

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

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

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

**ANÁLISIS REGULATORIO 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 EN  
ELECTRICIDAD**

**JUAN SEBASTIÁN PALACIO PULLA**

**DIRECTOR: Dr. Ing. GABRIEL BENJAMÍN SALAZAR YÉPEZ**

**DMQ, agosto 2022**

## CERTIFICACIONES

Yo, JUAN SEBASTIÁN PALACIO PULLA 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.



---

**JUAN SEBASTIÁN PALACIO PULLA**

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por JUAN SEBASTIÁN PALACIO PULLA, bajo mi supervisión.



---

**Dr. Ing. GABRIEL BENJAMÍN SALAZAR YÉPEZ**

Certificamos que revisamos el presente trabajo de integración curricular.

---

**NOMBRE\_REVISOR1**  
**REVISOR1 DEL TRABAJO DE**  
**INTEGRACIÓN CURRICULAR**

---

**NOMBRE\_REVISOR2**  
**REVISOR2 DEL TRABAJO DE**  
**INTEGRACIÓN CURRICULAR**



## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) 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.

JUAN SEBASTIÁN PALACIO PULLA

Dr. Ing. GABRIEL BENJAMÍN SALAZAR YÉPEZ

## **DEDICATORIA**

Dedico el siguiente trabajo de titulación a mi familia.

A mis padres Giovanni Javier Palacio Cisneros y Paulina Alexandra Pulla Carrión, quienes me han brindado todo lo necesario para poder culminar mis estudios y quienes han estado pendientes de mi progreso brindándome ánimos para no rendirme.

A mis hermanos Giovanni Javier Palacio Pulla y Víctor Emilio Palacio Pulla por brindarme buenos momentos cuando se encontraban conmigo y que el presente trabajo sea un incentivo para que culminen sus estudios.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mis padres y a todos mis compañeros con los que he recorrido este trayecto de mi formación profesional, a mi mejor amigo Fausto que ha estado a mi lado desde el colegio y por cuestiones de la vida también en la universidad, a mis amigos Alex y Bryan con los que he compartido risas y buenos momentos en esta recta final de mis estudios y en especial a mi novia Daysi quien me ha apoyado en la mayor parte de esta travesía brindándome momentos felices y dándome ánimos para seguir adelante a quien le estoy muy agradecido.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES .....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	III
DEDICATORIA .....	IV
AGRADECIMIENTO .....	V
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	VI
RESUMEN.....	VIII
ABSTRACT.....	IX
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 Sistemas de Almacenamiento de Energía .....	3
1.4.2 Componentes de los Sistemas de Almacenamiento de Energía en Baterías.....	6
2 METODOLOGÍA.....	8
2.1 Normas, reglamentos y regulaciones de sistemas BESS en el Ecuador ...	8
2.1.1 Constitución de la república del Ecuador .....	9
2.1.2 Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica (LOSPEE) ..	10
2.1.3 Reglamento a la Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica (RLOSPEE).....	11
2.1.4 REGULACIÓN Nro. ARCERNNR – 004/20 .....	12
2.1.5 REGULACIÓN Nro. ARCERNNR – 005/20 .....	14
2.2 Servicios de las BESS en Sistemas Eléctricos de Potencia .....	15
2.2.1 Sistemas eléctricos aislados y sistemas eléctricos interconectados .	15
2.2.2 Aplicaciones de los sistemas BESS a la red .....	16
2.2.3 BESS para servicios auxiliares .....	17
2.3 Sistemas de Almacenamiento de Energía en Baterías a nivel global .....	21
2.3.1 Chile .....	23
2.3.2 Estados Unidos .....	23
2.3.3 China.....	24

2.3.4	Japón.....	25
2.3.5	Alemania .....	25
2.3.6	Australia .....	25
2.4	Estándares y normas BESS en otros países.....	26
2.4.1	Estándares y Normas Generales .....	26
2.4.2	Estándares y Normas para Instalación BESS.....	28
2.4.3	Estándares y Normas para un BESS Completo.....	30
2.4.4	Estándares y Normas para Componentes BESS.....	31
3	RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	33
3.1	Resultados .....	33
3.2	Conclusiones .....	43
3.3	Recomendaciones .....	45
4	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46

## RESUMEN

En el presente trabajo de titulación se realizará una investigación teórica referente a las diferentes normativas implementadas en otros países para la implementación de Sistemas de Almacenamiento de Energía en Baterías con el fin de brindar una base teórica para la creación e implementación de una regulación en el Ecuador.

Tomando en consideración lo antes mencionado, el trabajo se divide en 5 partes fundamentales. En la primera se expone conceptos generales referente a algunos de los Sistemas de Almacenamiento de Energía existentes y se profundiza en las tecnologías utilizadas en almacenamiento en baterías. Como segundo punto se tiene artículos de las principales entidades de control del sector eléctrico en el Ecuador, enfocado a los servicios complementarios. Seguido tenemos las diferentes aplicaciones que brindan los Sistemas de Almacenamiento de Energía en Baterías a los sistemas interconectados y aislados. Como cuarto punto se detalla algunos de los proyectos de almacenamiento de energía en baterías existentes alrededor del mundo con sus respectivas características. Finalmente se tiene un desglose de normas y estándares internacionales utilizados para la implementación de los Sistemas de Almacenamiento de Energía en Baterías.

**PALABRAS CLAVE:** Sistemas de Almacenamiento de Energía en Baterías, BESS, ESS, normas, regulaciones, servicios complementarios.

## **ABSTRACT**

In this degree work, theoretical research will be carried out regarding the different regulations implemented in other countries for the implementation of Batteries Energy Storage Systems in order to provide a theoretical basis for the creation and implementation of a regulation in Ecuador.

Taking into consideration the above, the work is divided into 5 fundamental parts. The first, presents general concepts regarding some of the existing Energy Storage Systems and delves into the technologies used in battery storage. As a second point, we have articles from the main control entities of the electricity sector in Ecuador, focused on ancillary services. Then we have the different applications that provide Battery Energy Storage Systems to interconnected and isolated systems. As a fourth point, some of the energy storage projects in batteries existing around the world with their respective characteristics are detailed. Finally, there is detailed international norms and standards used for the implementation of Battery Energy Storage Systems.

**KEYWORDS:** Battery Energy Storage Systems, BESS, ESS, standards, regulations, ancillary services.

# 1 INTRODUCCIÓN

Alrededor del mundo los sistemas eléctricos de potencia han ido evolucionando y apuntando a una generación de energía eléctrica más limpia en donde las fuentes de energía renovable han marcado la diferencia frente a cualquier otro tipo de generación.

La implementación de estas centrales de generación de energía renovable tiene un desafío importante de mantener constante el suministro de electricidad y de aprovechar la mayor cantidad de energía generada, tomando como ejemplo un parque eólico, los sistemas de almacenamiento de energía por medio de baterías ayuda a la estabilización y aprovechamiento de la energía producida por esta [1]. Debido a las exigencias que presenta el país en mantener una correcta calidad del servicio y del producto eléctrico se pueden integrar a los Sistemas de Almacenamiento de Energía en Baterías a gran escala como una solución para controlar y auxiliar los distintos desequilibrios que se pueden producir en el sistema nacional interconectado [2]. Los sistemas de almacenamiento en baterías también pueden almacenar energía producida en momentos de bajo costo y utilizarla en horas de costo elevado, gestión conocida como arbitraje de precios, lo cual no es otra cosa que utilizar con una mejor oportunidad de costo las diferentes fuentes de energía renovable no gestionable [3].

Los sistemas de almacenamiento en baterías o conocidos como BESS, por sus siglas en inglés Battery Energy Storage System [4], son componentes de un sistema eléctrico de potencia los cuales pueden aportar con la regulación primaria y secundaria de potencia, arbitraje precios de energía y la reserva en giro, entre otros servicios [5].

Enfocándose en la situación actual de país, no se cuenta con una regulación o norma específica referente al uso de los BESS, por dicho motivo se busca realizar una investigación basándose en otros países que ya se encuentran haciendo uso de dichos sistemas, como Estados Unidos o Canadá que ya poseen una normativa [6], con el fin de crear una base teórica en la cual se puede fundamentar la creación de un mercado y su regulación para la implementación de las BESS en el país.

Debido a estos factores mencionados anteriormente se ha tomado la iniciativa para realizar un análisis regulatorio de la implementación de almacenamiento en baterías a gran escala en el Sistema Nacional Interconectado.

## **1.1 Objetivo general**

Realizar una investigación basada en otros países que ya se encuentran implementados estos sistemas, con el fin de crear una base teórica en la cual fundamentar la creación de un mercado y su regulación para la implementación de las BESS en el país.

## **1.2 Objetivos específicos**

1. Detallar las normas, reglamentos y regulaciones referentes a una posible aplicación de sistemas BESS en el Ecuador.
2. Explicar detalladamente los servicios que brindan los sistemas de baterías a gran escala a los sistemas eléctricos interconectados y aislados.
3. Realizar un análisis acerca de países que hacen uso de sistemas de almacenamiento de energía por medio de baterías a gran escala.
4. Detallar los estándares técnicos utilizados para el diseño, instalación y operación de sistemas BESS en sistemas eléctricos de potencia aislados e interconectados.

## **1.3 Alcance**

Se investigará una base teórica acerca de normas, reglamentos y regulaciones referentes a una posible aplicación de sistemas BESS en el Ecuador.

Se investigará una base teórica acerca de servicios que brindan los sistemas de baterías a gran escala a los sistemas eléctricos interconectados y aislados.

Se investigará una base teórica acerca de países que hacen uso de sistemas de almacenamiento de energía por medio de baterías.

Se investigará una base teórica acerca de estándares técnicos utilizados para el diseño, instalación y operación de sistemas BESS.

## 1.4 Marco teórico

### 1.4.1 Sistemas de Almacenamiento de Energía

La energía eléctrica es el resultado de la transformación de otros tipos de energía, entre las cuales tenemos energía mecánica, energía térmica, energía luminosa y energía química. Para aprovechar la transformación de las energías antes mencionadas en energía eléctrica, se requiere la construcción e implementación de centros que se encarguen de realizar dicha transformación, conocidas como centrales de generación, y de igual forma se requiere de un sistema de transporte de energía que vaya desde el ente generador hasta el consumidor [5].

El principal objetivo de generar energía eléctrica es proveer de esta a un usuario final, sin embargo, en aspectos generales, existe una mayor demanda de energía eléctrica en las horas del día que en las de la noche, lo que ocasiona que parte de la generación se desperdicie cuando los usuarios no hacen uso de dicha energía. Por este motivo es de suma importancia la implementación de sistemas de almacenamiento de energía para así evitar dichas pérdidas. En la Figura 1.1, se indican diferentes formas en las que se pueden almacenar la energía eléctrica.

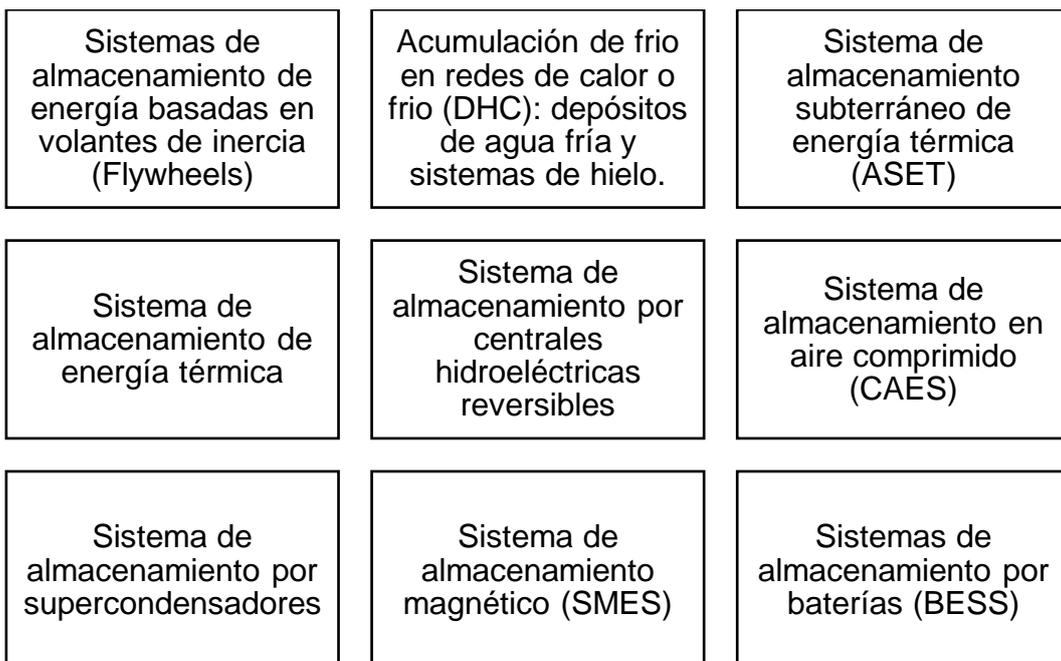
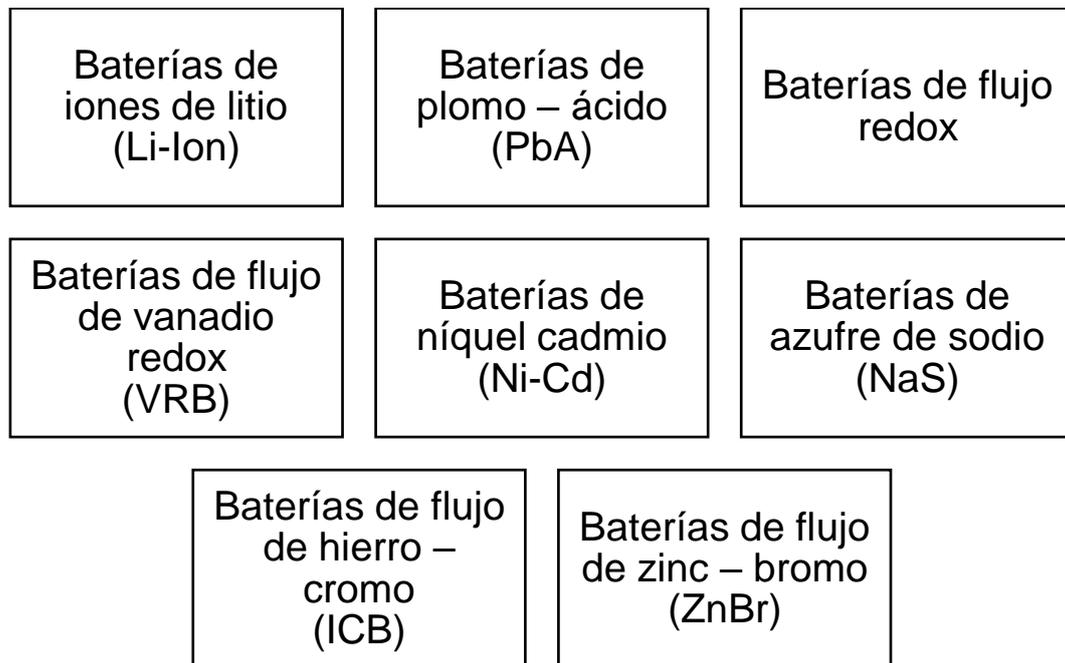


Figura 1.1. Sistemas de almacenamiento de energía [5].

### 1.4.1.1. Descripción de Tecnologías de Sistemas de Almacenamiento de Energía en Baterías

El presente trabajo se centrará en los Sistemas de Almacenamiento de Energía en Baterías conocidas como BESS por sus siglas en inglés, Battery Energy Storage System. En la Figura 1.2, se pueden observar las diferentes tecnologías de baterías utilizadas para almacenamiento de energía.



**Figura 1.2.** Tecnologías de baterías para almacenamiento de energía.

En la Tabla 1.1, se brinda un resumen de las características de las diferentes tecnologías de baterías para almacenamiento, señalando tanto sus fortalezas como debilidades.

**Tabla 1.1.** Características de las tecnologías de las baterías [7].

Tecnología	Tipo	Fortalezas	Debilidades
Iones de litio (Li-Ion)	Óxido de cobalto de litio	Livianas y compactas	Muy costosas
	Óxido de manganeso de litio	Alta capacidad	Inflamables
	Fosfato de litio y hierro	Alta densidad de energía	Intolerancias a temperaturas extremas
		Bajo mantenimiento	

	Óxido de litio níquel manganeso cobalto (NMC)	Larga vida de uso  Cargado rápido y fácil  Baja tasa de autodescarga	Intolerancia a sobrecargas y sobre descargas
Plomo – ácido (PbA)	Inundado  Sellado  Reguladas por válvulas (VRLA) Fibra de vidrio absorbente (AGM)  Gel	Muy económicos  Altamente reciclable  Operación efectiva tanto en altas como bajas temperaturas	Carga lenta  Muy pesadas  Baja densidad de energía
Níquel – cadmio (Ni- Cd)	Sellado  Ventilado	Económicos  Fácil de enviar y almacenar  Altamente resistentes a bajas temperaturas	Baja densidad de energía  Alta tasa de autodescarga  Difícil de reciclar
Azufre de sodio (NaS)		Alta densidad de energía  Alta densidad de potencia  Larga vida de uso  Operación estable bajo condiciones ambientales extremas	Altas temperaturas de operación  Sensibles a la corrosión  Alto riesgo de incendio y explosión
Baterías de flujo redox	Vanadio redox (VRB)	Larga vida de uso	Baja capacidad de energía

	Hierro – cromo (ICB)	Rápida respuesta de tiempo	Baja tasa de carga y descarga
	Zinc – bromo (ZnBr)	Bajo riesgo de incendio	
	Zinc – hierro		

### 1.4.2 Componentes de los Sistemas de Almacenamiento de Energía en Baterías

Un sistema BESS está compuesto por una parte correspondiente al hardware junto con una parte de software de bajo y de alto nivel que ayuda al correcto funcionamiento y monitoreo del sistema. La arquitectura básica de un BESS se indica en la Figura 1.3. Los componentes principales de un BESS son los siguientes:

1. Sistema de baterías: en este componente se encuentran las celdas de almacenamiento individuales que transforman la energía química almacenada en energía eléctrica. Las celdas se encuentran agrupadas en módulos, y la agrupación de estos módulos forman paquetes de baterías.
2. Sistema de gestión de batería (BMS): este es uno de los componentes más importantes de un BESS, ya que se encarga de garantizar la seguridad del sistema, así mismo, realiza un análisis de las celdas obteniendo datos como los parámetros, estado de salud (SOH), estado de carga (SOC) y prevención de incendios en las baterías.
3. Inversor o sistema de conversión de energía (PCS): este elemento convierte la corriente continua que producen las baterías a corriente alterna que será suministrada a la red. Los BESS al tener un proceso de carga y descarga, posee inversores bidireccionales.
4. Sistema de gestión de energía (EMS): este componente es el medio de comunicación entre la red y el BESS. Se encarga de monitorear y controlar el flujo de potencia tanto que ingresa como la que se despacha del BESS. Esto se logra por medio de una comunicación y análisis de los datos que proveen los otros componentes del BESS como el BMS y el PCS.

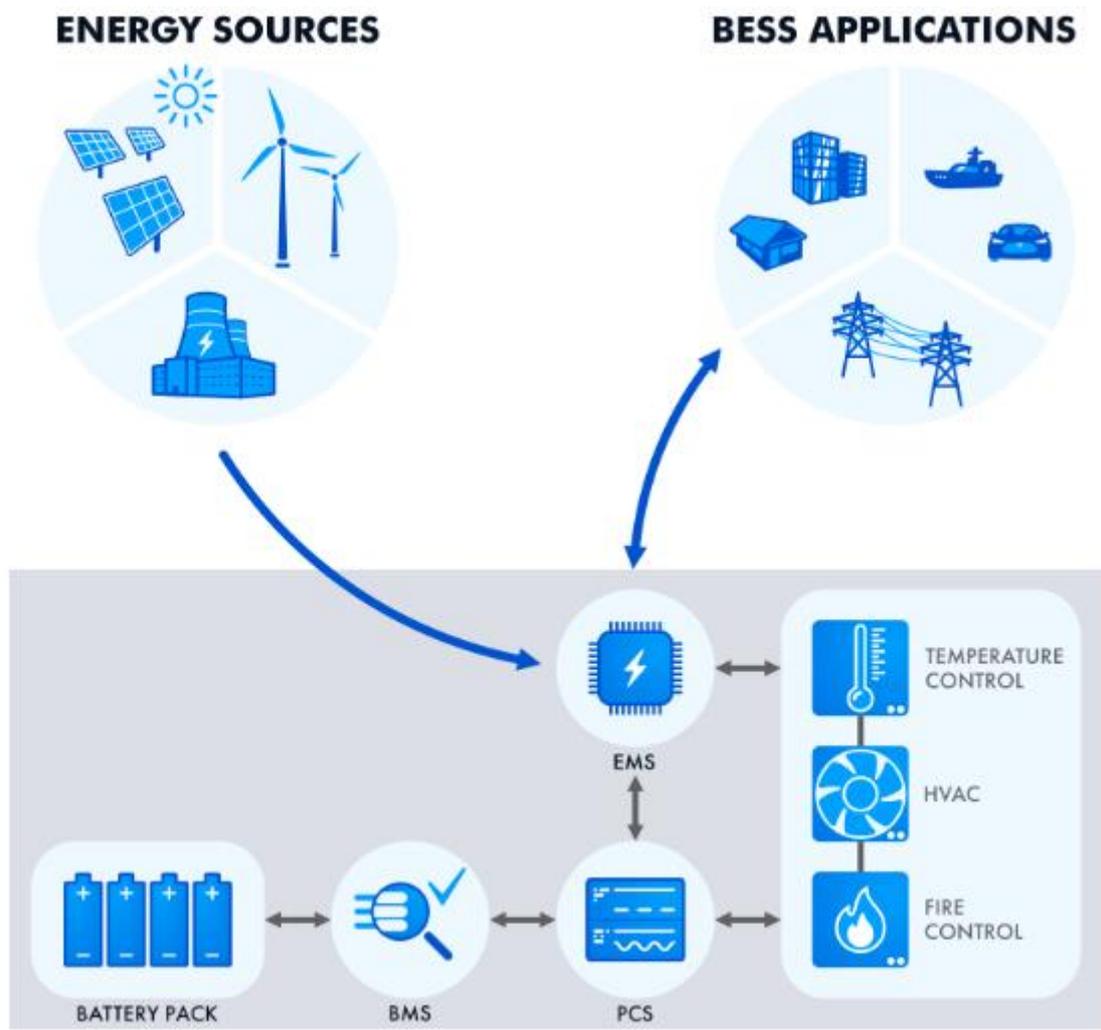


Figura 1.3. Arquitectura de un BESS [8].

## **2 METODOLOGÍA**

En el presente trabajo se va a realizar un estudio exploratorio referente a las normas y regulaciones existentes en otras partes del mundo, para que sirva de guía para la creación de alguna regulación o norma en el Ecuador.

El método inductivo es el que se implementará debido a que el enfoque solamente será el ámbito normativo de los Sistemas de Almacenamiento de Energía en Baterías con el fin de generalizar las comúnmente utilizadas a nivel global.

El grado de abstracción será investigación pura, ya que se pretende realizar una investigación teórica de normas y regulaciones existentes a nivel global con el fin de brindar nuevos conocimientos que podrán ser aplicados al Ecuador.

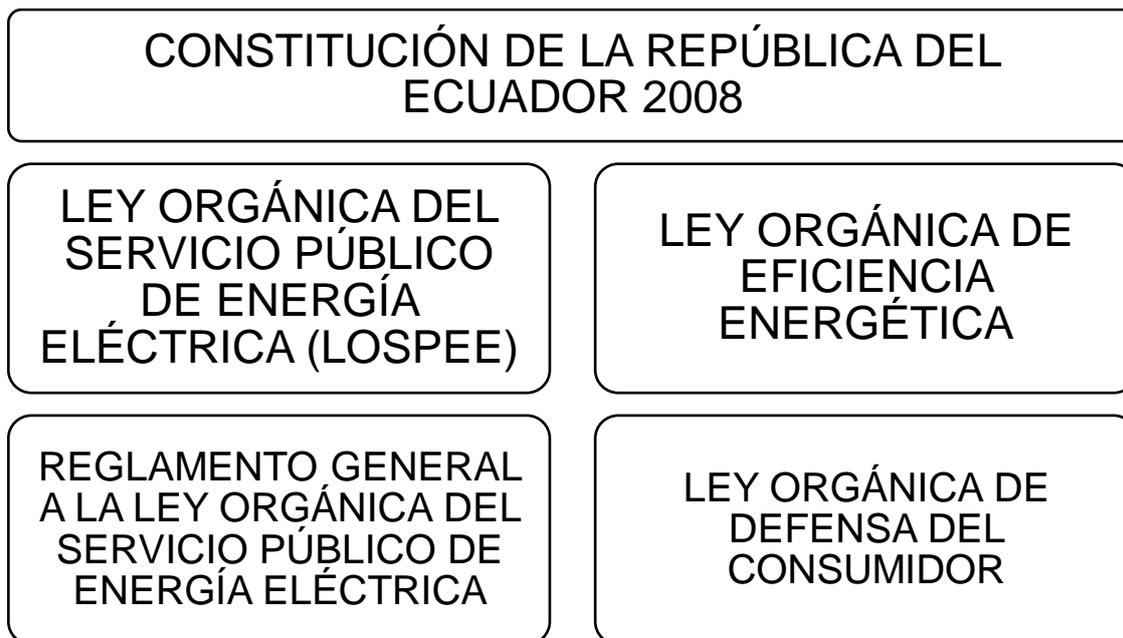
El trabajo será de tipo descriptivo, ya que tiene el fin de describir textualmente normas y estándares que se encuentran en uso a nivel global para que sirvan como una base teórica y de investigación.

La técnica de información a usarse será por medio de una investigación bibliográfica. Se busca recopilar, organizar y valorar información referente a las normas y regulaciones que se encuentran implementadas en otros países del mundo referentes a los Sistemas de Almacenamiento de Energía en Baterías.

### **2.1 Normas, reglamentos y regulaciones de sistemas BESS en el Ecuador**

En la actualidad, Ecuador no cuenta con una normativa, leyes o regulaciones referentes a los sistemas de almacenamiento de energía por medio de baterías, sin embargo, con lo que si cuenta es con normativas y regulaciones referentes a servicios auxiliares. Esto es de mucha importancia debido a que los sistemas BESS se encontrarían dentro de dicho componente, por este motivo se analizará los distintos documentos que hacen referencia a servicios auxiliares en el Ecuador.

Primeramente, es importante conocer el mapa normativo e institucional del sector eléctrico ecuatoriano, en el cual se sintetiza todo lo referente a leyes, reglamentos, estructura y regulaciones que tienen que ver, como su nombre lo indica, al sector eléctrico. Enfocándose principalmente en la parte de la constitución, leyes y reglamentos, se tiene el cuadro indicado en la Figura 2.1.



**Figura 2.1.** Estructura constitución, leyes y reglamento del sector eléctrico ecuatoriano.

Como se menciona anteriormente, en este documento se puede encontrar sintetizado la información referente a todo el sector eléctrico ecuatoriano, sin embargo, para el análisis de los sistemas BESS como servicios auxiliares, se analizará documentos específicos referentes al tema.

### 2.1.1 Constitución de la república del Ecuador

La constitución de la Republica del Ecuador es un documento en el cual se encuentran todas las normas fundamentales que deben cumplir tanto los ciudadanos, el Estado y las Instituciones creadas por el Estado. Este documento cuenta con 444 artículos, los cuales velan por lo derechos y obligaciones que deben cumplir cada uno de los grupos antes mencionados. Los artículos de interés serán los artículos 313 y 314 de la constitución de la república del Ecuador. Los cuales mencionan lo siguiente:

“Art. 313.- El Estado se reserva el derecho de administrar, regular, controlar y gestionar los sectores estratégicos, de conformidad con los principios de sostenibilidad ambiental, precaución, prevención y eficiencia.

Los sectores estratégicos, de decisión y control exclusivo del Estado, son aquellos que por su trascendencia y magnitud tienen decisiva influencia económica, social, política o ambiental, y deberán orientarse al pleno desarrollo de los derechos y al interés social.

Se consideran sectores estratégicos la energía en todas sus formas, las telecomunicaciones, los recursos naturales no renovables, el transporte y la refinación de hidrocarburos, la biodiversidad el patrimonio genético, el espectro radioeléctrico, el agua, y los demás que determine la ley.” [9].

“Art. 314.- El Estado será responsable de la provisión de los servicios públicos de agua potable y de riego, saneamiento, energía eléctrica, telecomunicaciones, vialidad, infraestructuras portuarias y aeroportuarias, y los demás que determine la ley.

El Estado garantizará que los servicios públicos y su provisión respondan a los principios de obligatoriedad, generalidad, uniformidad, eficiencia, responsabilidad, universalidad, accesibilidad, regularidad, continuidad y calidad. El Estado dispondrá que los precios y tarifas de los servicios públicos sean equitativos, y establecerá su control y regulación.” [9].

## **2.1.2 Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica (LOSPEE)**

El objetivo de esta ley es regular la participación de los diferentes sectores público y privado referente a las actividades que tengan que ver con el servicio de energía eléctrica, de igual forma se regula la propuesta y ejecución de proyectos relacionados con energías renovables y métodos de eficiencia energética.

En la LOSPEE ya se hace mención al inicio del documento, más precisamente en los “considerando”, el termino de almacenamiento dando un primer paso a los sistemas de almacenamiento de energía. El documento detalla lo siguiente:

“Que, la modernización de las redes eléctricas debe considerar aspectos regulatorios, redes de transporte y distribución de energía, redes de comunicación, generación distribuida, almacenamiento de energía, medición inteligente, control distribuido, gestión activa de la demanda y oportunidades de brindar nuevos productos y servicios;” [10].

Además, es importante conocer que dice la LOSPEE ante el funcionamiento del sector eléctrico que, para fines pertinentes, es de principal interés los artículos 40 y 41 que se indican a continuación:

“Artículo 40.- De la generación. - La actividad de generación de electricidad será realizada por empresas públicas, empresas de economía mixta; y, por otras personas jurídicas

privadas y de economía popular y solidaria, debidamente habilitadas por la autoridad concedente para ejercer tal actividad.

Sus operaciones se sujetarán a lo previsto en su respectivo título habilitante, así como a las normas constitucionales, legales, reglamentarias y regulatorias que se establezcan, bajo su exclusiva responsabilidad, y observando principios de transparencia, eficiencia, continuidad y calidad.

El desarrollo de nuevos proyectos de generación, estará basado en las políticas sectoriales establecidas en los planes sectoriales y en el Plan Nacional de Desarrollo.” [10].

“Artículo 41.- De la autogeneración. - La actividad de autogeneración de electricidad y sus excedentes, serán tratados de conformidad con la regulación que para el efecto dicte el ARCONEL.

Se considera como parte de la actividad de autogeneración, los procesos de cogeneración destinados a la producción de energía eléctrica.

La autogeneración petrolera y autogeneración minera, ubicadas en sistemas no incorporados al S.N.I., se basarán y serán controladas de conformidad con sus títulos habilitantes petrolero o minero, según sea el caso. En materia eléctrica, y mientras mantengan su condición de no incorporados al S.N.I., presentarán la información que requieran el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable o el ARCONEL, exclusivamente para fines de planificación, estadísticos e informativos, según se determine en la regulación correspondiente.” [10].

### **2.1.3 Reglamento a la Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica (RLOSPEE)**

El reglamento a la LOSPEE tiene como objetivo brindar las disposiciones para que la LOSPEE se aplique de la mejor manera posible garantizando la transparencia en cada etapa con sus debidos procesos.

La RLOSPEE en su artículo 3 hace referencia y brinda un concepto a lo que son los servicios complementarios, definiéndolo, como:

“Servicios complementarios: Servicios prestados por las empresas eléctricas de generación, a través de sus unidades, para satisfacer requerimientos de seguridad y calidad en la operación del sistema nacional interconectado.” [11].

En este reglamento en la novena disposición transitoria, se habla de la forma de liquidación de los servicios complementarios brindados, la cual establece que:

“Novena. - Liquidación de los autoconsumos y grandes consumidores en el mercado de corto plazo hasta que la ARCONEL emita la Regulación que norme en detalle el funcionamiento del sector eléctrico, los cargos del mercado ocasional que correspondan a los servicios complementarios prestados a los autoconsumos de un autogenerador y a los grandes consumidores, se valorarán con el costo horario de la energía.” [11].

#### **2.1.4 REGULACIÓN Nro. ARCERNNR – 004/20**

En esta regulación se hace dicta las disposiciones que deben cumplirse acerca del despacho, planificación y operación del sistema eléctrico de potencia. Esta regulación se aplica de forma obligatoria para el CENACE, grandes consumidores y cargas especiales, así como a las empresas de generación, transmisión y distribución.

El artículo 13 de la regulación hace referencia a los criterios de calidad, seguridad, confiabilidad y economía que debe brindar el CENACE con los recursos de generación y transmisión que se encuentren disponibles, para así asegurar el correcto abastecimiento de demanda de la potencia y energía del sistema. Los diferentes criterios que se requieren, tienen una estrecha relación con los servicios complementarios, ya que estos serán una de las principales maneras de llegar a cumplir dichos requerimientos [12].

##### **2.1.4.1 Criterios de calidad**

Estos están enfocados a la frecuencia y voltaje para garantizar una correcta planificación y operación del SIN [12]:

- Control de frecuencia
  - Frecuencia nominal del SNI 60 Hz con una desviación definida por los estudios realizados por el CENACE.
  - Las unidades de generación deben responder a variaciones de frecuencia producidas por eventos de desbalance entre generación carga.
  - CENACE debe determinar los porcentajes de reserva que deben brindar los generadores para brindar regulación primaria y secundaria de frecuencia.
  - Todos los generadores del SEP deben ser capaces de brindar al SNI regulación primaria de frecuencia de forma automática e inmediata gracias a la actuación de los reguladores de velocidad.

- El CENACE verificara el cumplimiento de los generadores ante la participación de regulación primaria de frecuencia mediante los sistemas de adquisición de datos en tiempo real.
- Para la reserva secundaria de frecuencia, el CENACE analizará y asignará a los generadores que cumplan con las características técnicas para realizar dicho trabajo.
- Control de voltaje
  - El CENACE realizara estudios para determinar los rangos de voltaje óptimos para las barras del sistema para condiciones de operación normal, alerta, emergencia y restauración.
  - El factor de potencia de las cargas en los puntos de conexión debe ser brindados por el CENACE
  - Los generadores deben suministrar reactivos hasta el 95% de su límite de potencia reactiva, ya sea inductiva o capacitiva, para cualquier punto de operación de potencia activa. Se entregará el 100% de reactivos cuando el CENACE lo requiera.
  - La información de los equipos para regulación de voltaje y suministro de potencia reactiva deberá ser declarada al CENACE por medio del transmisor.
  - El CENACE con el fin de mantener los niveles de voltaje en sus límites, hará uso de compensadores sincrónicos para suministrar potencia reactiva, capacitiva o inductiva, según lo requiera el sistema.

#### **2.1.4.2 Criterios de seguridad y confiabilidad**

Estos criterios buscan mantener al sistema en una operación estable y limitar los posibles daños y efectos que se puedan llegar a producir en el sistema ante diversos tipos de contingencias [12].

- Ante un evento de pérdida de estabilidad de frecuencia, los mecanismos de control como reserva para regulación primaria y secundaria de frecuencia entraran en acción para mitigar el evento con valores obtenidos a través de un análisis efectuado por el CENACE [12].

## **2.1.5 REGULACIÓN Nro. ARCERNNR – 005/20**

En la presente regulación se brindan disposiciones referentes al funcionamiento comercial y administrativo de las diferentes transacciones comerciales que se realizan en el sector eléctrico. Se enfocará en el artículo 21 referente al tratamiento comercial de los servicios complementarios [13].

### **2.1.5.1 Regulación primaria y secundaria de frecuencia (RPF y RSF)**

- El porcentaje de reserva para regulación primaria de frecuencia, la reserva requerida para regulación secundaria de frecuencia, las unidades de generación utilizadas para regulación primaria y secundaria determinado por el CENACE, no corresponde a alguna liquidación por este concepto dentro de las transacciones del sector eléctrico [13].
- Para generadores y autogenerados que no hayan sido seleccionados en un Proceso Público de Selección o de negociación, si actúan en la reserva, esta será remunerada con el precio unitario de potencia [USD/kW - mes] [13].

### **2.1.5.2 Reactivos**

Los generadores que actúan como compensadores sincrónicos y que aporten con energía reactiva al SIN, se les brindará una remuneración horaria por el servicio. Esta remuneración saldrá de la demanda regulada y no regulada del SIN, la cual está en función del déficit horario de la energía reactiva para asegurar el factor de potencia establecido por el CENACE [13].

### **2.1.5.3 Arranque-Parada de unidades Turbo-Vapor**

La remuneración se la realizara cuando el sistema requiera este servicio. Se efectuará el pago por medio del CENACE y será cubierta por la demanda regulada y no regulada en función de la demanda comercial de energía [13].

## **2.2 Servicios de las BESS en Sistemas Eléctricos de Potencia**

### **2.2.1 Sistemas eléctricos aislados y sistemas eléctricos interconectados**

#### **2.2.1.1 Sistema eléctrico aislado**

Los sistemas eléctricos aislados son comúnmente encontrados en islas, la principal característica de estos sistemas es que no se encuentran interconectados con otros sistemas de potencia, de ahí proviene el nombre de aislado. La principal función de un sistema eléctrico de potencia, es suministrar la continua cantidad de potencia que requiera la demanda, al no estar interconectado con otro sistema, esto produce que el sistema aislado sea menos estable y seguro [14].

Otro de los inconvenientes que poseen los sistemas aislados es la parte económica, esto debido a que la importación de combustibles para el continuo suministro de energía por lo que es más rentable la implementación de energías renovables, sin embargo, se tiene que considerar las pérdidas que se pueden tener al tener sistemas fotovoltaicos o eólicos al no aprovechar en su totalidad la energía generada, lo que hace que sea bastante necesario la implementación de sistemas de almacenamiento de energía por medio de baterías [14].

#### **2.2.1.2 Sistema eléctrico interconectado**

Un sistema eléctrico interconectado aparece generalmente cuando la demanda supera a la generación, existiendo un desbalance ocasionando problemas en el sistema. Tener una interconexión a su vez asegura un continuo suministro eléctrico, mejora la seguridad, reduce los costos y aumenta la disposición de generación para ofertar un incremento en la demanda [15].

Un aspecto importante y útil de la utilización de los sistemas interconectados, es que la interconexión se la puede realizar de varias maneras, interna y externamente. Internamente se la puede obtener realizando la interconexión con varias fuentes generadoras de energía como centrales eólicas, fotovoltaicas, hidroeléctricas, termoeléctricas, etc. Externamente se lo puede obtener mediante la interconexión de sistemas eléctricos de potencia de diferentes países, como por ejemplo la interconexión entre Colombia y Ecuador.

## 2.2.2 Aplicaciones de los sistemas BESS a la red

Los sistemas BESS son un elemento que se puede implementar en las diferentes partes de un sistema de potencia, es decir que pueden ser implementados a niveles de alto, medio y bajo voltaje. En la Tabla 2.1, se indica los servicios que pueden brindar estos sistemas, basados en los diferentes grupos de enfoque.

**Tabla 2.1.** Aplicación de los sistemas BESS según grupo de enfoque [4].

<b>Grupo</b>	<b>Servicio BESS</b>
Propietario de red	Manejo de picos de carga o diferimiento de inversiones para reforzar el sistema
Operador de red	Servicios complementarios en regulación de frecuencia y control de voltaje
Servicio al consumidor (detrás del medidor)	Incremento del autoconsumo por energías renovables como fotovoltaica, energía de respaldo, reducción del consumo en horas pico, etc.

De una forma más específica se tienen las siguientes aplicaciones de los sistemas BESS en la red:

- Arbitraje de energía.
- Capacidad de suministro eléctrico.
- Regulación.
- Reserva rodante, reserva no rodante y reservas suplementarias.
- Control de voltaje.
- Arranque en negro.
- Seguimiento de carga - aumento de energías renovables.
- Aplazamiento de la actualización de la transmisión.
- Alivio de la congestión de la transmisión.
- Aplazamiento de la actualización de distribución y soporte de voltaje.
- Calidad de energía.
- Gestión de cargos por demanda.

### **2.2.3 BESS para servicios auxiliares**

Según la RLOSPEE los servicios complementarios se definen como “servicios prestados por las empresas eléctricas de generación, a través de sus unidades, para satisfacer requerimientos de seguridad y calidad en la operación del sistema nacional interconectado.” [citar RLOSPEE].

Dentro de esto los sistemas BESS pueden brindar servicios de: reserva rodante, regulación de frecuencia, arranque en negro, control de voltaje, integración de energías renovables, reducción de picos y nivelación de carga [16].

#### **2.2.3.1 Reserva rodante, reserva no rodante y reservas suplementarias**

Para este servicio se pueden utilizar las BESS en vez de la utilización de los generadores destinados a la reserva. Si se realiza esto, los sistemas BESS no solo aportan a los servicios complementarios, si no también que los generadores antes utilizados para reserva entren en operación brindando también un aporte económico al sistema [16].

Estas reservas son muy importantes en un sistema eléctrico, ya que llegan a operar cuando el sistema se queda sin alguna unidad de generación de forma inesperada. Generalmente las reservas son igual de grandes a la unidad de generación más grande, alrededor del 15-20% de este [4].

#### **2.2.3.2 Arranque en negro**

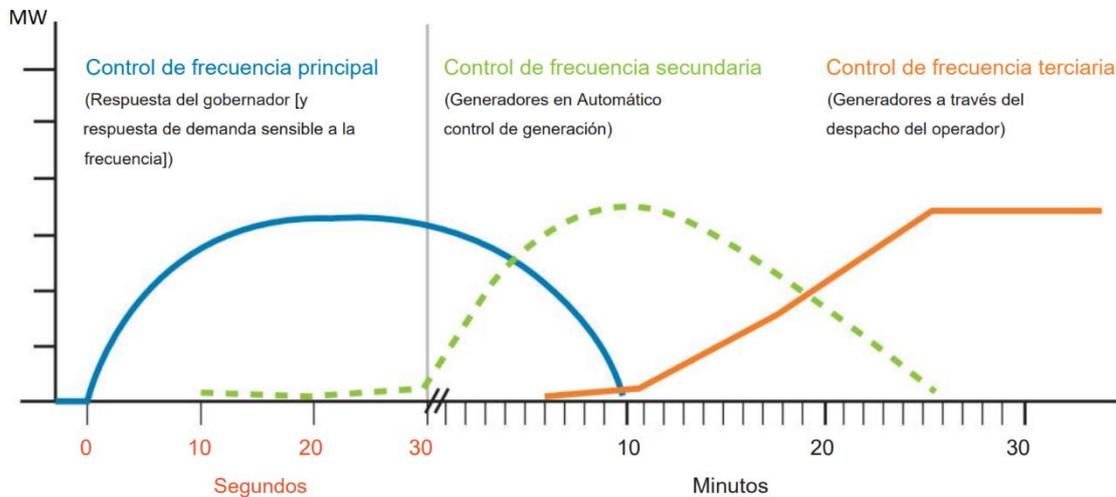
El sistema BESS puede proporcionar una reserva de potencia activa y de energía que puede ser utilizado para la energización de líneas tanto de transmisión como distribución, además de puede brindar energía a la subestación para que estas continúen funcionando después de una falla catastrófica. El sistema BESS puede brindar la energía de arranque igual o próxima a las centrales de generación más grandes [4].

#### **2.2.3.3 Control de voltaje**

Comúnmente para control de voltaje se utilizan otras centrales eléctricas encargadas de entregar potencia reactiva, sin embargo, con los sistemas BESS dichas centrales pueden llegar a ser reemplazadas, ya sea que se ubiquen en lugares centrales a la red o cerca de las grandes cargas. Hay que tomar en cuenta que los sistemas de conversión de potencia (PCS) que se utilicen para el almacenamiento para esta función, deben poder operar con factores de potencia diferentes a la unidad, esto para lograr generar y absorber potencia reactiva según lo requiera el sistema [4].

### 2.2.3.4 Regulación de frecuencia

La regulación de frecuencia consiste en ajustar en cada instante de tiempo la potencia con el fin de mantener una adecuada frecuencia para garantizar la estabilidad del sistema. La frecuencia en el sistema varía dependiendo de la demanda, es decir, si la demanda supera la cantidad de potencia que se genera, la frecuencia del sistema disminuye y cuando la demanda es menor a la generación, la frecuencia aumenta. Si se tiene una menor frecuencia, esto puede producir una caída de tensión o generar apagones, mientras que, si se tiene una sobrefrecuencia, esta puede llegar a dañar los elementos electrónicos que se encuentren conectados. Las BESS poseen la gran ventaja de que logran proporcionar la potencia de regulación que necesita el sistema en tiempos menores de 1 segundo [4]. En la Figura 2.2, se puede observar la acción ideal de las baterías para breves elevaciones de potencia con su respectivo tiempo de acción.



**Figura 2.2.** Acción ideal de las baterías para breves elevaciones de potencia [4].

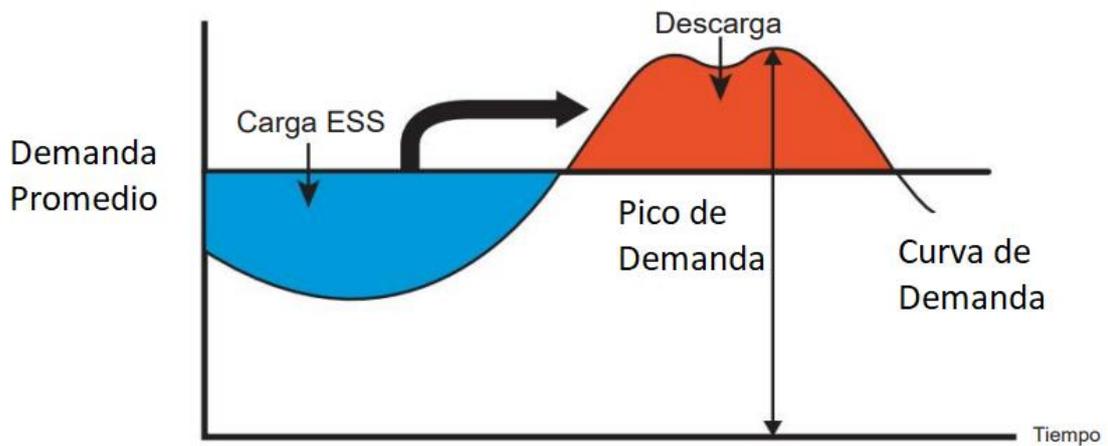
### **2.2.3.5 Integración de energías renovables**

En el futuro se espera que los sistemas eléctricos de potencia integran fuentes de energía renovable, como centrales eólicas y fotovoltaicas, y que dependan en su mayoría de estas. Sin embargo, la implementación de estas fuentes, presenta ciertos inconvenientes con respecto a la seguridad y confiabilidad del sistema, por ejemplo, pueden existir penalizaciones por una insuficiencia de refuerzo de la red con respecto a su capacidad para acomodar todas las conexiones solicitadas hacia la red o los operadores del sistema eléctrico pueden tener inconvenientes con la estabilidad del sistema evitando la inclusión de las energías renovables [4].

Los sistemas BESS ante estos inconvenientes proporciona una mayor flexibilidad al sistema eléctrico, lo que hace que sea bastante útil para la implementación de una mayor cantidad de fuentes de energía renovable de forma segura. Esto se puede realizar ya que los sistemas BESS pueden almacenar el excedente de energía, permite también que los errores debido al pronóstico se reduzcan ocasionando a su vez una reducción en la necesidad de adquirir reserva rodante [4].

### **2.2.3.6 Reducción de picos**

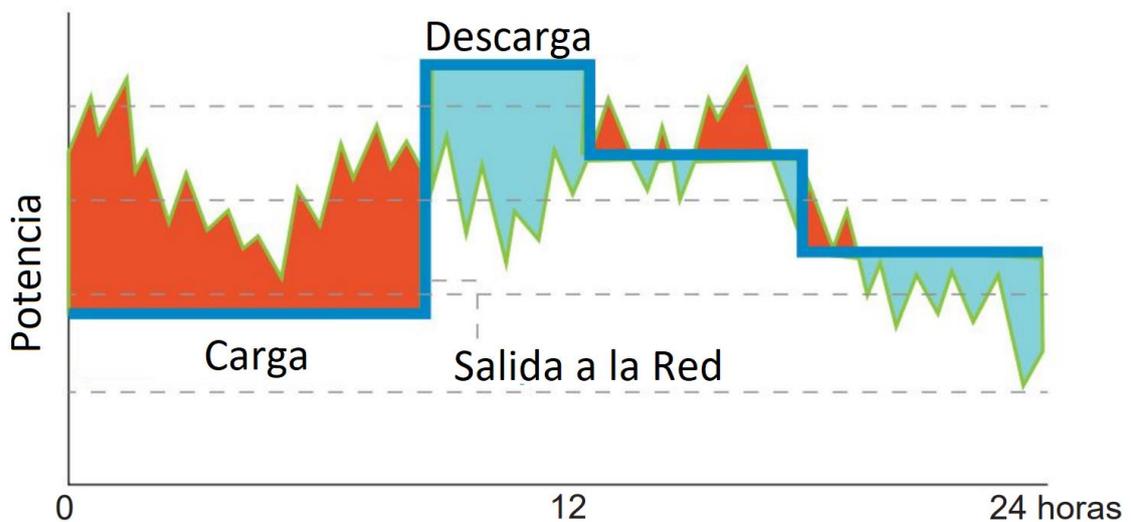
Existen puntos a lo largo del día en donde la capacidad del sistema se encuentra sobrecargado, la reducción de la demanda en este periodo de tiempo es conocido como reducción de picos. A largo plazo, esto permite administrar de mejor manera las inversiones para la construcción de nuevas centrales, esto a su vez permite a los consumidores obtener una menor tarifa eléctrica. En la Figura 2.3, se indica una curva de demanda promedio en función del tiempo, en la cual se indica cuando se realiza la carga y descarga del BESS para reducción de picos.



**Figura 2.3.** Sistema de almacenamiento de energía (BESS) para reducción de picos [4].

### 2.2.3.7 Nivelación de carga

La nivelación de carga consiste en cambiar la demanda que ocurre en las horas pico, a las horas en las que se encuentra el valle de energía, como se puede apreciar en la Figura 2.4. Este cambio se lo puede realizar insertando una tarifa de tiempo de uso con el cual se puede crear un incentivo hacia los consumidores para mover las horas de consumo a horas donde las tarifas son bajas. Esto también se lo puede realizar mientras las BESS antes del medidor lo cual permite nivelar la carga sin modificar el perfil de carga del consumidor [4]. Los beneficios que se puede obtener al realizar nivelación de carga se lo indica en el gráfico de la Figura 2.5, indicando los beneficios ante los diferentes grupos de enfoque.



**Figura 2.4.** Uso de sistemas de almacenamiento de energía (BESS) para nivelación de carga [4].

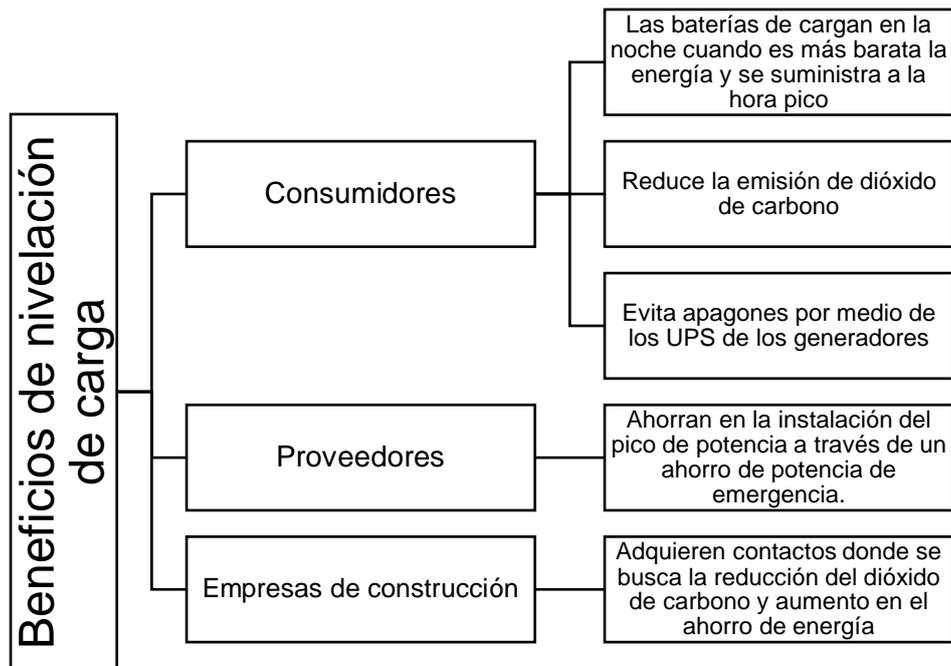
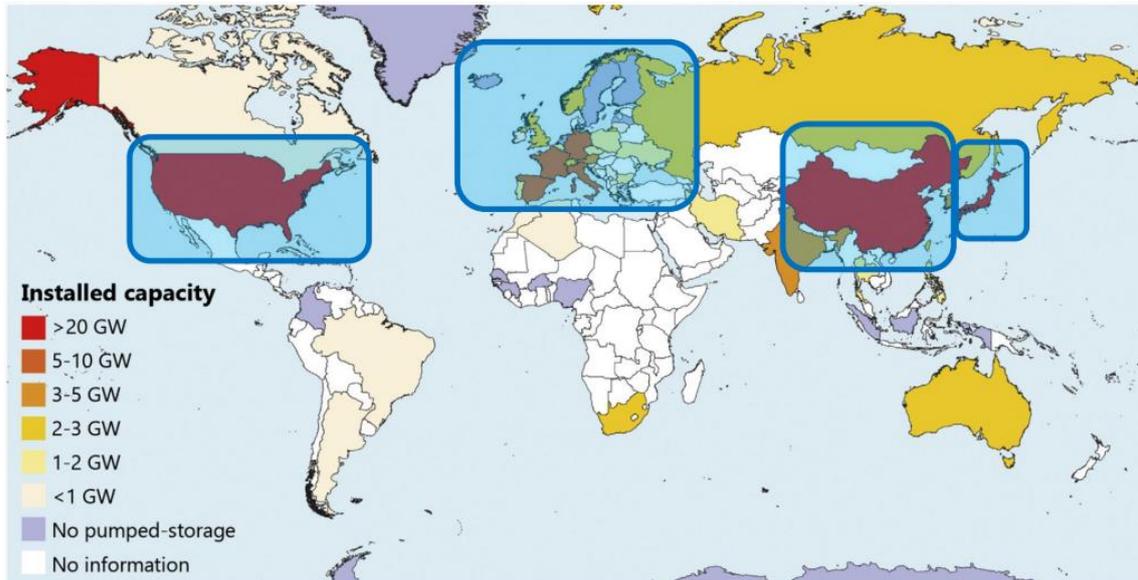


Figura 2.5. Beneficios de nivelación de carga [4].

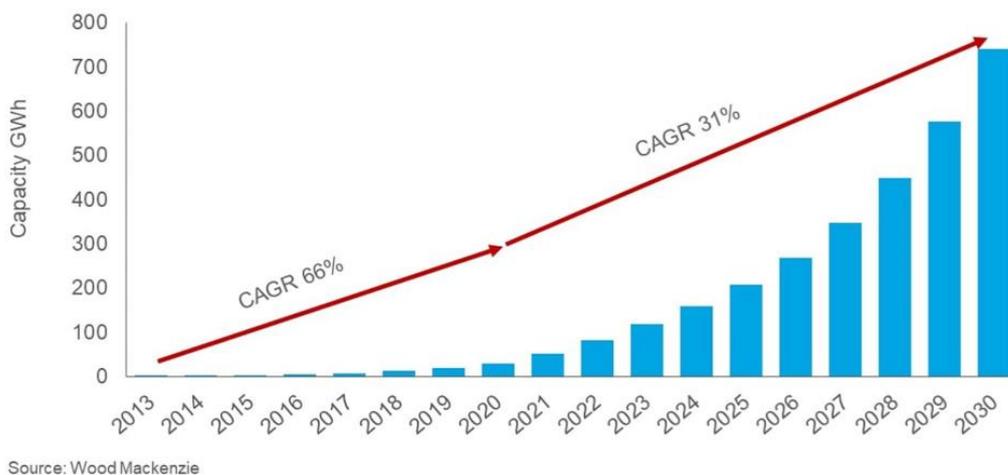
### 2.3 Sistemas de Almacenamiento de Energía en Baterías a nivel global

Debido a las diversas aplicaciones que nos brindan los sistemas BESS, estos sistemas ya han sido empleados en diversas partes del mundo, como se indica en la Figura 2.6, no solo por los beneficios que estos brindan, sino también porque se los puede encontrar de diversos tamaños y capacidades siendo útiles tanto para sistemas eléctricos de alto voltaje como para sistemas eléctricos de bajo voltaje.



**Figura 2.6.** Representación de capacidad BESS instalada en el mundo [17].

Otro de los motivos más importantes por el cual otros países han comenzado a utilizar este tipo de sistema, es debido al inminente crecimiento en la implementación de las energías renovables con uno de los objetivos de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>. Un informe realizado por Wood Mackenzie, grupo global de investigación y consultoría que brinda análisis y datos en varios campos de los recursos naturales entre ellos la energía y energías renovables, indica una proyección de la capacidad global de almacenamiento de energía, Figura 2.7, donde las siglas CAGR indican la tasa de crecimiento anual compuesta.



**Figura 2.7.** Capacidad acumulada global de almacenamiento de energía [18].

## **2.3.1 Chile**

### **2.3.1.1 Sistema de almacenamiento Angamos**

La Empresa Eléctrica Angamos operan una central térmica en la región de Antofagasta, Chile. La central brinda una potencia de 545 MW con un sistema de almacenamiento de iones de litio que tienen una capacidad de 20 MW con una capacidad de almacenamiento de 6.6 MWh. Esta BESS es utilizada como reserva de energía y regulador de frecuencia [19].

### **2.3.1.2 Sistema de almacenamiento Los Andes**

Los equipos BESS de Norgener se encuentran en la central térmica Los Andes en la región de Copiapó, Chile. La central posee un sistema de almacenamiento de iones de litio que tienen una capacidad de 12 MW con una capacidad de almacenamiento de 4 MWh. Esta BESS es utilizada como reserva de energía [20].

### **2.3.1.3 Andes Solar II B**

AES Chile pretende construir el parque solar más eficiente, este estará ubicado en Antofagasta, Chile. El parque solar será diseñado para suministrar 180 MW con un sistema de almacenamiento de baterías de ion litio de 112 MW con una capacidad de 560 MWh. La principal funcionalidad de esta BESS será almacenar energía para suministrarla durante la noche, con un tiempo de suministro a la red de 5 horas.

## **2.3.2 Estados Unidos**

### **2.3.2.1 Yerba Buena BESS / PG&E**

La empresa Pacific Gas & Electric Company (PG&E) implemento una central de almacenamiento de energía en la ciudad de California, Estados Unidos. Las baterías son de tipo sodio – azufre proporcionadas por NGK Insulators de Japón, las cuales tendrán una capacidad de 4 MW con una capacidad de almacenamiento de 24 MWh con el fin de equilibrar la energía en la red brindando nivelación de carga, integración de energías renovables, mejorar la calidad y confiabilidad [21].

### **2.3.2.2 BESS for Notrees wind farm**

Este sistema BESS se encuentra conectado a un parque eólico en la ciudad de Texas, Estados Unidos. El parque eólico tiene una capacidad de 153 MW a la cual se le conecta un sistema de almacenamiento de 36 MW, sin embargo, trabaja con una capacidad de

almacenamiento de 24 MWh. En un principio las baterías utilizadas eran de ácido de plomo, sin embargo, se las reemplazaron por baterías de iones de litio, utilizado principalmente para realizar regulación primaria de frecuencia.

### **2.3.2.3 Tehachapi BESS**

Este proyecto fue financiado y construido por Southern California Edison (SCE) con apoyo del Departamento de Energía de Estados Unidos en Tehachapi, California. El sistema BESS se encuentra conectado con la subestación eólica Monolith de SCE. Esta BESS está formada por baterías de iones de litio la cual tiene una capacidad de 8 MW con una capacidad de almacenamiento de 32 MWh cuyos objetivos principales son el almacenamiento de energía y la integración de energías renovables [22].

## **2.3.3 China**

### **2.3.3.1 Dalian VFB – UET / Rongke Power**

Esta central fue fabricada por la compañía Rongke Power en conjunto con la Administración Nacional de China en la ciudad de Dalian, China. La central cuenta con baterías de flujo de vanadio (VFB) que poseen una capacidad de 200 MW con una capacidad de almacenamiento de 800 MWh, siendo una de las de las más grandes del mundo. Las aplicaciones de este proyecto se basarán en proporcionar: arranque en negro, reafirmación de la capacidad de las energías renovables, cambio de tiempo de energía eléctrica y energía renovable y resiliencia [23].

### **2.3.3.2 BESS de Zhangbei**

En el 2011, China creó una de las mayores estaciones de almacenamiento de energía en baterías del mundo, este se encontraba conectado a una central eólica y fotovoltaica ubicadas en Zhangbei, China. Esta estación generaba en su totalidad 140 MW con una capacidad de almacenamiento en baterías de hierro – fosfato de 36 MWh. Las aplicaciones del BESS al sistema son la integración de las energías renovables, control de frecuencia y control de voltaje [24].

## **2.3.4 Japón**

### **2.3.4.1 BESS de Buzen**

La empresa Mitsubishi Electric Corp. realizó un sistema de almacenamiento conectado a la subestación de Buzen en Japón. El sistema BESS posee baterías de tipo sodio – azufre con una capacidad de 50 MW y una capacidad de almacenamiento de 300 MWh. El objetivo de esta BESS está enfocado en la regulación de frecuencia y la integración de energías renovables [25].

## **2.3.5 Alemania**

### **2.3.5.1 BESS de Braderup**

El sistema BESS se encuentra conectado a un parque eólico ubicado en Braderup, Alemania. El parque eólico genera 18 MW y el sistema BESS está conformado por 2 tipos de baterías, una unidad de batería tipo iones de litio de 2MW con una capacidad de almacenamiento de 2 MWh, y una unidad de batería tipo flujo redox de vanadio de 325 KW con una capacidad de almacenamiento de 1 MWh brindando así una capacidad de almacenamiento total de 3 MWh. La principal función del BESS es la integración de la energía renovable y como reserva de energía [26].

## **2.3.6 Australia**

### **2.3.6.1 BESS de Ballarat**

La Agencia Australiana de Energías Renovables (ARENA) en conjunto con el gobierno de Victoria financiaron la implementación de un sistema BESS en Ballarat. Este sistema tiene una capacidad de 30 MW con una capacidad de almacenamiento de 30 MWh que se encuentra conectada a la subestación Ballarat con los objetivos de brindar reducción de picos, estabilidad y seguridad a la red, alivio de congestión de la red [27].

### **2.3.6.2 BESS de Gannawarra**

El sistema BESS se encuentra en Gannawarra en Victoria, Australia. Este sistema BESS está formada por baterías de Tesla que se encuentra conectado en la granja solar de Gannawarra que brinda una capacidad de 60 MW. El BESS tiene una capacidad de 25 MW con una capacidad de almacenamiento de 50 MWh con el fin de integrar la energía renovable, estabilidad y alivio de congestión de la red [27].

### **2.3.6.3 BESS de Hornsdale**

Este sistema BESS se encuentra conectado al parque eólico de Hornsdale, en un principio la BESS tenía una capacidad de 100 MW, pero debido a los beneficios que trajo este proyecto se realizó una expansión de 50 MW. La BESS fue construida por la empresa Neoen con baterías de Tesla y actualmente posee una capacidad de 150 MW con una capacidad de almacenamiento de 193.5 MWh. Las aplicaciones de la BESS son la integración de energía renovable y reducción de eventos de deslastre de carga mediante regulación de frecuencia [28].

## **2.4 Estándares y normas BESS en otros países**

### **2.4.1 Estándares y Normas Generales**

#### **2.4.1.1 DNVGL-RP-0043: Safety, Operation, and Performance of Grid-Connected Energy Storage Systems (GRIDSTOR)**

Creado por DNV-GL. En este documento tiene como objetivo proporcionar una serie de recomendaciones con respecto de los sistemas de almacenamiento de energía conectados a la red, que tenga validez para todos los tipos de mercados y regiones geográficas y así mismo para todas las aplicaciones tanto para operadores del sistema como los consumidores. La estructura es la siguiente.

“Sec. 1 generalidades.

Sec.2 contiene las definiciones y abreviaturas, incluidas breves descripciones de las tecnologías de almacenamiento dentro del alcance.

Sec. 3 enumera las aplicaciones de los sistemas de almacenamiento estacionario, agrupados en: servicios de energía a granel, servicios auxiliares, servicios de infraestructura de transmisión y distribución, gestión de energía del cliente e integración de energías renovables.

Las fases del ciclo de vida de un sistema de almacenamiento se mencionan en la Sección 4: diseño y planificación, transporte, instalación y puesta en marcha, operación, mantenimiento y reparación, gestión del final de la vida útil. Sec.4 también enumera los requisitos de documentación en cada una de estas fases.

Sec.5 define los principales indicadores de rendimiento para calificar o comparar los sistemas de almacenamiento para una determinada aplicación, incluidos los indicadores de rendimiento para los análisis económicos.

En la Sec.6, operación, mantenimiento y reparación, se cubren temas tales como consideraciones de automatización, requisitos de documentación y requisitos para las funciones de monitoreo y control.

La sec. 7 sobre diseño de seguridad cubre cuestiones genéricas y cuestiones específicas de la tecnología, métodos de análisis de riesgos (p. ej., FMEA) y consideraciones de seguridad con respecto a las aplicaciones de segunda vida (reutilización).

El análisis ambiental se aborda en la sec. 8, es decir, los efectos de los sistemas de almacenamiento en el medio ambiente y los efectos del medio ambiente en la operación del sistema de almacenamiento. Se presta especial atención a la fase de desmantelamiento y reciclaje.

En la Sec.9 se presenta el método recomendado para dimensionar el sistema de almacenamiento para una determinada aplicación, cubriendo temas como requisitos de potencia y energía, consideraciones de ubicación y consideraciones económicas. La sección final,

Sec.10, aborda los marcos legales, reglamentos y estándares existentes.” [29].

#### **2.4.1.2 2018 International Fire Code (IFC)**

Creado por International Code Council. El Capítulo 12 del IFC cubre los sistemas de energía y la Sección 1206 de ese capítulo cubre los sistemas de almacenamiento de energía eléctrica [30].

#### **2.4.1.3 IEEE C2-2023: National Electric Safety Code (R) (NESC(R))**

Creado por IEEE. El NESC(R) 2023 cubre la protección práctica de las personas durante la instalación, operación o mantenimiento de (1) estaciones de suministro eléctrico, (2) líneas aéreas de suministro y comunicaciones, y (3) cables de suministro y comunicaciones subterráneos o enterrados. También incluye reglas de trabajo para la operación de líneas y equipos de suministro eléctrico y comunicaciones. Este Código consta de la introducción, definiciones, reglas de conexión a tierra, listas de documentos bibliográficos y referenciados, y las Partes 1, 2, 3 y 4 de la Edición 2023 del Código Nacional de Seguridad Eléctrica [31].

#### **2.4.1.4 NFPA 1-18: Fire Code**

Creada por National Fire Protection Association. El Capítulo 52 incluye requisitos relacionados con la instalación de sistemas de almacenamiento de energía. Los requisitos reconocen tanto las tecnologías de baterías establecidas como las nuevas tecnologías de almacenamiento de energía. Las disposiciones se aplican a las aplicaciones de sistemas de almacenamiento de energía nuevos y existentes [32].

#### **2.4.1.5 NFPA 70-17: National Electrical Code (NEC)**

Creada por National Fire Protection Association. El artículo 706 se aplica a los sistemas de almacenamiento de energía y el artículo 480 sigue siendo aplicable a las baterías, además de otros criterios del NEC relacionados con equipos e instalaciones eléctricas [33].

### **2.4.2 Estándares y Normas para Instalación BESS**

#### **2.4.2.1 FM Global Property Loss Prevention Data Sheet # 5-33: Electrical Energy Storage Systems**

Creada por FM Global. La hoja de datos describe las recomendaciones de prevención de pérdidas para el diseño, la operación, la protección, la inspección, el mantenimiento y las pruebas de los sistemas de almacenamiento de energía eléctrica, que pueden incluir baterías, cargadores de baterías, sistemas de gestión de baterías, gestión térmica y recintos asociados y sistemas auxiliares. El enfoque de esta hoja de datos es principalmente en la tecnología de baterías de iones de litio [34].

#### **2.4.2.2 IEEE 1635-18/ASHRAE Guideline 21-18: Guide for Ventilation and Thermal Management of Batteries for Stationary Applications**

Creado por IEEE. Cubre cómo los sistemas de baterías estacionarias que utilizan aplicaciones de baterías de plomo-ácido ventiladas (VLA), plomo-ácido reguladas por válvula (VRLA) y níquel-cadmio (NiCad) pueden proporcionarse con ventilación adecuada y gestión térmica. Para cada tipo, se describen tanto la tecnología como el diseño de la batería para facilitar la comprensión de los problemas ambientales asociados con cada una [35].

#### **2.4.2.3 IEEE 1578-18: Recommended Practice for Stationary Battery Electrolyte Spill Containment and Management**

Creado por IEEE. Proporciona descripciones de productos, métodos y procedimientos relacionados con baterías estacionarias, mecanismos de derrame de electrolitos de baterías, metodologías de contención y control de electrolitos y consideraciones para combatir incendios [36].

#### **2.4.2.4 NECA 416-16: Recommended Practice for Installing Stored Energy Systems**

Creada por National Electrical Contractors Association. Los Estándares Nacionales de Instalación Eléctrica (NEIS) están diseñados para mejorar la comunicación entre especificadores, compradores y proveedores de servicios de construcción eléctrica y están destinados a ser referenciados en documentos contractuales para proyectos de construcción eléctrica. NECA 416-16 describe las prácticas de instalación para sistemas de almacenamiento de energía, como sistemas de baterías, volantes, ultra condensadores y cargadores inteligentes utilizados para aplicaciones de vehículo a red (V2G) de vehículos eléctricos (EV), además se exceptúan almacenamiento de energía en aire comprimido (CAES), almacenamiento de energía hidráulica bombeada (PHS), almacenamiento de energía térmica (TES) [37].

#### **2.4.2.5 NFPA 855: Standard for the Installation of Stationary Energy Storage Systems**

Creada por National Fire Protection Association. La norma cubre la seguridad de todos los sistemas de almacenamiento de energía y su instalación en el entorno construido. Los capítulos de la norma cubren el equipo, la protección y la instalación, las limitaciones en la capacidad del sistema de almacenamiento de energía en función de la tecnología y la ubicación y luego proporcionan criterios adicionales centrados en tecnologías específicas del sistema de almacenamiento de energía [38].

#### **2.4.2.6 NFPA 1078: Standard for Electrical Inspector Professional Qualifications**

Creada por National Fire Protection Association. La norma detalla las calificaciones de las personas encargadas de revisar y aprobar los planos e inspecciones eléctricas incluidas los sistemas de almacenamiento de energía [39].

## **2.4.3 Estándares y Normas para un BESS Completo**

### **2.4.3.1 ESS-1-2019: Standard for Uniformly Measuring and Expressing the Performance of Electrical Energy Storage Systems**

Creada por National Electrical Manufacturers Association. Proporciona criterios relacionados con la seguridad para los ESS, Sistemas de Almacenamiento de Energía, eléctricos. Su estructura es la siguiente:

“La Sección 1 establece el propósito de la Norma.

La Sección 2 es el alcance.

Sección 3 contiene definiciones.

La Sección 4 proporciona una descripción general del Estándar y cómo se debe aplicar a cualquier BESS.

La Sección 5 proporciona los detalles asociados con las métricas de rendimiento relevantes, los procedimientos de prueba para medir los datos de rendimiento asociados con las métricas, así como el ciclo de trabajo que es relevante para cada aplicación y se utiliza para guiar las pruebas asociadas con las métricas relevantes del ciclo de trabajo.

La Sección 6 simplemente proporciona la guía para informar uniformemente el valor de cada métrica en función de los requisitos de la Sección 5, que cubre las pruebas, la recopilación de datos y el uso de los datos para calcular las métricas relevantes asociadas con el ESS.” [40].

### **2.4.3.2 ANSI/CAN/UL 9540: Energy Storage Systems and Equipment**

Creada por Underwriters Laboratories, incluye estándares americanos y canadienses. Norma de seguridad de producto para un sistema de almacenamiento de energía. Topa la seguridad de los BESS aplicados a almacenar energía de la red, fuentes renovables u otras fuentes de energía y proporcionar energía eléctrica u otros tipos de energía a cargas o equipos de conversión de energía. El objetivo de la norma es garantizar el funcionamiento con un nivel óptimo de seguridad para los usuarios de energía residenciales e industriales [41].

### **2.4.3.3 UL 9540A: Test Method for Evaluating Thermal Runaway Fire Propagation in Battery Energy Storage Systems (BESSs)**

Creada por Underwriters Laboratories. Este método de prueba evalúa las características de fuego de un sistema de almacenamiento de energía de batería que sufre una fuga térmica. Los datos generados se pueden utilizar para determinar la protección contra incendios y explosiones requerida para una instalación de un sistema de almacenamiento de energía de batería. Los resultados del método de prueba UL 9540A abordan los problemas relacionados con instrucciones de instalación de BESS, requisitos de ventilación de la instalación, eficacia de la protección contra incendios (integral o externa), estrategia y tácticas del servicio de bomberos [42].

## **2.4.4 Estándares y Normas para Componentes BESS**

### **2.4.4.1 IEE P1679.X**

**IEEE P1679.1: Guide for the Characterization and Evaluation of Lithium-Based Batteries in Stationary Applications**

**IEEE P1679.2: Guide for the Characterization and Evaluation of Sodium-Beta Batteries in Stationary Applications**

**IEEE P1679.3: Guide for the Characterization and Evaluation of Flow Batteries in Stationary Applications**

**IEEE P1679.4: Guide for the characterization and evaluation of alkaline batteries in stationary applications**

Creada por IEEE. Proporciona información sobre las características de seguridad y las condiciones de funcionamiento relacionadas con las aplicaciones estacionarias de baterías de litio, sodio y flujo, según sea el caso, incluidas recomendaciones sobre cómo caracterizar el rendimiento y la seguridad de las baterías de iones de litio, sodio y flujo, según sea el caso, en aplicaciones estacionarias [43].

#### **2.4.4.2 IEEE P2686: Recommended Practice for Battery Management Systems in Energy Storage Applications**

Creada por IEEE. Este documento incluye información sobre el diseño, la instalación y la configuración de los sistemas de administración de baterías en aplicaciones estacionarias, incluidos los modos interactivos con la red, de ciclo autónomo y de espera. Este documento cubre el hardware, el software y la configuración de administración de la batería. Las capacidades de hardware en sistemas grandes incluyen: puesta a tierra y aislamiento; equilibrio pasivo y activo; y sensores cableados o inalámbricos. Las capacidades del software incluyen: algoritmos para una operación óptima con riesgo reducido; mejores prácticas de verificación y validación; alarmas; y comunicación con sistemas externos. Los ajustes comunes se analizan junto con los métodos de selección de ajustes. Los tipos de baterías que cubre este documento incluyen baterías de iones de litio, de sodio-beta, de plomo-ácido avanzadas y de flujo. Se proporcionan factores generales para otros tipos [44].

#### **2.4.4.3 IEEE P1547.9: Guide to Using IEEE Standard 1547 for Interconnection of Energy Storage Distributed Energy Resources with Electric Power Systems**

Creada por IEEE. La guía indica cómo interconectar BESS y otros recursos de energía distribuida a los sistemas de energía. También considerará temas relacionados con BESS que no se incluyan o no se cubran por completo en IEEE 1547 [45].

#### **2.4.4.4 ANSI/CAN/UL 1974-18: Evaluation for Repurposing Batteries**

Creada por Underwriters Laboratories. Esta norma cubre el proceso de selección y calificación de paquetes de baterías, módulos y celdas, y capacitores electroquímicos que se usaron originalmente para otros fines, y que están destinados a una aplicación de uso reutilizado, como uso en sistemas estacionarios de almacenamiento de energía y otras aplicaciones [46].

### 3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 3.1 Resultados

En la Tabla 3.1 se indican los artículos que hacen referencia a los servicios complementarios que se encuentran en las diferentes normas, reglamentos y regulaciones existentes en el Ecuador. Se realiza este análisis debido a que los sistemas BESS son utilizados principalmente para servicios complementarios y esto ayudara en su implementación al Ecuador.

**Tabla 3.1.** Normas, reglamentos y regulaciones en el Ecuador de servicios complementarios.

Documento	Contenido
Constitución de la República del Ecuador	Artículo 313 y artículo 314
Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica	Considerando, artículo 40 y artículo 41
Reglamento a la ley orgánica del servicio público de energía eléctrica	Artículo 3, disposición transitoria novena.
Regulación 004-20	Artículo 13
Regulación 005-20	Artículo 21

En la Tabla 3.2, se indican las diferentes aplicaciones con sus respectivas características que se les puede dar a un sistema de almacenamiento de energía por baterías, ya no solo a los casos comunes de servicios complementarios como regulación de frecuencia y de voltaje, si no también otras aplicaciones que pueden llegar a ser de gran utilidad para la red.

**Tabla 3.2.** Servicios de las BESS en Sistemas Eléctricos de Potencia

Aplicación	Descripción	Características
Arbitraje de energía	Consiste en realizar la compra de energía eléctrica cuando esta se encuentra más barata, en este punto se busca realizar la carga de los sistemas BESS, para que	El tamaño del sistema de almacenamiento se debe encontrar entre 1-500 MW con una duración de descarga de la batería hasta menos de 1 hora aproximadamente.

	esta energía pueda usarse o venderse cuando el precio de la energía eléctrica sea más alto.	
Capacidad de suministro eléctrico	Los sistemas BESS pueden ser utilizados para reducir o evitar la necesidad de comprar energía a diferentes entidades.	El tamaño del BESS se debe encontrar entre 1-500 MW con una duración de descarga del BESS entre 2-6 horas.
Regulación	Los sistemas BESS para servicios complementarios, es uno de los principales usos de estos sistemas, los cuales se encargan de administrar los flujos de intercambio con otras áreas de control para lograr que estas coincidan con los flujos de intercambio programado y las variaciones en la demanda. Se ocupan en su mayoría para realizar control de frecuencia.	Se ocupan en su mayoría para realizar control de frecuencia. El tamaño de los sistemas BESS se encuentran alrededor de 10-40 MW con un tiempo de descarga entre 15 min – 1 hora.
Reserva rodante, reserva no rodante y reservas suplementarias	Estas reservas son muy importantes en un sistema eléctrico, ya que estas llegan a operar cuando el sistema se queda sin alguna unidad de generación de forma inesperada.	La capacidad del BESS es alrededor de 10 – 100 MW dependiendo de la unidad más grande de generación, con un tiempo de descarga entre 15 min – 1 hora.

	<p>Generalmente las reservas son igual de grandes a la unidad de generación más grande, alrededor del 15-20% de este.</p>	
<p>Control de voltaje</p>	<p>Comúnmente para control de voltaje se utilizan otras centrales eléctricas encargadas de entregar potencia reactiva, sin embargo, con los sistemas BESS dichas centrales pueden llegar a ser reemplazadas, ya sea que se ubiquen en lugares centrales a la red o cerca de las grandes cargas. Hay que tomar en cuenta que los sistemas de conversión de potencia (PCS) que se utilicen para el almacenamiento para esta función, deben poder operar con factores de potencia diferentes a la unidad, esto para lograr generar y absorber potencia reactiva según lo requiera el sistema.</p>	<p>El sistema BESS tiene que tener un rango entre 1 – 10 MVAR, ya que el BESS se encontrara siempre activo, no se tienen tiempos de descarga.</p>
<p>Arranque en negro</p>	<p>El sistema BESS puede proporcionar una reserva de potencia activa y de energía que puede ser</p>	<p>El sistema BESS puede brindar la energía de arranque igual o próxima a las centrales de</p>

	<p>utilizado para la energización de líneas tanto de transmisión como distribución, además de puede brindar energía a la subestación para que estas continúen funcionando después de una falla catastrófica.</p>	<p>generación más grandes. Los sistemas BESS tienen que estar dimensionado entre 5-50 MW con una duración de descarga entre 15 min – 1 hora.</p>
<p>Seguimiento de carga - aumento de energías renovables</p>	<p>El seguimiento de carga tiene la característica de que la potencia cambia continuamente. Este cambio es ocasionado por la variación que existe entre la generación y la carga, lo cual es ocasionado por los cambios en la frecuencia del sistema, la variación en la carga o la unión de ambas.</p>	<p>El tamaño del BESS se encuentra entre 1 – 100 MW con tiempo de descarga entre 15 min -1 hora.</p>
<p>Aplazamiento de la actualización de la transmisión</p>	<p>Esto consiste en retrasar las inversiones utilizadas para la actualización de los sistemas de transmisión haciendo uso de los sistemas BESS pequeñas. Un sistema con una cargabilidad alta, estaría sujeta a una actualización para aliviar el sistema, con la implementación de las BESS aguas abajo del nodo de transmisión,</p>	<p>El tamaño del BESS para lograr esto se debe encontrar entre 10 – 100 MW con un tiempo de descarga entre 2 – 8 horas.</p>

	puede retrasar la actualización de la red.	
Alivio de la congestión de la transmisión	La congestión ocurre cuando la generación no logra entregar la potencia requerida por todas o algunas cargas por una inadecuada instalación de transmisión. Esto ocurre generalmente cuando la generación no se encuentra a la par con el crecimiento de la demanda, por este motivo la inclusión de las BESS puede llegar a descongestionar el sistema.	El tamaño del BESS se debe encontrar entre 1 – 100 MW con un tiempo de descarga entre 1-4 horas.
Aplazamiento de la actualización de distribución y soporte de voltaje	Se busca retrasar la actualización de los sistemas de distribución que serían necesarios para satisfacer a la carga. La utilización de las BESS podría llegar a evitar el reemplazo de un transformador de distribución viejo o sobrecargado en una subestación o reducir las líneas de distribución con cables mayor calibre.	El tamaño del BESS se debe encontrar entre 500 kW – 10 MW con un tiempo de descarga entre 1-4 horas.
Calidad de energía	Para lograr una correcta calidad de energía, se implementan BESS para contrarrestar eventos de	El tamaño de las BESS para esta aplicación se encontraría entre los 100 kW – 10 MW, al ser

	corta duración que pueden llegar a afectar al consumidor.	eventos de corta duración el tiempo de descarga se encontraría entre los 10 seg – 15 min
Gestión de cargos por demanda	Las BESS lo implementan los usuarios finales, consumidores, con el fin de reducir los costos del servicio eléctrico, utilizando la energía en días y horas donde el costo sea mayor.	El tamaño del BESS se encontraría entre 50 kW – 10 MW con una duración de descarga entre 1 – 4 horas.

La Tabla 3.3 indica un resumen de los diferentes países donde se ha implementado los sistemas BESS. Se indica el nombre del proyecto, el tipo de baterías que se implementan, su capacidad nominal y de almacenamiento, y las aplicaciones que dichas ciudades han dado a las BESS.

**Tabla 3.3.** BESS en el mundo

País	Nombre	Tipo	MW	MWh	Aplicación
China	Dalian VFB - UET	Flujo redox de vanadio	200	800	Arranque en negro, reafirmación de la capacidad de las energías renovables, cambio de tiempo de energía eléctrica y energía renovable y resiliencia
China	BESS de Zhangbei	Hierro - Fosfato	6	36	Integración de las energías

					renovables, control de frecuencia y control de voltaje.
Japón	BESS de Buzen	Sodio - Azufre	50	300	Regulación de frecuencia y la integración de energías renovables.
Estados Unidos	Yerba Buena BESS – PG&E	Sodio- Azufre	4	24	Nivelación de carga, integración de energías renovables, mejorar la calidad y confiabilidad.
Estados Unidos	Notrees BESS	iones de litio	36	24	Regulación primaria de frecuencia
Estados Unidos	Tehachapi BESS	iones de litio	8	32	Almacenamiento de energía y la integración de energías renovables.
Chile	BESS de Angamos	iones de litio	20	6.6	Reserva de energía
Chile	BESS de Los Andes	iones de litio	12	4	Reserva de energía
Chile	Andes Solar II B	iones de litio	112	560	Suministro de energía
Alemania	BESS de Braderup	iones de litio y flujo	2.325	3	Integración de la energía

		redox de vanadio			renovable y como reserva de energía.
Australia	BESS de Ballarat	Baterías Fluence	30	30	Reducción de picos, estabilidad y seguridad a la red, alivio de congestión de la red.
Australia	BESS de Gannawarra	Baterías Tesla	25	50	Integrar la energía renovable, estabilidad y alivio de congestión de la red.
Australia	BESS de Hornsdale	Baterías Tesla	150	193.5	Integración de energía renovable y reducción de eventos de deslastre de carga mediante regulación de frecuencia

En la Tabla 3.4 se busca brindar las bases de referencia con respecto a los diferentes estándares y normas que se utilizan en otros países del mundo. Las normas y estándares presentados hacen referencia no solo a la parte técnica de los BESS, si no también, a criterios de seguridad, calidad, parámetros constitutivos, entre otros, que de igual manera son de mucha importancia no solo para asegurar el correcto funcionamiento del BESS si no también para asegurar la protección del operador del BESS.

**Tabla 3.4.** Estándares y normas BESS en otros países

<b>ESTÁNDARES Y NORMAS GENERALES</b>		
<b>Documento</b>	<b>Nombre</b>	<b>Creador</b>
DNVGL-RP-0043	Safety, Operation, and Performance of Grid-Connected Energy Storage Systems (GRIDSTOR)	DNV GL
IFC- Capítulo 12.-Sección 1206	2018 International Fire Code (IFC)	Consejo Internacional de Códigos (ICC)
IEEE C2-2023	National Electric Safety Code (R) (NESC(R))	Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)
NFPA 1-18	Fire Code	National Fire Protection Association (NFPA)
NFPA 70-17	National Electrical Code (NEC)	National Fire Protection Association (NFPA)
<b>ESTÁNDARES Y NORMAS PARA INSTALACION BESS</b>		
<b>Documento</b>	<b>Nombre</b>	<b>Creador</b>
FM Global Property Loss Prevention Data Sheet # 5-33	Electrical Energy Storage Systems	FM Global
IEEE 1635-18/ASHRAE Guideline 21-18	Guide for Ventilation and Thermal Management of Batteries for Stationary Applications	Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)
IEEE 1578-18	Recommended Practice for Stationary Battery Electrolyte Spill Containment and Management	Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)
NECA 416-16	Recommended Practice for Installing Stored Energy Systems	National Electrical Contractors Association (NECA)

NFPA 855	Standard for the Installation of Stationary Energy Storage Systems	National Fire Protection Association (NFPA)
NFPA 1078	Standard for Electrical Inspector Professional Qualifications	National Fire Protection Association (NFPA)
<b>ESTÁNDARES Y NORMAS PARA UN BESS COMPLETO</b>		
<b>Documento</b>	<b>Nombre</b>	<b>Creador</b>
ESS-1-2019	Standard for Uniformly Measuring and Expressing the Performance of Electrical Energy Storage Systems	National Electrical Manufacturers Association (NEMA)
ANSI/CAN/UL 9540	Energy Storage Systems and Equipment	Underwriters Laboratories (UL)
UL 9540A	Test Method for Evaluating Thermal Runaway Fire Propagation in Battery Energy Storage Systems (BESSs)	Underwriters Laboratories (UL)
<b>ESTÁNDARES Y NORMAS PARA COMPONENTES ESS</b>		
<b>Documento</b>	<b>Nombre</b>	<b>Creador</b>
IEEE P1679.1	Guide for the Characterization and Evaluation of Lithium-Based Batteries in Stationary Applications	Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)
IEEE P1679.2	Guide for the Characterization and Evaluation of Sodium-Beta Batteries in Stationary Applications	Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)
IEEE P1679.3	Guide for the Characterization and Evaluation of Flow	Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)

	Batteries in Stationary Applications	
IEEE P1679.4	Guide for the characterization and evaluation of alkaline batteries in stationary applications	Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)
IEEE P2686	Recommended Practice for Battery Management Systems in Energy Storage Applications	Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)
IEEE P1547.9	Guide to Using IEEE Standard 1547 for Interconnection of Energy Storage Distributed Energy Resources with Electric Power Systems	Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)
ANSI/CAN/UL 1974-18	Evaluation for Repurposing Batteries	Underwriters Laboratories (UL)

### 3.2 Conclusiones

- La tecnología implementada en las BESS es muy versátil, pudiendo tener así sistemas de almacenamiento de gran capacidad que a su vez sean muy grandes, como sistemas de baja capacidad de almacenamiento con un tamaño mas reducido, lo que les permite su implementación en diferentes escenarios, grandes como son los sistemas de potencia o pequeños como podría ser a nivel residencial y comercial.
- La tecnología de las BESS al ser compacta es de fácil transporte, esto es de gran beneficio en sistemas aislados que se encuentren en islas, logrando así una mejor integración de las energías renovables que se utilicen y a su vez una mejoría en la calidad de energía que se provee.

- Los Sistemas de Almacenamiento de Energía en Baterías poseen una clara ventaja ante el resto de Sistemas de Almacenamiento de Energía, esto debido a que no existe un solo tipo de BESS, sino, que existen varios tipos que dependiendo del requerimiento que se necesite solventar se puede elegir un modelo u otro.
- En el Ecuador actualmente no se tiene una regulación o norma referente a los Sistemas de Almacenamiento de Energía en Baterías, esto debido a que la tecnología de las BESS se encuentra entrando en auge recientemente, sin embargo, si se tienen reglamentos y regulaciones referentes a servicios complementarios, ya que los sistemas BESS son comúnmente empleados para brindar servicios complementarios y esto puede servir como punto de partida para la creación de regulaciones ya enfocadas a los sistemas BESS en el Ecuador.
- Los Sistemas de Almacenamiento de Energía en Baterías son comúnmente empleados para brindar servicios complementarios, sin embargo, la tecnología utilizada para dichos sistemas, permite brindar muchas más aplicaciones que pueden beneficiar a la red a la cual se conectan, logrando así una reducción de costos no solo por la parte de almacenamiento de energía, si no también, por la parte de mantenimiento y actualización de la red.
- A lo largo de la investigación realizada, se encontró una gran cantidad de países que ya se hallan haciendo uso de las tecnologías BESS. Esto ocurre debido a dos motivos muy importantes, el primero debido a que se tiene que reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> del planeta, y el segundo es debido a la inminente escasez de combustibles fósiles, lo que ha llevado a que se implementen cada vez más las fuentes de energía renovables incrementando así el uso de sistemas BESS para lograr una correcta interconexión con la red brindando servicios complementarios, en el mayor de los casos.
- Cada país en su constitución plantea diferentes puntos referentes a las BESS, esto ocurre debido a que cada uno de ellos tiene que solventar diferentes necesidades de la red. Sin embargo, todas toman como referencia las normas y estándares creadas por organismos internacionales como IEEE, NFPA, ICC, entre otros.

### **3.3 Recomendaciones**

- Crear un mercado en el Ecuador para los Sistemas de Almacenamiento de Energía en Baterías que permita tanto la participación pública como privada, esta última ya sea que un consumidor final quiera implementar un BESS o que empresas grandes requieran de la implementación de uno de estos sistemas.
- Crear una regulación referente a los aspectos técnicos de los Sistemas de Almacenamiento de Energía en Baterías en los que se garantice los parámetros óptimos para la entrada en funcionamiento de los mismos.
- Crear una regulación referente a los aspectos comerciales de los Sistemas de Almacenamiento de Energía en Baterías en los que se llegue a un acuerdo en la parte de facturación entre la entidad poseedora del BESS y la entidad que realizara el cobro por el servicio prestado.
- Crear regulaciones basadas en estándares internacionales los cuales ya han sido creados, probados y ejecutados garantizando parámetros tanto de seguridad, confiabilidad y operación de los Sistemas de Almacenamiento de Energía.

## 4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Y. Lee, J. R. Paredes y S. Hyun Lee, Las redes inteligentes de energía y su implementación en ciudades sostenibles, BID, 2012.
- [2] C. Cabrera y E. Morice, Sistemas de almacenamiento BESS como complemento al desarrollo y operación de PMGDs Solares y Eólicos, Chile: cigre-SPHERA ENERGY, 2017.
- [3] M. Tétrault, Canadian Power key developments in 2020 trends to watch for in 2021, Canada: McCarthy Tétrault LLP, 2020.
- [4] ASIAN-DEVELOPMENT-BANK, HANDBOOK ON BATTERY ENERGY STORAGE SYSTEM, Filipinas: ADB, 2018.
- [5] Consejería\_de\_Economía\_y\_Hacienda, Guía del almacenamiento de energía, Madrid: EM, 2011.
- [6] N. Hanna, «Energy storage system installations – Code File,» 22 Octubre 2021. [En línea]. Available: <https://www.ebmag.com/energy-storage-system-installations-code-file-october-2021/>. [Último acceso: 24 Febrero 2022].
- [7] A. Energy\_Storage\_Association, «ESA,» [En línea]. Available: <https://energystorage.org/why-energy-storage/technologies/solid-electrode-batteries/>. [Último acceso: 22 Julio 2022].
- [8] A. Solovev y A. Petrova, «Integra Sources,» 16 Agosto 2021. [En línea]. Available: <https://www.integrasources.com/blog/energy-management-and-energy-saving-bess/>. [Último acceso: 23 Julio 2022].
- [9] Constitución de la República del Ecuador, 2008.
- [10] Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica, Quito, 2015.
- [11] Reglamento a la Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica, Quito, 2019.
- [12] AGENCIA\_DE\_REGULACION\_Y\_CONTROL\_DE\_ENERGIA\_Y\_RECursos\_NATURALES\_NO\_RENOVABLES, REGULACIÓN Nro. ARCERNR -004/20, Quito, 2020.
- [13] AGENCIA\_DE\_REGULACION\_Y\_CONTROL\_DE\_ENERGIA\_Y\_RECursos\_NATURALES\_NO\_RENOVABLES, REGULACIÓN Nro. ARCERNR -005/20, Quito, 2020.
- [14] S. X. Carvajal Quintero, Análisis de servicios complementarios en sistemas de potencia eléctricos en ambientes de mercados., Colombia: Uiversidad Nacional de Colombia, 2013.
- [15] M. D. Canales Valenzuela, INTERCONEXIÓN DE SISTEMAS ELÉCTRICOS BAJO DISTINTOS ESQUEMAS DE PEAJES DE TRANSMISIÓN, Santiago de Chile: Pontifica Universidad Catolica de Chile, 2005.
- [16] W. S. Wan Abdullah, M. Osman, M. Z. Abidin Ab Kadir y R. Verayiah, «Battery energy storage system (BESS) design for peak demand reduction, energy arbitrage and grid ancillary services,» *International Journal of Power Electronics and Drive System (IJPEDS)*, vol. 11, nº 1, pp. 398-408, 2020.

- [17] COMISION NACIONAL DE ENERGIA, Reglamentos de Coordinación y Operación Sistemas de Almacenamiento, Chile: CNE, 2017.
- [18] WoodMackenzie, «Global energy storage capacity to grow at CAGR of 31% to 2030,» WoodMackenzie, 2020.
- [19] AESG-Ener, «GUIA CHILE ENERGIA,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.guiachileenergia.cl/empresa-electrica-angamos-s-a/>. [Último acceso: 17 Junio 2022].
- [20] A. Fenick y G. Mallea, Efectos en la operación del sistema de la incorporación de energías renovables con bajo factor de planta y alta volatilidad, Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile.
- [21] M. Hall y K. Hampton, «Energy Storage Journal,» 2012. [En línea]. Available: <https://www.energystoragejournal.com/pge-begins-operation-of-4-mw-energy-storage-project/>. [Último acceso: 15 Junio 2022].
- [22] N. Pinsky y L. O'Neill, Tehachapi Wind Energy Storage Project - Technology Performance Report #3, California: SOUTHERN CALIFORNIA EDISON, 2017.
- [23] Carmen, «POWER TECHNOLOGY,» 2 Septiembre 2021. [En línea]. Available: <https://www.power-technology.com/marketdata/dalian-uet-rongke-power-battery-energy-storage-system-china/>. [Último acceso: 15 Junio 2022].
- [24] M. McGovern, «ENERGIAS RENOVABLES,» 04 Enero 2012. [En línea]. Available: <https://www.energias-renovables.com/eolica/china-concluye-la-mayor-instalacion-de-almacenamiento>. [Último acceso: 17 Junio 2022].
- [25] P. Crompton, «best,» 11 Marzo 2016. [En línea]. Available: <https://www.bestmag.co.uk/worlds-largest-sodium-sulphur-ess-deployed-japan/>. [Último acceso: 21 Junio 2022].
- [26] E. Hernandez Lugones, «SMART GRIDS INFO,» 20 Enero 2015. [En línea]. Available: <https://www.smartgridsinfo.es/comunicaciones/ii-congreso-sg-almacenamiento-de-energia-con-bateria-doble>. [Último acceso: 17 Junio 2022].
- [27] D. Miller, «AUSTRALIAN RENEWABLE ENERGY AGENCY,» 23 Octubre 2018. [En línea]. Available: <https://arena.gov.au/news/victorias-first-of-two-large-scale-grid-connected-batteries-reaches-completion-in-ballarat/>. [Último acceso: 20 Junio 2022].
- [28] NEOEN, «HORNSDALE POWER RESERVE,» NEOEN, Noviembre 2019. [En línea]. Available: <https://hornsdalepowerserve.com.au/our-vision/>. [Último acceso: 20 Junio 2022].
- [29] DNV-GL, DNVGL-RP-0043. Safety, operation and performance of grid-connected energy storage systems, DNV-GL, 2015.
- [30] ICC, 2018 International Fire Code (IFC), IFC, 2018.
- [31] IEEE, National Electric Safety Code (R) (NESC(R)), IEEE, 2023.
- [32] NFPA, NFPA 1-18, Fire Code, NFPA, 2018.

- [33] NFPA, NFPA 70-17, National Electrical Code (NEC), NFPA, 2017.
- [34] FMGlobal, FM Global Property Loss Prevention Data Sheet # 5-33, Electrical Energy Storage Systems, FMGlobal, 2020.
- [35] IEEE, IEEE 1635-18/ASHRAE Guideline 21-18, Guide for Ventilation and Thermal Management of Batteries for Stationary Applications, IEEE, 2018.
- [36] IEEE, IEEE 1578-18: Recommended Practice for Stationary Battery Electrolyte Spill Containment and Management, IEEE, 2018.
- [37] NECA, NECA 416-16, Recommended Practice for Installing Stored Energy Systems, NECA, 2016.
- [38] NFPA, NFPA 855, Standard for the Installation of Stationary Energy Storage Systems, NFPA, 2020.
- [39] NFPA, NFPA 1078, Standard for Electrical Inspector Professional Qualifications, NFPA, 2020.
- [40] NEMA, ESS-1-2019: Standard for Uniformly Measuring and Expressing the Performance of Electrical Energy Storage Systems, NEMA, 2019.
- [41] UL, ANSI/CAN/UL 9540, Energy Storage Systems and Equipment, UL, 2020.
- [42] UL, UL 9540A: Test Method for Evaluating Thermal Runaway Fire Propagation in Battery Energy Storage Systems (BESSs), UL, 2019.
- [43] IEEE, IEEE P1679: Guide for the Characterization and Evaluation of Batteries in Stationary Applications, IEEE.
- [44] IEEE, IEEE P2686: Recommended Practice for Battery Management Systems in Energy Storage Applications, IEEE, 2018.
- [45] IEEE, IEEE P1547.9: Guide to Using IEEE Standard 1547 for Interconnection of Energy Storage Distributed Energy Resources with Electric Power Systems, IEEE, 2022.
- [46] UL, ANSI/CAN/UL 1974-18: Evaluation for Repurposing Batteries, UL, 2018.
- [47] L. Carvajal, Metodología de la Investigación Científica. Curso general y aplicado, 28 ed., Santiago de Cali: U.S.C., 2006, p. 139.