de negocio adecuado, modelo del cual se requiere mayor análisis.

Por otro lado, de las pruebas realizadas se observa que es posible evaluar y estimar la aptitud y prognosis de las baterías por medios de equipos de pruebas accesibles y creados de forma particular con el microprocesador Arduino. Este controlador se desarrolla para gestionar y poder evaluar en operación el estado de las baterías reutilizadas.

Desde el punto de vista técnico, se presentan diseños para implementar aplicaciones prácticas en donde reutilizar las celdas recuperadas en pruebas. esta aplicaciones consideran un sistema de almacenamiento de energía solar y un controlador inteligente para el estado y gestión de la batería de segunda vida. Este diseño presenta aspectos técnicos y constructivos para almacenar energía solar en baterías y alimentar consumos de hasta 400 W, dimensionando adecuadamente los componentes para esta aplicación para ser utilizado en conjunto al controlador desarrollado con arduino.

Finalmente sobre el controlador inteligente para la baterías se indica que se logra cumplir con las tareas asociadas a la medición y gestión de la batería y de su medio inmediato (control de temperatura, presentación de información al usuario) de forma satisfactoria, permitiendo así proyectar el desarrollo de una placa de control consolidada entorno al chip ATmega328, para distintas aplicaciones con baterías. Pero se ha de indicar que si bien el diseño en arduino posee las aptitudes para la evaluación y medición, es necesario tener en cuenta las limitaciones de estos diseños en la confiabilidad de las muestras y el costo que este conlleva en comparación alternativas disponibles para el análisis de baterías.

Bibliografía

[1] D. Linden, T. Reddy. LINDEN'S HANDBOOK OF BATTERIES. Mc Graw Hill. Chapter 26 Lithium-Ion Batteries. Pag. 820.

[2] D. Linden, T. Reddy. LINDEN'S HANDBOOK OF BATTERIES. Mc Graw Hill. Chapter 26 Lithium-Ion Batteries. Pag. 816.

[3] D. Linden, T. Reddy. LINDEN'S HANDBOOK OF BATTERIES. Mc Graw Hill. Chapter 1 Basic Concepts. Pag. 26-28.

[4] Samsun SDI. The Composition of EV Batteries: Cells? Modules? Packs? Let's Understand Properly! Disponible en línea: https://www.samsungsdi.com/column/all/detail/54344.html

[5] I. Buchmann. Battery University. BU-204: How do Lithium Batteries Work?. Disponible en línea: https://batteryuniversity.com/index.php/learn/article/lithium_based_batteries

[6] I. Buchmann. Battery University. BU-302: Series and Parallel Battery Configurations. Disponible en línea: https://batteryuniversity.com/learn/article/serial_and_parallel_battery_configurations

[7] Samsung SDI. SPECIFICATION OF PRODUCT. Lithium-ion rechargeable cell for power tools. Model name : INR18650-25R. Mar, 2014. Pag. 6.

[8] D. Linden, T. Reddy. LINDEN'S HANDBOOK OF BATTERIES. Mc Graw Hill. Chapter 1 Basic Concepts. Pag. 29-40.

[9] I. Buchmann. Battery University. BU-105: Battery Definitions and what they mean. Disponible en línea: https://batteryuniversity.com/learn/article/battery_definitions

[10] M. Benavides, M. Orchard. DETERMINACIÓN DE INDICADORES DE ESTADO DE SALUD DE BATERÍAS DE ION-LITIO, MEDIANTE EL USO DE ESPECTROSCOPÍA DE IMPEDANCIA ELECTROQUÍMICA Y CARACTERIZACIÓN DEL TÉRMINO DE LA VIDA ÚTIL BASADO EN LA GENERACIÓN DE CALOR DADA POR LA IMPEDANCIA INTERNA. Respositorio Uchile. handle: http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/153342

[11] D. Linden, T. Reddy. LINDEN'S HANDBOOK OF BATTERIES. Mc Graw Hill. Chapter 26 Lithium-Ion Batteries. Pag. 816-817.

[12] I. Buchmann. Battery University. BU-304a: Safety Concerns with Li-ion. Disponible en línea: https://batteryuniversity.com/learn/article/safety_concerns_with_li_ion

[13] J. Hewson, S. Domino. Thermal runaway of lithium-ion batteries and hazards of abnor-

mal thermal environments. 9th U.S. National Combustion Meeting. May, 2015.

[14] Richtek. Designing Applications with Lithium-Ion Batteries. Disponible en línea: https://www.richtek.com/Design%20Support/Technical%20Document/AN025

[15] Liu, Huaqiang; Wei, Zhongbao; He, Weidong; Zhao, Jiyun. "Thermal issues about Li-ion batteries and recent progress in battery thermal management systems: A review". Energy Conversion and Management. Oct, 2017

[16] Electropedia. Battery and Energy Technologies. Battery Management Systems (BMS). Disponible en línea: https://www.mpoweruk.com/bms.htm

[17] Lian, Innovation for life. Battery Management System. Disponible en línea: http://lianinno.com/battery-management-systems/

[18] Ellen MacArthur Foundation, TOWARDS THE CIRCULAR ECONOMY. Economic and business rationale for an accelerated transition, Executive Summary. 2012.

[19] J. Lopéz. Universidad Politécnica de Madrid (UPM). Hacia una economía circular en Europa: dónde estamos y cuánto nos falta. May, 2019. Disponible en línea: http://theconversation.com/hacia-una-economia-circular-en-europa-donde-estamos-y-cuanto-nos-falta-117274

[20] Parlamento Europeo. Economía circular: ¡Utilízame otra vez!. Jul, 2017. Disponible en línea: https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/economy/20150701STO72956/economia-circular-utilizame-otra-vez

[21] A. Jabłoński, Designing the Business Models for Circular Economy—Towards the Conceptual Framework. Institute of Public Affairs, Faculty of Management and Social Communication, Jagiellonian University, Poland. Ene, 2016.

[22] Comunicaciones FCFM - UChile. Noticias. Sustentabilidad Tercera versión de la Reciclatón de la U. de Chile recolectó 6,4 toneladas de basura electrónica. Dic, 2018. Disponible en línea: https://www.uchile.cl/noticias/149994/tercera-version-de-la-reciclaton-e-waste-recolecto-64-toneladas

[23] D. Fajardo. Diario La tercera, Pulso. El esfuerzo de la industria por hacerse cargo del e-waste. Ago, 2018. Disponible en línea: https://www.latercera.com/pulso/noticia/esfuerzo-la-industria-hacerse-cargo-del-e-waste/297836/

[24] I. Buchmann. Battery University. Giving Batteries a Second Life. Disponible en línea: https://batteryuniversity.com/learn/article/giving_batteries_a_second_life

[25] M. Toll. DIY Lithium Batteries. How to Build Your Own Battery Packs. Chapter 3. Types of lithium cells. 2017

[26] M. Toll. DIY Lithium Batteries. How to Build Your Own Battery Packs. Chapter 4. Sourcing lithium battery cells. 2017

[27] M. Toll. DIY Lithium Batteries. How to Build Your Own Battery Packs. Chapter 7. Safety. 2017

[28] M. Toll. DIY Lithium Batteries. How to Build Your Own Battery Packs. Chapter 8. Battery Management Systems. 2017

[29] A. Saex-de-Ibarra, C. Koch-Ciobotaru, D. Stroe, E. Martinez, P. Rodriguez, M. Swier-

czynski. Second Life Battery Energy Storage System for Residential Demand Response Service. 2015 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), Sevilla, España.

[30] L. Canals, B. Amante García, C. Canal. Second life batteries lifespan: Rest of useful life and environmental analysis. stitut de Recerca en Energia de Catalunya, Sant Adrià de Besòs, España. Nov, 2018.

[31] E. Hossain, D. Murtaugh, J. Mody, H. Mansur. A Comprehensive Review on Second-Life Batteries: Current State, Manufacturing Considerations, Applications, Impacts, Barriers Potential Solutions, Business Strategies, and Policies. IEEE Access. May, 2019.

[32] K. Heinz Pettinger, A. Kampker, C. Hohenthanner, C. Deutskens, H. Heimers, A. Vom Hemdt. Lithium-ion cell and battery production processes. May, 2018.

[33] Ministerio del Medioambiente, Chile. Ley de fomento al Reciclaje. Disponible en línea: https://mma.gob.cl/economia-circular/ley-de-fomento-al-reciclaje/

[34] I. Buchmann. Battery University. BU-808a: How to Awaken a Sleeping Li-ion. Disponible en línea: https://batteryuniversity.com/learn/article/low_voltage_cut_off

[35] California's Department of Resources Recycling and Recovery (CalRecycle). What Is E-Waste?. Jun, 2020. Disponible en línea: https://www.calrecycle.ca.gov/electronics/whatisewaste

[36] Great Lakes Electronics Corporation. What is E-waste? Definition and Why It's Important. Mar, 2020. Disponible en línea: https://www.ewaste1.com/what-is-e-waste/

[37] I. Buchmann. Battery University. Battery Test Methods. Disponible en línea: https://batteryuniversity.com/learn/article/battery_test_methods

[38] Electropedia. Battery and Energy Technologies. State of Charge (SOC) Determination. Disponible en línea: https://www.mpoweruk.com/soc.htm

[39] F. Salinas and J. Kowal, "Classifying Aged Li-Ion Cells from Notebook Batteries," Sustainability, vol. 12, no. 9, p. 3620, Apr. 2020. Disponible en línea: http://dx.doi.org/10.3390/su12093620

[40] HP. Lithium-ion battery technology: Getting the most from Smart Batteries. Disponible en línea: http://h10032.www1.hp.com/ctg/Manual/c01123994.pdf

[41] A. Phan, Hex-Cell-Holder: A parametric OpenSCAD project to generate STLs models of hexagonal lithium cell holders, boxes, and caps to be 3D printed. 2019. Disponible en línea: https://github.com/Addy771/Hex-Cell-Holder

[42] EPEVER EPSOLAR TECHNOLOGY. SHI Series Pure Sine vawe inverter. Disponible en línea: https://www.epsolarpv.com/upload/file/1909/EPEVER-Datasheet-SHI.pdf

[43] ARDUINO. ARDUINO UNO REV3. Disponible en línea: https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3

[44] Generadoras de Chile. Reporte Anual 2019. Disponible en línea: http://generadoras.cl/documentos/reportes-anuales/reporte-anual-2019

[45] V. Challa. DfR Solutions' Insights. Are Lithium-Ion Cells You Buy Online Al-

ways Legit? May, 2018. Disponible en línea: https://www.dfrsolutions.com/blog/are-lithium-ion-cells-you-buy-online-legit

[46] T. Brookes. Make Use Of. TECHNOLOGY EXPLAINED The Best 18650 Battery and How to Avoid Buying Fakes. Mar, 2019. Disponible en línea: https://www.makeuseof.com/tag/18650-battery/

[47] Cámara de comercio de Santiago. Importaciones de scooters eléctricos crecen un 179 % en 2019. Disponible en línea: https://www.ccs.cl/2020/02/11/importaciones-scooters-electricos-crecen-179-en-2019/

[48] Revista Electricidad. Electromovilidad. Crece demanda por las bicicletas eléctricas con precios que van desde $300 mil a los $6 millones. Disponible en línea: https://www.revistaei.cl/2018/10/08/crece-demanda-las-bicicletas-electricas-precios-van-desde-300-mil-los-6-millones/

[49] I. Buchmann. Battery University. BBU-304: Why are Protection Circuits Needed?. Disponible en línea: https://batteryuniversity.com/learn/article/safety_circuits_for_modern_batteries

[50] I. Buchmann. Battery University. BU-901: Fundamentals in Battery Testing. Disponible en línea: https://batteryuniversity.com/learn/article/difficulties_with_testing_batteries

[51] I. Buchmann. Battery University. BU-910: How to Repair a Battery Pack. Disponible en línea: https://batteryuniversity.com/learn/article/how_to_repair_a_battery_pack

[52] I. Buchmann. Battery University. BU-908: Battery Management System (BMS). Disponible en línea: https://batteryuniversity.com/learn/article/how_to_monitor_a_battery

[53] I. Buchmann. Battery University. Battery Rapid-test Methods. Disponible en línea: https://batteryuniversity.com/learn/article/battery_rapid_test_methods

[54] Electropedia. Battery and Energy Technologies. State of Health (SOH) Determination. Disponible en línea: https://www.mpoweruk.com/soh.htm

[55] TVN. Reportajes 24: ¿Cada cuánto tiempo se debe cambiar el computador?. Sep, 2016. Disponible en línea: https://www.24horas.cl/noticiarios/reportajes24/reportajes-24-cada-cuanto-tiempo-se-debe-cambiar-el-computador-2132315

[56] Revista Electricidad. Electromovilidad. Autos eléctricos son apenas 0,01 % del parque de vehículos en Chile: sector pide incentivos. Disponible en línea: https://www.revistaei.cl/2020/10/28/autos-electricos-son-apenas-001-del-parque-de-vehiculos-en-chile-sector-pide-incentivos/

[57] Lavín, C. Romero, M. ANÁLISIS DEL MERCADO DE ENERGÍA SOLAR EN EL SECTOR RESIDENCIAL. Respositorio Uchile. handle: http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/139154

[58] M. Toll. DIY Lithium Batteries. How to Build Your Own Battery Packs. Chapter 5: Cell ratings. Maximum number of cycles, p. 39. 2017

[59] U. Heider, R. Oesten, M. Jungnitz. Challenge in manufacturing electrolyte solutions for

lithium and lithium ion batteries quality control and minimizing contamination level, Journal of Power Sources, Volumes 81–82, 1999, Pag. 119-122, ISSN 0378-7753, Disponible en línea: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775399001421

[60] Weishan Li. Journal of the Electrochemical Society, Volume 167, Number 9. 2020. Review—An Unpredictable Hazard in Lithium-ion Batteries from Transition Metal Ions: Dissolution from Cathodes, Deposition on Anodes and Elimination Strategies. Disponible en línea: https://iopscience.iop.org/article/10.1149/1945-7111/ab847f

[61] lygte-info. Review of Charger LiitoKala Engineer Lii-500. Disponible en línea: https://lygte-info.dk/review/Review%20Charger%20LiitoKala%20Lii-500%20UK.html

[62] Liitokala. Lii-500 Smart Charger. Disponible en línea: http://www.liito-kala.com/page92?product_id=6

[63] Liitokala Lii-500 Instruction Manual. Disponible en línea: https://www.kupifonar.kz/upload/manuals/liitokala/liito-kala-lii-500-en.pdf

[64] Rainbow Power Company. 12 Volt, 24 Volt or 48 Volt - Summary. Disponible en línea: https://www.rpc.com.au/information/faq/system-design/12v-or-24v.html

[65] Falk, J., Nedjalkov, A., Angelmahr, M. et al. Applying Lithium-Ion Second Life Batteries for Off-Grid Solar Powered System—A Socio-Economic Case Study for Rural Development. Z Energiewirtsch 44, p. 47–60. Mar, 2020. Disponible en línea: https://doi.org/10.1007/s12398-020-00273-x

[66] Terrell Croft, American Electricians' Handbook, McGraw-Hill, 1948 p. 70

[67] M. Toll. DIY Lithium Batteries. How to Build Your Own Battery Packs. Chapter 16: Example battery building projects. 14s (52 V) 18650 home energy storage battery, p. 161-163. 2017.

[68] M. Toll. DIY Lithium Batteries. How to Build Your Own Battery Packs. Chapter 10: Battery layout and design. 2017.

[69] M. Toll. DIY Lithium Batteries. How to Build Your Own Battery Packs. Chapter 9: Construction methods. 2017.

[70] Second Life Storage. How to recover 18650 Cells safely and reliably. Lithium Battery Forum. Jan 2017. Disponible en línea: https://secondlifestorage.com/index.php?threads/how-to-recover-18650-cells-safely-and-reliably.315/

[71] I. Buchmann. Battery University. BU-802: What Causes Capacity Loss?. Disponible en línea: https://batteryuniversity.com/learn/article/capacity_loss

[72] S. Saxena, C. Le Floch, J. MacDonald, S. Moura. Quantifying EV battery end-of-life through analysis of travel needs with vehicle powertrain models. Journal of Power Sources, Volume 282, 2015, p. 265-276, ISSN 0378-7753. Disponible en línea: https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2015.01.072.

[73] S. Wen. Texas Instruments Incorporated. Analog Applications Journal. Cell balancing buys extra run time and battery life. Sep, 2009. Disponible en línea: https://www.ti.com/lit/an/slyt322/slyt322.pdf

Anexo 1: Tabla resultados de pruebas de capacidad de celdas.

N° celda	Codigo	Marca	Estado	Capacidad nominal (mAh)	Capacidad actual (mAh)	Variacion (mAh)	Variacion (%)	SoH (%)	Tiempo de prueba	Voltaje final (V)	IR (mR)	Referencia data	Notas
1	Sanyo UR18650A	Sanyo	Recuperada	2200	2310	110	5.00	105.00	4:33	4.19	43	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1686	
2	Sanyo UR18650A	Sanyo	Recuperada	2200	2310	110	5.00	105.00	4:33	4.19	54	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1686	
3	Sanyo UR18650A	Sanyo	Recuperada	2200	2306	106	4.82	104.82	4:33	4.2	54	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1686	
4	Sanyo UR18650A	Sanyo	Recuperada	2200	2303	103	4.68	104.68	2:48	4.2	48	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1704	
5	ICR18650-22F	Samsung	Recuperada	2200	2275	75	3.41	103.41	2:36	4.19	114	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1875	
6	Sanyo UR18650A	Sanyo	Recuperada	2200	2268	68	3.09	103.09	4:28	4.19	49	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1876	
7	Sanyo UR18650A	Sanyo	Recuperada	2200	2264	64	2.91	102.91	2:28	4.2	69	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1877	
8	ICR18650-22F	Samsung	Recuperada	2200	2259	59	2.68	102.68	2:33	4.2	93	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1878	
9	ICR18650-22F	Samsung	Recuperada	2200	2245	45	2.05	102.05	4:25	4.19	79	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=6524	
10	ICR18650-22F	Samsung	Recuperada	2200	2241	41	1.86	101.86	4:25	4.2	73	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1732	
11	ICR18650-22B Samsung SDI 394	Samsung	Recuperada	2200	2213	13	0.59	100.59	2:45	4.2	49	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1732	
12	ICR18650-22F	Samsung	Recuperada	2200	2211	11	0.50	100.50	4:22	4.19	85	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1740	
13	ICR18650-22F	Samsung	Recuperada	2200	2209	9	0.41	100.41	4:21	4.2	73	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1875	
14	ICR18650-22B Samsung SDI 394	Samsung	Recuperada	2200	2200	0	0.00	100.00	2:47	4.2	112	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1732	
15	ICR18650-22B Samsung SDI 394	Samsung	Recuperada	2200	2191	-9	-0.41	99.59	2:47	4.2	93	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1732	
16	CGR18650CG	Panasonic	Recuperada	2250	2177	-73	-3.24	96.76	4:18	4.19	48	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1740	
17	CGR18650CG	Panasonic	Recuperada	2250	2173	-77	-3.42	96.58	4:17	4.19	57	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1740	
18	CGR18650CG	Panasonic	Recuperada	2250	2164	-86	-3.82	96.18	4:16	4.19	57	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1740	
19	CGR18650CG	Panasonic	Recuperada	2250	2162	-88	-3.91	96.09	4:16	4.19	48	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1732	
20	CGR18650CG	Panasonic	Recuperada	2250	2162	-88	-3.91	96.09	4:16	4.19	48	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=6524	
21	CGR18650CG	Panasonic	Recuperada	2250	2160	-90	-4.00	96.00	2:25	4.19	65	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=6524	
22	ICR18650-22B Samsung SDI 394	Samsung	Recuperada	2200	2141	-59	-2.68	97.32	2:41	4.2	45	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=6524	
23	SE US18650GR T 6B1170L130	Sony	Recuperada	2200	2101	-99	-4.50	95.50	4:09	4.19	80	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1686	
24	SE US18650GR T 6B1170L130	Sony	Recuperada	2100	2084	-16	-0.76	99.24	2:50	4.2	63	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1687	
25	ICR18650-22B Samsung SDI 394	Samsung	Recuperada	2200	2077	-123	-5.59	94.41	3:19	4.19	125	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1704	
26	SE US18650GR T 6B1170L130	Sony	Recuperada	2100	2057	-43	-2.05	97.95	4:03	4.2	62	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1704	
27	SE US18650GR T 6B1170L130	Sony	Recuperada	2100	2041	-59	-2.81	97.19	4:01	4.19	59	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1686	
28	SE US18650GR T 6B1170L130	Sony	Recuperada	2100	2022	-78	-3.71	96.29	3:59	4.19	77	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1686	
29	ICR18650-22B Samsung SDI 394	Samsung	Recuperada	2200	2019	-181	-8.23	91.77	5:24	4.19	125	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1704	
30	SE US18650GR T 6B1170L130	Sony	Recuperada	2100	1983	-117	-5.57	94.43	3:55	4.18	71	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=6524	
31	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2200	1971	-229	-10.41	89.59	4:32	4.2	125	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1686	
32	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2200	1961	-239	-10.86	89.14	3:36	4.19	117	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1686	
33	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2200	1958	-242	-11.00	89.00	5:00	4.20	123	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1686	
34	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2200	1951	-249	-11.32	88.68	3:34	4.19	125	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1704	
35	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2200	1951	-249	-11.32	88.68	3:29	4.2	125	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1740	
36	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2200	1943	-257	-11.68	88.32	3:18	4.19	125	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1740	
37	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2200	1943	-257	-11.68	88.32	3:28	4.19	125	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1878	
38	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2200	1931	-269	-12.23	87.77	5:12	4.20	123	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1732	
39	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2200	1931	-269	-12.23	87.77	3:20	4.19	125	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1686	
40	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2200	1930	-270	-12.27	87.73	4:11	4.2	125	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1687	
41	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2200	1923	-277	-12.59	87.41	3:30	4.19	125	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1687	
42	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2200	1917	-283	-12.86	87.14	3:17	4.19	125	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1687	
43	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2200	1909	-291	-13.23	86.77	3:21	4.2	125	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1687	
44	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2200	1908	-292	-13.27	86.73	5:12	4.19	121	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1687	
45	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2200	1908	-292	-13.27	86.73	3:22	4.2	125	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1687	
46	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2200	1907	-293	-13.32	86.68	3:29	4.19	125	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1687	
47	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2200	1905	-295	-13.41	86.59	3:41	4.2	125	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1687	
48	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2200	1901	-299	-13.59	86.41	3:27	4.2	98	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1687	
49	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2200	1898	-302	-13.73	86.27	3:48	4.2	115	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1687	
50	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2200	1897	-303	-13.77	86.23	3:25	4.2	117	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1687	
51	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2200	1885	-315	-14.32	85.68	3:17	4.19	51	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1687	
52	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2200	1884	-316	-14.36	85.64	3:20	4.2	125	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1687	
53	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2200	1880	-320	-14.55	85.45	3:21	4.2	119	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1687	
54	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2200	1875	-325	-14.77	85.23	3:43	4.19	125	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1687	
55	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2200	1874	-326	-14.82	85.18	3:16	4.19	116	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1687	
56	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2200	1866	-334	-15.18	84.82	3:22	4.19	119	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1687	
57	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2200	1862	-338	-15.36	84.64	3:45	4.2	125	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1687	
58	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2200	1851	-349	-15.86	84.14	3:26	4.2	114	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1687	
59	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2200	1848	-352	-16.00	84.00	3:47	4.2	115	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1687	
60	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2200	1838	-362	-16.45	83.55	3:28	4.2	125	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1687	
61	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2200	1833	-367	-16.68	83.32	3:16	4.19	118	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=6524	
62	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2200	1832	-368	-16.73	83.27	3:37	4.19	125	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1687	
63	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2200	1830	-370	-16.82	83.18	3:31	4.19	120	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1687	
64	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2200	1819	-381	-17.32	82.68	3:36	4.2	125	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1687	
65	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2200	1816	-384	-17.45	82.55	3:22	4.19	125	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=6524	
66	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2200	1808	-392	-17.82	82.18	3:33	4.19	125	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1687	
67	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2200	1806	-394	-17.91	82.09	3:12	4.2	125	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1687	
68	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2200	1797	-403	-18.32	81.68	3:25	4.2	125	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1687	
69	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2203	1794	-409	-18.57	81.43	3:25	4.2	125	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1687	
70	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2200	1789	-411	-18.68	81.32	3:26	4.2	125	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=6523	
71	ICR18650-22B Samsung SDI 394	Samsung	Recuperada	2200	1788	-412	-18.73	81.27	3:24	4.2	121	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1708	
72	ICR18650-22B Samsung SDI 394	Samsung	Recuperada	2200	1788	-412	-18.73	81.27	3:31	4.2	125	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1709	
73	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2206	1779	-427	-19.36	80.64	3:15	4.2	125	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=6523	
74	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2207	1779	-428	-19.39	80.61	3:28	4.2	125	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=6523	
75	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2200	1775	-425	-19.32	80.68	3:43	4.2	102	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1772	
76	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2201	1752	-449	-20.40	79.60	3:12	4.2	125	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1772	
77	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2200	1750	-450	-20.45	79.55	3:13	4.2	125	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1772	
78	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2200	1750	-450	-20.45	79.55	3:16	4.2	125	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1772	
79	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2200	1747	-453	-20.59	79.41	3:36	4.19	125	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1704	
80	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2200	1737	-463	-21.05	78.95	3:13	4.2	107	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1704	
81	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2200	1737	-463	-21.05	78.95	3:03	4.19	125	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1704	
82	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2200	1730	-470	-21.36	78.64	3:30	4.2	125	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1704	
83	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2200	1726	-474	-21.55	78.45	3:26	4.2	125	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1704	
84	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2200	1719	-481	-21.86	78.14	3:33	4.2	115	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1704	
85	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2200	1714	-486	-22.09	77.91	3:06	4.19	125	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1704	
86	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2205	1712	-493	-22.36	77.64	3:13	4.19	125	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1704	
87	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2202	1690	-512	-23.25	76.75	3:15	4.2	125	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1704	
88	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2200	1680	-520	-23.64	76.36	3:33	4.19	113	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1704	
89	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2200	1679	-521	-23.68	76.32	3:24	4.19	125	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1704	
90	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2200	1673	-527	-23.95	76.05	3:16	4.19	125	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1704	
91	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2200	1672	-528	-24.00	76.00	3:32	4.2	125	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1704	
92	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2204	1670	-534	-24.23	75.77	3:22	4.2	125	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1704	
93	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2200	1663	-537	-24.41	75.59	2:58	4.2	125	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1704	
94	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2200	1653	-547	-24.86	75.14	3:09	4.2	125	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1704	
95	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2200	1631	-569	-25.86	74.14	3:39	4.2	125	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1704	
96	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2200	1631	-569	-25.86	74.14	3:31	4.19	125	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1704	
97	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2200	1582	-618	-28.09	71.91	3:38	4.2	125	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1704	
98	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2200	1581	-619	-28.14	71.86	3:06	4.2	125	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1704	
99	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2200	1566	-634	-28.82	71.18	3:15	4.19	125	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1704	
100	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2200	1530	-670	-30.45	69.55	3:17	4.2	24	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1704	
101	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2200	1510	-690	-31.36	68.64	3:11	4.19	125	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1704	
102	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2200	1485	-715	-32.50	67.50	3:18	4.2	103	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1704	
103	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2200	1462	-738	-33.55	66.45	3:29	4.2	66	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1704	
104	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2200	1449	-751	-34.14	65.86	3:25	4.2	125	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1687	
105	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Recuperada	2200	1449	-751	-34.14	65.86	3:43	4.2	125	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1687	
106	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Descartada en prueba	2200	1302	-898	-40.82	59.18	2:34	4.2	125	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1687	Fase carga muy larga para poca capacidad. Puede haber daño interno que genere auto descarga. Se detecta efecto de auto descarga.
107	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Descartada en prueba	2200	1132	-1068	-48.55	51.45	3:27	4.2	125	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1687	Fase carga muy larga para poca capacidad. Puede haber daño interno que genere auto descarga. Se detecta efecto de auto descarga.
108	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Descartada en prueba	2200	33	-2167	-98.50	1.50	0:04	4.2	125	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1687	Carga a nivel EOL (Cap<60%).Capacidad virtualmente nula. Hay daño interno en la celda.
109	Sanyo UR18650A	Sanyo	Descartada en prueba	2200	0	-2200	-100.00	0.00	11:06	4.19	66	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1687	Fase carga muy larga para poca capacidad. Puede haber daño interno que genere auto descarga. Se detecta efecto de auto descarga.
110	Sanyo UR18650A	Sanyo	Descartada en prueba	2200	0	-2200	-100.00	0.00	2:26	4.1	93	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1704	Fase carga muy larga para poca capacidad. Puede haber daño interno que genere auto descarga. Se detecta efecto de auto descarga.
111	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Descartada en prueba	2200	0	-2200	-100.00	0.00	8:08	4.2	125	https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1713	Fase carga muy larga para poca capacidad. Puede haber daño interno que genere auto descarga. Se detecta efecto de auto descarga.
112	Sanyo UR18650A	Sanyo	Daño por sobredescarga	2200	0	-2200	-100.00	0.00		0.7		https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1687	Batería solo carga hasta 0.5 V. Daño interno hace que la tasa de auto descarga supere la carga.
113	Sanyo UR18650A	Sanyo	Daño por sobredescarga	2200	0	-2200	-100.00	0.00				https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1714	Se alcanzo temperatura peligrosa (>80°C). Batería no iniciaba proceso descarga. Prueba fue cancelada.
114	Sanyo UR18650A	Sanyo	Daño por sobredescarga	2200	0	-2200	-100.00	0.00				https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1715	Se alcanzo temperatura peligrosa (>80°C). Batería registro caida de voltaje durante carga.Prueba fue cancelada.
115	Sanyo UR18650A	Sanyo	Daño por sobredescarga	2200	0	-2200	-100.00	0.00		0.7		https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1716	Batería solo carga hasta 0.5 V. Daño interno hace que la tasa de auto descarga supere la carga.
116	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Daño por sobredescarga	2200	0	-2200	-100.00	0.00				https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1717	Volaje a 0. Hay daño interno en la celda.
117	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Daño por sobredescarga	2200	0	-2200	-100.00	0.00				https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1718	Volaje a 0. Hay daño interno en la celda.
118	Moli FSPE.70043.2553 03 ICR-18650H	Moli Energy	Daño por sobredescarga	2200	0	-2200	-100.00	0.00				https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1719	Volaje a 0. Hay daño interno en la celda.
119	ICR18650-22B Samsung SDI 394	Samsung	Daño por sobredescarga	2200	0	-2200	-100.00	0.00				https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1720	Volaje a 0. Hay daño interno en la celda.
120	ICR18650-22B Samsung SDI 394	Samsung	Daño por sobredescarga	2200	0	-2200	-100.00	0.00				https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1704	Volaje a 0. Hay daño interno en la celda.
121	ICR18650-22B Samsung SDI 394	Samsung	Daño por sobredescarga	2200	0	-2200	-100.00	0.00				https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1705	Volaje a 0. Hay daño interno en la celda.
122	ICR18650-22B Samsung SDI 394	Samsung	Daño por sobredescarga	2200	0	-2200	-100.00	0.00				https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1706	Volaje a 0. Hay daño interno en la celda.
123	ICR18650-22B Samsung SDI 394	Samsung	Daño por sobredescarga	2200	0	-2200	-100.00	0.00				https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1707	Volaje a 0. Hay daño interno en la celda.
124	ICR18650-22B Samsung SDI 394	Samsung	Daño por sobredescarga	2200	0	-2200	-100.00	0.00				https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1708	Volaje a 0. Hay daño interno en la celda.
125	ICR18650-22B Samsung SDI 394	Samsung	Daño por sobredescarga	2200	0	-2200	-100.00	0.00				https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1709	Volaje a 0. Hay daño interno en la celda.
126	ICR18650-22B Samsung SDI 394	Samsung	Daño por sobredescarga	2200	0	-2200	-100.00	0.00				https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1687	Volaje a 0. Hay daño interno en la celda.
127	ICR18650-22B Samsung SDI 394	Samsung	Daño por sobredescarga	2200	0	-2200	-100.00	0.00				https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1687	Volaje a 0. Hay daño interno en la celda.
128	ICR18650-22B Samsung SDI 394	Samsung	Daño por sobredescarga	2200	0	-2200	-100.00	0.00				https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1687	Volaje a 0. Hay daño interno en la celda.
129	ICR18650-22B Samsung SDI 394	Samsung	Daño por sobredescarga	2200	0	-2200	-100.00	0.00				https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1687	Volaje a 0. Hay daño interno en la celda.
130	ICR18650-22B Samsung SDI 394	Samsung	Daño por sobredescarga	2200	0	-2200	-100.00	0.00				https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1687	Volaje a 0. Hay daño interno en la celda.
131	ICR18650-22B Samsung SDI 394	Samsung	Daño por sobredescarga	2200	0	-2200	-100.00	0.00				https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1687	Volaje a 0. Hay daño interno en la celda.
132	ICR18650-22B Samsung SDI 394	Samsung	Daño por sobredescarga	2200	0	-2200	-100.00	0.00				https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1687	Volaje a 0. Hay daño interno en la celda.
133	ICR18650-22B Samsung SDI 394	Samsung	Daño por sobredescarga	2200	0	-2200	-100.00	0.00				https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1687	Volaje a 0. Hay daño interno en la celda.
134	ICR18650-22B Samsung SDI 394	Samsung	Daño por sobredescarga	2200	0	-2200	-100.00	0.00				https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1687	Volaje a 0. Hay daño interno en la celda.
135	ICR18650-22B Samsung SDI 394	Samsung	Daño por sobredescarga	2200	0	-2200	-100.00	0.00				https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1688	Volaje a 0. Hay daño interno en la celda.
136	ICR18650-22B Samsung SDI 394	Samsung	Daño por sobredescarga	2200	0	-2200	-100.00	0.00				https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1689	Volaje a 0. Hay daño interno en la celda.
137	ICR18650-22B Samsung SDI 394	Samsung	Daño por sobredescarga	2200	0	-2200	-100.00	0.00				https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1690	Volaje a 0. Hay daño interno en la celda.
138	ICR18650-22B Samsung SDI 394	Samsung	Daño por sobredescarga	2200	0	-2200	-100.00	0.00				https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1691	Volaje a 0. Hay daño interno en la celda.
139	ICR18650-22B Samsung SDI 394	Samsung	Daño por sobredescarga	2200	0	-2200	-100.00	0.00				https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1692	Volaje a 0. Hay daño interno en la celda.
140	ICR18650-22B Samsung SDI 394	Samsung	Daño por sobredescarga	2200	0	-2200	-100.00	0.00				https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1693	Volaje a 0. Hay daño interno en la celda.
141	ICR18650-22B Samsung SDI 394	Samsung	Daño por sobredescarga	2200	0	-2200	-100.00	0.00				https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1694	Volaje a 0. Hay daño interno en la celda.
142	ICR18650-28A SAMSUNG SDI 2E74	Samsung	Daño por corrosión	2800	0	-2800	-100.00	0.00				https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1687	
143	ICR18650-28A SAMSUNG SDI 2E74	Samsung	Daño por corrosión	2800	0	-2800	-100.00	0.00				https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1687	
144	ICR18650-28A SAMSUNG SDI 2E74	Samsung	Daño por corrosión	2800	0	-2800	-100.00	0.00				https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1687	
145	ICR18650-28A SAMSUNG SDI 2E74	Samsung	Daño por corrosión	2800	0	-2800	-100.00	0.00				https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1687	
146	ICR18650-22B Samsung SDI 394	Samsung	Daño por corrosión	2200	0	-2200	-100.00	0.00				https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1687	
147	ICR18650-22B Samsung SDI 394	Samsung	Daño por corrosión	2200	0	-2200	-100.00	0.00				https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1687	
148	ICR18650-22B Samsung SDI 394	Samsung	Daño por corrosión	2200	0	-2200	-100.00	0.00				https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1687	
149	ICR18650-22B Samsung SDI 394	Samsung	Daño por corrosión	2200	0	-2200	-100.00	0.00				https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1687	
150	ICR18650-22B Samsung SDI 394	Samsung	Daño por corrosión	2200	0	-2200	-100.00	0.00				https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1687	
151	ICR18650-22B Samsung SDI 394	Samsung	Daño por corrosión	2200	0	-2200	-100.00	0.00				https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1687	
152	ICR18650-22B Samsung SDI 394	Samsung	Daño por corrosión	2200	0	-2200	-100.00	0.00				https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1687	
153	ICR18650-22B Samsung SDI 394	Samsung	Daño por corrosión	2200	0	-2200	-100.00	0.00				https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1687	
154	ICR18650-22B Samsung SDI 394	Samsung	Daño por corrosión	2200	0	-2200	-100.00	0.00				https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1687	
155	ICR18650-22B Samsung SDI 394	Samsung	Daño por corrosión	2200	0	-2200	-100.00	0.00				https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1687	
156	ICR18650-22B Samsung SDI 394	Samsung	Daño por corrosión	2200	0	-2200	-100.00	0.00				https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=6523	
157	ICR18650-22B Samsung SDI 394	Samsung	Daño por corrosión	2200	0	-2200	-100.00	0.00				https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=6523	
158	ICR18650-22B Samsung SDI 394	Samsung	Daño por corrosión	2200	0	-2200	-100.00	0.00				https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=6523	
159	ICR18650-22B Samsung SDI 394	Samsung	Daño por corrosión	2200	0	-2200	-100.00	0.00				https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1687	
160	ICR18650-22B Samsung SDI 394	Samsung	Daño por corrosión	2200	0	-2200	-100.00	0.00				https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1688	
161	ICR18650-22B Samsung SDI 394	Samsung	Daño por corrosión	2200	0	-2200	-100.00	0.00				https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1689	
162	ICR18650-22B Samsung SDI 394	Samsung	Daño por corrosión	2200	0	-2200	-100.00	0.00				https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1704	
163	ICR18650-22B Samsung SDI 394	Samsung	Daño por corrosión	2200	0	-2200	-100.00	0.00				https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1705	
164	ICR18650-22B Samsung SDI 394	Samsung	Daño por corrosión	2200	0	-2200	-100.00	0.00				https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1706	
165	ICR18650-22B Samsung SDI 394	Samsung	Daño por corrosión	2200	0	-2200	-100.00	0.00				https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1707	
166	ICR18650-22B Samsung SDI 394	Samsung	Daño por corrosión	2200	0	-2200	-100.00	0.00				https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1708	
167	ICR18650-22B Samsung SDI 394	Samsung	Daño por corrosión	2200	0	-2200	-100.00	0.00				https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1709	
168	ICR18650-22B Samsung SDI 394	Samsung	Daño por corrosión	2200	0	-2200	-100.00	0.00				https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1710	
169	ICR18650-22B Samsung SDI 394	Samsung	Daño por corrosión	2200	0	-2200	-100.00	0.00				https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1711	
170	ICR18650-22B Samsung SDI 394	Samsung	Daño por corrosión	2200	0	-2200	-100.00	0.00				https://secondlifestorage.com/showthread.php?tid=1712	

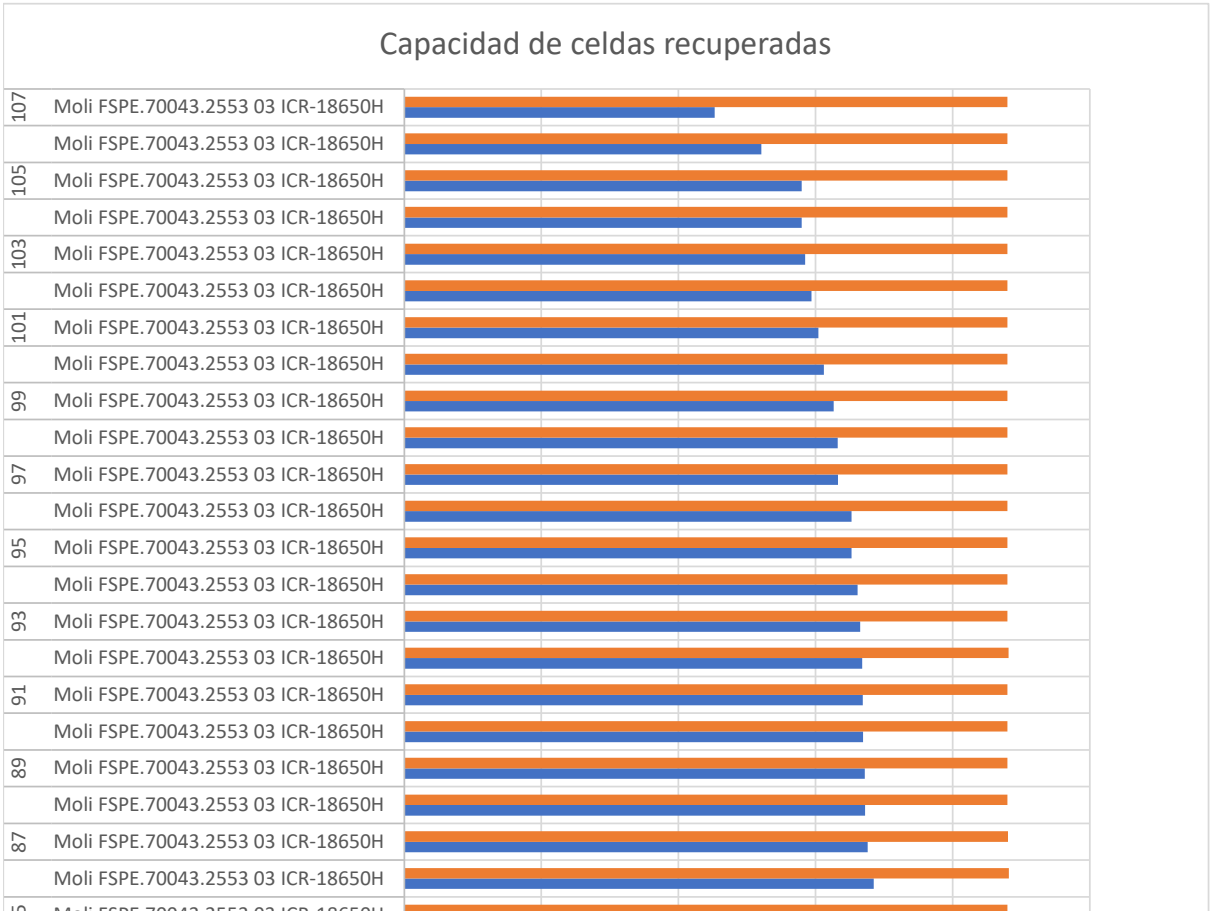
Anexo 1: Tabla resultados de pruebas de capacidad de celdas.

	Cantidad	Porcentaje
Total de celdas	170	100.00
Celdas recuperadas	105	61.76
Celdas dañadas	65	38.24

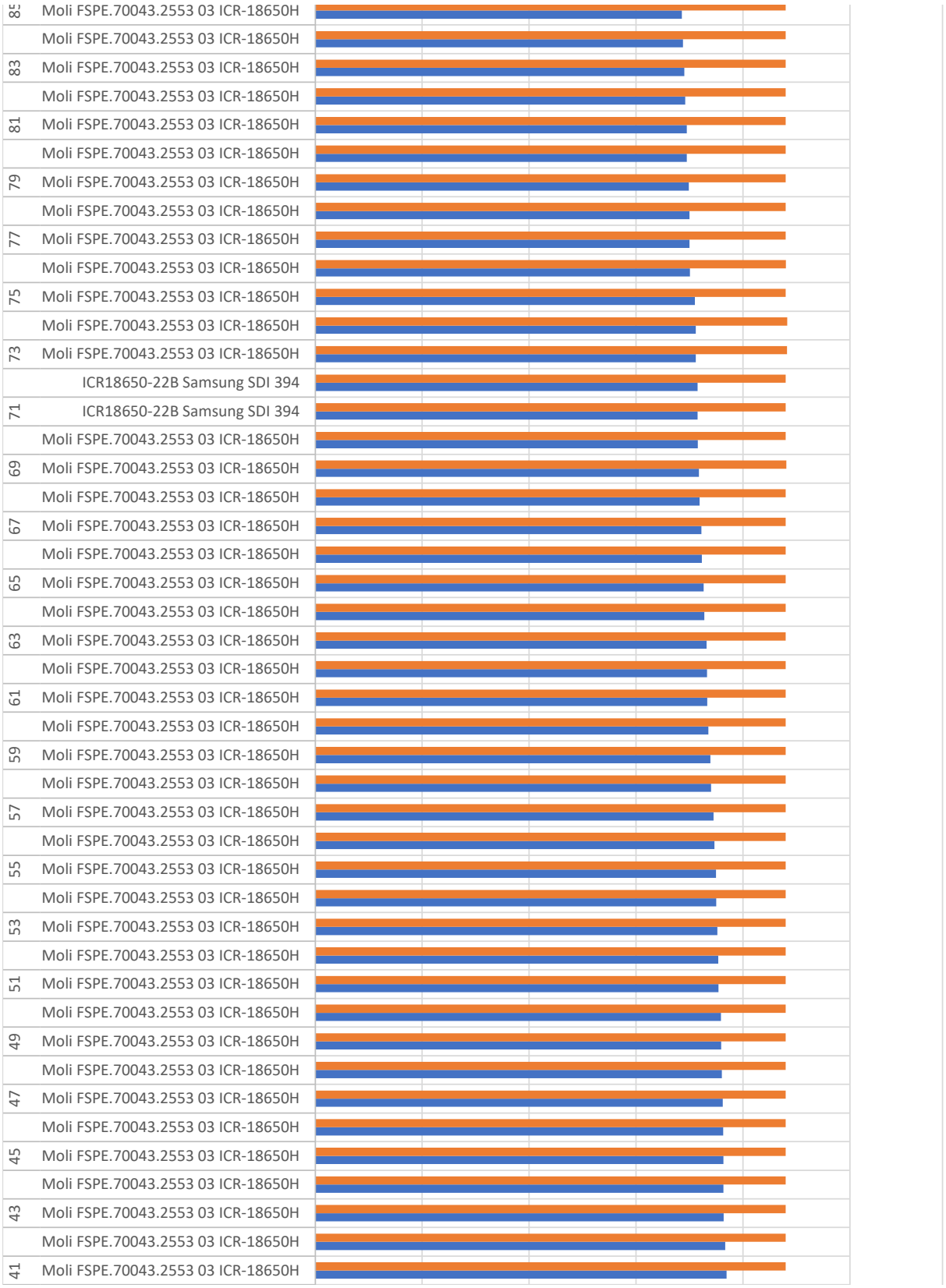
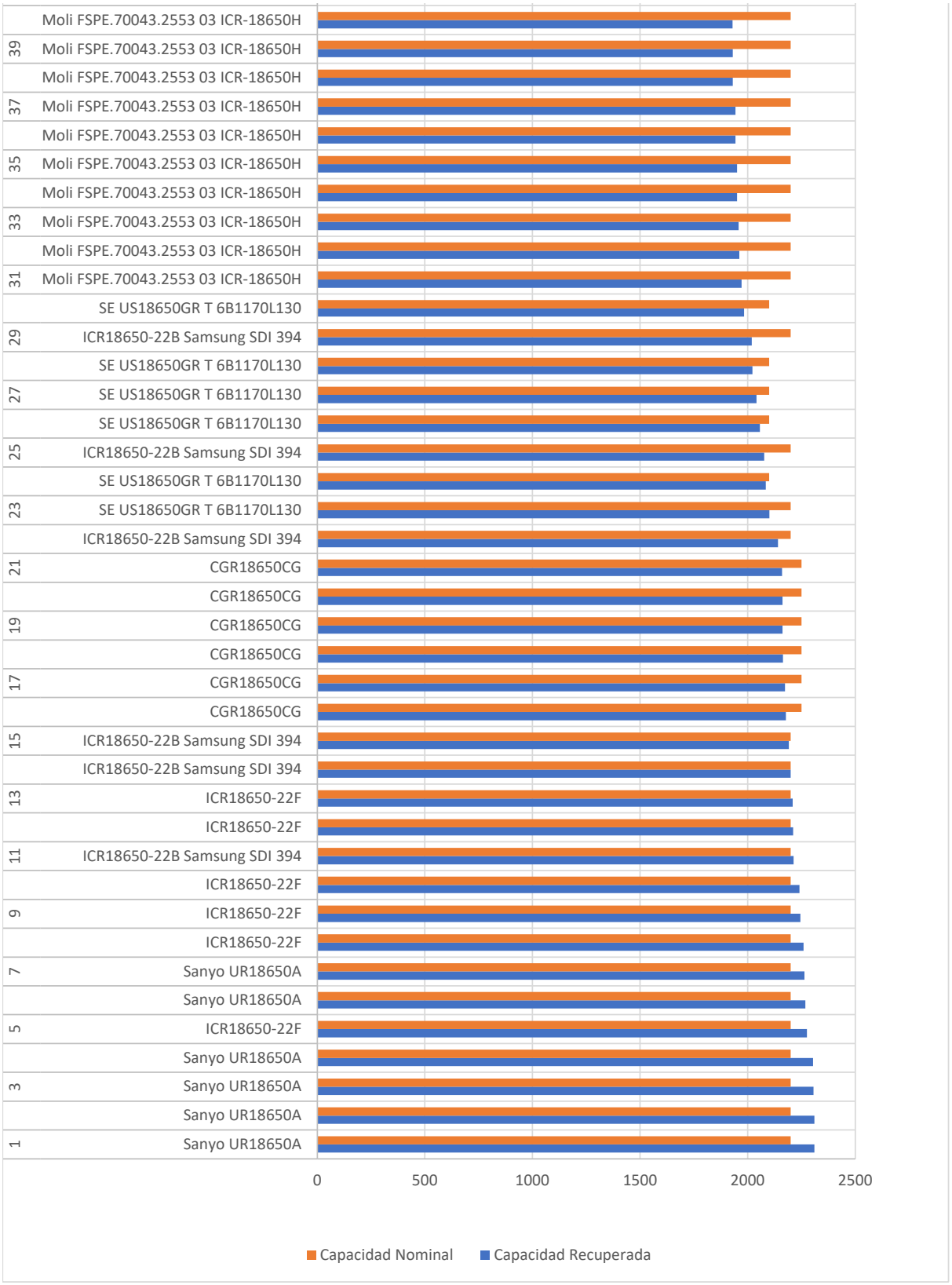
Celdas recupedas	Capacidad	Variacion	Perdidad %	SoH	tiempo prueba
promedio	1881.60	-316.79	-14.40	85.60	3:33
Max	2310.00	110.00	5.00	105.00	4:33
Min	1449.00	-751.00	-34.14	65.86	3:43

Celdas recupedas	Voltaje final	IR
promedio	4.20	105.65
Max	4.19	43.00
Min	4.20	125.00

Celdas dañadas	Cantidad	% dañadas	% del total
Descartada en prueba	6	9.23	3.53
Daño por sobredescarga	30	46.15	17.65
Daño por corrosión	29	44.62	17.06
total	65	100.00	38.24



Anexo 1: Tabla resultados de pruebas de capacidad de celdas.



Anexo 1: Tabla resultados de pruebas de capacidad de celdas.