

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**ANÁLISIS TÉCNICO, REGULATORIO Y ECONÓMICO, DE LA  
IMPLEMENTACIÓN DE ALMACENAMIENTO EN BATERÍAS A  
GRAN ESCALA, EN EL SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO**

**ANÁLISIS TÉCNICO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE  
ALMACENAMIENTO EN BATERÍAS A GRAN ESCALA EN EL  
SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO  
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO**

**HENRRY PAÚL ASADOBAY SANDOVAL**

**henrry.asadobay@epn.edu.ec**

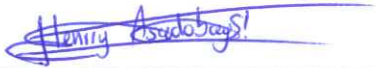
**DIRECTOR: DR. ING. GABRIEL BENJAMÍN SALAZAR YÉPEZ**

**gabriel.salazar@epn.edu.ec**

**DMQ, octubre 2022**

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como los productos resultantes del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.



---

HENRRY PAÚL ASADOBAY SANDOVAL



---

DIRECTOR: DR. ING. GABRIEL BENJAMÍN SALAZAR YEPÉZ

## CERTIFICACIONES

Yo, HENRRY PAÚL ASADOBAY SANDOVAL declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.



---

**HENRRY PAÚL ASADOBAY SANDOVAL**

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por HENRRY PAÚL ASADOBAY SANDOVAL, bajo mi supervisión.



---

**DR. ING. GABRIEL BENJAMÍN SALAZAR YEPÉZ**  
**DIRECTOR**

## DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico de manera muy especial a mi padre Manuel Asadobay Paca, quien me inculco desde niño los valores morales, y me enseñó a ser una persona responsable y perseverante, y hoy que no estas físicamente con nosotros, porque tuviste que partir de manera prematura, sé que, desde el cielo, estarás feliz de verme culminar mi carrera universitaria, te amo papá.

A mi mami, Luz Targelia Sandoval, quien día a día, siempre está a mi lado, brindándome su amor y cariño, y sobre todo respaldándome en cada momento ante cualquier situación, y de forma especial para que desarrolle el trabajo de titulación, se lo dedico a usted mamita hermosa, quien quería verme realizado profesionalmente, lo logramos mamá.

A mis hermanos Ximena, Jenny, Jhonny, Esthela, y Daysi, que nunca perdieron la esperanza y la confianza en mí, y que gracias al gran apoyo que tuve de cada uno de ustedes a lo largo de esta travesía por la Universidad, con cada palabra de motivación, con cada ayuda en mis problemas cotidianos, siempre prestos para darme una mano, de corazón muchas gracias, lo logramos.

A mis cuñados Carlos, Jaime, y a mi cuñada Jennifer, quienes me han brindado su apoyo con palabras de aliento o con un consejo.

A mis sobrinos, de los cuales, todos ven en mi un modelo a seguir, y espero no haberlos decepcionado, esto es para todos ustedes que en algún momento de su vida quiero verles profesionales, y que sepan que siempre contarán con mi ayuda incondicional.

P.D.: Se acabó el “casi inge”.

En general a toda mi familia, que siempre ha estado pendiente de mí, y siempre me han dado la mano ante cualquier adversidad.

## **AGRADECIMIENTO**

A todos mis compañeros que hicieron más llevadera la vida en la universidad, y en especial al grupo de compañeros que en el transcurso de la estadía en la Poli nos fuimos conociendo y formando, de los cuales más que compañeros los considero mis amigos a: Eduardo, Roberto y Luis.

A mi novia Edith, que siempre a estado presta para darme ánimos, y sobre todo con el apoyo para terminar el presente TIC, si se pudo.

Un profundo agradecimiento a la familia INSUCOM (Alejandra, Carlita, Adrián, Daniela), donde empecé a realizar mis practicas preprofesionales y me extendieron la mano, para poder trabajar y aplicar lo aprendido en la universidad. Y en especial al Ingeniero Pablo Ramos, quien ha sido mi guía para aprender varias cosas de Ingeniería Eléctrica, siempre con la predisposición a enseñar, y a María Paz Ramos quien me a impulsado a realizar el presente trabajo, con palabras de aliento y con el tiempo necesario.

En general, a todos mis profesores, que compartieron su catedra, conocimiento y experiencia para mi formación académica.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

|  |     |
|--|-----|
| CERTIFICACIONES.....   | I   |
| DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....                                      | II  |
| DEDICATORIA.....   | III |
| AGRADECIMIENTO.....  | IV  |
| ÍNDICE DE CONTENIDO.....   | V   |
| 1 INTRODUCCIÓN.....  | 1   |
| 1.1 OBJETIVO GENERAL.....  | 2   |
| 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....                                   | 2   |
| 1.3 ALCANCE.....   | 2   |
| 1.4 MARCO TEÓRICO.....   | 3   |
| 1.4.1 TIPOS DE SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO.....                   | 3   |
| 1.4.1.1 Almacenamiento Térmico.....                              | 4   |
| 1.4.1.1.1 Almacenamiento de energía con sales fundida.....       | 4   |
| 1.4.1.2 Almacenamiento Mecánico.....                             | 5   |
| 1.4.1.2.1 Centrales de bombeo hidráulico.....                    | 5   |
| 1.4.1.3 Almacenamiento por baterías.....                         | 6   |
| 1.4.1.3.1 Tipos de baterías.....                                 | 8   |
| 1.4.2 IMPORTANCIA DEL ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA.....             | 10  |
| 1.4.3 SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA A NIVEL MUNDIAL..... | 11  |
| 2 METODOLOGÍA.....   | 13  |
| 2.1 BENEFICIOS TÉCNICOS DE LOS SISTEMAS BESS.....                | 13  |
| 2.1.1 REGULACIÓN DE FRECUENCIA.....                              | 13  |
| 2.1.1.1 Regulación primaria de frecuencia (RPF).....             | 14  |
| 2.1.1.2 Regulación secundaria de frecuencia (RSF).....           | 15  |
| 2.1.1.3 Regulación terciaria de frecuencia (RTF).....            | 16  |
| 2.1.2 CONTROL DE VOLTAJE.....                                    | 17  |
| 2.1.3 BLACK START O ARRANQUE AUTÓNOMO.....                       | 17  |

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 2.1.4   | ARBITRAJE DE ENERGÍA .....  | 18 |
| 2.1.5   | DESCONGESTIÓN DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN .....  | 18 |
| 2.1.6   | COMPLEMENTO A ENERGÍAS RENOVABLES .....   | 19 |
| 2.2     | DIMENSIONAMIENTO DEL BESS .....   | 19 |
| 2.2.1   | COMPONENTES DE LOS SISTEMAS BESS .....  | 20 |
| 2.2.1.1 | Baterías: .....   | 20 |
| 2.2.1.2 | Convertor: .....  | 21 |
| 2.2.1.3 | Sistema de Gestión de baterías (BMS) .....  | 21 |
| 2.2.1.4 | Controlador .....   | 21 |
| 2.2.1.5 | Sistema de protección.....  | 22 |
| 2.2.1.6 | Transformador .....   | 22 |
| 2.2.1.7 | Sistema de seguridad .....  | 22 |
| 2.2.2   | OPERACIÓN DE UN BESS.....   | 23 |
| 2.2.3   | METODOLOGÍA PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LOS BESS.....   | 26 |
| 2.3     | UBICACIÓN DE LOS BESS DENTRO DEL SNI.....   | 28 |
| 2.3.1   | UBICACIÓN DE UN BESS PARA REALIZAR DESCONGESTIONAMIENTO DE UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN O DISTRIBUCIÓN. ....  | 29 |
| 2.3.2   | UBICACIÓN DE UN BESS PARA REALIZAR REGULACIÓN PRIMARIA DE FRECUENCIA. ....                                | 29 |
| 2.3.3   | UBICACIÓN DE UN BESS PARA REALIZAR ALIVIO DE CARGA DEL USUARIO FINAL. ....                                | 30 |
| 2.4     | EVALUACIÓN DE LOS BESS OPERADORES EN SISTEMAS ELÉCTRICOS INTERCONECTADOS Y AISLADOS .....                 | 30 |
| 2.5     | RECICLAJE DE BATERÍAS EN UN SISTEMA BESS.....   | 34 |
| 2.5.1   | CONSUMO INTELIGENTE DE ENERGÍA.....   | 36 |
| 2.5.2   | IMPLEMENTACIÓN DE NUEVOS BANCOS DE BATERÍAS PARA NUEVAS APLICACIONES, COMO ALTERNATIVA DE RECICLAJE. .... | 37 |
| 3       | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....   | 38 |
| 3.1     | CONCLUSIONES.....   | 38 |

|     |                                  |    |
|-----|----------------------------------|----|
| 3.2 | RECOMENDACIONES .....            | 39 |
| 4   | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... | 40 |
| 5   | ANEXOS.....                      | 44 |



## RESUMEN

En el presente Trabajo de Integración Curricular (TIC), se realiza un análisis de la implementación de los sistemas de almacenamiento de energía con baterías (BESS), en un sistema interconectado, para ello se realizó una revisión de las diferentes tecnologías de almacenamiento existentes, con un especial énfasis en el almacenamiento en baterías, de las cuales se podrá observar: tipos, características técnicas, y ciclos de vida útil.

También se realizó un análisis de los diferentes beneficios que nos pueden ofrecer los BESS, así como también se realizó un estudio del dimensionamiento de un BESS, en el cual, se analizó como punto clave los diferentes componentes que poseen los BESS, además se analizó la adecuada ubicación de un BESS, dentro de un sistema interconectado.

Se realizó además un estudio de operación de un BESS dentro de un sistema interconectado y aislado, también se realizó un análisis de cómo se debe realizar una evaluación técnica de un BESS, a través de una tabla informativa con valores referenciales, para poder saber el estado del BESS.

Como punto final, se revisó cuáles son los parámetros que afectan a la vida útil de una batería, como se puede optimizar la utilización de una batería, y se planteó cual es una de las alternativas de reciclaje de las baterías cuando terminan su vida útil.

**PALABRAS CLAVE:** Sistema de almacenamiento en baterías, regulación de frecuencia, control de voltaje, arbitraje de energía, energías renovables no convencionales (ERN), temperatura, carga y descarga.

## ABSTRACT

In this Curriculum Integration Work (TIC), an analysis of the implementation of battery energy storage systems (BESS) in an interconnected system is carried out, for which a review of the different existing storage technologies was carried out, with a special emphasis on battery storage, of which you will be able to observe: types, technical characteristics, and useful life cycles. An analysis of the different benefits that the BESS can offer us was also carried out, as well as a study of the dimensioning of a BESS, in which the different components that the BESS possess were analyzed as a key point, in addition the suitable location of a BESS, within an interconnected system. A study of the operation of a BESS within an interconnected and isolated system was also carried out, an analysis was also carried out on how a technical evaluation of a BESS should be carried out, through an informative table with reference values, in order to know the status of the BESS. As a final point, the parameters that affect the useful life of a battery were reviewed, how the use of a battery can be optimized, and what is one of the alternatives for recycling batteries when their useful life ends.

**KEYWORDS:** Battery storage system, frequency regulation, voltage control, power arbitration, non-conventional renewable energies (ERNC), temperature, loading and unloading.

# 1 INTRODUCCIÓN

Las centrales de generación de energía, han estado en constante desarrollo y con el objetivo firme, de optimizar el aprovechamiento de la energía eléctrica, mediante la implementación de sistemas de almacenamiento, como complemento a las centrales de generación eléctrica, es así que los sistemas de almacenamiento de energía en baterías ha escalado de forma impactante, en el desarrollo técnico-económico, debido a sus múltiples beneficios [1], y como resultado varios países han acogido este tipo de sistema, como por ejemplo tenemos a: Australia, El Salvador, Canadá, y varios países más, que están en el proceso de incorporar este tipo de sistema de almacenamiento de energía.

Los sistemas de almacenamiento en baterías o conocidos como BESS, por sus siglas en inglés, Battery Energy Storage System, son una solución para controlar, respaldar y auxiliar algunas de las distintas perturbaciones que se pueden producir en el sistema nacional interconectado, además, la aplicación del sistema de almacenamiento de energía en baterías, aporta en gran medida al cuidado del medio ambiente, ya que se reduciría las emisiones de CO<sub>2</sub>, al disminuir el consumo de energías no renovables, como son los derivados de petróleo. [2]

Debido a los beneficios que nos ofrecen los sistemas de almacenamiento de energía en baterías a gran escala, se están convirtiendo en componentes óptimos del sistema eléctrico de potencia, los cuales pueden aportar con varios servicios técnicos como son: la regulación primaria y secundaria de potencia, arbitraje de energía, la reserva en giro, black start, entre varios servicios más.[3]

La implementación de los sistemas BESS en las centrales de generación de energía, tiene un desafío importante, y es el de mantener la confiabilidad del sistema eléctrico y de aprovechar al máximo, la energía generada [4], y de esta forma las fuentes de energía podrían trabajar a un nivel óptimo, y no por debajo de su potencia nominal, como actualmente se realiza, en forma de reserva, por posibles inconsistencias en el sistema. [5]

Actualmente el sistema nacional interconectado ecuatoriano (SNI), no cuenta con sistemas BESS, razón por la cual, la investigación técnica de este componente en mención, que consiste en la aplicación de sistemas BESS, sería un aporte importante, ya que nos ayudara a entender cómo se solventarían ciertas deficiencias existentes, en el campo de generación, transmisión. [5]

## **1.1 OBJETIVO GENERAL**

Detallar los servicios técnicos que pueden ofrecer los sistemas de almacenamiento de energía con baterías, en el sistema nacional interconectado.

## **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Proponer una metodología para el dimensionamiento y ubicación de sistemas BESS para brindar diferentes servicios en un sistema eléctrico.
2. Plantear un procedimiento para realizar una evaluación técnica adecuada de sistemas BESS operando en sistemas eléctricos interconectados y aislados.
3. Realizar el análisis de reciclaje y/o proceso de eliminación de las baterías una vez terminada su vida útil.

## **1.3 ALCANCE**

El presente trabajo de integración curricular plantea, la incorporación de un sistema de almacenamiento con baterías (BESS), en el sistema nacional interconectado, con el objetivo de analizar el comportamiento que produce sobre el sistema, y de esta forma, identificar qué servicios técnicos nos puede brindar el sistema de almacenamiento de energía con baterías.

Como primer punto, se realizará una revisión bibliográfica, de las partes, los tipos y el funcionamiento de las baterías, así como también se propondrá una metodología para el dimensionamiento de las baterías, para luego incorporar el sistema de baterías a gran escala, en un sistema eléctrico.

Además, se realizará un estudio, de cómo se realiza un proceso adecuado, para evaluar técnicamente a las baterías. Donde también se abordará como punto final, la culminación de la vida útil de una batería, y cuál es el proceso a seguir para su eliminación o reciclaje.

A continuación, se detalla las fases a desarrollarse:

### **A. Fase Teórica**

En esta fase, se realizará una revisión bibliográfica del funcionamiento, partes y tipos de baterías que son adecuadas para ser incorporadas en un sistema BESS.

## B. Fase de obtención de información.

Plantear un procedimiento para realizar una evaluación técnica adecuada de sistemas BESS, dentro del sistema nacional interconectado ecuatoriano, y de esta forma, evidenciar los beneficios del sistema BESS.

## C. Fase de desarrollo metodológico

Una vez recopilada la información, se procederá a sugerir un proceso para analizar el sistema BESS, el funcionamiento y dimensionamiento de las baterías.

# 1.4 MARCO TEÓRICO

Desde el inicio de la era del hombre, la energía con el nombre que ahora la conocemos, ha sido necesaria para múltiples aplicaciones, desde las necesidades más básicas, como la provisión de calor para el confort del ser humano, así como también para la cocción de los alimentos. Es así que el ser humano ha buscado la forma de conservar la energía, y en primera instancia, lo hacía mediante la recolección y almacenamiento de leña, la cual satisfacía sus necesidades de energía en un inicio, posteriormente con el desarrollo de la humanidad, y la industria, se necesitó de materia prima que proporcionara mayor cantidad de energía, y se empezó a utilizar el carbón, y posteriormente los combustibles fósiles.

Los sistemas de almacenamiento de energía (SAE), contempla todos los métodos posibles de conservar la energía en distintas formas como, por ejemplo, mediante embalses, cuyo objetivo es almacenar agua para posteriormente liberarla, y mediante un proceso, convertirla en energía eléctrica.

El problema con el cual el ser humano ha batallado, es tratar de almacenar la energía, aprovechando las energías primarias que encontramos en la naturaleza, como son: la energía que nos proporciona el viento (energía eólica), la energía que nos proporciona el sol (energía solar), entre otros tipos de energía.

## 1.4.1 TIPOS DE SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO

En la actualidad existe una variedad de sistemas de almacenamiento, pero cada tipo se caracteriza, por ser de diferente capacidad y forma de almacenamiento de energía, además del espacio que necesita el sistema para funcionar.

Entre los tipos de sistemas de almacenamiento tenemos:

#### **1.4.1.1 Almacenamiento Térmico**

El almacenamiento de calor se ha asociado a los edificios desde la antigüedad, en grandes construcciones, gracias al calor percibido. Otra forma de almacenamiento de calor, que ha suscitado de gran interés en las últimas décadas, es en forma de calor latente, a través de materiales de cambio de fase. [6]

Los sistemas de almacenamiento térmico son utilizados para balancear los sistemas eléctricos, cuando sea necesario. En varios países del mundo, estos sistemas son empleados junto a plantas generadoras de energías renovables.[7]

##### ***1.4.1.1.1 Almacenamiento de energía con sales fundida***

Las sales fundidas son productos utilizados en una variedad de aplicaciones, que generalmente son procesos de calentamiento, y que depende del tipo de sales que se utilizan.

La elección del sistema de almacenamiento ideal depende de las necesidades, el tipo de tecnología utilizada y la ubicación de la planta. En el caso de las sales fundidas, la clave está en la capacidad que tienen sales como el nitrato de sodio o potasio para retener el calor a altas temperaturas. Cuando se calienta por encima de los 240°C, las sales se funden y se vuelven líquidas, pudiendo alcanzar una temperatura máxima dependiendo de la técnica que se realice. Las temperaturas de almacenamiento oscilan entre los 280 °C y los 400 °C, para instalaciones de sumidero, y equivalentes o por encima de 550 °C, para instalaciones en torre, como se muestra en la Figura 1.1. [8]

Su funcionamiento es sencillo, grandes espejos parabólicos enfocan la luz emitida por el sol hacia la torre colectora central. Las sales se funden, en estado sólido, en la torre colectora, y luego se transportan al fondo de la torre, donde se almacenan en estado líquido.

Para el proceso de producción, estas sales pasan por un intercambiador de calor y generan vapor para alimentar las turbinas que accionan los generadores y de esta forma alimentan el sistema. [7]



**Figura1.1.** Sistema de Almacenamiento mediante sales fundidas. [7]

#### **1.4.1.2 Almacenamiento Mecánico**

El almacenamiento mecánico es un tipo de tecnología que basa su funcionamiento en la conversión de la energía cinética y potencial en energía eléctrica.

##### **1.4.1.2.1 Centrales de bombeo hidráulico**

Consiste en la instalación de dos embalses de agua a diferente posición potencial, su operación se produce en la caída de agua del embalse superior hacia el embalse inferior pasando a través de turbinas que generan la energía eléctrica, la misma energía eléctrica producida, sirve para activar la bomba hidráulica que sirve para bombear agua al embalse superior, y repetir el proceso, como se puede apreciar en la Figura 1.2. [9]

#### **Ventajas**

- Se puede utilizar la energía almacenada en el embalse superior, según sea el requerimiento del sistema, por cual pueden llegar a ser consideradas como centrales de respaldo.
- El sistema de bombeo de agua del embalse inferior hacia el embalse superior, se lo puede realizar en el lapso de tiempo, donde exista menor demanda de consumo de energía eléctrica.

- Posee una gran capacidad de almacenamiento de energía.
- Bajos costos en la operación y mantenimiento, además de una gran vida útil.

### Desventajas

- Elevados costos de inversión para el diseño y construcción, de este tipo de centrales.
- Se requiere un relieve adecuado y una gran superficie de instalación, de este tipo de central.
- Se encuentra limitado por las condiciones ambientales, debido a las inundaciones, evaporización y filtraciones de agua.

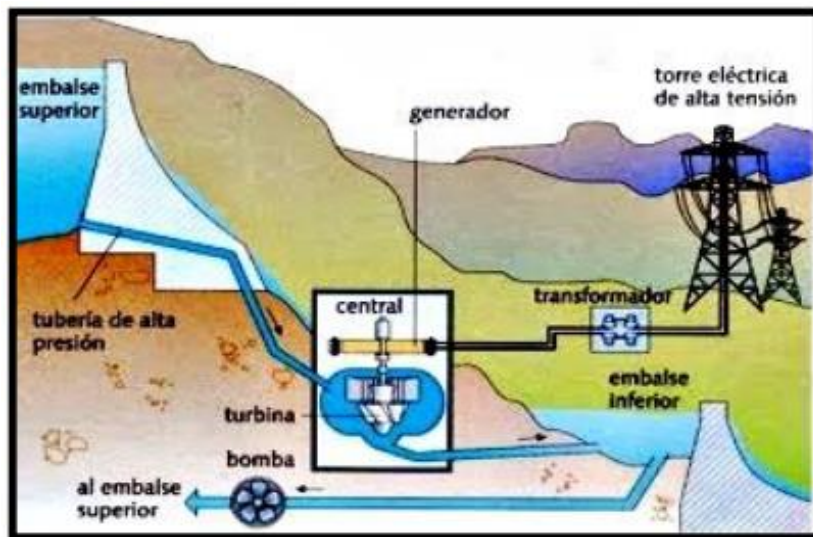


Figura 1.2. Componentes de una central de bombeo.[10]

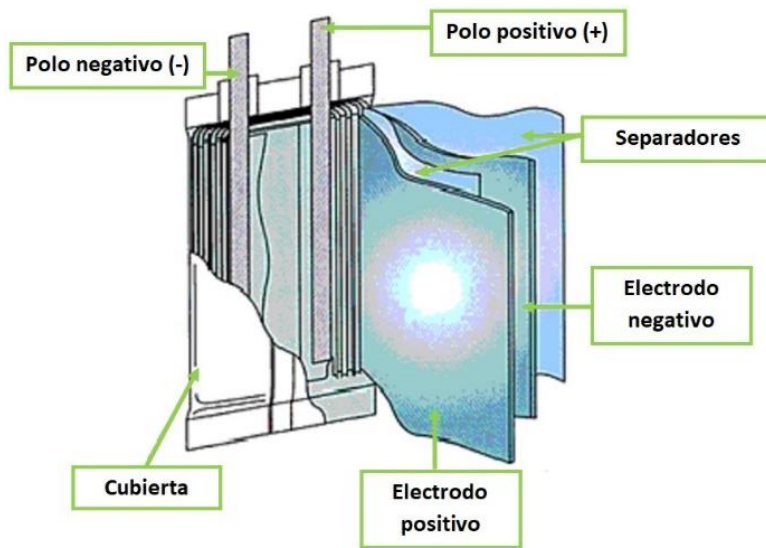
### 1.4.1.3 Almacenamiento por baterías

El almacenamiento de energía en baterías es de forma química, es decir la batería se carga mediante energía eléctrica, dicha energía se almacena en forma química y al descargarse, devuelve energía eléctrica, cabe mencionar que la energía de carga es mayor que la de descarga y que el proceso de carga y descarga, denominado ciclo, tiene un número limitado de veces que se puede producir, ya que superada este número de veces, la batería pierde sus características iniciales, y el almacenamiento de energía en la batería será menor. [7]



La unidad de la batería es la celda, la cual está compuesta por dos electrodos, un electrodo positivo o cátodo, un electrodo negativo o ánodo, separadores, electrolito, y la cubierta que encierra a los componentes mencionados, como se puede observar en la Figura 1.3. La función que forman los componentes de la celda es una reacción química denominada “redox”, que es el intercambio de electrones entre las sustancias químicas, lo que genera un flujo de electrones, y esto a su vez corriente eléctrica. [11]

En el Anexo I, se presenta las características técnicas y el diagrama de una celda [12].



**Figura 1.3.** Componentes de una celda. [11]

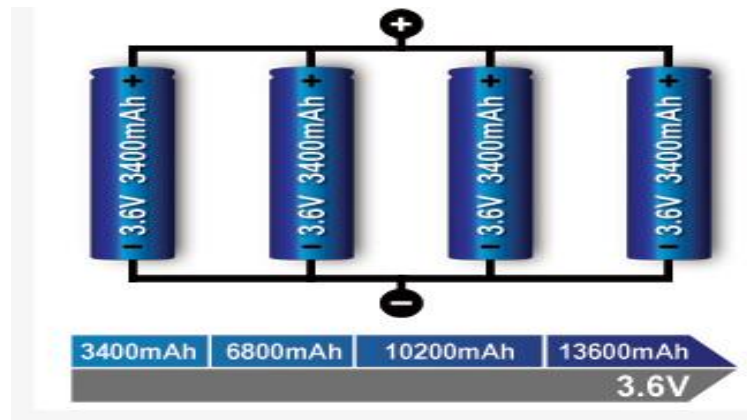
La batería está compuesta por celdas ubicadas una a continuación de otra, y se encuentran organizadas en:

- **Configuración serie:** En la Figura 1.4., se puede observar la configuración utilizada, para aumentar el nivel de voltaje. [13]



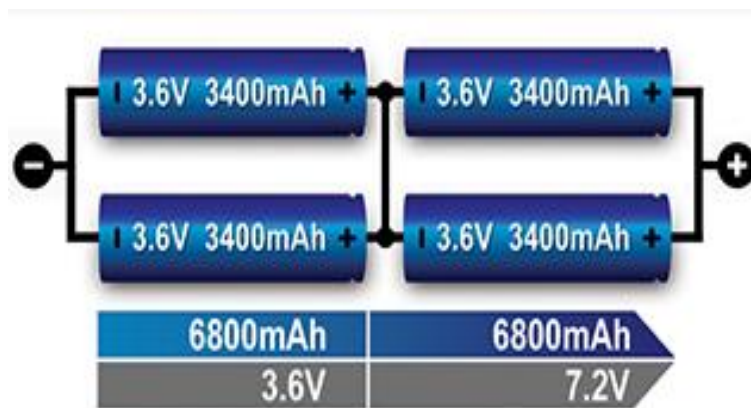
**Figura 1.4.** Conexión serie de 4 celdas (4s). [13]

- **Configuración paralelo:** En la Figura 1.5., se puede observar la configuración utilizada para aumentar la capacidad de corriente.[13]



**Figura 1.5.** Conexión en paralelo de 4 celdas (4p). [13]

En la Figura 1.6., se puede observar, la combinación de los dos tipos de configuraciones anteriores, la configuración serie-paralelo.[13]



**Figura 1.6.** Conexión serie-paralelo de 4 celdas (2s2p). [13]

Las distintas formas de distribuir las celdas, para obtener el voltaje y capacidad de corriente deseada, se define al momento de diseñar las baterías, según el requerimiento necesario.[13]

#### 1.4.1.3.1 Tipos de baterías

En la actualidad existe una gran variedad de baterías, algunas se encuentran en etapa experimental, mientras que otras ya han alcanzado una madurez dentro del mercado

comercial, en la Tabla 1.1, se enumeran los tipos de baterías, la capacidad, la aplicación y las características técnicas.

**Tabla 1.1.** Tipos de baterías, características técnicas y aplicaciones [14]

| Tipo de batería                    | Capacidad     | Ubicación y Aplicación  | Características  |
|------------------------------------|---------------|---|--|
| Plomo Ácido (Tipo Inundado)        | 10MW/40MWh    | Nivelación de carga California-chino  | $\eta=72\%-78\%$   |
|                                    |               |   | costo: 50-150 euro/kWh   |
|                                    |               |   | vida útil: 1 000-2 000 ciclos con el 70%, de descarga.   |
|                                    |               |   | temperatura de funcionamiento: 5-40 °C, 25Wh/kg  |
|                                    |               |   | Autodescarga: 2%-5%/mes.   |
|                                    |               |   | Se debe realizar un mantenimiento frecuente por la pérdida de agua.                            |
| Plomo Ácido (Regulado por Válvula) | 300kW/580kWh  | Nivelación de carga Mil Wake, Wisconsin   | $\eta=72\%-78\%$   |
|                                    |               |   | costo: 50-150 euro/kWh.  |
|                                    |               |   | vida útil: 200-300 ciclos con el 80%, de descarga.   |
|                                    |               |   | temperatura de funcionamiento: 5-40 °C, 30-50Wh/kg   |
|                                    |               |   | Autodescarga: 2%-5%/mes.   |
|                                    |               |   | Equipo menos robusto, poco mantenimiento, móvil, más seguro en comparación del tipo inundado.  |
| Níquel Cadmio (Ni Cd)              | 27MW/6,75MWh  | Compensación del Var de la fuente de alimentación del GVEA de control de Alaska | $\eta=72\%-78\%$   |
|                                    |               |   | costo: 200-600 euro/kWh.   |
|                                    |               |   | vida útil: 3 000 ciclos con el 100% de descarga.   |
|                                    |               |   | temperatura de funcionamiento: 40-50 °C, 45-80Wh/kg.   |
|                                    |               |   | Autodescarga: 5%-20%/mes.  |
|                                    |               |   | Alta tasa de descarga, mantenimiento insignificante, las celdas Ni Cd son venenosas y pesadas. |
| Azufre Sódico (Na S)               | 9,6 MW/64 MWh | Nivelación de carga en Tokio, Japón   | $\eta=89\%$ .  |
|                                    |               |   | vida útil: 2 500 ciclos con el 100% de descarga.   |
|                                    |               |   | temperatura de funcionamiento: 325 °C, 100Wh/kg  |
|                                    |               |   | Debe calentarse en modo de espera, esto reduce el rendimiento de la batería.                   |
| Iones de litio                     |               |   | $\eta=100\%$   |
|                                    |               |   | costo: 700-1000 euro/kWh   |

|                               |                                |                           |  |
|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------|--|
|                               |                                |                           | <b>vida útil:</b> 3 000 ciclos con el 80% de descarga.<br><b>temperatura de funcionamiento:</b> -30 - 60 °C, 90-190Wh/kg.<br><b>Autodescarga:</b> 1%/mes.<br>Alto costo debido al empaque especial y protección interna contra sobrecargas.                                    |
| <b>Redox de Vanadio (VRB)</b> | 1,5MW/1,5MWh                   | Caída de voltaje en Japón | <b><math>\eta</math></b> =85%.<br><b>costo:</b> 360-1 000 euro/kWh.<br><b>vida útil:</b> 10 000 ciclos con el 75% de descarga.<br><b>temperatura de funcionamiento:</b> 0 - 40 °C, 30-50Wh/kg.<br><b>Autodescarga:</b> < 1%.   |
| <b>Bromo de zinc</b>          | 1 MW/4MWh                      | EPC DE KYUSHU             | <b><math>\eta</math></b> =75%.<br><b>costo:</b> 360-1 000 euro/kWh.<br><b>vida útil:</b> 3 000 ciclos con el 80% de descarga.<br><b>temperatura de funcionamiento:</b> 0- 40°C, 70Wh/kg.<br><b>Autodescarga:</b> < 1%.<br>Baja potencia, componentes voluminosos y peligrosos. |
| <b>Aire Metálico</b>          |                                |                           | <b><math>\eta</math></b> =50%.<br><b>costo:</b> 50-200 euro/kWh.<br><b>vida útil:</b> 100 ciclos.<br><b>temperatura de funcionamiento:</b> -20- 50°C, 450-650Wh/kg.<br><b>Autodescarga:</b> < 1%.<br>La recarga es muy difícil e ineficiente, compacta.                        |
| <b>PSB</b>                    | 15 MW/120MWh (bajo desarrollo) | ESTACIÓN DE BARFORD UK    | <b><math>\eta</math></b> =75%.<br><b>costo:</b> 360-1 000 euro/kWh.<br><b>temperatura de funcionamiento:</b> 0- 40°C.<br><b>Autodescarga:</b> < 1%.  |

#### 1.4.2 IMPORTANCIA DEL ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA

La energía que producen las fuentes primarias como: la energía solar, eólica, mareomotriz, entre otras, son de comportamiento aleatorio es decir, existen periodos con alta recepción de energía y otros periodos con una baja recepción de energía, y debido a que las fuentes

renovables de energía están conectadas a redes eléctricas o microrredes de electricidad, se ha optado a que se busque innovación en el proceso de almacenamiento de energía que se receipta en exceso, y de esta forma volver a utilizarla cuando sea necesario, y las condiciones del sistema eléctrico lo acepten [15].

Dentro de los principales beneficios que ofrece los sistemas de almacenamiento de energía tenemos:

- La capacidad de reserva de energía eléctrica es mayor en comparación con los combustibles fósiles.
- Las redes de transmisión y distribución se las puede estabilizar, y se ofrece un mejor performance.
- Optimiza el uso de la energía de las centrales de generación.
- Las energías renovables son económicamente más viables.
- Se puede realizar un arbitraje de energía.
- Se disminuye la creación de nuevas centrales de generación.
- Estabiliza el nivel voltaje.
- Realiza un soporte a las fuentes de energía eólica y solar, reduciendo su aleatoriedad, mejorando así la calidad de energía, y optimizando los problemas de alta demanda eléctrica [15].

### **1.4.3 SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA A NIVEL MUNDIAL**

Debido a los beneficios que nos ofrecen los sistemas BESS, y a la madurez tecnológica que tiene, ha sido una de las opciones de instalación en varios países, según las estadísticas de CNESA (China Energy Storage Alliance), mediante la Figura 1.7., podemos observar que el almacenamiento de agua por bombeo hidráulico representa 171,03 GW, que equivale al 92,6%, de todos los sistemas de almacenamiento que se encuentran en funcionamiento en la actualidad, del restante 7,4%, el 89%, que equivale a 8,5GW, corresponde al almacenamiento de energía con baterías de Ion-Litio[16].

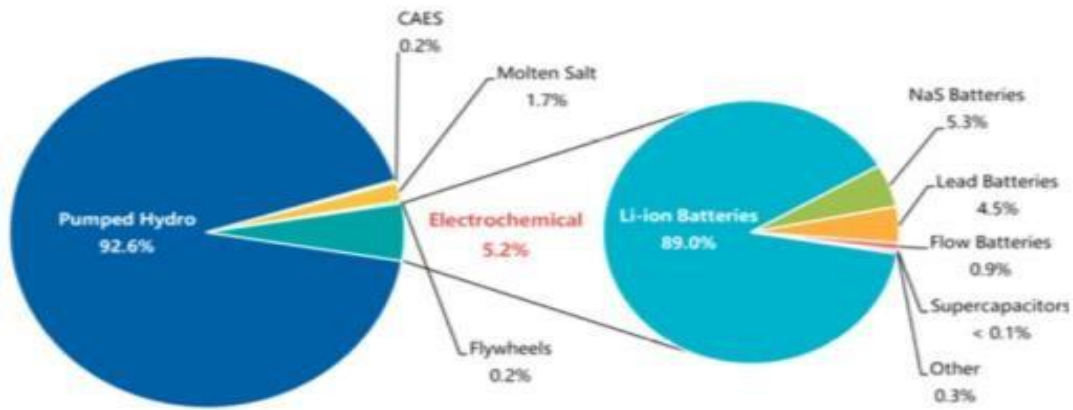


Figura 1.7. Capacidad mundial de los sistemas de almacenamiento [16]

Según los estudios predictivos del BNEF (Finanzas de Nueva Energía de Bloomberg), en el año 2040, existirá una demanda energética de alrededor de 4 584 GWh, correspondiente a los sectores de transporte eléctrico y almacenamiento estacionario, lo que impulsará al incremento de los sistemas BESS, en la Figura 1.8., se puede observar el crecimiento de los sistemas de almacenamiento, y la capacidad de GW, que ocuparía cada país. [16].

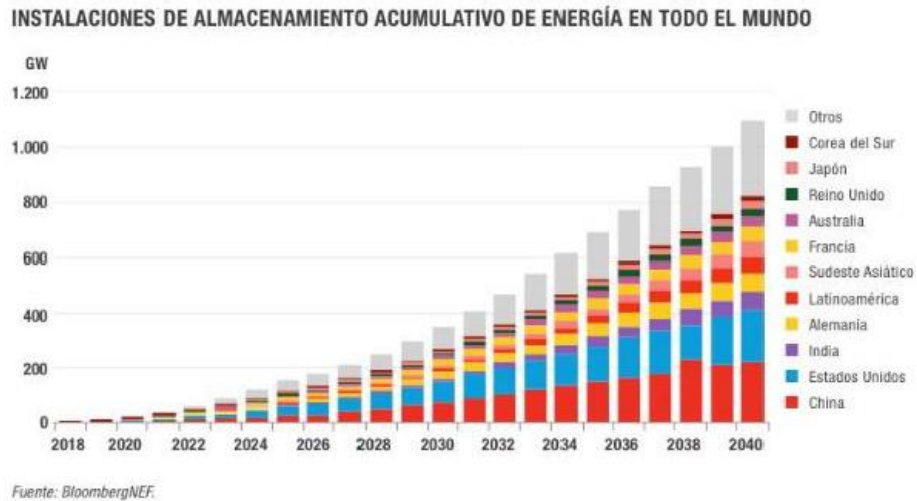


Figura 1.8. Análisis predictivo del incremento de sistemas de almacenamiento [16]

## 2 METODOLOGÍA

El desarrollo del presente TIC (Trabajo de Integración Curricular), es de carácter investigativo, con el cual se plantea los diferentes beneficios técnicos de los sistemas BESS, para ser incorporados al sistema nacional interconectado.

### 2.1 BENEFICIOS TÉCNICOS DE LOS SISTEMAS BESS

En la actualidad los sistemas eléctricos tradicionales son ineficientes, en comparación de los sistemas eléctricos que cuentan con sistemas BESS, debido a que existen pérdidas significativas de energía, debido a que existe una desconexión entre la cantidad de energía que requieren los usuarios finales y la cantidad de energía, producida por las centrales de generación.

Los sistemas BESS, poseen varios beneficios técnicos-económicos, como se pueden visualizar en Figura 2.1., que se van a describir más adelante, los cuales ayudan a tener una mayor flexibilidad en la operación de los sistemas eléctricos de potencia[17].

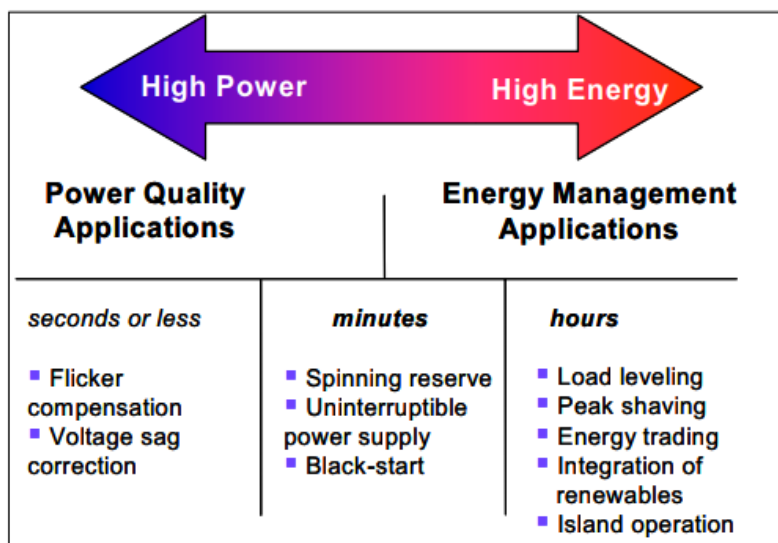


Figura 2.1. Aplicaciones de los sistemas BESS [18]

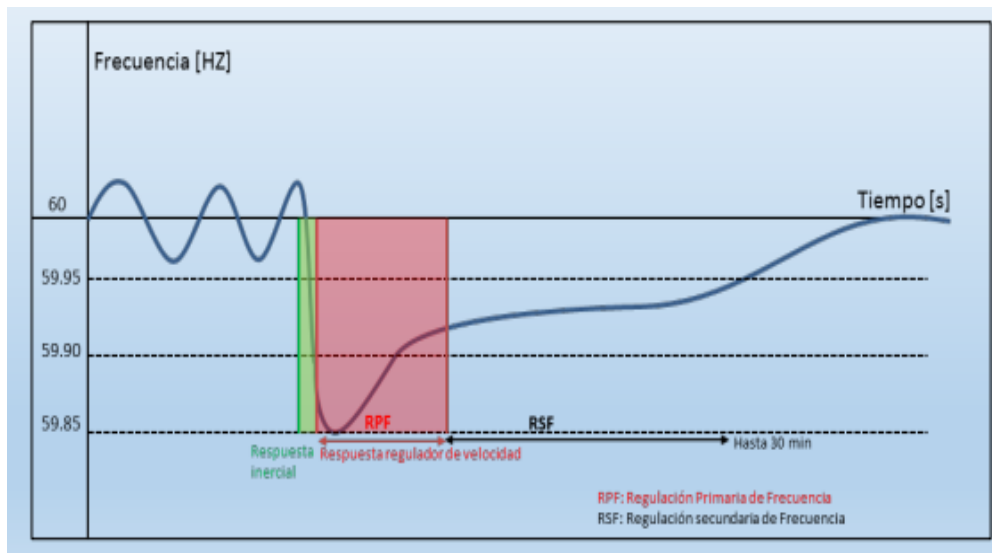
#### 2.1.1 REGULACIÓN DE FRECUENCIA

La frecuencia es el número de veces por unidad de tiempo, en la que la onda de tensión viaja a través de los sistemas eléctricos de potencia, razón por la cual, la frecuencia debe permanecer bajo niveles referenciales, para que el suministro de energía eléctrica sea

aceptable. En Ecuador el nivel referencial es de 60 Hz, según lo establece la resolución ARCERNN 004/20, en la que menciona: “La frecuencia nominal de operación del SIN es 60 Hz. La máxima desviación permisible del valor nominal de frecuencia se definirá en los estudios que corresponda efectuar al CENACE conforme se establezcan en los procedimientos de aplicación o en regulaciones complementarias” [19].

Cuando se producen desbalances entre la demanda y la generación, existen variaciones de frecuencia, lo que puede desencadenar en un inadecuado funcionamiento de los aparatos eléctricos que se encuentren conectados al sistema eléctrico.

En la Figura 2.2., se puede observar las variaciones de frecuencia que puede presentar un sistema eléctrico de potencia.



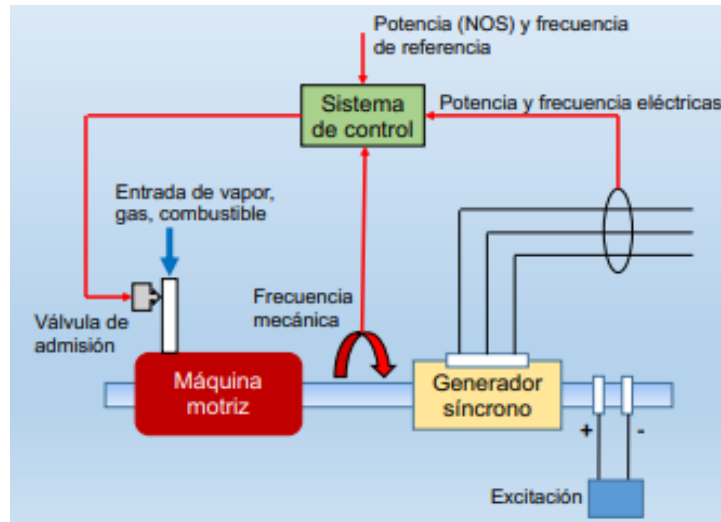
**Figura 2.2.** Tipos de regulación de frecuencia [20]

### 2.1.1.1 Regulación primaria de frecuencia (RPF)

Se define como, la energía que reserva un determinado grupo de generadores (reserva rodante), cuyo objetivo es estabilizar la variabilidad de la demanda de la red, en un lapso de tiempo de (0 a 10 segundos), el proceso de regulación de frecuencia primaria, se lo realiza mediante los reguladores de velocidad aplicados en los generadores que inyectan potencia[9].

En la Figura 2.3., se puede observar la operación de la RPF, en donde el control actúa en la válvula de admisión de combustible, la que permite regular el paso de combustible y por ende la potencia mecánica otorgada al generador sincrónico[20].





**Figura 2.3.** Regulación primaria de frecuencia[20]

Dentro de un BESS, se puede realizar una RPF, inyectando o absorbiendo potencia activa, acorde a las necesidades del sistema. Un ejemplo de operación para RPF, es el BESS de Cochrane, en Chile, el cual, en su diseño, presenta un esquema de doble banda muerta, como se muestra en la figura 2.4, donde la primera banda muerta externa determina el momento en que el sistema necesita absorber o inyectar potencia, mientras que la segunda banda muerta, analiza y fija el proceso de finalización de absorber o inyectar potencia[21].

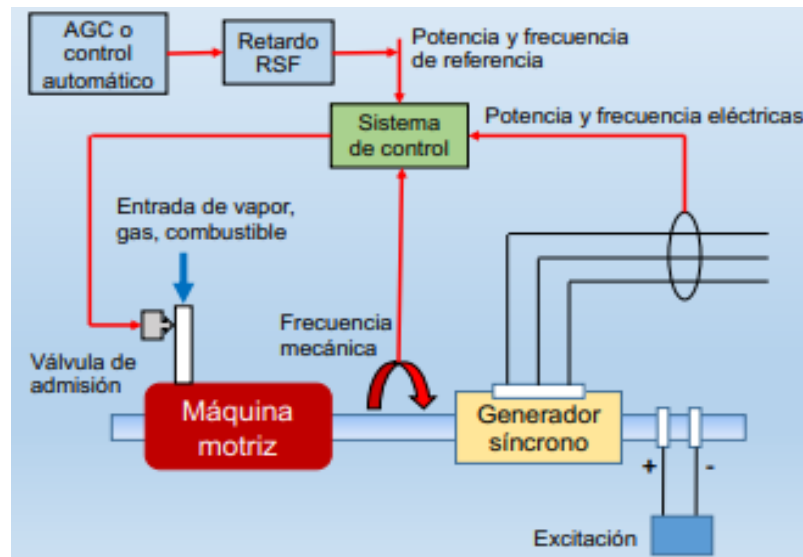


**Figura 2.4.** Rango de operación del BESS[21]

### 2.1.1.2 Regulación secundaria de frecuencia (RSF)

Es necesario realizar un RSF, cuando la demanda presenta variaciones sostenidas, durante un lapso de tiempo que puede llegar a ser unos pocos minutos y se puede extender a horas de duración, por lo tanto se necesita que se incremente o se disminuya la potencia al sistema, con el objetivo de alcanzar la frecuencia nominal, esta operación requiere un tiempo que va de los 30 segundos hasta los 30 min[9].

En la figura 2.5, se puede observar la operación de la RSF, donde la operación se produce a través del AGC (Control automático)[20].



**Figura 2.5.** Regulación secundaria de frecuencia[20]

### 2.1.1.3 Regulación terciaria de frecuencia (RTF)

Es necesario realizar un RTF, cuando un RFS, no es capaz de estabilizar la frecuencia a un estado nominal, este requerimiento es solventado mediante los generadores, en condición de ingreso o salida de un generador[9].

Los BESS, poseen una respuesta rápida ante regulaciones de frecuencia, en especial ante RPF, debido a que necesita el menor tiempo posible de respuesta, y la capacidad de potencia es relativamente alta, que podría llegar a descargar en su totalidad a las baterías en 15 min. Cabe mencionar que los BESS, también se pueden utilizar para RSF y RTF, pero el tiempo de operación no es un tema exigente en este tipo de regulaciones de frecuencia[22].

Dentro de los países que poseen un BESS, para regulación de frecuencia tenemos:

- Glassenbury - Reino Unido: posee un BESS, con una capacidad de 40 MW, conformado por 3640 celdas, marca LG.
- Corea del Sur - Ulsan: con una capacidad de 32 MW y 12 MWh, baterías de níquel-manganeso-cobalto (NCM), marca Samsung[22].

### 2.1.2 CONTROL DE VOLTAJE

En un determinado punto del SNI, existe un voltaje referencial establecido en las subestaciones, al cual todos los equipos conectados en ese punto deben funcionar, pero en varias ocasiones el voltaje se ve afectado por la potencia reactiva que insertan diferentes dispositivos del SNI[9].

En la actualidad, existen diferentes equipos que realizan esta compensación de potencia reactiva, como son los generadores sincrónicos tradicionales, los aerogeneradores estáticos de reactivos (SVC), capacitores, reactores, compensadores sincrónicos entre otros, en la figura 2.6, se puede apreciar cómo se realiza el control de voltaje[20].

Los BESS, prestan soporte ante cualquier variabilidad de voltaje, cabe mencionar que el BESS, debe ubicarse en el punto donde se presenta las variaciones de voltaje para dar el soporte necesario.

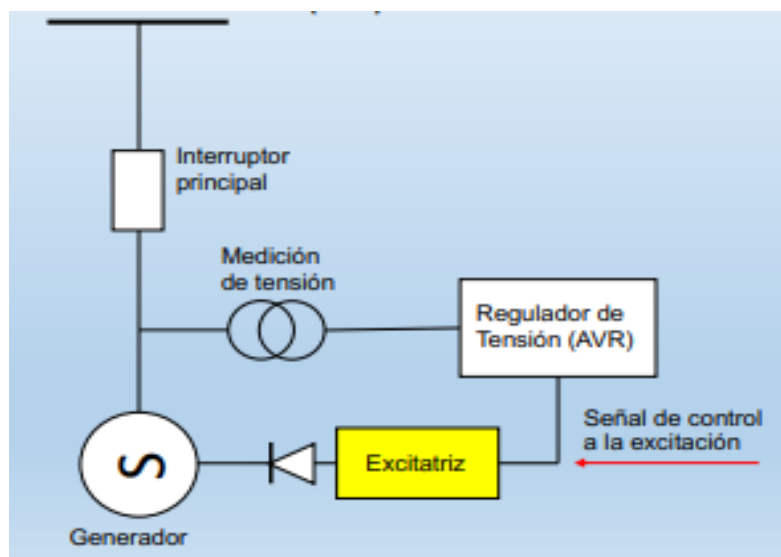


Figura 2.6. Control de Voltaje[20]

### 2.1.3 BLACK START O ARRANQUE AUTÓNOMO

Es la cualidad que tienen determinados generadores, para arrancar autónomamente, después de haber permanecido apagado. Generalmente las plantas de energía eléctrica, poseen fuentes auxiliares que son el soporte para permitir dar el arranque a los distintos dispositivos que conforman una central de generación[9].

Los BESS, sirven de soporte para poder poner en marcha cualquier tipo de central de generación en un periodo de tiempo corto en comparación, a lo que se demoraría una central de generación tradicional.

#### **2.1.4 ARBITRAJE DE ENERGÍA**

Es una de las principales aplicaciones de los BESS, y consiste en almacenar energía durante los periodos de baja demanda que por lo general es en horas de la madrugada, y descargar la energía almacenada durante periodos donde exista demanda máxima de energía[23].

Como ejemplo de aplicación de los BESS, tenemos:

- Bedfordshire, es un BESS de 6MW-10MWh, permite tener una reserva de energía para equilibrar los servicios de red de Reino Unido.
- Southern California Edison, es un BESS de 20MW, que está diseñado para aportar con 80MWh en un lapso de tiempo de 4 horas, este sistema permite tener una reserva de energía, para solventar la demanda en horas picos, en especial cuando llega el verano, y los edificios tienden a encender los aires acondicionados[23].

#### **2.1.5 DESCONGESTIÓN DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN**

Existen lapsos de tiempo, en el que se produce la demanda máxima, es ahí que el flujo de potencia supera la capacidad de diseño de las líneas de distribución o transmisión, lo que genera una congestión en la red[23].

Los BESS, son utilizados para solventar estos problemas, ya que se colocan en lugares de congestión, formando "líneas eléctricas virtuales"[23].

Como ejemplo tenemos la aplicación de un sistema BESS, con la capacidad de 35 MW, en Terna-Italia, para la descongestión de una línea de transmisión de 150 kV[23].

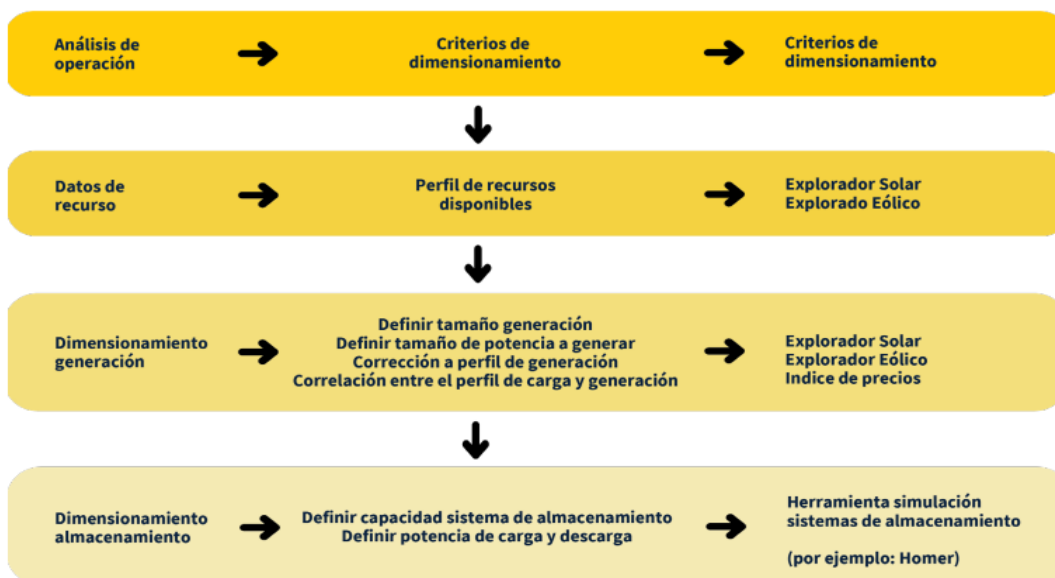
## 2.1.6 COMPLEMENTO A ENERGÍAS RENOVABLES

Las energías renovables no convencionales (ERNC), dentro de la entrega de generación de energía, no son uniformes, debido a que la materia prima como por ejemplo (sol y el viento), no son constantes todo el tiempo, razón por la cual, produce un conflicto de integración de estas energías al sistema interconectado.

Los BESS, son una solución viable y aplicable a esta problemática, ya que pueden almacenar energía cuando hay exceso, y se podría despachar esta energía cuando exista una demanda máxima, optimizando así el uso de energía y el trading por parte de los operadores de las centrales[23].

## 2.2 DIMENSIONAMIENTO DEL BESS

Para poder diseñar y dimensionar un BESS, se debe considerar cuales van a ser las funciones del equipo, como arbitraje de energía, descongestión de líneas de transmisión o distribución, entre otros beneficios técnicos que hemos visto anteriormente. Teniendo las funciones definidas, se procede a realizar un análisis económico-técnico general. En la Figura 2.7., se puede visualizar los pasos para el dimensionamiento de un BESS. [24]



**Figura 2.7.** Pasos a considerar para el dimensionamiento de un BESS[24]

Para realizar el análisis del dimensionamiento a mayor profundidad de los BESS, debemos conocer en primera instancia los componentes y el funcionamiento, que se presentan a continuación.

## 2.2.1 COMPONENTES DE LOS SISTEMAS BESS

Los sistemas BESS dependerá en que uso y el área en los cuales se los va a utilizar para brindar toda la potencia y energía requerida. Los equipos que se deriva dependen de muchos parámetros una de ellas son las condiciones ambientales, tecnológicas y nivel de voltaje, todo este elemento permite ayudar a su almacenamiento, entrega de energía para usos que se les va dar. Entre los componentes del BESS, podemos evidenciarlos en la Figura 2.8.,[25].

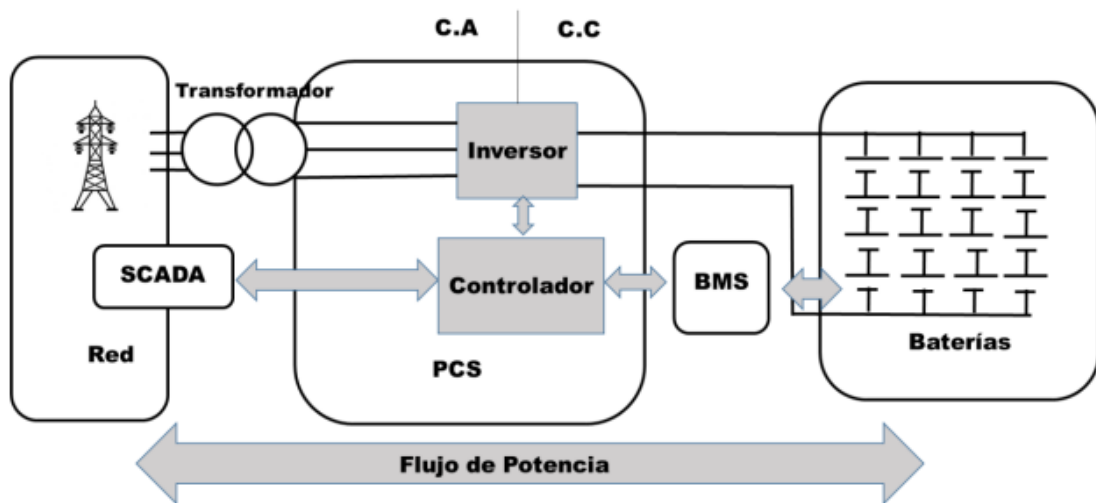


Figura 2.8. BESS con sus componentes[25]

### 2.2.1.1 Baterías:

Dentro del funcionamiento del sistema BESS, es el componente más costoso de inversión. Estas baterías están compuestas por celdas conectadas en serio y paralelo que permite la creación de un módulo de tensión. Para la conexión de dicha batería dependerá del nivel de tensión que es requerida en donde sus valores de voltaje en DC esta entre valores de 400 [V] Y 1200 [V]. para el valor máximo de tensión dependerá de la tecnología la cual se va a utilizar [25].

Para la cantidad de energía de las baterías depende de la tecnología y cantidad de almacenamiento que se va a trabajar, las baterías al ser lineales, trabajan con altas corrientes de descarga, su capacidad es baja y es necesario más celdas para el abastecimiento de la potencia de descarga[25].

En el Anexo II, se presenta el modelo de una batería, a partir de la unión de celdas [12].

### **2.2.1.2 Conversor:**

Un conversor realiza el proceso de convertir el voltaje DC en AC, debido a que las baterías son conectadas al sistema interconectado, ya que la demanda es en corriente alterna. Su funcionamiento se basa por medio de válvulas que están conformado por semiconductores como son IGBT's o IGCT's [25].

Hoy en día en el mercado los inversores se encuentra distintos tipos como son de onda sinusoidal modificada, es decir, a su salida del inversor da como resultado una salida cuadrada, con este tipo de onda la salida pasa de cero voltios en un tiempo previo antes del cambio de positivo o negativo. Para un inversor de onda sinodal pura la salida es casi perfecta en un porcentaje inferior del 3 %, que es ideal para la utilización en la red eléctrica y son lo más comunes, considerando su complejidad de diseño [25].

### **2.2.1.3 Sistema de Gestión de baterías (BMS)**

El sistema está conformado por dos componentes que son el hardware y el software para el control de carga y descarga, dando una mejor operación, confiabilidad y seguridad al sistema. Haciendo un control de nivel de corriente y tensión. Al tener un sistema de gestión de baterías (BMS), permite aumentar la vida útil, la eficacia y seguridad de trabajo, además da información precisa de la evaluación del estado de la batería para la administración energética, por esta razón, este sistema cuenta con dos componentes importantes que son el monitoreo y control, los cuales no debe ser separados durante la operación [25].

En el Anexo III, se presenta la composición interna de un sistema BMS [12].

### **2.2.1.4 Controlador**

El controlador es el componente principal en las BESS, ya que permite el buen funcionamiento del mismo. Además de encargarse en diferentes funciones como es la comunicación con la BESS, actuando inmediatamente si un factor de operación está fuera del valor permitido, por ejemplo, en la activación del sistema de control de temperatura se deberá activar los interruptores y los sistemas de protección, para impedir daños en los equipos. También, en las válvulas de inversores mandan señales modulares lo que permite un control de ingreso de potencia activa y reactiva suministrada [25].

Además, el controlador fue diseñado para la implementación de un sistema de comunicación que permita la interacción con el usuario, para ayudar a controlar las potencias suministradas de forma manual y automático [25].

#### **2.2.1.5 Sistema de protección**

Este sistema es fundamental para la protección de equipos, en el caso de presentarse fallas lo cual el BESS, será protegido por sobretensiones o sobre corriente en las líneas o barras dependiendo la ubicación que se encuentre. Para la seguridad el sistema posee diferentes equipos como son relés de protección, transformadores de tensión y corriente. Con los equipos mencionados, al cumplir su funcionamiento de protección, permite medir variables de corriente y tensión respectivamente, además de los ángulos en las barras para posterior accionamiento de interruptores y fusibles, comúnmente los interruptores se encuentran en el inversor tanto en el lado AC Y DC [25].

#### **2.2.1.6 Transformador**

Para un sistema BESS, siempre se tomará en cuenta un transformador que cumple con la funcionalidad de elevar la tensión que parte del inversor, por lo general pequeñas tensiones que lleva a medias tensiones un ejemplo de voltajes de transformadores en Chile se tiene de 6.6 [kV]; 6.6/23[kV]. El transformador dependerá de su potencia nominal la cual se requiere, por esta razón no se requiere un transformador de alta potencia al menos de que la BESS, requiera una potencia alta [25].

#### **2.2.1.7 Sistema de seguridad**

Los sistemas de seguridad tienen diferentes funciones en cada área especificada, un BESS permite que el sistema HVAC, mantenga la temperatura y la humedad a un nivel control estable por medios de equipos como el aire acondicionado y calefacción, como se puede evidenciar en la Figura 2.9. [26].



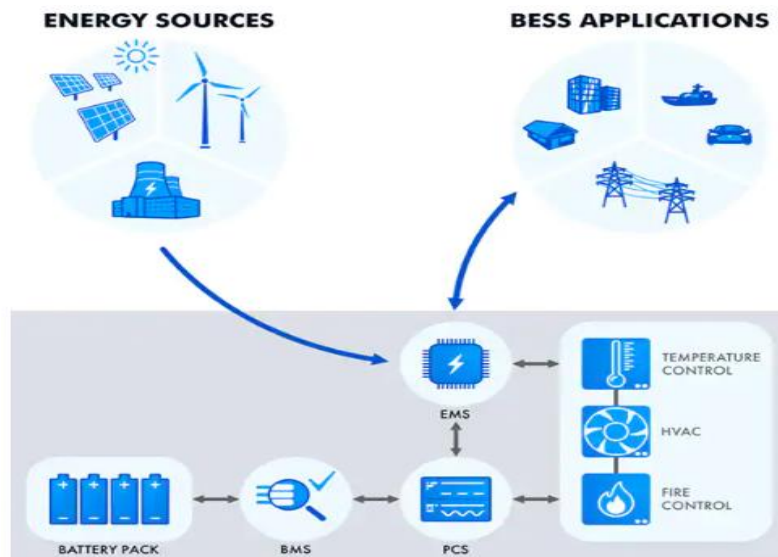


Figura 2.9. Estructura típica del BESS [26]

### 2.2.2 OPERACIÓN DE UN BESS

Para un BESS, la conexión de energía a las baterías, se lo realiza por medio de un convertidor, para el cambio de energía del sistema a la red eléctrica se realiza un ajuste de control en los parámetros del convertidor electrónico. El sistema BESS son magnitudes electromagnéticas por tener parámetros y variables, como se puede apreciar en la tabla 2.1. Permite la utilización de forma directa de las fórmulas matemáticas con los parámetros y variables para el despacho de energía [27].

Tabla 2.1. Parámetros y variables de un sistema BESS. [27]

| Tipo                     | Unidad | Carga  | Descarga                                |
|--------------------------|--------|--|---|
| Parámetros operacionales | MW     | Potencia de carga mínima $p_{min}^c$               | Potencia de descarga mínima $p_{min}^d$ |
|                          | MW     | Potencia de carga máxima $p_{max}^c$               | Potencia de descarga máxima $p_{max}^d$ |
|                          | %      | Eficiencia de carga $\eta_c$                       | Eficiencia de descarga $\eta_d$         |
|                          | MWh    | Capacidad máxima de energía en batería $SOC_{max}$ |   |
|                          | MWh    | Capacidad mínima de energía $SOC_{min}$            |   |
|                          | %      | Tasa de auto descarga $\xi$                        |   |
| Variables                | MW     | Carga de Energía $p_c^e$                           | Descarga de energía $p_d^e$             |
|                          | MWh    | Estado de carga $SOC_t$                            |   |

El espacio de almacenamiento está limitado por parámetros que conlleva el BESS, lo cual representa por un estado de carga  $SOC_t$ , lo cual está limitado por un mínimo y máximo como se aprecia en la ecuación (1.1) [27].

$$SOC_{min} \leq SOC_t \leq SOC_{max} \quad (1.1)$$

La ecuación (1.2), se aprecia las variables de carga que esta limitada por las potencias máximas y mínimas respectivamente [27].

$$P^c_{min} \leq P^c_t \leq P^c_{max} \quad (1.2)$$

La variable de descarga de energía  $P^d_t$ , están limitados por las potencias de descarga respectivamente como se aprecia en la ecuación (1.3) [27].

$$P^d_{min} \leq P^d_t \leq P^d_{max} \quad (1.3)$$

El almacenamiento de energía al encontrarse en dos intervalos de tiempo se debe estabilizar considerando la carga o descarga en el sistema, considerando su eficiencia como se aprecia en la ecuación (1.4) [27].

$$SOC_t = SOC_{t-1} + (P^c_t * n_c - \frac{P^c_t}{n_c})\Delta_t \quad (1.4)$$

El BESS se considera los bajos costos de operación que ayuda a la demanda en cada hora del sistema. La fórmula matemática permite identificar los parámetros de operación de los BESS, además ayuda a diferentes parámetros económico, esta fórmula se muestran en ecuación (1.5) [27].

$$\min_{P_{g,t}, Ens} \left( \sum_{g,t} a_g P_{g,t}^2 + b_g P_{g,t} + c_g + \sum_t C_{Ens} x_{Ens_t} \right) \quad (1.5)$$

La ecuación 1.5., presentada representa los costos mínimos para la determinación de modelo de operación, cuando la demanda es baja o alta por descarga interviene la carga. Considerando que la energía no entrega y sea nula, para ello se tomara una penalización en el suministro de energía.

Restricciones técnicas y de operación se aprecia en ecuación (1.6) [27].

$$\begin{aligned}
P_g^{min} &\leq P_{g,t} \leq P_g^{max} \\
P_{g,t} - P_{g,t-1} &\leq RU_g \\
P_{g,t-1} - P_{g,t} &\leq RD_g \\
SOC_t &= SOC_{t-1} + \left( P_{Ct} n_c - \frac{Pd_t}{n_d} \right) \Delta_t \\
P_c^{min} &\leq P_c^t \leq P_c^{max} \\
P^d_{min} &\leq P^d_t \leq P^d_{max} \\
SOC_{min} &\leq SOC_t \leq SOC_{max} \\
Ens_t + \sum_g P_{g,t} + P^d_t &\geq L_t + P_c^t \\
SOC_1 &= 0.2 * SOC_{max} \\
Pd_1 &= 0 \\
Pc_1 &= 0
\end{aligned} \tag{1.6}$$

En la ecuación (1.6) se aprecia las limitaciones de las potencias, además limita en diferentes campos uno de ellos es la entrega de potencia en generadores, delimitando la rampa de subida/bajada y carga entre otras [27].

### Índices

- $g \in G$ : Unidad de generación
- $t \in T$ : Lazo Tiempo

### Parámetros

- $C_{Ens}$  Costos de energía no suministrada
- $L_t$  Demanda del sistema en el tiempo
- $a_g, b_g, c_g$  Coeficiente de costos de producción (g)
- $P_g^{max/min}$  Límite de potencia Max/min (g)
- $\frac{RU_g}{RD_g}$  Límite de rampa de subida/bajada (g)
- $SOC_{max/min}$  Capacidad de almacenamiento en máx./min

- $P_{min/max}^c$  Capacidad de almacenamiento para tomar de la red máx./min
- $P_{min/max}^c$  Capacidad de almacenamiento para entregar de la red máx./min
- $n_c$  Rendimiento de tomar energía a la red
- $n_d$  Rendimiento de entrega a la red

*Variables:*

- $P_{g,t}$  Energía entregada
- $SOC_t$  Energía almacenada
- $Ens_t$  Energía no suministrada
- $P_t^c$  Potencia de los vehículos que toma a la red
- $Pd_t$  Potencia de vehículos que entrega a la red.

### 2.2.3 METODOLOGÍA PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LOS BESS

Para el dimensionamiento óptimo del BESS se debe cumplir ciertos parámetros prácticos para un mejoramiento en el sistema, los cuales son:

- **Capacidad energética:** Es la máxima cantidad de acumulación de energía y se mide en unidades (kWh).
- **Tiempo de almacenamiento:** es el tiempo de duración que el banco pueda descargar la potencia nominal previo a terminar la capacidad de energía. Como ejemplo al tener un batería de 2 kW de capacidad y de capacidad energética 5kWh, tiene la capacidad de duración de 4 horas de almacenamiento.
- **Vida Útil:** Es el tiempo de vida o ciclo de almacenamiento, de la batería que pueda suministra carga y descarga ante una falla.
- **Carga y descarga:** Es la relación de carga y descarga de energía con respecto a la batería dependiendo del caso. La eficacia de la BESS estima la operación del convertidor y además considera perdidas sea eléctricas y auto descargas.

- **Energía real:** Es la energía que entrega para el almacenamiento, además considera los convertidores la gravedad de descarga y su eficacia del banco de baterías.
- **Periodo de vida real de la energía:** Es la totalidad de energía que entrega los bancos de batería en su periodo de vida. Para determinar se basa en la gravedad de descarga, la energía nominal y el periodo de ciclos que proporciona las especificaciones técnicas.

$$E_{vida} = 2 * E_{bat}^{final} * DOD * Ciclos \quad (1.7)$$

- **Vida útil real:** Es el tiempo de duración que el banco de baterías que entrega la energía hasta que la considere no apropiada para la terminación inicial. Se expresa en años y está controlado en la operación del sistema. Por lo tanto, se considera un tiempo practico de vida útil en cual se basa acorde a la tecnología de la misma a trabajar.

$$Vida\ til = \frac{E_{vida}}{\Delta E_{año\ 1}} [años] \quad (1.8)$$

Además si se utiliza una correcta localización el valor aumentaría entre 4 % a 7.5%, para el dimensionamiento lo cual dependerá del costo de energía [28].

Para el dimensionamiento dependerá de diferentes parámetros, como son los técnicos-económicos y se debe tomar un orden de secuencia para tener una localización óptima, a más detalle evidenciamos en la Figura 2.10., lo cual muestra el proceso que optimización del BESS [28].

Con las potencias y energías posibles de pares  $\{P_{nom}^k, E_{nom}^k\}_{k=1}^M$ , las variables P y E, son potencias y capacidad nominal respectivamente, lo cual estos parámetros dependerán de la cantidad de demanda que se requiera en la descarga de baterías. Esta demanda considera las variables como son la profundidad de descarga y la eficiencia de la batería [28].

A realizar el proceso de descarga se evalúa el precio de RD y el BESS. Esta evaluación depender de varios parámetros que se deberá considerar como es el valor unitario el pago por potencia y el incremento anual, esta evaluación es requerida por parte del sistema BESS [28].

En el Anexo IV, podemos encontrar, los Datos Técnicos de un BESS[12].

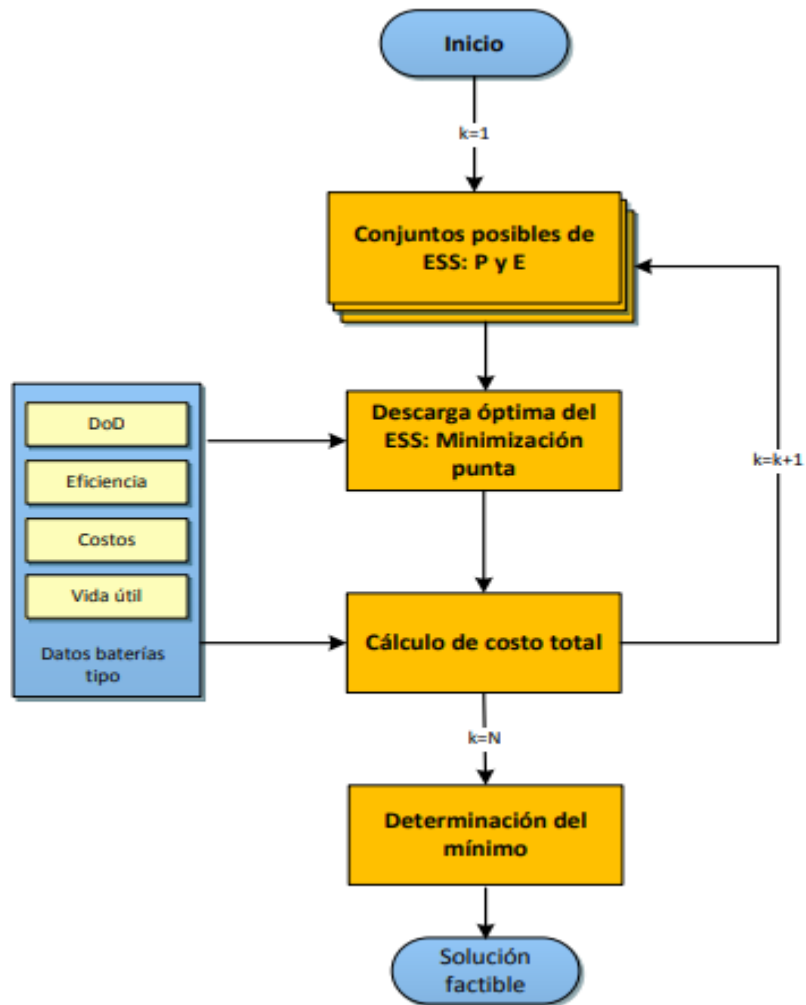


Figura 2.10. Diagrama de bloques para el dimensionamiento óptimo del BESS [28]

## 2.3 UBICACIÓN DE LOS BESS DENTRO DEL SNI

Las BESS depende de la ubicación adecuada para una mejor adaptación y mejoramiento del sistema eléctrico interconectado, en la Figura 2.11., se observa un sistema de energía eléctrica donde los BESS, se ubican, en lugares estratégicos para una mejor reducción de costos y eficiencia del sistema. [18]

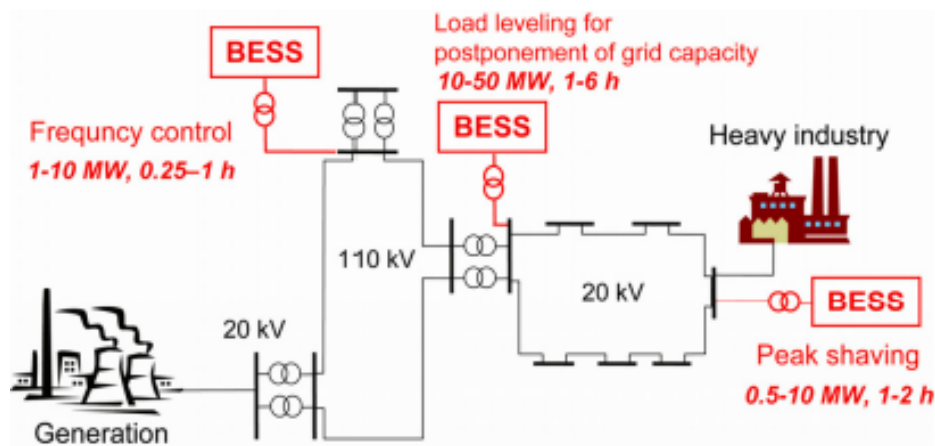


Figura 2.11. Implementación del sistema BESS en sistema eléctrico[18]

### 2.3.1 UBICACIÓN DE UN BESS PARA REALIZAR DESCONGESTIONAMIENTO DE UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN O DISTRIBUCIÓN.

Al tener un crecimiento de demanda, existe la necesidad de una nueva implementación o reforzamiento en la instalación de las líneas de transmisión o distribución, ya que con este crecimiento se llega a sobrepasar la capacidad de las líneas existentes, lo cual obliga a tomar medidas de fortalecimiento del sistema. Estas medidas no compensan una rentabilidad para el sistema, por ciertos factores limitantes, uno de ellos es el ambiental y el económico. Para ello la nivelación de carga con un BESS ayuda a mejorar la capacidad de la transmisión y distribución, es por ello que la ubicación del BESS, dentro del SNI, sería junto al barraje que presente esta congestión, y el proceso de carga y descarga sería como se mencionó en el ítem 2.1.4, arbitraje de energía. [18]

### 2.3.2 UBICACIÓN DE UN BESS PARA REALIZAR REGULACIÓN PRIMARIA DE FRECUENCIA.

Una de las ubicaciones de los BESS, que permite una gran eficiencia para el SNI se sitúa en el área de generadores, ya que permite el control de potencia y por ende la regulación de frecuencia primaria, generalmente los generadores funcionan linealmente y por debajo de su capacidad de diseño, debido a que deben reservar energía para eventos no predecibles, es decir por la salida inesperada de un generador, hoy en día, el control de

energía se suministra a partir de generadores térmicos o hidroeléctricos que se encuentran en sincronía y pueden generar un respaldo de energía rápidamente. Los BESS poseen componentes únicos y estáticos, por esta razón su tiempo de respuesta es muy rápido, y su resultado son en pocos milisegundos teniendo un retraso de 16 a 30, segundos en los generadores. [18]

### **2.3.3 UBICACIÓN DE UN BESS PARA REALIZAR ALIVIO DE CARGA DEL USUARIO FINAL.**

La ubicación para este caso del BESS, se produce en usuarios finales especiales, es decir, que consumen una cantidad relevante de energía eléctrica, como por ejemplo las industrias, por esta razón las líneas de transmisión y distribución, deben diseñarse acorde a la demanda máxima del usuario industrial, lo que económicamente no es viable, ya que esta demanda máxima, se produce en lapsos cortos de tiempo, y estos costos de consumo de energía en demanda máxima, se trasladan en forma de pago al cliente, por esta razón, los usuarios industriales, preferían recurrir a generadores de diésel, cuando se produce la demanda máxima con el fin de reducir costos. Pero en la actualidad, una alternativa viable es la instalación de sistemas BESS, en las cercanías de las cargas especiales y el proceso de carga y descarga sería como se mencionó en el ítem 2.1.4, arbitraje de energía. [18]

## **2.4 EVALUACIÓN DE LOS BESS OPERADORES EN SISTEMAS ELÉCTRICOS INTERCONECTADOS Y AISLADOS**

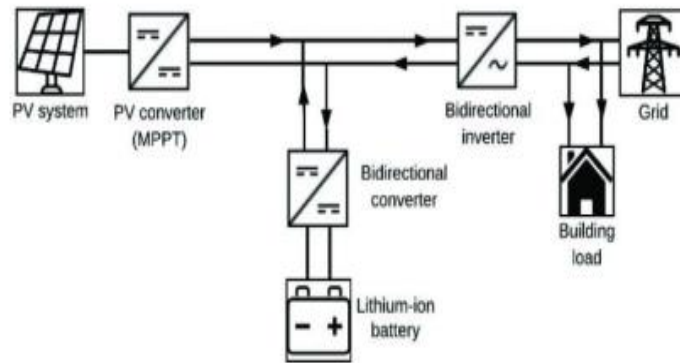
Dependiendo de la clase de instalación o aplicación a la que se dirija, los BESS, pueden operar en sistemas interconectados o aislados.

La diferencia radica en que:

En un sistema interconectado, se comercializa a la red, la energía que se almacena en los BESS, se podría mencionar que estos sistemas realizan la función de una central eléctrica, por un determinado lapso de tiempo[29], además los BESS en sistemas interconectados, tienen la habilidad de estabilizar de forma eficiente el intercambio de flujo de energía que se produce en el bus CD, (la energía consumida o proporcionada al sistema interconectado, la energía consumida por el usuario final, y la energía obtenida de las



fuentes renovable no convencionales)[30], como se muestra en la figura ,además que estos sistemas no producen emisiones contaminantes al ambiente[29].



**Figura 2.12.** Sistema interconectado, con un sistema fotovoltaico y con un BESS[30]

En un sistema aislado, la energía que se genere a través de fuentes de energía renovable, como son la energía fotovoltaica o eólica, es utilizada para el autoconsumo del sector donde fue instalada, es decir, en el caso de la energía fotovoltaica, solo se puede almacenar energía durante el día, en los BESS, y durante la noche, se realizaría el consumo de la energía almacenada[29], y en el caso de que no abastezca la energía almacenada en el día, se activarían generadores convencionales de emergencia.[31]

Para poder realizar una correcta evaluación técnica de los BESS en sistemas aislados e interconectados, se debe realizar un control de operación y evaluación técnica, en diferentes periodos de tiempo, que se mencionan a continuación:

**Tabla 2.2.** Inspección Diaria

| ítem           | Operación          | Criterio  | Lugar   | Nivel                   | Herramientas |                                       |
|----------------|--------------------|---|---|-------------------------|--------------|---------------------------------------|
| <b>Entorno</b> | <b>Temperatura</b> | Equipo de medida de temperatura ubicado en la instalación de la batería | Tem ambiente:<br>23+-5°C<br>Tem máx.-<br>min:<br><3°C | Sitio o sala de control | 1            | Dispositivo de medida de temperatura. |
|                | <b>Humedad</b>     | Sensor humedad instalado en el  | Humedad:<br>0- 85%                                    | Sitio o sala            | 1            | Sensor de humedad                     |

|  |  |  |                           |                         |   |              |
|--|--|--|---------------------------|-------------------------|---|--------------|
|  |  | lugar de instalación de la batería                     |                           | de control              |   |              |
| <b>Registro de información de la batería</b>   |  | Revise la fecha anterior de información de la batería. | De ser menor contacte SDI | Sitio o sala de control | 1 | Registro EMS |
| <b>Inspección visual</b>                       |  | Revise la sala de batería.                             | Ninguna anomalía          | En sitio                | 1 | -            |
| <b>Rutina de calibre SOC basado en voltaje</b> |  | Pause el sistema de batería 5min.                      | Ningún criterio           | Sitio o sala de control | 1 | EMS          |

**Tabla 2.3.** Inspección Mensual

| ítem                     |                    | Operación  | Criterio            | Lugar    | Nivel | Herramientas          |
|--------------------------|--------------------|--|---------------------|----------|-------|-----------------------|
| <b>Entorno</b>           | <b>Temperatura</b> | Medida de tem ambiente con otro equipo y compare resultado (sensor de temperatura) | Delta de tem: 3degC | En sitio | 1     | Sensor de temperatura |
|                          | <b>Humedad</b>     | Medida de tem ambiente con otro equipo y compare resultado (sensor de humedad)     | Delta Hum: <5%      | En sitio | 1     | Sensor de humedad     |
| <b>Inspección visual</b> |                    | Inspección visual del sistema de batería.  | No hay inspecciones | En sitio | 1     | -                     |

|   |                                       |                 |                            |   |            |
|---|---------------------------------------|-----------------|----------------------------|---|------------|
| <b>Calibración SOC</b>                      | Pause del sistema de batería 10min.   | Ningún criterio | En sitio o sala de control | 1 | EMS        |
| <b>Precisión de energía auxiliar de 24V</b> | Compruebe la energía auxiliar de 24V. | 24V +- 5%       | En sitio                   | 1 | Voltímetro |

**Tabla 2.4.** Mantenimiento Regular (de 6 a 12 meses)

| ítem   |                        | Operación  | Criterio                             | Lugar                   | Nivel | Herramientas            |
|--|------------------------|--|--------------------------------------|-------------------------|-------|-------------------------|
| <b>Entorno</b>                               | <b>Temperatura</b>     | Compruebe el calibre y el sensor de Tem.                         |                                      | En sitio                | 2     | Medida de temperatura.  |
|  | <b>Humedad</b>         | Compruebe el calibre y el sensor de Hum.                         |                                      | En sitio                | 2     | Sensor de humedad       |
| <b>Registro de información de la batería</b> |                        | Información de batería de 1año registrado (EMS).                 | Menos de 5% de cambio                | En sitio                | 2     | Registro EMS            |
| <b>Inspección visual</b>                     |                        | Revise sala de batería (existente tipo de humo, olor a químico.) | Ninguna anormalidad                  | En sitio                | 2     | -                       |
| <b>Ciclo de Baterías</b>                     | <b>Calibración SOH</b> | Cargue el sistema de batería al                                  | Ningún criterio<br>Delta<br>$A < 3A$ | Sitio o sala de control | 2     | EMS Pinza Amperimétrica |

|                             |   |  |  |                            |   |     |
|-----------------------------|---|--|--|----------------------------|---|-----|
|                             |   | 100% método carga Max 1C   |  |                            |   |     |
|                             | <b>Auto balanceo</b>                        | Deje que el sistema de batería 1 día con energía Aux24V.                         |  | Sitio o sala de control    | 2 | EMS |
| <b>Operación de batería</b> | <b>Uniformidad de voltaje y temperatura</b> | Durante el tiempo de descanso, lea el V, T de todas las celdas en cada bastidor. | Delta Celda V<20mV<br>Delta Celda 3degCT | En sitio o sala de control | 2 | EMS |

En el Anexo V, se puede encontrar de manera más detallada la operación y evaluación técnica de un BESS[12].

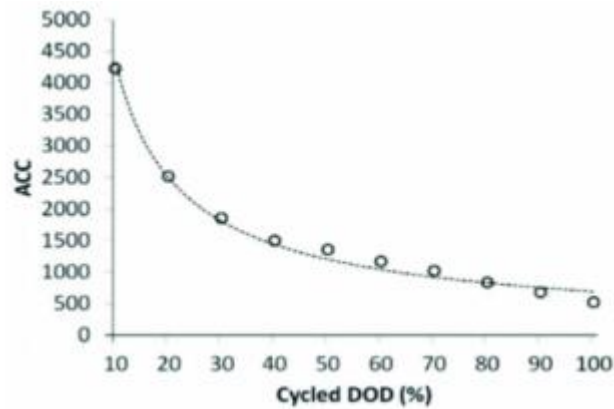
## 2.5 RECICLAJE DE BATERÍAS EN UN SISTEMA BESS

El componente principal de un BESS, son las baterías, razón por la cual la vida útil de las mismas, depende de ciertos factores que se mencionan a continuación:

- Temperatura de operación
- Profundidad de descarga (DoD)
- Forma de carga (SoC)
- El tamaño del banco de baterías

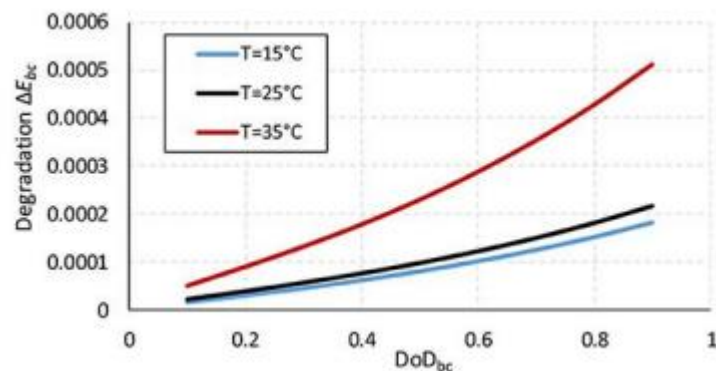
La temperatura es un punto crucial, para definir la vida útil de la batería, razón por la cual se debe poseer un equipo que disipe o regule la temperatura[32]. Los ciclos nominales de las baterías, tienen su referencia a los 25 °C[24].

La profundidad de descarga, es un factor que se debe considerar ya que al superar el límite de profundidad de descarga a la que está diseñada la batería afecta directamente los ciclos de vida[32], en la Figura 2.13., se puede apreciar el número de ciclos de vida a partir de la profundidad de descarga.



**Figura 2.13.** Porcentaje de Ciclos de vida, en función de la Profundidad de descarga [32]

Y si se combina una elevada temperatura de operación y un límite elevado de profundidad de descarga se puede deteriorar de manera más temprana la batería, como se muestra en la Figura 2.14.[32].



**Figura 2.14.** Vida útil de la batería en relación del DoD con diferentes rangos de temperatura[32]

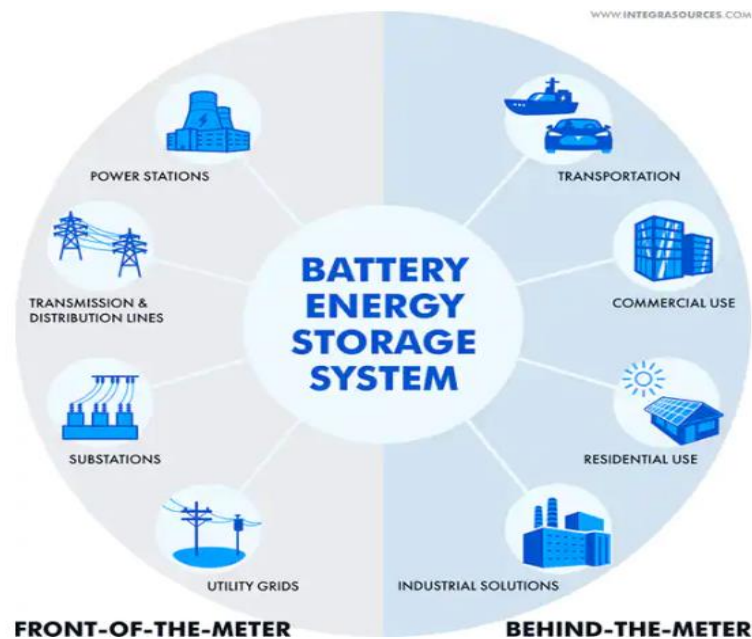
En la Tabla 2.5, se puede observar un análisis comparativo de la vida útil de tres tipos diferentes de baterías.

**Tabla 2.5.** análisis comparativo de la vida útil de baterías [24]

| Parámetros              | Baterías plomo – Ácido  | Baterías níquel-cadmio   | Baterías ión -litio  |
|-------------------------|---|--|--|
| Vida útil en ciclos     | 500 a 2.000   | 1.500 a 3.000 (ciclos completos)                                       | 1.000 a 5.000 (ciclos completos)                                   |
| Vida útil calendario    | 5 a 15 años (dependiendo de la temperatura y del estado de la carga). | 12 a 20 años (dependiendo de la temperatura y del estado de la carga). | 5 a 20 años (dependiendo de la temperatura y del estado de carga). |
| Profundidad de descarga | 70 %  | 80%  | Cercano al 100%  |
| Autodescarga            | 3 – 5% por mes  | 20% por mes  | 3 – 5% por mes   |

### 2.5.1 CONSUMO INTELIGENTE DE ENERGÍA

Cuentan con unidades propias de monitoreo; la cual proporciona ideas para que el BESS funcione de una manera óptima para sus parámetros.



**Figura 2.15.** Usos de los BESS [33]

También podemos decir que mediante la implementación de baterías, se hace uso de algoritmos de aprendizaje para poder de una u otra manera ahorrar energía, y para tener alta precisión es necesario tener un algoritmo muy confiable y algunos modelos matemáticos construidos dentro del software del BMS.[33]

## **2.5.2 IMPLEMENTACIÓN DE NUEVOS BANCOS DE BATERÍAS PARA NUEVAS APLICACIONES, COMO ALTERNATIVA DE RECICLAJE.**

En las baterías BESS, se implementó una idea que al cumplir la vida útil se logre construir baterías para vehículos eléctricos tomando en cuenta que estos modelos ya son utilizados en países como Japón, Corea del Sur, Noruega, Suecia, Bélgica, Alemania, Canadá, Estados Unidos, China y Australia. Un banco de baterías es funcional un 50% y se puede utilizar en la implementación de nuevos bancos o también para otras aplicaciones, mientras que el restante va a extracción y producción de metal crítico para dar uso de nuevas baterías. [34]

Puede ofrecer mayor facilidad de uso y seguridad, los algoritmos BMS permitirá a los usuarios mejorar un rendimiento de la batería y así prolongar su vida útil. BESS puede garantizar estabilidad de las redes eléctricas o de un sistema de energía mediante la regulación de la tensión y la frecuencia, un sistema de almacenamiento de energía en baterías se convierte en una solución eficaz para equilibrar la red.[35]

## 3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 3.1 CONCLUSIONES


- Para el dimensionamiento de un BESS, es importante realizar un análisis, de las aplicaciones para las cuales va a ser utilizado el sistema, para de esta forma optimizar las cualidades del BESS, y aprovechar al máximo su funcionamiento.
- La ubicación del BESS, es un tema clave, debido a que, dependiendo del problema a resolver, se realiza la ubicación del BESS, y como se pudo apreciar en los capítulos anteriores, pueden estar ubicados cerca de la carga, cerca de una central de generación o junto al barraje del SNI.
- Como se pudo apreciar, los BESS, poseen múltiples aplicaciones dentro de un sistema aislado o interconectado, razón por la cual, es viable su implementación dentro del sistema nacional interconectado, que ayudaría a solventar varias inconsistencias.
- Una vez que se realice el dimensionamiento y se haya conseguido la ubicación del BESS, es importante recalcar, que se debe realizar una evaluación técnica, diaria, mensual y regular de los sistemas, para evidenciar como se esta acoplado al sitio y lugar donde fue instalado y de esta forma también poder controlar su funcionamiento.
- El deterioro de las baterías, en algún punto de su operación se va a producir, razón por la cual es importante destacar algunos puntos para conservar de mejor manera la batería, y como se pudo apreciar el punto clave, es el control de la temperatura, y no llevarla al límite en los procesos de descarga, que como se pudo apreciar eso reduce la vida útil.



## 3.2 RECOMENDACIONES

- Es importante considerar que tipo de baterías se va a utilizar en el BESS, ya que como se pudo apreciar, cada tipo de batería, posee cualidades diferentes.
- Se debe seguir al pie de la letra los parámetros a considerar para poder realizar una adecuada evaluación técnica, ya que de ello depende el buen funcionamiento y vida útil de las baterías.
- Es importante mencionar que, para el diseño de un BESS, es clave analizar el aspecto económico, ya que la inversión para un BESS, es de gran magnitud.

## 4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] W. Dunder, «Exploring Energy Storage Technology and Regulation», *Great Plains Institute*, 25 de enero de 2016. <https://betterenergy.org/blog/exploring-energy-storage-technology-regulation/> (accedido 19 de julio de 2022).
- [2] «Exploring Energy Storage Technology and Regulation», *Great Plains Institute*, 25 de enero de 2016. <https://betterenergy.org/blog/exploring-energy-storage-technology-regulation/> (accedido 25 de febrero de 2022).
- [3] «Tecnologías». <https://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/alumno15/bess/tecnologia.html> (accedido 7 de marzo de 2022).
- [4] «Battery Energy Storage System (BESS) modelado y validación | Estudios Eléctricos». <https://www.estudios-electricos.com/casos/battery-energy-storage-system-bess-modelado-y-validacion/> (accedido 7 de marzo de 2022).
- [5] M. T. Lawder *et al.*, «Battery Energy Storage System (BESS) and Battery Management System (BMS) for Grid-Scale Applications», *Proc. IEEE*, vol. 102, n.º 6, pp. 1014-1030, jun. 2014, doi: 10.1109/JPROC.2014.2317451.
- [6] F. J. Neila y A. García-Santos, «Clasificación y selección de materiales de cambio de fase según sus características en sistemas de almacenamiento de energía térmica». marzo de 2012.
- [7] L. Morales, «Análisis de la implementación de sistemas de almacenamiento de energía en el sistema eléctrico mexicano.», UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, México, 2020.
- [8] «Almacenamiento de energía en sales fundidas», *La Energía del cambio*, 7 de abril de 2015. <http://www.laenergíadelcambio.com/almacenamiento-de-energia-en-sales-fundidas/> (accedido 20 de julio de 2022).
- [9] Y. V. Rivera, «|ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA EN COLOMBIA», p. 60.
- [10] <https://sites.google.com/site/electricidadrociovv3b/6-generacion-de-electricidad/e-centrales-hidraulicas-o-hidroelectricas?tmpl=%2Fsystem%2Fapp%2Ftemplates%2Fprint%2F&showPrintDialog=1> (Accedido 24 de agosto de 2022).
- [11] « Tipos de Baterías, cómo se clasifican y propiedades 【2022】 », 23 de septiembre de 2018. <https://www.generatuluz.com/tu-propia-instalacion-aislada/tipos-de-baterias-y-sus-caracteristicas/> (accedido 27 de julio de 2022).
- [12] S. SIEMENS S.A., «SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGIA EN LA BATERÍAS/BATERÍA ESS- HOJA DE DATOS». 25 de mayo de 2016.

- [13] «BU-302: Configuraciones de Baterías en Serie y Paralelo», *Battery University*, 17 de agosto de 2017. <https://batteryuniversity.com/article/bu-302-configuraciones-de-baterias-en-serie-y-paralelo> (accedido 27 de julio de 2022).
- [14] Ostergaard Jacob, «Battery energy storage technology for power systems-An overview». Lyngby 2800, Denmark.
- [15] Mirez Jorge, «SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGIA», pp. 1-5, nov. 2012.
- [16] «Sistema de Almacenamiento de Energía por Batería (BESS)», *Amper Ecuador*. <https://amper-ecuador.com/papers/sistema-de-almacenamiento-de-energia-por-bateria-bess/> (accedido 29 de julio de 2022).
- [17] «Los beneficios de incorporar la tecnología BESS al sistema de transmisión». <https://www.revistaei.cl/2022/08/05/los-beneficios-de-incorporar-la-tecnologia-bess-al-sistema-de-transmision/> (accedido 24 de agosto de 2022).
- [18] A. Oudalov, D. Chartouni, C. Ohler, y G. Linhofer, «Value Analysis of Battery Energy Storage Applications in Power Systems», en *2006 IEEE PES Power Systems Conference and Exposition*, oct. 2006, pp. 2206-2211. doi: 10.1109/PSCE.2006.296284.
- [19] VARIOS, «REGULACION Nro. ARCERNNR 004/20». 20 de noviembre de 2020.
- [20] CECACIER, «La importancia de un mercado de servicios complementarios en un sistema con alta inserción de energía renovable.» [En línea]. Disponible en: <https://www.cecacier.org/wp-content/uploads/2020/09/La-importancia-de-un-mercado-de-servicios-complementarios-en-un-sistema-con-alta-inserci%C3%B3n-de-energ%C3%ADa-renovable.pdf>
- [21] «Battery Energy Storage System (BESS) modelado y validación | Estudios Eléctricos». <https://www.estudios-electricos.com/casos/battery-energy-storage-system-bess-modelado-y-validacion/> (accedido 24 de agosto de 2022).
- [22] J. C. V. Alonso del Valle y D. A. Manuela Gonzales, «Sistemas de almacenamiento masivo de energía con baterías (BESS): Estado actual y tendencias de futuro», Accedido: 24 de agosto de 2022. [En línea]. Disponible en: [https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/56930/Proof\\_SAAEI\\_19.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/56930/Proof_SAAEI_19.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [23] Cristóbal Andrés Lagos Alarcón, «DIMENSIONAMIENTO Y UBICACION DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO POR BATERIAS EN EL SISTEMA MEDIANO AYSÉN», UNIVERSIDAD DE CHILE, SANTIAGO DE CHILE, 2021.
- [24] J. Fuster J. Astudillo y J. Hernández y otros, «SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO CON ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EN CHILE». NAMA, GIZ, diciembre de 2020. [En línea]. Disponible en:

- [https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/sistemas-de-almacenamiento\\_web.pdf](https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/sistemas-de-almacenamiento_web.pdf)
- [25] D. E. PARADA PINO, «APLICACIONES TÉCNICAS Y ECONÓMICAS DE SISTEMAS BESS EN PARQUES EÓLICOS Y FOTOVOLTAICOS EN EL SISTEMA ELÉCTRICO CHILENO», UNIVERSIDAD DE CHILE, SANTIAGO DE CHILE, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/152522/Aplicaciones-t%C3%A9cnicas-y-econ%C3%B3micas-de-sistemas-BESS-en-parques-e%C3%B3licos-y-fotovoltaicos-en-el-sistema-el%C3%A9ctrico-chileno.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [26] «BESS: Una solución para gestionar la energía de forma proactiva», *Digi-Key Electronics*. <https://www.digikey.com.mx/es/articles/bess-a-solution-to-manage-energy-proactively> (accedido 26 de agosto de 2022).
- [27] Medina Catay Fidel Maik, «SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA EN BATERÍA (BESS) Y SU INFLUENCIA EN LA DEMANDA ELÉCTRICA DIARIA DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN SE0062 (HUANCAYO)», Universidad Nacional del Centro del Perú, Perú, 2021. [En línea]. Disponible en: [https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/7604/T010\\_70758672\\_T\(1\).pdf?sequence=1](https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/7604/T010_70758672_T(1).pdf?sequence=1)
- [28] B. Mac-Clure Brintrup, «Dimensionamiento y localización óptima de sistemas de almacenamiento de energía en redes de distribución», 2014, Accedido: 25 de agosto de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/116130>
- [29] «Proof\_SAAEI\_19.pdf». Accedido: 25 de agosto de 2022. [En línea]. Disponible en: [https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/56930/Proof\\_SAAEI\\_19.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/56930/Proof_SAAEI_19.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [30] C. A. A. Gómez, «Sistemas de almacenamiento de energía eléctrica aplicadas en generación con fuentes renovables», p. 97.
- [31] «UPS - TTS111.pdf». Accedido: 28 de agosto de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19171/1/UPS%20-%20TTS111.pdf>
- [32] A. Bautista Vásquez, J. Mina, y R. Lozoya Ponce, «REVISIÓN DE FACTORES PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA BASADOS EN BATERÍAS PARA FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA», jul. 2022.
- [33] B. Alberto, «¿Qué es un BESS? Sistema de almacenamiento de energía por batería», *islaBit*, 17 de diciembre de 2021. <https://www.islabit.com/155898/que-es-un-bess-sistema-almacenamiento-energia-bateria.html> (accedido 26 de agosto de 2022).

- [34] «Vida útil, segunda vida y reciclaje de baterías – MOVE». <https://movelatam.org/portfolio-item/vida-util-segunda-vida-y-reciclaje-de-baterias/> (accedido 25 de agosto de 2022).
- [35] «BESS: Una solución para gestionar la energía de forma proactiva», *Digi-Key Electronics*. <https://www.digikey.com.mx/es/articles/bess-a-solution-to-manage-energy-proactively> (accedido 26 de agosto de 2022).

## **5 ANEXOS**

ANEXO I. Características técnicas y el diagrama de una celda

ANEXO II. Modelo de una batería, a partir de la unión de celdas

ANEXO III. Composición interna de un sistema BMS

ANEXO IV. Datos técnicos de un BESS

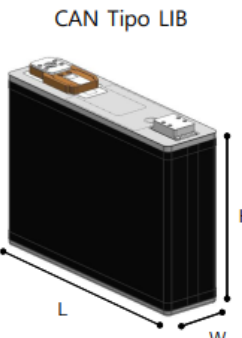
ANEXO V. Datos referenciales de la operación y evaluación técnica de un BESS (evaluación diaria, mensual y regular).

# ANEXO I

## Especificación general - Celda de la batería

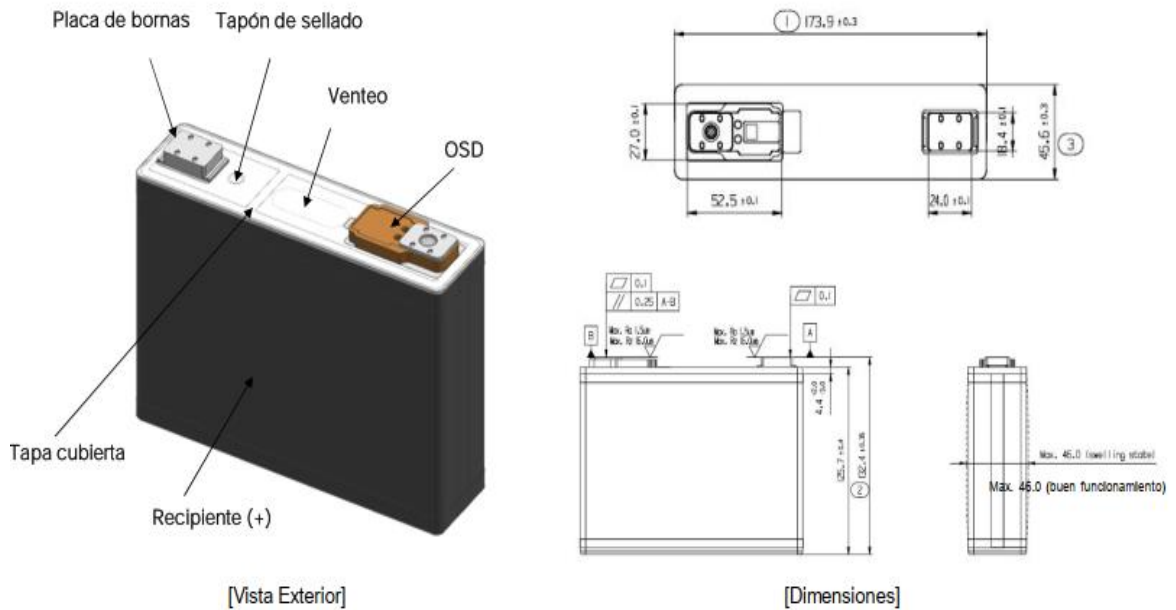
EC1900-F20NQB-EDA020-D1120-B, Apéndice 1

- Celda de alta confiabilidad de tipo NCM, es utilizada para sistemas de baterías tipo 1C y 4C continuos
- Esta misma celda ha sido suministrada y certificada por varios fabricantes de automóviles importantes para aplicaciones de EV

| Item  | Unidad                        | Especificación | Integrado en un paquete |
|---|-------------------------------|----------------|-------------------------|
|  <p>CAN Tipo LIB</p> | Dimensiones (celda)           | mm             | 173.9 x 45.6 x 125.7    |
|   | Peso                          | kg             | 1.910                   |
|   | Capacidad Nominal             | Ah             | 68                      |
|   | Voltaje Nominal               | V              | 3.70                    |
|   | Energía Nominal               | Wh             | 251.6                   |
|   | Voltaje máximo                | V              | 4.10                    |
|   | Voltaje mínimo                | V              | 2.70                    |
|   | Temperatura de operación      | °C             | -25 a 50                |
|   | Temperatura de almacenamiento | °C             | -40 a 60                |
|   | Densidad de Energía           | Wh/L           | 259                     |
|   |                               | Wh/kg          | 123                     |
|   | Cantidad de electrolito       | g              | 348 Máx.                |
|   |                               | ml             | 283 Máx.                |

## Dibujo de Celda

EC1900-F20NQB-EDA020-D1120-B, Apéndice 1

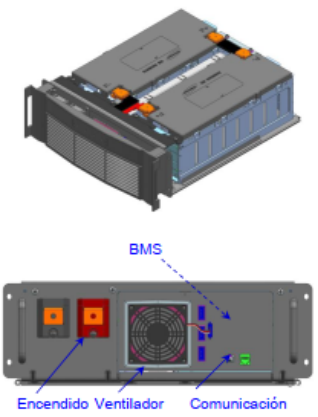


## ANEXO II

### Especificación general - Bandeja de batería

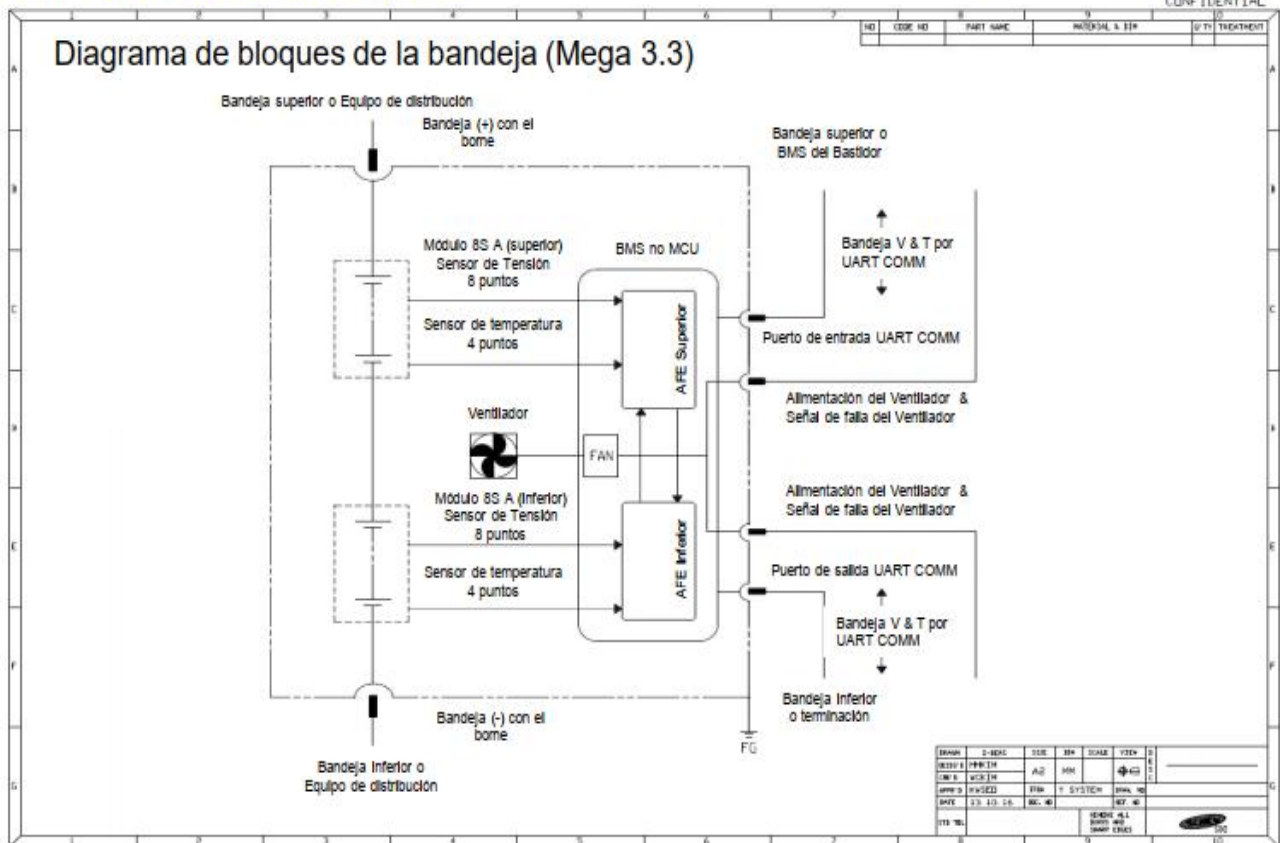
EC1900-F20NQB-EDA020-D1120-B, Apéndice 1

- Configuración: 16 celdas son conectadas en serie con un BMS (Bandeja BMS) diseñado para monitorear el comportamiento de las celdas
- Diseñado para compatibilidad con bastidores industriales estándar de 19 pulgadas
- Cubierta frontal diseñada para ocultar las conexiones eléctricas, reforzar la seguridad, y mejorar la apariencia

| Especificación   |                         | Unidad             | Especificación            |               |
|--|-------------------------|--------------------|---------------------------|---------------|
|  | Configuración           | -                  | 16S1P                     |               |
|  | Componentes principales | -                  | 16 celdas, bandeja BMS    |               |
|  | Dimensiones (L x W x H) | mm                 | 448 X 510 X 161           |               |
|  | Peso                    | kg                 | 50                        |               |
|  | Capacidad Nominal       | Ah                 | 68                        |               |
|  | Energía Nominal         | KWh                | 3.97                      |               |
|  | Voltaje                 | Nominal            | Vcc                       | 58,4V         |
|  |                         | Rango de Operación | Vcc                       | 49.6V ~ 65.6V |
|  | Potencia                | Continua           | KW                        | 9.92KW (2.5C) |
|  |                         | Máxima             | KW                        | 15.88KW (4C)  |
| Método de Carga  | CC-CV                   |                    | 4.1V/Celda, 68A, 3A corte |               |
| Grado IP   |                         |                    | UN38.3                    |               |

### Cubeta : Diagrama de bloques

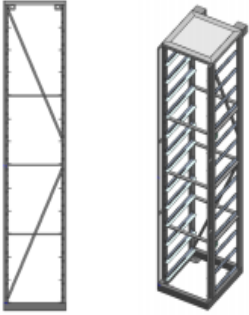
EC1900-F20NQB-EDA020-D1120-B, Apéndice 1





## Estructura del bastidor: Especificaciones Generales

EC1900-F20NQB-EDA020-D1120-B, Apéndice 1

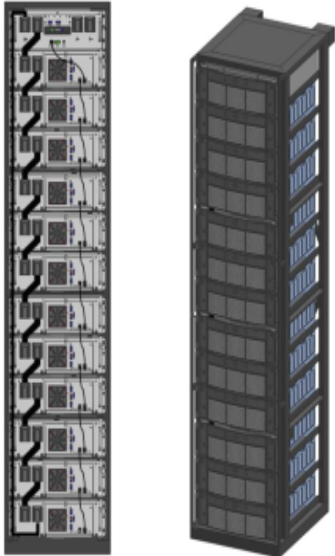
| 192S1P   |   |
|--|---|
| Imagen   |  |
| Dimensiones La. x An. x Al. [mm]                                   | 533.0 x 690.0 x 2291.0 – Incluyendo el anclaje                                    |
| Peso [kg]  | 80  |
| Material   | SCP1-S  |
| Configuración  | Total 13 ranuras (12 Bandejas + 1S/G)   |
| ※ Paneles laterales y puertas son opcionales (Debe ser consultado) |   |

- Ranuras de acuerdo al estándar de bastidores de 19"
- Conexión a tierra en la parte inferior

## Especificación general - Bastidor

EC1900-F20NQB-EDA020-D1120-B, Apéndice 1

- Configuración : 192S en serie (12 bandejas conectadas en serie+ montaje de un equipo de distribución
- BMS del bastidor y el equipo de distribución. (para protección y medición de baterías) son instalados juntos
- Las bandejas y el equipo de distribución son instalados en ranuras estándar de 19"
- Todas las conexiones y mantenimiento están en la parte frontal

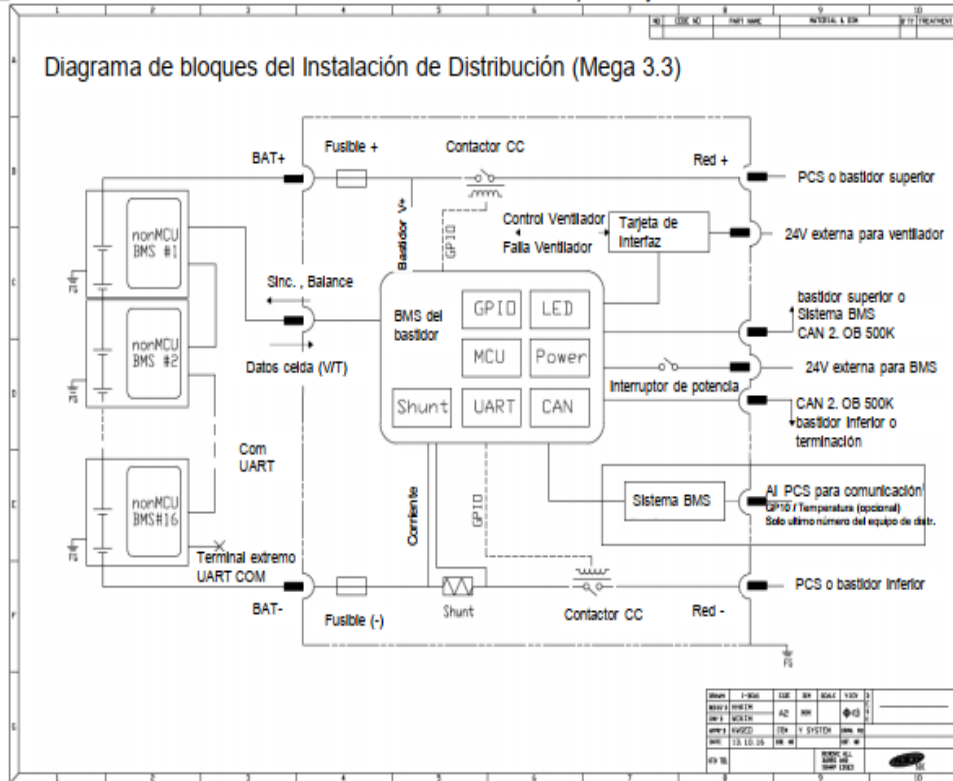
| Especificación  |                    | Unidad                  | Especificación                                      |
|---|--------------------|-------------------------|---|
|  |                    | Configuración           | 192S1P  |
|   |                    | Componentes principales | EA 12 bandejas, 1 Equipo de distribución            |
|   |                    | Dimensión (L x W x H)   | mm 533.0 x 690.0 x 2291.0                           |
|   |                    | Peso                    | kg ~ 700  |
|   |                    | Capacidad Nominal       | Ah 68   |
|   |                    | Energía Nominal         | KWh 47.6  |
| Voltaje   | Nominal            | Vcc                     | 700.8   |
|   | Rango de Operación | Vcc                     | 595.2V ~ 787.2V                                     |
| Potencia  | Continua           | KW                      | 119.1(2.5C )  |
|   | Max                | KW                      | 190.6*(4.0C : solo para descarga)                   |
|   |                    | Método de Carga         | CC-CV 787.2V limitado , 68A, 3A corte               |
|   |                    | Grado de protección IP  | IPX0 (opcional con lámina lateral y lámina trasera) |

\* Potencia Máxima: Capacidad para cargar (o descargar) por un máximo de 5 minutos, sin repetir durante las siguientes 2 horas.

## Seria de baterías: Diagrama de bloques

EC1900-F20NQB-EDA020-D1120-B, Apéndice 1

- Ambos polos (+) y (-) utilizan bornes de potencia con corriente nominal de 320A
- Todos los cables eléctricos utilizan cables de 1.8 kV / 3.0 kV IEC para mejorar el aislamiento

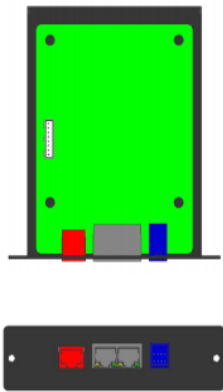


## ANEXO III

### Especificación general – Sistema BMS

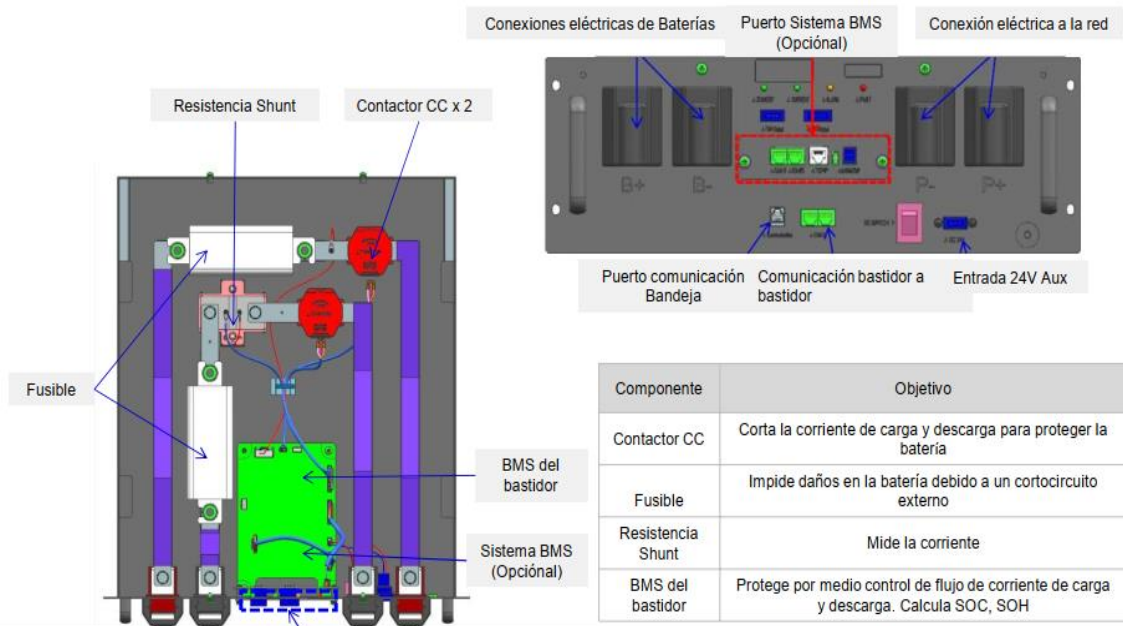
EC1900-F20NQB-EDA020-D1120-B, Apéndice 1

- Un sistema BMS puede gestionar hasta 128 bastidores de BMS
- El sistema BMS reúne los datos de las bandejas y el bastidor desde el BMS del bastidor y transfiere la información al PCS
- MODBUS RTU y MODBUS TCP/IP simultáneamente soportados

| Especificación   |                                  | Especificación  | Observación   |
|--|----------------------------------|---|---|
|  | Componente principal             | Sistema BMS   | Puede ser montado en el ensamblaje del equipo de distr.   |
|  | Dimensiones (La. x An. x Al. mm) | 142.80 X 135.0 X 35.0                                 |   |
|  | Alimentación Aux Entrada         | 24 VDC entrada (24V ± 5%)<br>BMS operación (24V, 10W) | 24V CC alimentación debe ser proporcionado por el cliente |
|  | Comunicación                     | CAN 2.0B 500kbps                                      | Para comunicación de bastidor                             |
|  | Comunicación                     | MODBUS RTU (RJ45)<br>MODBUS TCP/IP (RJ45)             | Para comunicación del PCS o EMS                           |

### Equipo de distribución: Configuración interna

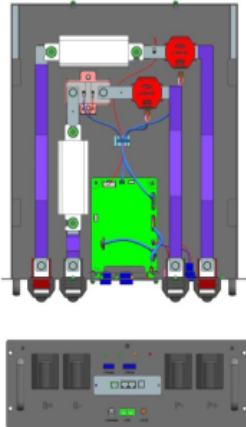
EC1900-F20NQB-EDA020-D1120-B, Apéndice 1



## Equipo de Distribución: Especificaciones Generales

EC1900-F20NQB-EDA020-D1120-B, Apéndice 1

- BMS del Bastidor: Controla y calcula los niveles de protección con los datos de la bandeja del BMS
- Equipo de Distribución: Controla los contactores CC, operado por el BMS del bastidor
- Todas las conexiones están ubicadas en la parte frontal: Fácil mantenimiento / acceso

| Especificación  | Especificación  | Observación  |  |
|---|---|--|--|
|  | <b>Componente principal</b><br>BMS del bastidor<br>Contactor de CC (2EA)<br>Fusible de CC (2EA)<br>Dispositivo Sensor Tensión y Corriente |  |  |
|   | <b>Dimensiones (La. x An. x Al.)</b>  | 485 X 490 X 161  |  |
|   | <b>Entrada Alimentación Aux.</b>  | Entr. 24V CC Aux (24V24V±5%, Total 361.8W)<br>-Para interruptor (24V, Max 106.2W, TYP 15W)<br>-Para BMS (24V, Max 6W, TYP 4.5W)<br>-Para opera. Ventilador (24V, Max 249.6W) | Entrada Aux. 24V CC exterior debe ser proporcionado por el cliente |
|   | <b>Comunicación A</b>   | UART hasta 1.0Mbps   | Para comunicación entre bastidor y bandeja                         |
|   | <b>Comunicación B</b>   | CAN 2.0B 500kbps   | Para comunicación entre bastidores, entre bastidor y sistema BMS   |

## Equipo de Distribución: Consumo Eléctrico Auxiliar

EC1900-F20NQB-EDA020-D1120-B, Apéndice 1

|                        | 192S   |               | Objetivo               |
|------------------------|--------|---------------|------------------------|
|                        | Típico | MAX           |                        |
| Consumo Eléctrico A    | 4.5    | 6.0           | Operación BMS          |
| Consumo Eléctrico B    | 15.0   | 106.2         | Operación contactor CC |
| Consumo Eléctrico C    | -      | 187.2         | Operación Ventilador   |
| Total (sin Ventilador) | 19.5   | 299.4 (112.2) |                        |

[Descripción]

- Consumo Eléctrico A (para operación BMS)

BMS del bastidor: 4.5W, Max 6W(@ comunicación)

- Consumo Eléctrico B (para operación contactor CC)

2 Contactores CC : Tip. 15W, Max 91.2W (@ activando el contactor CC)

- El máximo consumo de potencia sólo es requerido durante una fracción de segundo cuando se cierran los contactores de CC.

Así, la alimentación debe ser dimensionada para soportar el consumo máximo pero los cálculos de la alimentación auxiliar deben basarse en los valores típicos de consumo mas el consumo del ventilador.

- Consumo Eléctrico C (para operación del ventilador)

Ventilador de refrigeración: 15.6W/EA (192S : 187.2W)

| No | Asunto                   | Especificación                | Comentarios  |  |   |
|----|--------------------------|-------------------------------|--|--|---|
| 1  | Configuración            | 192S7P                        | 192S1P X 7Paralelo   |  |   |
| 2  | Energía Nominal [KWh]    | 333                           | Energía de diseño  |  |   |
| 3  | Potencia                 | Nominal [KW]                  | 333  | 1.0C   |   |
|    |                          | Potencia máxima continua [KW] | 833  | 2.5C . @23°C   |   |
|    |                          | Potencia máxima pico [KW]     | 1,334  | 4.0C. Limitado hasta 5 minutos. (2Hrs debe permanecer en reposo)   |   |
| 4  | CC Voltaje               | Nominal [Vcc]                 | 700.8  | 3.65V/Celda  |   |
|    |                          | Max [Vcc]                     | 787.2  | 4.10V/Celda  |   |
|    |                          | Min [Vcc]                     | 595.2  | 3.10V/Celda  |   |
| 5  | Estándar de carga        | Método recomendado            | CC-CV  | CP-CV también es posible. En caso de CP (o CC) es necesario contactar a SDI.   |   |
|    |                          | Carga V [V]                   | 787.2  | 4.10V/Celda  |   |
|    |                          | Corriente de Carga            | Tipo   | 476  | 1.0C ratio, 68A/Bastidor  |
|    |                          |                               | Max  | 1,190  | 2.5C ratio  |
|    |                          | Condición de corte            | 3  | Corriente total de carga debe reducirse a menos de 3A/Bastidor   |   |
| 6  | Estándar de descarga     | Método recomendado            | CC   | Corriente constante, CP también es posible   |   |
|    |                          | Corriente de descarga         | Tipo   | 476  | 1.0C ratio, 68A/Bastidor  |
|    |                          |                               | Max  | 1,904  | 4.0C ratio. Limitado hasta 5 minutos. (Un reposo de 2 horas debe seguir la descarga de 5 minutos) |
|    |                          | Voltaje de corte              | 595.2  | 3.10V/Celda  |   |
| 7  | Condición de temperatura | Operación [°C]                | 23±5°C   | Temperatura ambiente.  |   |
|    |                          | Uniformidad [°C]              | Menor a 3°C  | Temperatura ambiente uniforme en el cuarto de baterías   |   |
|    |                          | Almacenamiento [°C]           | -20 ~ 60°C   | Capacidad de recuperación, almacenamiento @ SOC20%<br>más de 92% después de 3 meses de almacenamiento @ 60°C<br>más de 97% después de 3 meses de almacenamiento @ 25°C |   |
| 8  | Humedad                  | 0~85%                         | Sin condensación   |  |   |
| 9  | Comunicación             | MODBUS RTU.<br>MODBUS TCP/IP  | Sistema BMS posee la comunicación por MODBUS RTU (19200BPS, RJ45), y MODBUS TCP/IP (RJ45)                        |  |   |
| 10 | Potencia auxiliar [W]    | 2,100                         | 24V±5%, Max 300W/arreglo   |  |   |
| 11 | Ciclo de vida            | 4,000                         | 1C CCCV carga, 1C CC descarga @23°C DOD80%, EOL80% del inicial, 1 ciclo/día, Reposo después de la descarga @23°C |  |   |
|    | Vida útil                | 20 años                       | Almacenado 23°C con SOC 20%  |  |   |
| 12 | Eficiencia de descarga   | > 95%                         | Con 0.5C . Potencia total de descarga/Potencia total de carga  |  |   |
| 13 | Tiempo de respuesta      | < 5ms                         |  |  |   |
| 14 | Auto descarga            | < 2%                          | 1 mes ( @ modo sleep, <2% una semana@ modo wake-up)  |  |   |

## ANEXO V

- **EVALUACION DIARIA**

| ÍTEM  |                    | Operación  | Criterio  | Lugar                      | Nivel | Herramientas  |
|---|--------------------|--|---|----------------------------|-------|---|
| <b>Entorno</b>  | <b>Temperatura</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Equipo de medida de temperatura ubicado en el sitio de instalación de la batería (Para asegurar el control de temperatura, SDI recomienda instalar por lo menos dos puntos de medida)</li> <li>• Lea la temperatura manualmente (o automáticamente) y regístrela</li> </ul>   | Temp. Ambiente: 23+- 5 °C<br>Temp Max-Min: < 3 °C   | En sitio o sala de control | 1     | Dispositivo de medida de temperatura instalado localmente |
|   | <b>Humedad</b>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensor de humedad instalado en el lugar de instalación de la batería (por lo menos 2 puntos de medida)</li> <li>• Lea la humedad manualmente (o automáticamente) y regístrela</li> <li>• Revise si existe condensación o no en alguna parte</li> </ul>  | Humedad: 0 ~ 85%  | En sitio o sala de control | 1     | Sensor de humedad instalado localmente                    |
| <b>Registro de información de la batería (Datos Históricos)</b> |                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Revise la fecha anterior de información de la batería registrada por el EMS               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Carga y descarga de energía (Acumulada diariamente y total acumulada)</li> <li>- Max &amp; Min SOC, valor SOH de cada bastidor (en fecha anterior)</li> <li>- Temperatura máxima de celda de cada bastidor (de fecha anterior)</li> <li>- Voltaje max y min de cada bastidor (de fecha anterior)</li> <li>- Energía max de carga y descarga del sistema (de fecha anterior)</li> </ul> </li> </ul> | De ser menor contacte SDI<br><br>- $\Delta$ SOC, SOH: >5% (Entre bastidores)<br>- $\Delta$ E con fecha previa: >1%<br><br>-La alarma o desconexión se disparó involuntariamente | En sitio o sala de control | 1     | Registro EMS  |

|  |  |                     |                            |   |     |
|--|--|---------------------|----------------------------|---|-----|
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Información de alarma y desconexión (de fecha anterior)</li> <li>- Voltaje Max &amp; Min del bastidor (de fecha anterior)</li> <li>- ¿Alguna anormalidad?</li> </ul>                |                     |                            |   |     |
| <b>Inspección Visual</b>                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Revise la sala de baterías en búsqueda si ha existido o no algún tipo de humo, olor a químico o derrame.</li> </ul>   | Ninguna anormalidad | En sitio                   | 1 | -   |
| <b>Rutina de calibración SOC basado en voltaje</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pause el sistema de baterías 5 minutos que fluya corriente (Contactor DC ON)</li> <li>• Si es posible pause el sistema de baterías 10 min con el contador DC BMS apagado</li> </ul> | Ningún criterio     | En sitio o sala de control | 1 | EMS |

- **EVALUACION MENSUAL**

| Ítem  |                    | Operación   | Criterio                     | Lugar                      | Nivel | Herramienta           |
|---|--------------------|---|------------------------------|----------------------------|-------|-----------------------|
| <b>Entorno</b>                              | <b>Temperatura</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mida la temperatura ambiente con otro equipo y compare el resultado con el sensor de temperatura instalado en la sala de baterías.</li> <li>▪ Prepare una tendencia de temperatura acumulada durante un mes y compruebe si hay alguna anomalía.</li> </ul>   | Delta de Temperatura < 3degC | En sitio                   | 1     | Sensor de temperatura |
|   | <b>Humedad</b>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mida la humedad ambiente con otro equipo y compare el resultado con el sensor de humedad instalado en la sala de baterías.</li> <li>▪ Prepare una tendencia de humedad acumulada durante un mes y compruebe la anomalía.</li> </ul>  | Delta de Humedad < 5%        | En sitio                   | 1     | Sensor de Humedad     |
| <b>Inspección Visual</b>                    |                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Inspección visual del sistema de batería:               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Compruebe la conexión del cableado de energía y datos (si existen o no partes sueltas).</li> <li>• Alguna imperfección de los cables o cambio de color.</li> <li>• Compruebe las imperfecciones de la estructura metálica (dobladura, oxidación u otra).</li> </ul> </li> </ul> | No hay imperfecciones        | En sitio                   | 1     | -                     |
| <b>Calibración SOC</b>                      |                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pause el sistema de batería 10 min con el contactor DC apagado.</li> <li>▪ De ser posible, descargue el sistema de batería al 7% de SOC.</li> </ul>  | Ningún criterio              | En sitio o sola de control | 1     | EMS                   |
| <b>Precisión de energía auxiliar de 24V</b> |                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Compruebe la energía auxiliar de 24V respecto de precisión BMS (Sin desconexión. Compruebe en suministro de energía).</li> </ul>   | 24V +-5%                     | En sitio                   | 1     | Voltímetro            |



- **EVALUACION REGULAR**

| Ítem  |             | Operación  | Criterio              | Lugar    | Nivel | Herramientas               |
|---|-------------|--|-----------------------|----------|-------|----------------------------|
| Entorno   | Temperatura | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Compruebe y calibre el sensor de temperatura</li> <li>• Prepare una tendencia de temperatura y compruebe cualquier anomalía</li> </ul>  |                       | En sitio | 2     | Herramienta de Calibración |
|   | Humedad     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Compruebe y calibre el sensor de humedad</li> <li>• Prepare una tendencia de humedad y compruebe cualquier anomalía</li> </ul>  |                       | En sitio | 2     | Herramienta de Calibración |
| Registro de información de batería (Datos Históricos) |             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Compruebe la información de batería de 1 año registrado por el EMS</li> <li>• Calcule la tendencia a continuación y compruebe si hay cambios anormales o no</li> <li>• Carga y descarga de energía (Acumulado diario y Total acumulado)</li> <li>• SOC máximo y mínimo, valor SOH de cada bastidor (tendencia diaria)</li> <li>• Temperatura máxima de celda de cada bastidor (tendencia diaria)</li> <li>• Voltaje máximo y mínimo de celda de cada bastidor (tendencia diaria)</li> <li>• Máxima carga y descarga de energía del sistema (tendencia diaria)</li> <li>• Información de alarma y desconexión (tendencia diaria)</li> <li>• Voltaje máximo y mínimo de bastidor (tendencia diaria)</li> <li>• Alguna anomalía</li> </ul> | Menos de 5% de cambio | En sitio | 2     | Registro EMS               |

|                              |                        |   |                              |                            |   |                         |
|------------------------------|------------------------|---|------------------------------|----------------------------|---|-------------------------|
| <b>Inspección visual</b>     |                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Revise la sala de baterías en búsqueda si ha existido o no algún tipo de humo, olor a químico o derrame.</li> <li>• Revise si ha habido condensación alguna en sitio</li> <li>• Inspección visual del sistema de baterías</li> <li>• Compruebe la conexión de cableado de energía y datos (si hay partes sueltas o no)</li> <li>• Alguna imperfección de los cables o cambio de color</li> <li>• Compruebe las imperfecciones de la estructura metálica (dobladura, oxidación u otra)</li> </ul> | Ninguna anomalidad           | En sitio                   | 2 | -                       |
| <b>Ciclo de las Baterías</b> | <b>Calibración SOH</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cargue el sistema de baterías al 100% con método de carga Max 1C CCCV luego descargue el sistema de batería a 5% SOC con método Max 1C CC. De ser posible opere este procedimiento 3 ciclos (Por lo menos 1 ciclo)</li> <li>• Durante el ciclo de descarga, calcule la energía de descarga para cada bastidor</li> <li>• Durante el ciclo de descarga, mida la corriente actual y compárela con la corriente monitoreada BMS</li> </ul>  | Ningún criterio Delta A < 3A | En sitio o sala de control | 2 | EMS Pinza Amperimétrica |
|                              | <b>Auto balanceo</b>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Deje que el sistema de batería 1 día con energía Aux 24V (contactor en OFF) (Omita: Si la diferencia de voltaje de la celda Max – Min es menor de 20mv)</li> </ul>   |                              | En sitio o sala de control | 2 | EMS                     |

|                                |   |   |   |                            |   |            |
|--------------------------------|---|---|---|----------------------------|---|------------|
| <b>Operación de la Batería</b> | <b>Uniformidad de Voltaje y Temperatura</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Durante el tiempo de descanso, lea el voltaje y temperatura de todas las celdas en cada bastidor</li> </ul>  | Delta Celda<br>V < 20mV<br>Delta Celda<br>T < 3degC | En sitio o sala de control | 2 | EMS        |
|                                | <b>Operación de contactor DC</b>            | <ul style="list-style-type: none"> <li>Durante el tiempo de descanso, apague y encienda el contactor de DC enviando una orden externa y compruebe que la retroalimentación del contactor de DC se elevó de acuerdo con el comando y mida si el voltaje real llega cerca de 0 durante apagado del contactor DC (Para comprobar el funcionamiento del contactor de DC)</li> <li>Después de comprobar la funcionalidad del contactor DC mantenga durante 30 minutos apagado el contactor DC (para actualizar la calibración del sensor)</li> </ul> | Contactor<br>FB =<br>Comando                        | Lugar o sala de control    | 2 | EMS        |
|                                | <b>Precisión del sensor de voltaje</b>      | Compare el voltaje total y la suma del valor de voltaje de cada celda (Contactor DC en OFF)   | Delta V < 10V                                       | Lugar o sala de control    | 2 | EMS        |
|                                | <b>Energía auxiliar 24V</b>                 | Compruebe la precisión de la entrada Aux 24V  | 24V±5%  | Lugar                      | 2 | Voltímetro |
|                                | <b>Resistencia del aislamiento</b>          | Mida la resistencia de aislamiento entre Batería (+) & GND, Batería (-) & GND (DC 1000V 60sec)  | Más de 100MΩ  | Lugar                      | 2 | Megger     |