

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



**PROPUESTA DE NORMATIVA PARA EL USO DE SISTEMAS DE  
ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA CON BATERÍAS EN SISTEMAS DE  
GENERACIÓN EN EL SALVADOR**

PRESENTADO POR:

**MILTON ALEXANDER ESPINOZA ORELLANA**

**DANIEL ALEXANDER ZELAYA AGUIAR**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

**INGENIERO ELECTRICISTA**

CIUDAD UNIVERSITARIA, ENERO DE 2022

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

RECTOR:

**MSC. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO**

SECRETARIO GENERAL:

**ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCON SANDOVAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

DECANO:

**PhD. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA**

SECRETARIO:

**ING. JULIO ALBERTO PORTILLO**

**ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

DIRECTOR:

**ING. ARMANDO MARTÍNEZ CALDERÓN**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

**INGENIERO ELECTRICISTA**

Título:

**PROPUESTA DE NORMATIVA PARA EL USO DE SISTEMAS DE  
ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA CON BATERÍAS EN SISTEMAS DE  
GENERACIÓN EN EL SALVADOR**

Presentado por:

**MILTON ALEXANDER ESPINOZA ORELLANA**

**DANIEL ALEXANDER ZELAYA AGUIAR**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

**ING. ANA MARÍA FIGUEROA DE MUNGUÍA**

SAN SALVADOR, ENERO DE 2022

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

**ING. ANA MARÍA FIGUEROA DE MUNGUÍA**

## **AGRADECIMIENTOS**

Primero, un especial agradecimiento a mis padres Barbara Orellana y Milton Espinoza por todo el esfuerzo, sacrificio y apoyo que hizo posible que pudiera finalizar la carrera, a mis hermanos y familia en general que siempre me ha brindado su apoyo y siempre me motiva para cumplir mis metas.

Agradecer a la Ingeniera Ana María Figueroa por asesorarnos en nuestro trabajo de graduación, así como a mi compañero de trabajo de graduación Daniel Zelaya.

Finalmente agradecer a los docentes de la escuela de ingeniería eléctrica, a los encargados de laboratorio Juan y Posada por su ayuda, a Reina Vides por su apoyo y amabilidad en la gestión de consultas y tramites durante todo mi proceso académico y a mis amigos y compañeros de la carrera.

**Milton Espinoza**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecer a mi madre Patricia Aguiar por todo el esfuerzo y sacrificio que hizo que pudiera finalizar mis estudios, a su vez por estar pendiente de mi bienestar y siempre motivarme para alcanzar mis metas en todos los aspectos de mi vida.

Gracias a la ingeniera Ana María Figueroa por brindarnos su apoyo y excelente asesoría en este trabajo de graduación.

A mi compañero de trabajo de graduación Milton Espinoza y a mis amigos y compañeros de carrera.

Finalmente agradecer a Reina Vides por su apoyo y amabilidad en la gestión de consultas o trámites durante todo mi proceso académico.

**Daniel Zelaya**

## Índice

|       |   |    |
|-------|---|----|
| I.    | INTRODUCCIÓN .....  | 13 |
| II.   | OBJETIVOS .....   | 14 |
|       | Objetivo general: .....   | 14 |
|       | Objetivos específicos:.....   | 14 |
| III.  | ALCANCES.....   | 14 |
| IV.   | ANTECEDENTES .....  | 15 |
| V.    | PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....  | 15 |
| VI.   | JUSTIFICACIÓN.....  | 16 |
| VII.  | REFERENCIAS TEÓRICAS .....  | 17 |
| 7.1   | Definición y características de las baterías.....   | 17 |
| 7.1.1 | Historia de las baterías.....   | 17 |
| 7.1.2 | Ciclos de carga y descarga.....   | 20 |
| 7.1.3 | Profundidad de descarga.....  | 21 |
| 7.1.4 | Ciclo de vida.....  | 22 |
| 7.1.5 | Métodos de carga.....   | 23 |
| 7.1.6 | Efecto de la temperatura sobre las baterías.....  | 25 |
| 7.1.7 | Capacidad de las baterías.....  | 26 |
| 7.2   | Clasificación de baterías.....  | 28 |
| 7.2.1 | Según el tipo de descarga:.....   | 28 |
| 7.2.2 | Según el tipo de electrodo:.....  | 31 |
| 7.2.3 | Comparación de diversas tecnologías utilizadas en baterías.....                             | 35 |
| 7.3   | Sistemas de generación de energía renovable.....  | 36 |
| 7.3.1 | Sistemas conectados a la red y aislados.....  | 37 |
| 7.3.2 | Convertidores de energía.....   | 39 |
| 7.3.3 | Reguladores de carga.....   | 43 |
| 7.3.4 | Bancos de baterías.....   | 45 |
| 7.4   | Sistemas de generación eléctrica en El Salvador.....  | 51 |
| 7.4.1 | Matriz energética nacional.....   | 52 |
| 7.5   | Sistemas de almacenamiento de energía con baterías para redes eléctricas (SAEB).....        | 53 |
| 7.5.1 | Tecnologías de SAEB para aplicaciones en sistemas eléctricos.....                           | 55 |
| 7.5.2 | Aplicaciones.....   | 59 |
| 7.6   | Viabilidad de sistemas de almacenamiento de energía con baterías y tendencias a futuro..... | 68 |

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 7.7   | Retos y obstáculos de los sistemas de almacenamiento de energía con baterías (SAEB).....   | 71  |
| VIII. | NORMAS Y ESTÁNDARES NACIONALES E INTERNACIONALES...  | 73  |
| 8.1   | Regulación de sistemas con baterías.....   | 73  |
| 8.1.1 | Regulación nacional.....   | 73  |
| 8.1.2 | Regulación internacional.....  | 73  |
| 8.2   | Códigos, guías y estándares de estudio.....  | 87  |
| 8.2.1 | NFPA 885-2020 Estándar para la instalación de sistemas de almacenamiento de energía estacionarios.....   | 87  |
| 8.2.2 | IEEE Std 2030.2.1 <sup>TM</sup> -2019 Guía para diseño, operación y mantenimiento de sistemas de almacenamiento de energía con baterías, tanto estacionarios como móviles y aplicaciones integradas con sistemas de energía eléctrica..... | 90  |
| 8.2.3 | International Fire Code-2018.....  | 92  |
| 8.2.4 | DNVGL-RP-0043 Seguridad, operación y desempeño de sistemas de almacenamiento de energía conectados a la red, diciembre 2015. ...   | 94  |
| 8.2.5 | NECA 416-2016 Práctica recomendada para instalación de sistemas de almacenamiento de energía.....  | 97  |
| 8.2.6 | IEEE 1375 - Guía para la protección de sistemas de baterías estacionarias.....   | 98  |
| 8.2.7 | Código nacional de seguridad eléctrica (NESC) C2, 2017.....  | 99  |
| 8.2.8 | IEEE Std 1578-2007 - Práctica recomendada para la contención y gestión de derrames de electrolitos de baterías estacionarias.....  | 101 |
| IX.   | Propuesta de normativa nacional.....   | 105 |
| 9.1   | Capítulo I - Disposiciones generales .....   | 105 |
| 9.1.1 | Objetivo .....   | 105 |
| 9.1.2 | Alcance.....   | 105 |
| 9.1.3 | Definiciones.....  | 105 |
| 9.1.4 | Acrónimos y abreviaturas .....   | 107 |
| 9.2   | Capítulo II - Diseño de un SAEB .....  | 108 |
| 9.3   | Capítulo III - Medidas de protección y seguridad de un SAEB .....  | 116 |
| 9.4   | Capítulo IV - Mantenimiento y operación de un SAEB .....   | 120 |
| 9.5   | Capítulo V - Desecho y fin de la vida útil en un SAEB.....   | 124 |
| X.    | CONCLUSIONES .....   | 126 |
| XI.   | RECOMENDACIONES .....  | 127 |
| XII.  | Anexos.....  | 128 |
|       | Anexo 1. Solicitud de permiso para sistemas de almacenamiento de energía con baterías.....   | 128 |



|   |     |
|---|-----|
| Anexo 2. Normas y formularios de SIGET aplicables a sistemas de generación distribuida [75].....  | 131 |
| Anexo 3. Tabla con estándares, guías y prácticas relacionadas con el almacenamiento de energía con baterías.....  | 132 |
| Anexo 4. Requisitos de control de tensión, potencia y calidad de energía para la interconexión de sistemas de Generación Distribuida (GD) [65]. .....                           | 135 |
| Anexo 5. Requisitos de diseño para sistemas de aire acondicionado, ventilación y calefacción (HVAC) de acuerdo a los criterios establecidos por el estándar IEEE 1635 [76]..... | 141 |
| Anexo 6. Calificación técnica para personal de instalación y mantenimiento de sistemas SAEB establecidos por la IEEE-1657-2018 [77].....  | 147 |
| Anexo 7. Situaciones de derrame de electrolitos en actividades de instalación y retiro de baterías estacionarias acorde con IEEE-1578-2007 [74].....                            | 149 |
| Anexo 8. Uso, operación y mantenimiento de sensores de hidrógeno.....   | 150 |
| XIII. BIBLIOGRAFÍA .....  | 154 |

### Índice de figuras

|  |    |
|--|----|
| Figura 1: Símbolo eléctrico de una batería (izquierda), batería de plomo ácido (derecha) [1]. .....  | 17 |
| Figura 2: Primeras baterías o pilas que se diseñaron, consistían en discos alternos de zinc y cobre separados por papel o tela empapados en salmuera [2].....                      | 18 |
| Figura 3: La celda Daniell, una batería de almacenamiento húmeda [3]. .....  | 19 |
| Figura 4: Batería hierro- níquel, con una carga nominal por celda de 1.2V, eficiencia carga/descarga entre 65%y 85% [5]. .....   | 19 |
| Figura 5: Ciclo de carga de una batería de plomo ácido [6].....  | 20 |
| Figura 6: Representación de una batería que sufre el efecto memoria [8]. ...   | 22 |
| Figura 7: Vida útil en ciclos de una batería en relación a la profundidad de descarga [9]. .....   | 22 |
| Figura 8: Grafica de voltaje y corriente de la batería vs tiempo de carga [10]. .....  | 23 |
| Figura 9: Gráfica voltaje constante-corriente constante [10].....  | 24 |
| Figura 10: Gráfica capacidad vs temperatura en baterías [11]. .....  | 25 |
| Figura 11: Degradación de la capacidad de una batería en relación al ciclo de vida; como se mencionó anteriormente, una capacidad al 80% indica el fin de la vida útil [13]. ..... | 27 |
| Figura 12: Batería para automóvil y componentes [14].....  | 28 |
| Figura 13: Visualización interna de una batería estacionaria [16].....   | 28 |
| Figura 14: Batería de ciclo profundo para caravanas [17]. .....  | 29 |
| Figura 15: Estructura esquemática y física de la batería de plomo-ácido [19]. .....  | 32 |
| Figura 16: Estructura esquemática y física de la batería de Níquel-Cadmio [19]. .....  | 33 |
| Figura 17: Estructura esquemática y física de la batería de ion de litio [19]. .   | 33 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 18: Estructura esquemática y física de la batería de Sodio-azufre [19].<br>.....  | 34 |
| Figura 19: Estructura esquemática y física de la batería de flujo redox [19].  | 34 |
| Figura 20: Relación entre tiempo de descarga y potencia nominal para diversos sistemas de almacenamiento de energía, incluyendo baterías [79].   | 35 |
| Figura 21: Perfil de carga en una instalación conectada a la red; cuando la curva roja supera la curva celeste el usuario consume la diferencia; de lo contrario se da un excedente que puede ser vendido al sistema de distribución [23]. | 38 |
| Figura 22: Elementos de un sistema fotovoltaico aislado [24].  | 38 |
| Figura 23: Diagrama básico de un sistema solar con un inversor híbrido para energía de respaldo.   | 41 |
| Figura 24: Topología de convertidor con transformador utilizado para aplicaciones SAEB [26].   | 41 |
| Figura 25: Topologías de convertidor de tres niveles [26].   | 42 |
| Figura 26: Convertidor de dos niveles sin transformador conectado directamente a la red de nivel MV [26].  | 43 |
| Figura 27: Regulador de carga PWM [27].  | 44 |
| Figura 28: Funcionamiento de un regulador MPPT [28].   | 45 |
| Figura 29: Banco de baterías [29].   | 46 |
| Figura 30: Esquema de conexión en serie de un par de baterías [30].  | 46 |
| Figura 31: Esquema de conexión en paralelo de baterías [30].   | 47 |
| Figura 32: Esquema de conexión de cuatro baterías en serie-paralelo [30].  | 48 |
| Figura 33: Configuración de un módulo [32].  | 50 |
| Figura 34: Enclosure típico para un módulo [32].   | 50 |
| Figura 35: Rack típico para configuración de múltiples módulos [32].   | 51 |
| Figura 36: Enclosure exterior con múltiples racks [32].  | 51 |
| Figura 37: Evolución de la capacidad instalada [MW] 2005 – 2018 [33].  | 52 |
| Figura 38: Capacidad instalada de generación eléctrica de El Salvador (2266 MW) [34].  | 52 |
| Figura 39: Tabla resumen de proyectos de generación de energía 2020, fuente CNE, webinar: presente y futuro de las energías renovables en El Salvador (17 de junio de 2020) [34].  | 53 |
| Figura 40: Componentes de un sistema de almacenamiento de energía [19].<br>.....   | 55 |
| Figura 41: Mezcla tecnológica en instalaciones de almacenamiento excluyendo hidro bombeado, 2011-2016 [35].  | 55 |
| Figura 42: Instalación de baterías NaS de 34 MW, 245 MWh [37].   | 56 |
| Figura 43: Sistemas estacionarios de almacenamiento de energía de baterías de iones de litio [38].   | 57 |
| Figura 44: Una batería sellada de plomo-ácido (SLA) [39].  | 58 |
| Figura 45: SAEB con baterías de flujo [40].  | 58 |
| Figura 46: Esquema de una red inteligente [41].  | 59 |
| Figura 47: Esquema de microgrid [44].  | 62 |
| Figura 48: Curva de incremento de potencia en función de la frecuencia requerida [45].   | 63 |
| Figura 49: Algunos de los problemas de estabilidad de voltaje [46].  | 63 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 50: Gestión de la generación renovable a través de sistemas de almacenamiento. En la gráfica de la izquierda la generación diaria se nivela evitando posibles saturaciones y haciendo virtualmente gestionable la producción del parque fotovoltaico. Otra aplicación consiste en utilizar los sistemas de almacenamiento para evitar fluctuaciones intra-horarias en la generación renovable (gráfica derecha) [45]. | 64  |
| Figura 51: Carga y descargas óptimas de SAEB para el recorte de picos y la nivelación de la carga [47].  | 65  |
| Figura 52: Grafica de demanda de carga vs tiempo (en horas) [48].  | 66  |
| Figura 53: Diagrama de diferentes tipos de sistemas UPS [49].  | 67  |
| Figura 54: Caída de costos de batería 2015-2020 [50].  | 70  |
| Figura 55: Desarrollo de las diferentes tecnologías en baterías, año 2016 [50].  | 71  |
| Figura 56: Producción de electricidad a partir de energía renovable variable, países seleccionados (años 2014,2016,2018) [51].   | 72  |
| Figura 57: Diversos tipos de convertidor. Fila 1: Convertidores de una etapa DC/AC y DC/AC con conexión paralela en el lado de AC, Fila 2: convertidores de dos etapas DC/AC y DC/AC con conexión paralela en el lado de DC, Fila 3: Convertidor de dos etapas DC/AC con conexión paralela en el lado de AC.   | 111 |
| Figura 58: Señalizaciones de seguridad en un SAEB.   | 118 |
| Figura 59: Ejemplo de características de potencia reactiva – tensión [65].   | 137 |
| Figura 60: Ejemplo de características de potencia activa y reactiva [65].  | 138 |
| Figura 61: Ejemplo de características de potencia activa – tensión [65].   | 139 |
| Figura 62: Esquema de conexión en sensores de hidrogeno SBS-H2.  | 153 |

## Índice de tablas

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1: Tabla de efectos que se producen debido al cambio de temperatura en baterías [12].             | 26 |
| Tabla 2: Especificaciones de diversos tipos de batería [80].  | 35 |
| Tabla 3: Grado de madurez de las tecnologías y sistemas de almacenamiento utilizados en GD [42].        | 60 |
| Tabla 4: Comparación de diversas tecnologías de GD [42].  | 60 |
| Tabla 5: Comparación de diversos sistemas de almacenamiento de GD [42].                                 | 61 |
| Tabla 6: Códigos y estándares de seguridad publicados por Sandia National Lab [63].                     | 80 |
| Tabla 7: Algunas consideraciones legales y económicas en Colombia para el uso de SAEB [64].             | 84 |
| Tabla 8: Estándares para la interconexión de sistemas de generación distribuida en Estados Unidos [65]. | 85 |
| Tabla 9: Tensione aplicable cuando el punto de acople común, se encuentra a media tensión [65].         | 86 |
| Tabla 10: Tensiones aplicables cuando el punto de acople común, se encuentra a baja tensión [65].       | 86 |
| Tabla 11: Criterios de entrada de servicio para sistemas de generación distribuida [65].                | 87 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabla 12: Algunos estándares, guías y prácticas relacionadas con baterías y sistemas de almacenamiento de energía con baterías..... | 132 |
| Tabla 13: Requisitos de funciones de control de potencia activa/reactiva y tensión para sistemas de GD por categoría [65].....      | 135 |
| Tabla 14: Valores mínimos de potencia reactiva inyectada y capacidad de absorción [65]. .....                                       | 136 |
| Tabla 15: Parámetros de potencia reactiva – tensión para operación normal en sistemas de GD categoría A y B [65]. .....             | 136 |
| Tabla 16: Parámetros de potencia reactiva y reactiva para operación normal en sistemas de GD categoría A y B [65]. .....            | 137 |
| Tabla 17: Parámetros de potencia activa - tensión para operación normal en sistemas de GD categoría A y B [65]. .....               | 138 |
| Tabla 18: límites mínimos de emisión de flicker en fuentes de energía distribuida [65].....   | 140 |
| Tabla 19: Distorsión máxima de corriente armónica impar en porcentaje de corriente nomina [65]l. ....                               | 140 |
| Tabla 20: Distorsión máxima par de corriente armónica uniforme en porcentaje de corriente nominal [65]. ....                        | 140 |
| Tabla 21: Actividades comunes de instalación y retiro de baterías que pueden resultar en un derrame [74].....                       | 149 |
| Tabla 22: Operación del sistema de alarma en sensores SBS-H2. ....  | 153 |

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el uso de energía eléctrica es fundamental. La sociedad moderna requiere de fuentes seguras de energía eléctrica y que esta sea de gran calidad. Dado que actualmente los sistemas de generación con energías renovables están al alza es importante el desarrollo e investigación de nuevas tecnologías, para mantener la confiabilidad de los servicios eléctricos. La variabilidad que pueden presentar algunas fuentes de generación con energías renovables plantea algunos obstáculos o desafíos para asegurar la calidad y continuidad en la integración de estos sistemas a la red.

Los sistemas de almacenamiento de energía con baterías se presentan como una solución que de forma rápida se desarrolla. Las baterías al permitir disponer de la energía en cualquier momento y poder entregar valores de tensión y potencia en forma controlada, hace posible suprimir problemas que se presentan la generación de la energía renovable lo que permite la factibilidad de conexión a la red de la generación distribuida.

Esta investigación tiene como propósito formular una propuesta de norma para el almacenamiento de energía eléctrica en baterías para sistemas de generación en El Salvador. El desarrollo de este trabajo se cimenta bajo la carencia o ausencia de normativas de estas tecnologías en el sector eléctrico del país y exigencia de regir las bases técnicas de diseño, instalación, servicio y equipo, que aseguren la calidad y confiabilidad en estos sistemas de almacenamiento de energía.

Los capítulos posteriores presentan el marco teórico de los sistemas con baterías que permita tener una mejor visualización de estas tecnologías y su aplicación, la investigación y recopilación de normas nacionales e internacionales que ayuden a definir criterios de diseño e instalación donde se hará un resumen y análisis de cada una, se presentará al final una propuesta de norma para el almacenamiento de energía eléctrica en baterías. La normativa se dividirá en capítulos, los cuales se dividirán en artículos, donde se busca establecer definiciones, criterios de diseño, protección, mantenimiento y desecho.

## **II. OBJETIVOS**

### **Objetivo general:**

- Generar una propuesta de norma para la regulación de sistemas de almacenamiento de energía con baterías en sistemas de generación.

### **Objetivos específicos:**

- Investigar las tecnologías y sistemas modernos aplicados en el almacenamiento de energía con baterías.
- Realizar una investigación sobre las normas nacionales e internacionales de almacenamiento de energía en baterías para sistemas de generación.
- Fundar con las pautas establecidas en la propuesta de norma las bases para futuras investigaciones en el área de sistemas de almacenamiento de energía en el país.

## **III. ALCANCES**

1. Establecer las bases de una norma para la utilización de sistemas de almacenamiento de energía con baterías en el país.
2. Generar una guía de búsqueda de normas para el almacenamiento de energía en baterías.
3. Evaluar las formas de deposición de las baterías para establecer prácticas seguras al momento de relevar un sistema de almacenamiento y así evitar problemas de contaminación.
4. Que la normativa formulada sea de valor y pueda ser utilizada como referencia en el campo por parte de diseñadores, instaladores, distribuidoras o entes reguladores.

#### **IV. ANTECEDENTES**

En el ciclo I del año académico 2020 se presentó el proyecto de ingeniería “Investigación de normas para el diseño y operación de bancos de baterías en sistemas fotovoltaicos” en el cual se discutían estándares para el diseño, mantenimiento operación y desecho de sistemas de almacenamiento de energía con baterías en aplicaciones fotovoltaicas.

Con el aumento del uso de energías renovables a nivel nacional el desarrollo de estos proyectos viene favorecido por la disminución de costos lo cual es clave para la implementación de sistemas de almacenamiento de energía con baterías.

#### **V. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En El Salvador el desarrollo de las aplicaciones es tal que cuenta con un desarrollo acelerado tal que el CNE en para 2020 presenta que la capacidad instalada solamente en energía fotovoltaica es 204 MW y de generación distribuida 251 MW, la pronta puesta del sistema eólico, esto dado en los lineamientos de la Política Energética Nacional (2020-2050), la situación actual de las energías renovables en El Salvador y las oportunidades de inversión, donde se estima que se requieren un sistema de baterías de 90 MW bajo las condiciones de inclusión de ERNC (energías renovables no convencionales).

Los sistemas de almacenamiento de energía mediante baterías se utilizan para contener energía eléctrica y luego liberarla en casos de necesidad (como una caída de tensión), aumentar la resiliencia de la red, aumentar la robustez de la red, entre otras.

Sin embargo, en la actualidad dichos sistemas no presentan normativas que regulen su operación y desempeño lo que puede poner en peligro la vida e integridad física de los operadores y la vida útil de los equipos conectados a la red. La falta de regulación y los peligros que esta conlleva hacen ver la necesidad de una normativa a nivel nacional.

## **VI. JUSTIFICACIÓN**

Debido al aumento de la demanda de electricidad y a la diversificación de la matriz energética nacional gracias al auge de las tecnologías renovables surge la necesidad de mejorar el desempeño de los sistemas de generación.

La generación mediante energías renovables presenta como ventajas costos reducidos a largo plazo y una menor contaminación ambiental, sin embargo, las fuentes de producción de energía presentan una disponibilidad intermitente lo que crea la necesidad de disponer de sistemas de almacenamiento de energía. Una de las principales soluciones es el almacenamiento mediante baterías sin embargo es un tema que no presenta ninguna regulación a nivel nacional. La propuesta de una normativa beneficiaría a las empresas generadoras y a las entidades encargadas de la regulación nacional.



## VII. REFERENCIAS TEÓRICAS

### 7.1 Definición y características de las baterías

Una batería es un dispositivo que consiste en una o más celdas electroquímicas con conexiones externas [1], y cuya función es convertir energía química almacenada en corriente eléctrica.

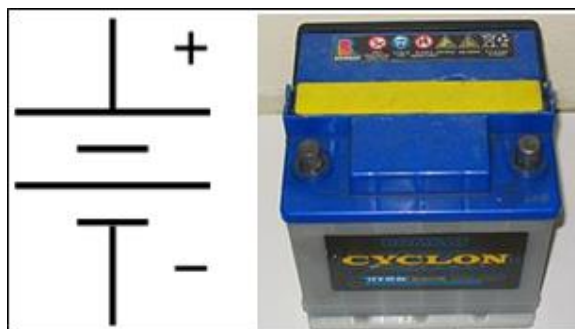


Figura 1: Símbolo eléctrico de una batería (izquierda), batería de plomo ácido (derecha) [1].

Cuando una batería suministra potencia eléctrica, su terminal positiva es llamada cátodo y la negativa ánodo. La terminal negativa es la fuente de electrones que fluyen a través del circuito externo (carga) hacia la terminal positiva. Cuando una batería es conectada a una carga externa ocurre una reacción de óxido-reducción en la que se convierten los reactantes de alta energía a productos de baja energía, esta diferencia de energía es entregada a la carga en forma de electricidad. Históricamente el término batería se refería a dispositivos compuestos de múltiples celdas, sin embargo, su uso ha evolucionado para incluir dispositivos compuestos por una celda [1].

#### 7.1.1 Historia de las baterías.

Las baterías en la actualidad desempeñan un papel importante en el campo de la energía, aunque su relevancia quizá sea subestimada, se encuentran involucradas en un sistema que puede parecer simple o pequeño como un equipo electrónico hasta ser utilizadas para almacenar grandes cantidades de energía en el orden de los MW. Teniendo en cuenta esto y la larga historia y

desarrollo que precede desde la primera en 1799, se hace una mención cronológica de los diseños principales.

La batería tiene su nacimiento entre finales del siglo XVIII y principios del siglo XIX, según se conoce fue en el año 1799. En este año el físico italiano Alessandro Volta creó la primera batería al apilar capas alternas de zinc, cartón o tela empapados en salmuera y plata. Esta disposición, llamada pila voltaica, no fue el primer dispositivo en generar electricidad, pero fue el primero en emitir una corriente estable y duradera [2].



*Figura 2: Primeras baterías o pilas que se diseñaron, consistían en discos alternos de zinc y cobre separados por papel o tela empapados en salmuera [2].*

Estas pilas presentaban una serie de inconvenientes en los cuales estaban que los materiales metálicos se corroen con facilidad y el número de capas que se podía apilar estas baterías tienen una composición química.

El siguiente paso en el desarrollo a la batería tal como se conoce en la actualidad se daría gracias al desarrollo de las leyes cuantitativas de la electroquímica por Michael Faraday en 1834, esto llevó a que, en 1836 John Frederic Daniell, un químico británico, introdujo una forma mejorada de celda eléctrica que consiste en cobre y zinc en ácido sulfúrico. La célula Daniell pudo entregar corrientes sostenidas durante la operación continúa de manera mucho más eficiente que el dispositivo de Volta.

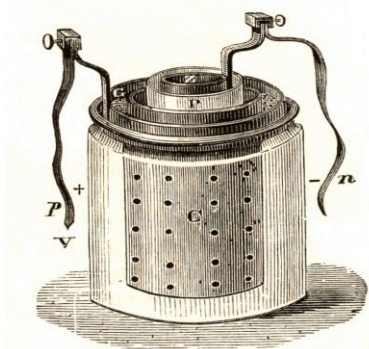


Figura 3: La celda Daniell, una batería de almacenamiento húmeda [3].

Luego de esto los avances fueron en aumento en los avances por mejorar estas baterías en 1839 se crearon mejoras en las baterías que usaban electrodos líquidos para producir electricidad, en 1859 se inventó la primera batería recargable práctica de plomo-ácido.

El trabajo en el desarrollo de las baterías seguía avanzando en 1881 respectivamente Carl Gassner inventó la primera batería de celda seca comercialmente exitosa, la cual consiste en una celda de zinc-carbono. En 1899 Waldmar Jungner inventó la primera batería recargable de níquel-cadmio, estas baterías sentaron las bases de la batería moderna.

Luego de esto en 1901 Thomas Edison presenta la batería de almacenamiento alcalino.

tenía hierro como material anódico (-) y óxido de níquel como material catódico (+).



Figura 4: Batería hierro- níquel, con una carga nominal por celda de 1.2V, eficiencia carga/descarga entre 65%y 85% [5].

Para el año de 1949 Lew Urry desarrolló la batería alcalina de manganeso, estas baterías alcalinas además de ser pequeñas duran entre cinco y ocho veces más que las células de zinc-carbono, sus predecesoras [4].

A partir de esto el desarrollo de nuevas aplicaciones y diseños de baterías no ha parado siendo utilizadas en diversos campos en la actualidad se presenta bastante el desarrollo en el área de las energías renovables.

### 7.1.2 Ciclos de carga y descarga.

Se entiende por ciclo de carga y descarga como el proceso en el cual se lleva la batería a su valor de carga máxima y posteriormente esta se hace llegar hasta su valor de descarga máxima admisible. Los ciclos de C/D se utilizan como una medida de la expectativa de vida de una batería, pues estas cuentan con un número específico de ciclos antes de sufrir una falla.

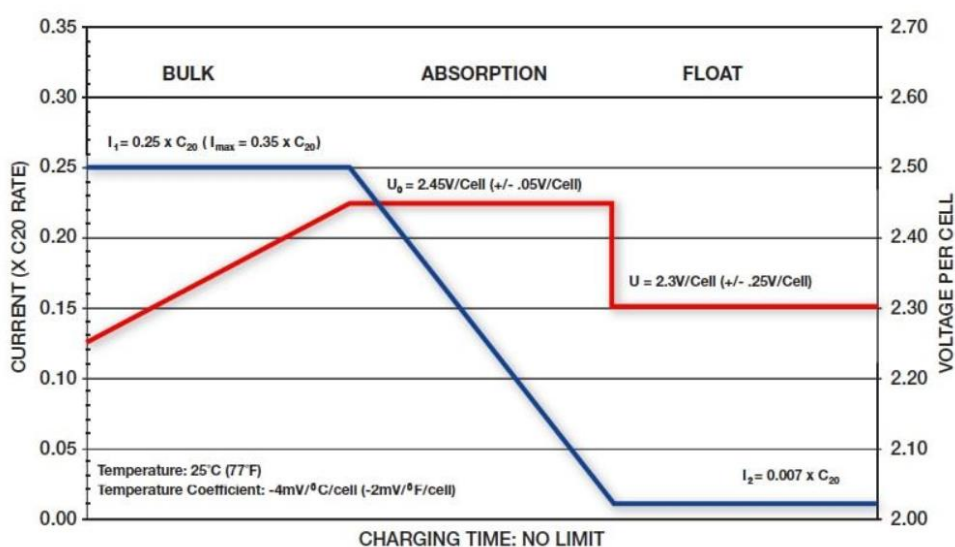


Figura 5: Ciclo de carga de una batería de plomo ácido [6].

En la figura 5 se aprecian las fases para realizar un ciclo de carga tipo voltaje constante-corriente constante de manera correcta, estas son las siguientes:

**Primera fase:** Carga Masiva ('bulk charge'), es cargar con una corriente (I) constante hasta 80 a 90% de la capacidad de la batería.

**Segunda fase:** Absorción, es cargar con un voltaje constante ( $U_0$ ) poco elevado durante un tiempo limitado (por ejemplo, en una batería de 12V líquida o de tipo AGM son aprox. 14.8V, en una batería de Gel solamente 14.4V) hasta alcanzar 100%. Esta fase dura en baterías estacionarios dos a cuatro horas y se termina cuando la corriente se reduce por el aumento de la resistencia interna de la batería.

**Tercera fase:** Carga de Flotación es asegurar un voltaje constante de mantenimiento ( $U$ ) para evitar una descarga (por ejemplo, en una batería líquida o de AGM de 12V, se mantiene 13.6V, en una batería de Gel son 13.8V) [6].

### 7.1.3 Profundidad de descarga.

En muchos tipos de batería, la energía total almacenada no puede utilizarse completamente (en otras palabras, la batería no puede ser completamente descargada) sin causar serios daños y, algunas veces irreparables [7].

La profundidad de descarga (DOD por sus siglas en inglés) indica el porcentaje de la capacidad total de una batería que se usa durante un ciclo de carga o descarga. Se divide en dos tipos:

- **Descargas superficiales:** son descargas de aproximadamente el 20% de la capacidad nominal
- **Descargas profundas:** son descargas del 60-80% de la capacidad nominal.

Otro parámetro que proporcionan los fabricantes de batería es la profundidad de descarga diaria (DDOD) que determina la máxima cantidad de energía que puede extraerse de una batería en un periodo de 24 horas.

Aunque es recomendable no realizar descargas profundas para prolongar el ciclo de vida de una batería, realizar lo contrario (es decir, el uso excesivo de descargas superficiales) conlleva a un problema llamado “efecto memoria” [7].

**El efecto memoria** es un problema que consiste en un menor almacenamiento de carga en relación a la máxima capacidad nominal por parte de una batería, ocurre cuando las baterías son sometidas a cargas constantes cuando solamente han sufrido descargas parciales. Este fenómeno se manifiesta

principalmente en baterías de níquel cadmio y pilas recargables de níquel metal hidruro.

Se le llama efecto memoria debido a que una batería que sufre dicho problema parece “recordar” la menor capacidad a la que ahora trabaja [8].

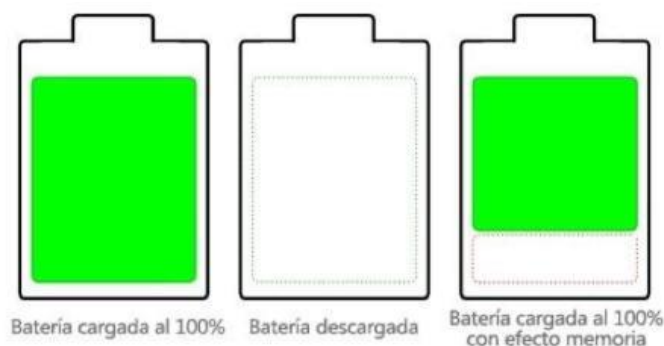


Figura 6: Representación de una batería que sufre el efecto memoria [8].

#### 7.1.4 Ciclo de vida.

El ciclo de vida de una batería es un indicador del número de ciclos de carga y descarga que puede realizar una batería antes de que su capacidad se vea reducida en al menos un 20%.

Para alargar la vida útil de una batería es recomendable reducir el valor de la profundidad de descarga; esto se puede apreciar en la figura 7.

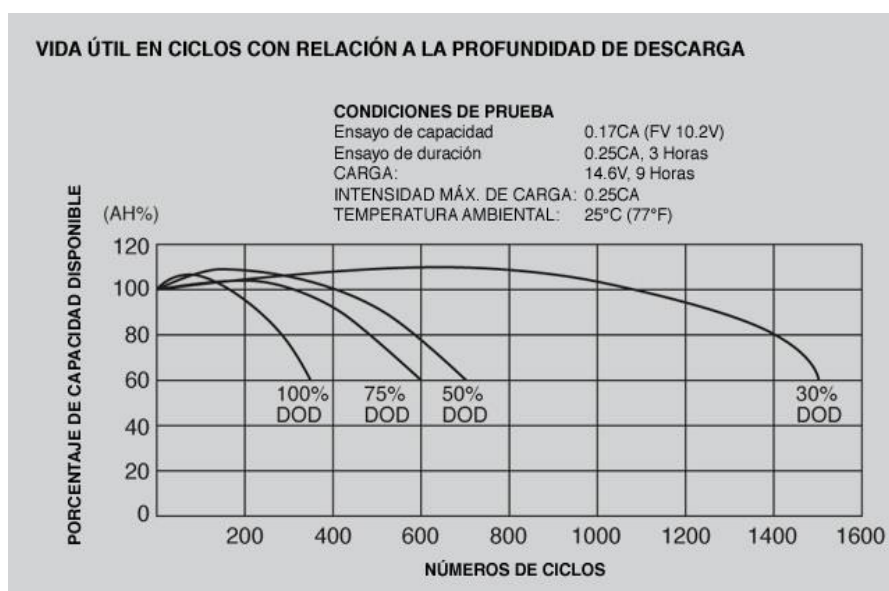


Figura 7: Vida útil en ciclos de una batería en relación a la profundidad de descarga [9].

En la figura se aprecia que para una profundidad de descarga máxima (100% DOD) los ciclos de vida se reducen en una quinta parte respecto a una batería que opera con una profundidad de descarga del 30% [9].

### 3.1.5 Métodos de carga.

**Voltaje constante:** Un cargador de voltaje constante es básicamente una fuente de corriente directa (por ejemplo, un transformador reductor con un rectificador para cargar la batería con un voltaje de DC). Este tipo de diseño se encuentra generalmente en cargadores para baterías automotrices. Las celdas de plomo-ácido utilizadas en automóviles y en sistemas de respaldo utilizan cargadores de voltaje constante.

**Corriente constante:** Los cargadores de corriente constante varían el voltaje aplicado a la batería con flujo constante de corriente, apagándose cuando se alcanza el voltaje de máxima capacidad. Este diseño se utiliza para baterías de Níquel-Cadmio y de Níquel-hidruro metálico.

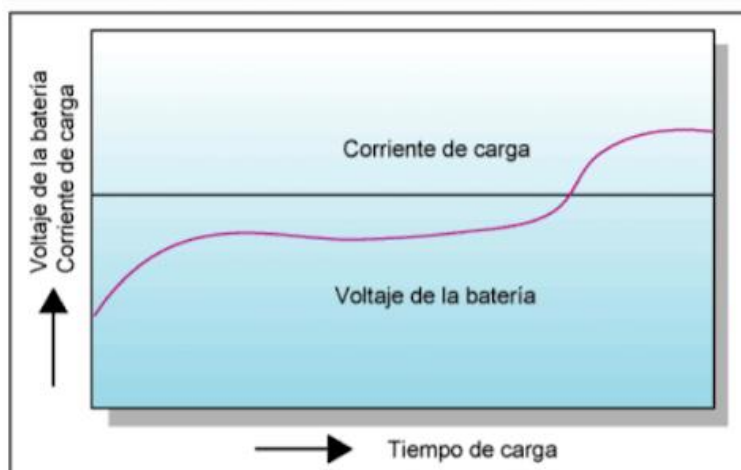


Figura 8: Grafica de voltaje y corriente de la batería vs tiempo de carga [10].

**Voltaje constante-corriente constante (CV/CC):** Es una combinación de los métodos anteriormente mencionados. El cargador limita la cantidad de corriente a un límite predefinido hasta que la batería alcanza el voltaje nominal. La corriente se reduce a medida que la batería alcanza su máxima carga. Las baterías de plomo-ácido pueden utilizar este método.

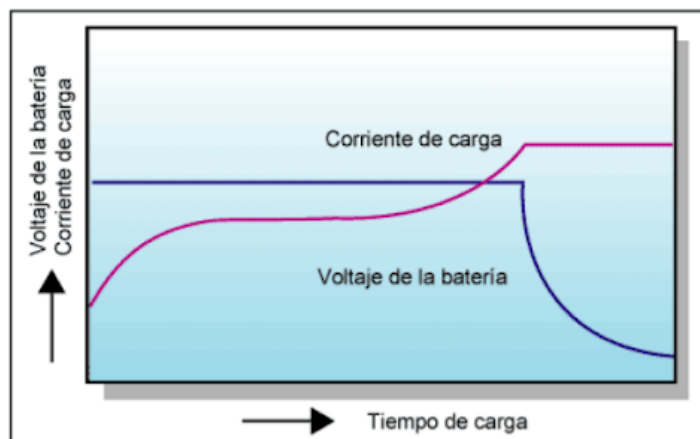


Figura 9: Gráfica voltaje constante-corriente constante [10].

### Precauciones al Cargar

- Para uso cíclico

Uso cíclico requiere que la batería se cargue en un período corto. Se recomienda el uso de temporizadores para prevenir sobrecargas y dispositivos de corte automático de la carga al completarse.

- Para uso de respaldo

Para uso de respaldo, se debe usar carga lenta o de flotación. En ambos casos la batería es generalmente cargada con una baja corriente para compensar la autodescarga de la batería.

Debido a que la batería está siendo cargada continuamente por un largo período de tiempo, una pequeña fluctuación en el voltaje de carga puede ocasionar una gran diferencia en el tiempo esperado de vida de la batería. Por ello, es importante asegurar un control preciso para minimizar fluctuaciones en el voltaje de carga.

La temperatura afecta las características de la carga. Se debe usar un circuito de compensación de la temperatura cuando se va cargar a una temperatura ambiental menor de  $5^{\circ}\text{C}$  o mayor de  $35^{\circ}\text{C}$ , y una temperatura promedio mayor a  $25^{\circ}\text{C}$  [10].



### 7.1.6 Efecto de la temperatura sobre las baterías.

Las baterías funcionan mejor a temperatura ambiente, y cualquier desviación hacia los cambios calientes y fríos provoca una variación en el rendimiento y/o la longevidad de las mismas. No debemos olvidar que una batería funciona gracias a una reacción química y, como cualquier reacción química, la temperatura le afecta sustancialmente. El funcionamiento de una batería a temperaturas elevadas mejora el rendimiento mediante la reducción de la resistencia interna y la aceleración de la velocidad de reacción química, pero tal condición acorta la vida de servicio si se permite que continúe durante un largo período de tiempo debido a que, en estas condiciones, también se acelera la corrosión provocada por el electrolito (ácido sulfúrico).

Por el contrario, las temperaturas frías aumentan la resistencia interna y disminuyen la capacidad. Las baterías que ofrecen una capacidad de 100% a 25°C por lo general entregarán sólo el 60 por ciento a -18°C. La disminución de la capacidad es lineal con la temperatura como podemos ver en el siguiente gráfico de una batería convencional [11].

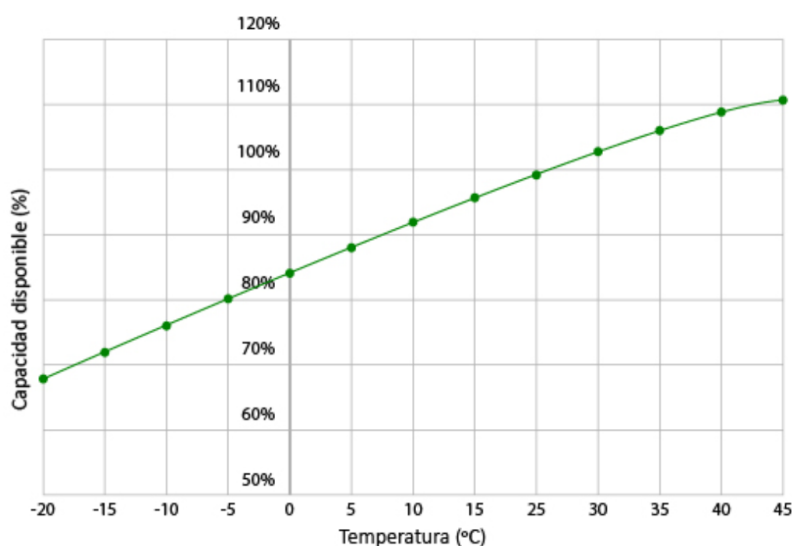


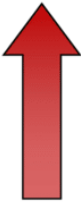

Figura 10: Gráfica capacidad vs temperatura en baterías [11].

Esto no solo ocurre con el plomo ácido, el Li-ion también tiene un mejor rendimiento a altas temperaturas que en bajas. El calor reduce la resistencia interna, pero disminuye la longevidad de la batería.

Las Baterías alcanzan una vida útil óptima por norma general trabajando a 25°C o ligeramente por debajo. Si, por ejemplo, una batería de plomo ácido opera a 40°C su vida útil en un 40 por ciento.

El rendimiento de todas las químicas de las baterías cae drásticamente a bajas temperaturas. A -25°C las baterías de níquel, plomo y algún tipo de litio dejan de funcionar. Aunque las de Ni Cd pueden bajar hasta -40°C, la descarga permitida es sólo 0.2C (tasa de 5 horas). Hay casos especiales como las baterías de Silicio y las de litio-fosfato de hierro que pueden funcionar hasta -40°C, pero sólo en la descarga y en una descarga reducida. Con las de plomo ácido tenemos el peligro de la congelación del electrolito, que puede romper el recipiente. En el caso de baterías de Plomo-ácido se congelan más fácilmente con poca carga debido a que la densidad del electrolito está más cercana a la del agua. En estados de carga total no hay peligro de congelamiento al menos hasta -20°C debido a que la densidad está entre 1,24 y 1,285 (según fabricantes y tipos de baterías) [11].

Tabla 1: Tabla de efectos que se producen debido al cambio de temperatura en baterías [12].

| Battery cell temperature  | Cause   | Leads to                     | Effect                  |
|---|---|------------------------------|-------------------------|
| <br>High | Electrolyte decomposition                                     | Irreversible lithium loss    | Capacity fade           |
|   | Continuous side reactions at low rate                         | Impedance Rise               | Power fade              |
|   | Decrease of accessible anode surface for Li-ion intercalation |                              |                         |
|   | Decomposition of binder                                       | Loss of mechanical stability | Capacity fade           |
| 25 °C – 40 °C   | Maximum cycle life  |                              |                         |
| 15 °C – 24 °C   | Superior energy Storage capacity                              |                              |                         |
| Low<br>  | Lithium plating   | Irreversible loss of lithium | Capacity/<br>power fade |
|   | Electrolyte decomposition                                     | Electrolyte loss             |                         |

### 7.1.7 Capacidad de las baterías.

“La capacidad de la batería” es una medida (normalmente en **Amp-hr o Ah**) de la carga almacenada por la batería, y está determinada por la masa de

material activo contenido en la batería. La capacidad de la batería representa la cantidad máxima de energía que puede ser extraída de la batería bajo ciertas condiciones especificadas. Sin embargo, el consumo real de energía de las capacidades de almacenamiento de la batería puede variar significativamente de la “nominal” capacidad nominal, como la capacidad de la batería depende mucho de la edad y la historia pasada de la batería, la carga o descarga de los regímenes de la batería y de la temperatura [13].

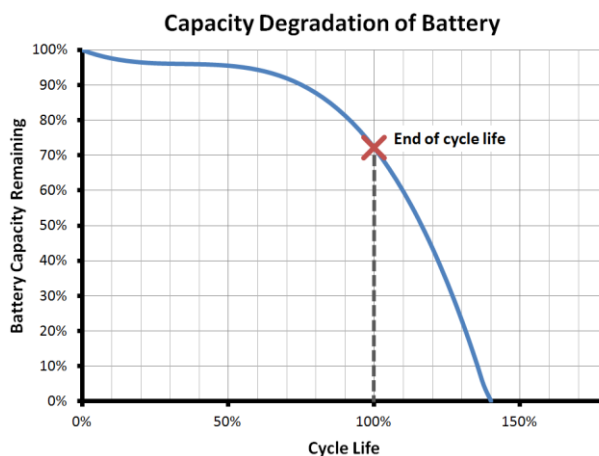


Figura 11: Degradación de la capacidad de una batería en relación al ciclo de vida; como se mencionó anteriormente, una capacidad al 80% indica el fin de la vida útil [13].

La energía almacenada en una batería, se mide en Watts-hora (Wh), el kilowatt-hora (kWh), o amperios-hora (Ah). La unidad de medición más utilizada es la de Ah, definida como el número de horas que una batería puede proporcionar una corriente igual a la velocidad de descarga a la tensión nominal de la batería. La unidad de Ah es comúnmente utilizada cuando se trabaja con sistemas de baterías debido a que el voltaje de la batería variará a través de los ciclos de carga y descarga de ciclo. La capacidad Wh total se puede aproximar a partir del producto obtenido al multiplicar la capacidad en Ah por la tensión nominal de la batería.

Por ejemplo, una batería de 12 voltios con una capacidad de 500 Ah permite el almacenamiento de energía de aproximadamente  $100 \text{ Ah} \times 12 \text{ V} = 1,200 \text{ Wh}$  o 1,2 kWh [13].

## 7.2 Clasificación de baterías.

### 7.2.1 Según el tipo de descarga:

#### 7.2.1.1 Automotrices

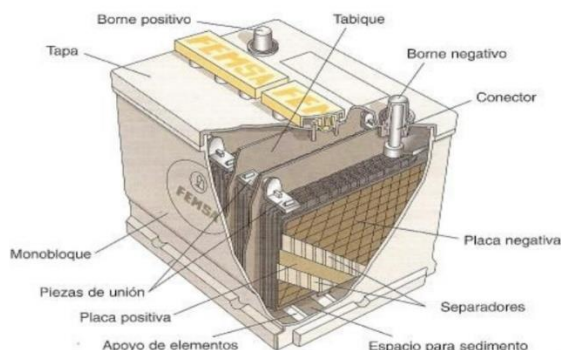


Figura 12: Batería para automóvil y componentes [14].

Capaces de entregar una elevada magnitud de corriente en tiempo cortos, posee un ciclo de vida bajo. Entre estas baterías hay dos tipos principales de baterías, cada una con su propia función única.

#### 7.2.1.2 Estacionarias

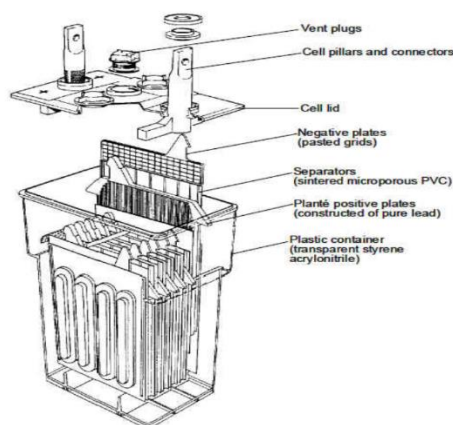


Figura 13: Visualización interna de una batería estacionaria [16].

Se utilizan para aplicaciones donde la energía es necesaria solo en modo de espera o emergencia. Suelen descargarse con poca frecuencia. permanecen con una carga de flotación continua para que pueda usarse bajo demanda.

Los tipos más grandes de baterías estacionarias son los que se usan para nivelar la carga eléctrica, las baterías de nivelación de carga almacenan energía eléctrica en momentos de máxima demanda y se desconectan en tiempos de baja demanda de energía. Los baterías estacionarios utilizadas para sistemas de emergencia, equipos de telecomunicaciones y fuentes de alimentación ininterrumpida, se fabrican en variedad de diseños de placas [16].

### 7.2.1.3 De descarga profunda

Las baterías de ciclo profundo se caracterizan por su gran capacidad de descargas completas, de hecho, soportan cientos de descargas completas, lo cual no es habitual en otros tipos de baterías. Las *baterías de ciclo profundo* son muy utilizadas para sillas de ruedas, caravanas, autocaravanas, iluminación, etc.



Figura 14: Batería de ciclo profundo para caravanas [17].

Este tipo de baterías están diseñadas para realizar descargas hasta al 20% de su capacidad de manera continua y poseen placas más gruesas que el resto. La diferencia fundamental entre una verdadera batería de ciclo profundo y otros tipos son las placas sólidas de plomo y no de esponja. Esto otorga una mejor área superficial y por tanto un menor poder de arranque que otras baterías utilizan. Aunque pueden descargarse hasta el 20% es recomendable hacerlo hasta el 50% para no comprometer en exceso el ciclo de vida [17].

#### 7.2.1.4 Fotovoltaicas

Las función de las baterías en un sistema de energía solar fotovoltaica es la de acumular la energía producida por los paneles fotovoltaicos durante las horas de Sol para poderla utilizar durante la noche o en días nublados. El uso de baterías también permite proveer una intensidad de corriente superior que la que puede ofrecer un panel fotovoltaico en funcionamiento. Este sería el caso si se utilizaran varios aparatos eléctricos en un mismo instante.

Comúnmente se utilizan voltajes nominales de 6, 12, 24 o 48V, en baterías para aplicaciones fotovoltaicas.

##### 1. Otros tipos de baterías:

**Batería de "ciclo poco profundo":** también conocido como un "arranque, encendido, batería de arranque." Estas baterías proporcionan grandes ráfagas de energía a la vez para iniciar un motor de un coche o de un generador. La batería se recarga a continuación, por el motor [15].

**Baterías de celdas húmedas:** funcionan por medio de unas placas de plomo de polaridad positiva y negativa que están suspendidas libremente en ácido sulfúrico. Las placas están aisladas entre sí. Y existe una placa negativa adicional sellada independientemente que evita que las placas positivas se estropeen [15].

**Batería de calcio:** Este tipo también son bastante comunes y su funcionamiento es prácticamente igual al de las baterías de celdas húmedas, pero con la diferencia radica en que las placas tienen una aleación de calcio. Lo que proporciona dos grandes ventajas: evita la corrosión de las placas y se logra que pierda hasta un 80% menos de fluido (auto descarga). Por tanto, estas tienen una vida útil mucho más larga que sus hermanas las baterías de celdas húmedas. El único inconveniente (mantenimiento) se trata de que hay que tener cuidado de no sobrecargarse, ya que podrían dañarse irreversiblemente [15].

**Batería VRLA (AGM Y GEL)** significa “*Valve Regulated Lead Acid*”, que hacen referencia a las válvulas de seguridad que se encuentran presurizadas dentro de la caja de la batería. Es decir, no puede perder líquidos porque el gas está presurizado en estado líquido. De este tipo existen dos diseños: las AGM y las de GEL [15].

**Baterías AGM**, comúnmente llamadas “secas”, separan los electrolitos por medio de fibra de vidrio, lo que provoca que exista poca resistencia interna y los mantiene fijados. Gracias a este sistema no usas agua o gel. Es una tecnología innovadora en el mundo de las baterías de plomo [15].

**Baterías de GEL** se denominan así porque usan una silicona para conseguir que el ácido quede más denso, en forma de gel. Son baterías que aguantan muy bien las descargas profundas [15].

## 7.2.2 Según el tipo de electrodo:

### 7.2.2.1 Plomo-ácido

El plomo-ácido es el tipo de batería más común utilizado en aplicaciones estacionarias. En la condición cargada el material activo en la placa positiva es dióxido de plomo y en el negativo es plomo de esponja. La solución de electrolitos de ácido sulfúrico es un componente activo en la reacción de carga/descarga celular. La estructura de la placa es típicamente rejillas o espinas de plomo puro o aleaciones de plomo con varios agentes de endurecimiento y refinación de granos añadidos como calcio, estaño, antimonio, selenio, etc. La composición de la aleación afecta a las características de gasificación de la batería [18].

Sus principales beneficios son los bajos costos de capital, la madurez de la tecnología, y reciclaje eficiente.

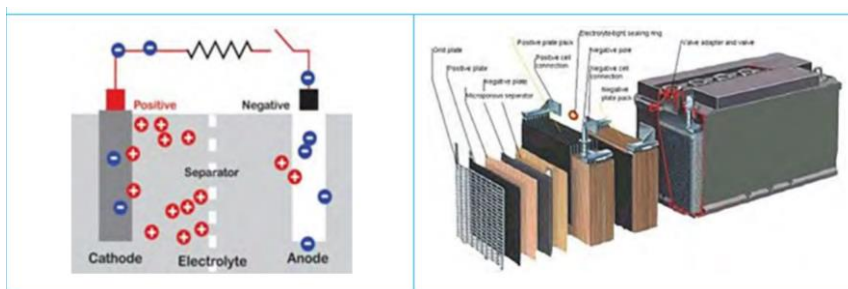


Figura 15: Estructura esquemática y física de la batería de plomo-ácido [19].

### 7.2.2.2 Níquel-Cadmio

Las baterías de níquel-cadmio a una velocidad de 1-2h producen el doble de la densidad de energía de las baterías de plomo-ácido, es decir, alrededor de 50 W-h/kg. Funcionan en un amplio rango de temperatura, dan aproximadamente 2000 ciclos y se pueden cargar en menos de 1h. Las baterías de níquel-cadmio se utilizan en varios vehículos eléctricos de desarrollo.

con el fin de obtener una batería Ni-Cd inundada de carga completa, es necesario aplicar un cierto nivel de sobrecarga, con un ciclo de carga muy rápido. El ciclo de descarga también es muy rápido, debido a una resistencia interna significativamente menor. Los sistemas de baterías grandes con baterías Ni-Cd ventiladas funcionan en una escala similar a las baterías de plomo-ácido.

Aunque la batería Ni-Cd presenta algunas buenas características técnicas, no ha tenido un gran éxito comercial, principalmente debido a sus considerables costos (\$1000/kWh) en >10 veces de baterías de plomo-ácido. Otros inconvenientes importantes de las baterías Ni-Cd son su toxicidad y el hecho de que sufren del efecto de la memoria. Tanto el cadmio como el níquel son metales pesados tóxicos que pueden causar riesgos para la salud [20].



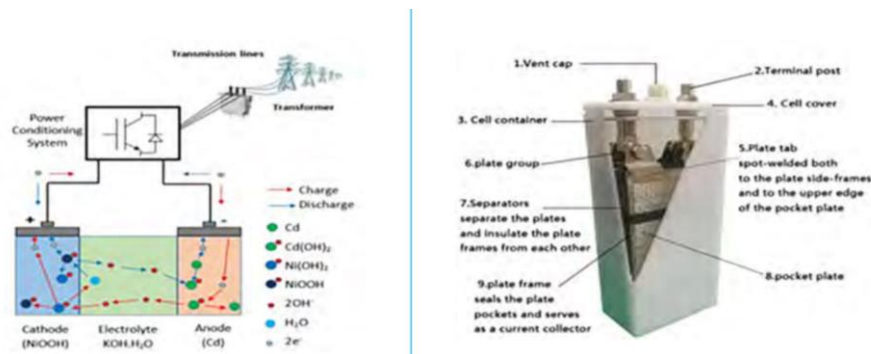


Figura 16: Estructura esquemática y física de la batería de Níquel-Cadmio [19].

### 7.2.2.3 Batería de iones de litio

Las baterías de iones de litio tienen la mayor densidad de energía y son seguras. No hay memoria ni ciclismo programado para prolongar la duración de la batería. Las baterías de iones de litio se utilizan en dispositivos electrónicos como cámaras, calculadoras, computadoras portátiles y teléfonos móviles, y se utilizan cada vez más para la movilidad eléctrica [19].

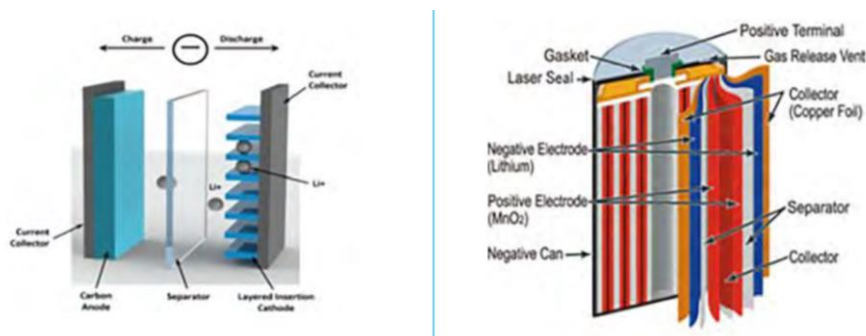


Figura 17: Estructura esquemática y física de la batería de ion de litio [19].

### 7.2.2.4 Batería de Sodio-Azufre

La batería de sodio-azufre, una batería de metal líquido, es un tipo de batería de metal fundido construida a partir de sodio (Na) y azufre (S). Exhibe alta densidad de energía, alta eficiencia de carga y descarga (89%–92%), y una larga vida útil, y se fabrica a partir de materiales baratos.

Sin embargo, debido a sus altas temperaturas de funcionamiento de 300 °C a 350 °C y a la naturaleza altamente corrosiva de polisulfuros de sodio, estas células se utilizan principalmente para aplicaciones no móviles a gran escala, como almacenamiento de energía de la red eléctrica [19].

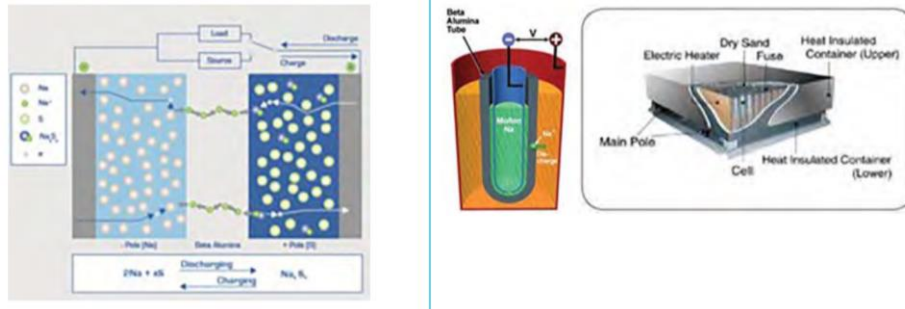


Figura 18: Estructura esquemática y física de la batería de Sodio-azufre [19].

### 7.2.2.5 Batería de flujo Redox

Las baterías de flujo redox o RFB se cargan y descargan mediante la reacción de oxidación-reducción de iones de vanadio o similares. Tienen excelentes características: una larga vida útil con casi ninguna degradación de los electrodos electrolitos, alta seguridad debido a su libre de materiales combustibles, y la disponibilidad para bajo temperaturas normales [19].

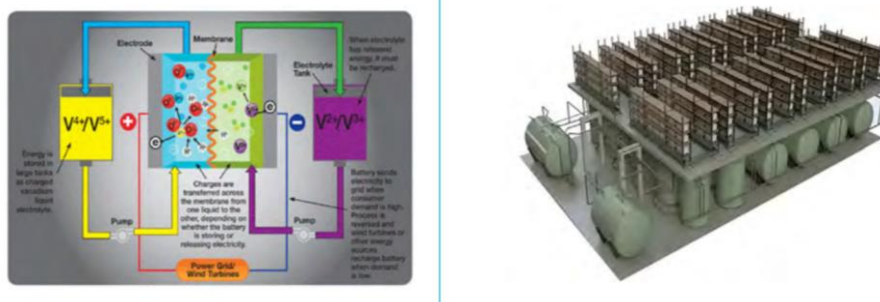


Figura 19: Estructura esquemática y física de la batería de flujo redox [19].

### 7.2.3 Comparación de diversas tecnologías utilizadas en baterías.

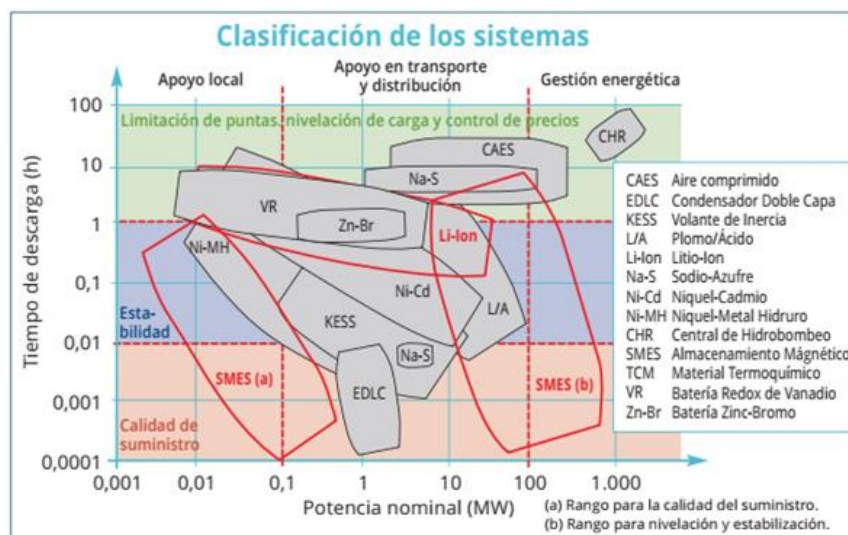


Figura 20: Relación entre tiempo de descarga y potencia nominal para diversos sistemas de almacenamiento de energía, incluyendo baterías [79].

Tabla 2: Especificaciones de diversos tipos de batería [80].

| Especificaciones                             | Plomo ácido              | Níquel cadmio  | Níquel Hidruro metálico | Ion de litio <sup>1</sup>                     |                   |           |
|--|--------------------------|--|-------------------------|---|-------------------|-----------|
|  |                          |  |                         | Cobalto                                       | Manganeso         | Fosfato   |
| Densidad de energía (Wh/kg)                  | 30-50                    | 45-80  | 60-120                  | 150-250                                       | 100-150           | 90-120    |
| Resistencia interna                          | Muy baja                 | Muy baja   | Baja                    | Moderada                                      | Baja              | Muy baja  |
| Ciclo de vida <sup>2</sup> (a 80% DoD)       | 200-300                  | 1000 <sup>3</sup>                                      | 300-500                 | 500-1000                                      | 500-1000          | 1000-2000 |
| Tiempo de carga <sup>4</sup>                 | 8-16 h                   | 1-2 h  | 2-4 h                   | 2-4 h   | 1-2 h             | 1-2 h     |
| Tolerancia a sobrecargas                     | Alta                     | Moderada   | Baja                    | Baja  |                   |           |
| Auto descarga mensual (temperatura ambiente) | 5%                       | 20%  | 30% <sup>5</sup>        | <5% Circuito de protección consume 3% mensual |                   |           |
| Tensión nominal por celda                    | 2V                       | 1.2V <sup>6</sup>                                      | 1.2V <sup>6</sup>       | 3.6V <sup>7</sup>                             | 2-7V <sup>7</sup> | 3.2-3.3V  |
| Tensión de carga por celda                   | 2.40<br>flotación 2.25   | Detección de carga completa por firmas de tensión      |                         | Típicamente 4.20V o mayor                     |                   | 3.60 V    |
| Tensión de descarga por celda                | 1.75 V                   | 1.00V  |                         | 2.50-3.00V                                    |                   | 2.50V     |
| Temperatura de carga <sup>8</sup>            | -20 a 50°C               | 0 a 45°C   |                         | 0 a 45°C                                      |                   |           |
| Temperatura de descarga                      | -20 a 50°C               | 0 a 65°C   |                         | 0 a 50°C                                      |                   |           |
| Requisitos de mantenimiento                  | 3 a 6 meses <sup>9</sup> | Descargas completas cada 90 días en operación continua |                         | Bajos   |                   |           |
| Requerimientos de seguridad                  | Térmica                  | Térmica, fusibles                                      |                         | Circuito de protección obligatorio            |                   |           |
| En uso desde                                 | Finales de 1800          | 1950   | 1990                    | 1991  | 1996              | 1999      |
| Toxicidad                                    | Muy alta                 | Muy alta   | Baja                    | Baja  |                   |           |

|                       |      |                                     |                    |
|-----------------------|------|-------------------------------------|--------------------|
| Eficiencia Coulombica | 90%  | 70% carga lenta<br>90% carga rápida | 99%                |
| Costo                 | Bajo | Moderado                            | Alto <sup>10</sup> |

1. Combinar cobalto, níquel, manganeso y aluminio eleva la densidad de energía a 2500Wh/kg
2. Ciclo de vida basado en descargas profundas. Descargas superficiales prolongan el ciclo de vida
3. Ciclo de vida asumiendo mantenimiento constante para evitar el efecto memoria.
4. Baterías de carga ultra rápida se diseñan para aplicaciones especiales.
5. Auto descarga es más elevada automáticamente después de la carga. Níquel Cadmio pierde 10% en 24h, luego 10% cada 30 días. Temperaturas elevadas y envejecimiento aumentan la auto descarga.
6. 1.25V es el valor tradicional, pero 1.20 es más común.
7. Fabricantes pueden colocar este valor como más elevado debido a la baja resistencia interna (marketing).
8. Recomendable trabajar cercano a temperatura ambiente.
9. El mantenimiento debe incluir cargas para evitar sulfatación.
10. Ion de litio puede tener menor costo por ciclo que plomo acido.

### 7.3 Sistemas de generación de energía renovable.

Se denominan sistemas de energía renovable a todos aquellos que obtienen energía de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales [21].

Entre los tipos de energías renovables que existen se encuentran [22]:

- **Energía solar:** Es aquella obtenida del sol. A través de placas solares se absorbe la radiación solar y se transforma en electricidad que puede ser almacenada o volcada a la red eléctrica. También existe la energía solar térmica, que es aquella que utiliza la radiación solar para calentar un fluido (generalmente agua), hasta generar vapor, y accionar una turbina que genera electricidad.

- **Energía eólica:** Utiliza la fuerza del viento a través de molinos de viento, estos son conectados a generadores que transforman en energía eléctrica el viento hace girar sus aspas.
- **Energía hidroeléctrica:** La energía hidroeléctrica o hidráulica utiliza la fuerza del agua en su curso para generar la energía eléctrica y se produce, normalmente, en presas.
- **Biomasa:** Consiste en la combustión de residuos orgánicos de origen animal y vegetal. Este tipo de energía se utiliza como sustituto de la quema de carbón.
- **Biogás:** Se produce biodegradando materia orgánica mediante microorganismos, en dispositivos específicos sin oxígeno, así se genera un gas combustible que se utiliza para producir energía eléctrica.
- **Energía del mar:** Llamada mareomotriz o undimotriz según si aprovecha la fuerza de las mareas o de las olas respectivamente para producir energía eléctrica.
- **Energía geotérmica:** Es aquella que aprovecha las altas temperaturas de yacimientos bajo la superficie terrestre (normalmente volcánicos) para la generación de energía a través del calor, pues suelen encontrarse a 100 °C o 150 °C.

### 7.3.1 Sistemas conectados a la red y aislados.

Según la forma de su conexión los sistemas de generación pueden clasificarse en conectados a la red o aislados.

**Sistemas conectados a la red:** Como su nombre lo indica la principal característica de estos sistemas es que se conectan al sistema de distribución (red eléctrica) por lo que requieren de la instalación de un medidor en el punto de acople.

Los sistemas conectados a la red (también llamados *on grid*) tienen como principal atractivo la capacidad de inyectar la energía sobrante a la red por lo que si se usa para consumo propio el excedente puede ser vendido y forma parte del sistema de generación distribuida. La otra característica de estos

sistemas es que no requieren el uso de un sistema de almacenamiento de energía [23].

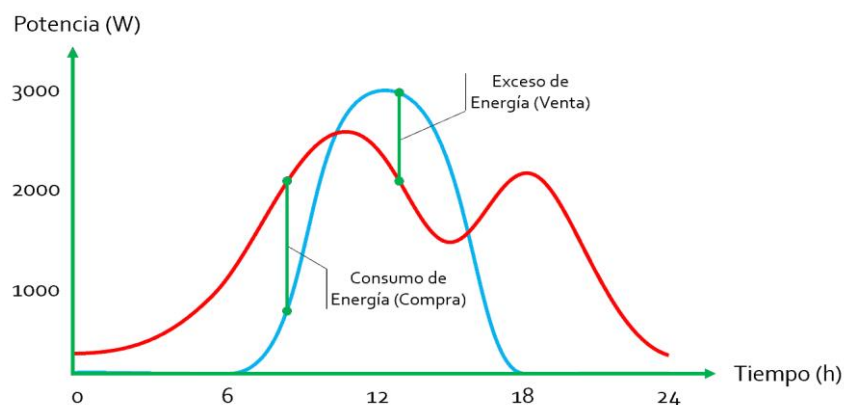


Figura 21: Perfil de carga en una instalación conectada a la red; cuando la curva roja supera la curva celeste el usuario consume la diferencia; de lo contrario se da un excedente que puede ser vendido al sistema de distribución [23].

**Sistemas aislados:** También conocidos como sistemas autónomos de energía o sistemas “*off grid*” son sistemas de generación de corriente sin conexión a la red eléctrica. Normalmente requieren el almacenamiento de la energía generada en acumuladores o baterías y permite utilizarla durante las 24 horas del día.

Este tipo de instalaciones es ideal en regiones donde la conexión a la red eléctrica no es posible o no está prevista debido a los altos costes de desarrollo de la construcción de los sistemas eléctricos de la línea, especialmente en las zonas rurales remotas [24].

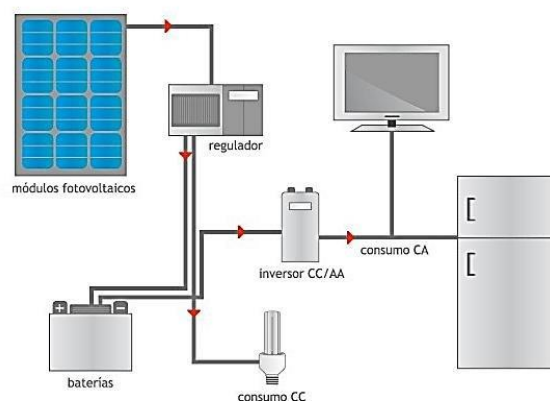


Figura 22: Elementos de un sistema fotovoltaico aislado [24].

Aplicaciones de sistemas aislados:

**Electrificación rural:** bombeo de agua, regadío, cámaras de refrigeración, etc.

**Señalización terrestre:** alumbrado, señales de advertencia, semáforos, etc.

**Aplicaciones industriales:** torres de telecomunicaciones, antenas, sistemas de vigilancia en las refinerías de petróleo y gas.

**Actividades de ocio:** en refugios de montaña, casas de jardín, barcos o caravanas [24].

### 7.3.2 Convertidores de energía.

Un convertidor de potencia es un circuito eléctrico que cambia la energía eléctrica de una forma a la forma deseada optimizada para la carga específica. Un convertidor puede hacer una o más funciones y dar una salida que difiere de la entrada. Se utiliza para aumentar o disminuir la magnitud de la tensión de entrada, invertir la polaridad o producir varias tensiones de salida de la misma polaridad con la entrada, polaridad diferente o polaridades mixtas, como en la unidad de fuente de alimentación del ordenador.

Los convertidores de CC a CC se utilizan en una amplia gama de aplicaciones, incluidas fuentes de alimentación de computadora, conversión y regulación de potencia a nivel de placa, circuitos de control de motores de CC etc.

El convertidor actúa como el enlace o la etapa de transformación entre la fuente de alimentación y la salida de la fuente de alimentación. Hay varios tipos de convertidores basados en el voltaje de entrada de la fuente y el voltaje de salida y estos se dividen en cuatro categorías a saber, el convertidor de CA a CC conocido como el rectificador, el ciclo de conversión de CA a CA o el cambiador de frecuencia, el convertidor de voltaje o corriente de CC a CC, y el inversor de CC a CA [25].

### 7.2.2.1 Inversores Híbridos.

El inversor híbrido es un inversor inteligente que permite el almacenamiento del exceso de energía solar en un sistema de baterías para su auto utilidad. Los inversores híbridos funcionan como un inversor solar común conectado a la red, pero generalmente pueden operar en uno de varios modos diferentes dependiendo de la aplicación, esto incluye el modo de respaldo de batería que proporciona un nivel limitado de energía de respaldo en caso de un apagón. La mayoría de los inversores híbridos también pueden funcionar sin batería y funcionar como un inversor solar conectado a la red al exportar el exceso de energía solar a la red de servicios públicos.

La mayoría de los inversores híbridos se pueden programar para funcionar en cuatro modos diferentes:

**Modo de conexión a la red:** funciona como un inversor solar normal (sin batería)

**Modo híbrido:** almacena el exceso de energía solar durante el día para ser utilizado por la noche para aumentar la autosuficiencia.

**Modo de copia de seguridad:** funciona como un inversor solar normal cuando la red está conectada y cambia automáticamente al modo de energía de respaldo durante una interrupción de la red

**Modo fuera de la red\*** - Funciona de manera muy similar a un inversor fuera de la red y utiliza el exceso de energía solar para cargar la batería y alimentar las cargas sin una conexión a la red.

\* Solo unos pocos inversores híbridos seleccionados están diseñados para ser utilizados para sistemas de energía solar fuera de la red y tienen la capacidad de iniciar y ejecutar una fuente de energía de respaldo si es necesario.

Los inversores híbridos son una opción muy asequible para los hogares promedio que desean ser más autosuficientes utilizando energía solar y baterías, pero no tienen la intención de desconectarse de la red y no experimentan apagones frecuentes [81].





Figura 23: Diagrama básico de un sistema solar con un inversor híbrido para energía de respaldo.

### 7.3.2.2 Topologías de convertidores aplicados a SAEB.

Se dividen en dos grupos: con transformadores y sin transformadores.

#### Topología de convertidor con transformador.

El convertidor de fuente de voltaje (VSC), ZSI (convertidor de fuente Z) y qZSI (convertidor de fuente cuasi-Z), que se muestra en la Figura 24, son los tres convertidores tradicionales de dos niveles para la etapa DC/AC de SAEB.

Para aplicaciones de alta potencia, se utiliza una asociación paralela de SAEB en bloques de potencia para evitar la concentración de potencia en un solo sistema [26].

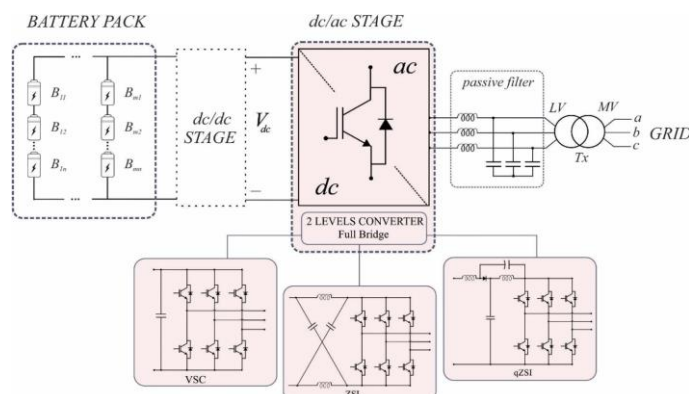


Figura 24: Topología de convertidor con transformador utilizado para aplicaciones SAEB [26].

El convertidor de tres niveles de punto neutro (NPC) es otra topología ampliamente utilizada para aplicaciones SAEB, como se muestra en la Figura 25. La ventaja de esta topología de convertidor es el mayor grado de libertad para aumentar la magnitud de la tensión de salida y mejorar el rendimiento

armónico, lo que reduce los requisitos de filtro. Esto es posible debido a la sujeción de la mitad de la tensión de bus de CC por los diodos NPC, lo que reduce el requisito de voltaje de los interruptores de alimentación. La desventaja de esta topología son las técnicas de control y modulación más complejas requeridas en relación con los convertidores de dos niveles [26].

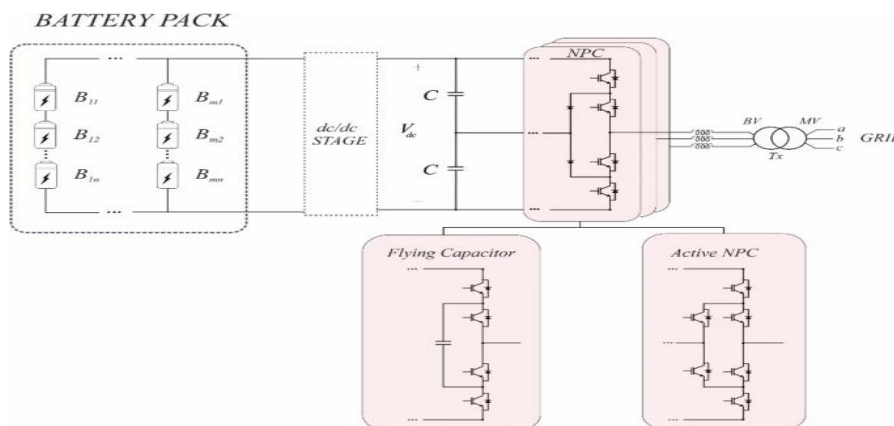


Figura 25: Topologías de convertidor de tres niveles [26].

### Topología de convertidor sin transformador.

Las topologías de dos niveles todavía se pueden utilizar para la conexión directa a la cuadrícula MV, como se muestra en la Figura 26. En esta configuración, varios transistores bipolares de compuerta aislada (IGBT) se conectan generalmente en serie. Esta conexión se puede entender como un solo IGBT capaz de bloquear voltajes de algún kV. La desventaja principal de esta topología es la complejidad aumentada en los circuitos de la unidad de la puerta, para asegurar la sincronización entre los estados de encendido y apagado del Switches. Es fácil observar que cuanto mayor sea el número de interruptores en serie, más complejo es el diseño del convertidor. Esta topología también se diseña para actuar con la frecuencia de conmutación baja, para limitar las pérdidas de Switching. Sin embargo, una frecuencia de conmutación baja aumenta los requisitos de filtrado [26].

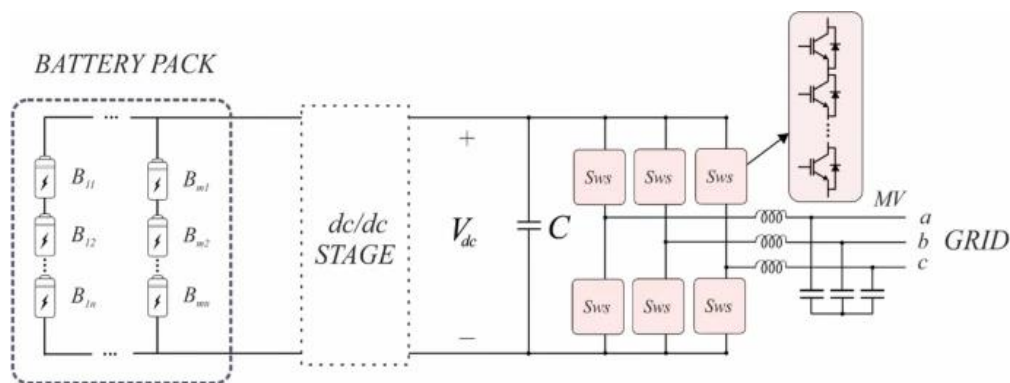


Figura 26: Convertidor de dos niveles sin transformador conectado directamente a la red de nivel MV [26].

### 7.3.3 Reguladores de carga.

Los reguladores de carga (también llamados controladores de carga o reguladores de baterías) son dispositivos que limitan la velocidad a la que la corriente se añade o extrae de una batería eléctrica. Un regulador puede ayudar a prevenir sobrecargas y sobretensiones, lo que previene la reducción de la capacidad y el ciclo de vida.

Los reguladores operan con los siguientes parámetros:

- **Voltaje máximo de regulación:** Este se define como el voltaje más alto que el regulador de energía accede a proporcionar a una batería.
- **Intervalo de histéresis superior:** Esta se define como aquella desigualdad existente entre el voltaje más alto de regulación y el voltaje por el cual el regulador pasa toda la corriente producida por los paneles solares.
- **Voltaje de desconexión:** Este es uno de los parámetros más importantes debido a que este desempeña el papel de voltaje al que se desconecta de manera inmediata las cargas de consumo evitando que de esta manera la batería sufra una sobrecarga.
- **Intervalo de histéresis inferior:** Es la desigualdad que existe entre el voltaje nombrado anteriormente y el voltaje que se concede que los consumos se conecten nuevamente a la batería.

Los reguladores de carga son un componente esencial en los sistemas fotovoltaicos aislados; de acuerdo a su tecnología de fabricación se dividen en dos tipos:

- **Reguladores PWM**

Son reguladores que trabajan bajo la tecnología de modulación de ancho de pulso (PWM por sus siglas en inglés). Son reguladores de características básicas, solamente reducen el voltaje que proveen los paneles para alimentar a las baterías. La caída de voltaje a su vez equivale a una pérdida de potencia, operan con una eficiencia del 75-80%.



Figura 27: Regulador de carga PWM [27].

- **Reguladores MPPT**

MPPT (seguidor de máximo punto de potencia) es un convertidor electrónico DC a DC que convierte las altas corrientes de salida de los paneles solares a corrientes más bajas para cargar las baterías. Debido a esto permiten la posibilidad de añadir paneles en serie con un voltaje total superior al del banco de baterías reduciendo así las pérdidas por bajo voltaje y alta intensidad en corriente continua. Existen reguladores MPPT hasta de 100 A y por lo general ofrecen más garantía que los PWM pero su precio y dimensiones son mayores [28].

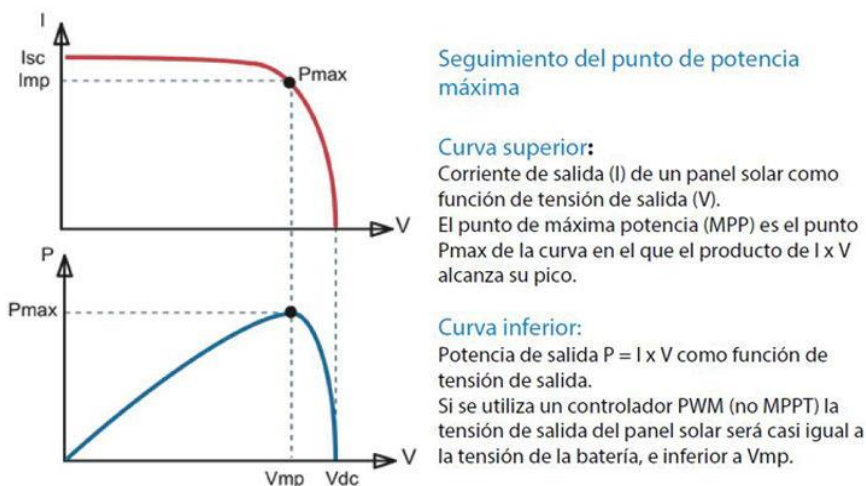


Figura 28: Funcionamiento de un regulador MPPT [28].

### Recomendaciones de uso

- Es obligatorio el uso de un regulador MPPT si se trabaja con paneles de 60 células o el voltaje del campo fotovoltaico es superior al voltaje del banco de baterías.
- En instalaciones pequeñas como el alumbrado de una vivienda o suministro a unos pocos electrodomésticos, es más económica la utilización de un regulador PWM.
- Para instalaciones de mayores dimensiones y con un elevado consumo de potencia (por ejemplo, fábricas), lo mejor es utilizar un regulador MPPT [28].

#### 7.3.4 Bancos de baterías.

Los bancos son arreglos de baterías con capacidad almacenar energía y posteriormente suministrar en forma de corriente directa a todos los elementos de la instalación a través de centros de carga. como se muestra en la siguiente figura.



Figura 29: Banco de baterías [29].

Las baterías que se utilizan en las subestaciones son del tipo de electrolito pueden ser ácidas o alcalinas.

### Conexión del Banco de baterías.

Existen tres formas de conectar un banco de celdas o baterías de plomo-ácido [30].

- En serie
- En paralelo
- Conexión serie-paralelo
- **Conexión en Serie**

Esta asociación en serie es la más conocida. En este caso, el borne positivo o negativo de una celda o batería, se conecta al borne opuesto de otra de idénticas características. De esta manera, la asociación resultante tendrá el doble de tensión y la misma capacidad que cada celda o batería en forma individual.

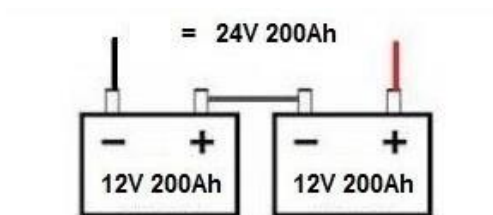


Figura 30: Esquema de conexión en serie de un par de baterías [30].

la conexión en serie de dos baterías idénticas permite tener el doble de tensión nominal de las baterías individuales, manteniendo la misma capacidad. Siguiendo el ejemplo de la figura anterior donde hay dos baterías cada una de 12V 200Ah conectadas en serie, tendremos una tensión de salida de 24V y una capacidad sin cambio de 200Ah. En instalaciones eólicas y fotovoltaicas, cuanto mayor es la tensión continua de carga de las baterías menores son las pérdidas de energía a lo largo de los cables. Por ejemplo, un sistema de 24V es mejor que uno de 12V [30].

- **Conexión en paralelo**

Asociar en paralelo significa vincular eléctricamente bornes de la misma polaridad. La asociación en paralelo se utiliza cuando no es posible obtener una batería de la capacidad deseada. O, a veces, dicha capacidad existe en un determinado modelo o tipo constructivo y resulta más económico utilizar una asociación en paralelo de otros modelos más baratos.

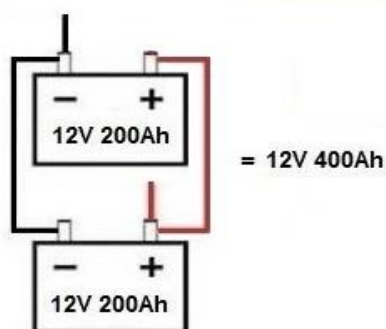


Figura 31: Esquema de conexión en paralelo de baterías [30].

conectar en paralelo dos baterías del mismo tipo permite la salida del doble de capacidad de las baterías individuales, manteniendo la misma tensión nominal. Por ejemplo, en el arreglo de la figura, con dos baterías de 12V 200Ah conectadas en paralelo, tendremos una tensión de salida de 12V y una capacidad total de 400Ah. La capacidad identifica la cantidad máxima de energía que se puede almacenar. Cuanto mayor sea la capacidad, mayor será la cantidad de carga que se puede almacenar, esta se mide en amperios-hora. En el caso de la figura significa que con una capacidad de 400Ah, el banco de baterías puede ofrecer teóricamente una corriente de 400A por una hora

continua de tiempo, o 200A por dos horas continuas o 100A por cuatro horas y así sucesivamente, cuanto menor sea la corriente máxima consumida mayor será la duración de la batería [30].

- **Conexión serie-paralelo**

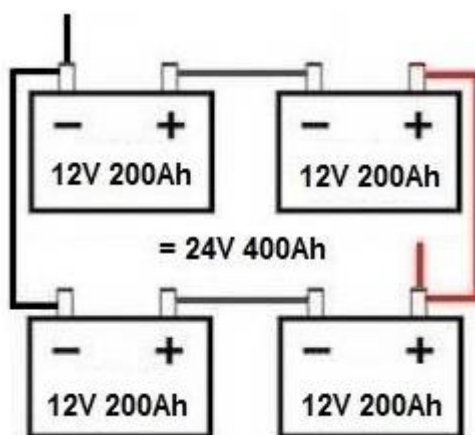


Figura 32: Esquema de conexión de cuatro baterías en serie-paralelo [30].

La conexión de baterías iguales en serie - paralelo duplica tanto la tensión nominal como la capacidad. Siguiendo el esquema de la figura tenemos dos bloques de 24V 200Ah unidos en paralelo, formando así un total de 24V 400Ah. Al realizar la conexión es importante tener en cuenta las polaridades, utilizar cables de sección adecuada y lo más cortos posibles. Cuanto menor sea la longitud de las conexiones, menor será la resistencia que se formará en los cables cuando pase la corriente y, por lo tanto, menor será la energía que perderá entre ellos [30].

### Protecciones en bancos de baterías

Para conocer las protecciones a instalar se debe calcular la corriente de cortocircuito de las baterías, esta se calcula mediante la siguiente expresión:

$$I_{cckt} = U_{max}/R_i$$

**Donde:**

**$U_{max}$ :** Tensión máxima de descarga (tensión en vacío)

**$R_i$ :** Resistencia interna de la batería



La resistencia interna se calcula a través de la característica de descarga que se obtiene por ensayo según las normas IEC 60896 – 1 o IEC 60896 – 2.

### **Valores de Resistencia Interna de Baterías Típicos**

- GT12-4, 12 voltios y 4.2 A-h: 35 miliohms
- GT12-7, 12 voltios y 7 A-h: 20 miliohms
- GT12-18, 12 voltios y 18 A-h: 16 miliohms
- GT12-40, 12 voltios y 40 A-h: 9.5 miliohms
- GT12-100, 12 voltios y 100 A-h: 5 miliohms
- GT12-200, 12 voltios y 200 A-h: 4 miliohms

Al incrementarse la capacidad de una batería, se reduce el valor de la  $R_i$ . La  $R_i$  de una batería, o de una celda, no es constante, varía con la edad de la batería y el tipo de servicio que haya brindado. Para una batería, el aumento de la  $R_i$ , indica que su capacidad en Ah ha disminuido. El incremento de  $R_i$  solo se relaciona con el envejecimiento y brinda algunas indicaciones de posibles fallos [31].

Para calcular el fusible de salida del banco de baterías se debe conocer la corriente nominal del regulador de carga.

### 7.3.4.1 Topología de bancos de baterías en sistemas SAEB

#### Módulo.

Este es un conjunto de varias celdas que son eléctricamente dispuestos en serie, en paralelo o una combinación de ambos para cumplir con la tensión de salida y el amperaje necesaria para la instalación [32].

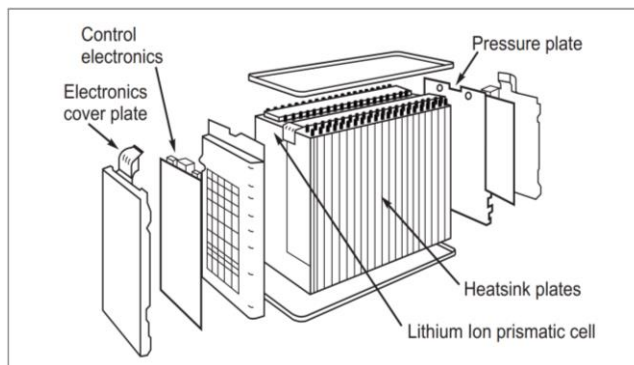


Figura 33: Configuración de un módulo [32].

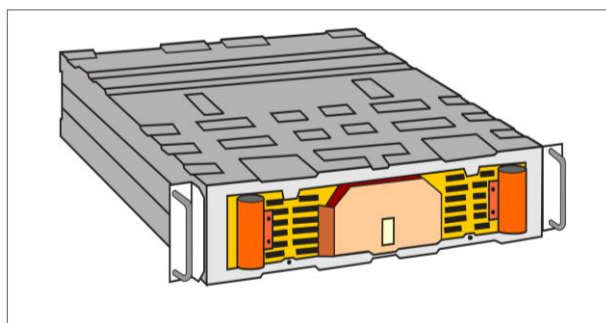


Figura 34: Enclosure típico para un módulo [32].

#### Racks

Un rack consta de múltiples módulos, normalmente conectados en serie para desarrollar un alto voltaje de CC que se alimenta al inversor/cargador. El bastidor también consta de componentes de conmutación (interruptor de circuito, contactor) para aislar el bastidor durante una contingencia [32].

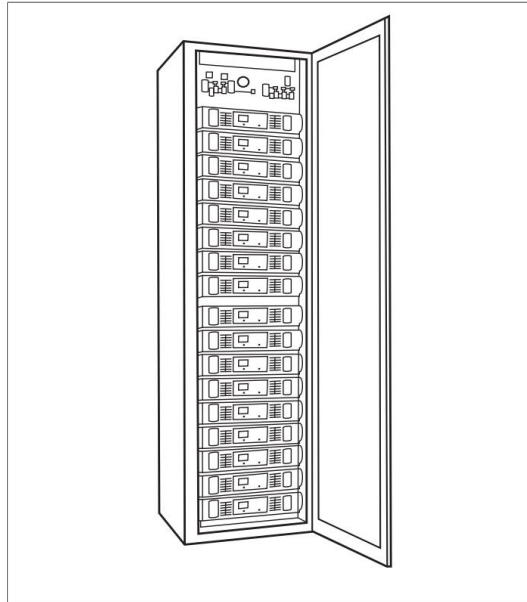


Figura 35: Rack típico para configuración de múltiples módulos [32].

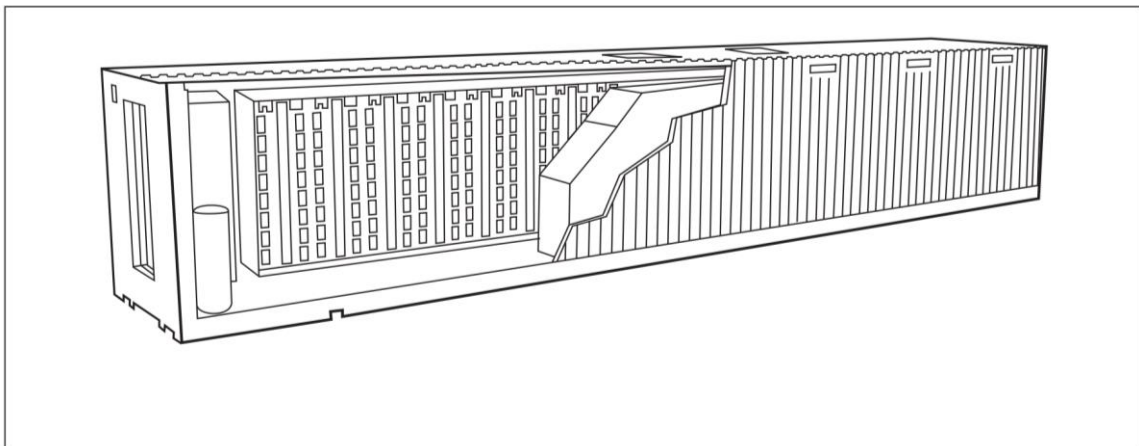


Figura 36: Enclosure exterior con múltiples racks [32].

#### 7.4 Sistemas de generación eléctrica en El Salvador.

A partir de los datos publicados por el Consejo Nacional de Energía (CNE) la capacidad de generación instalada en el país para el año 2018 es de 2022.1 MW.

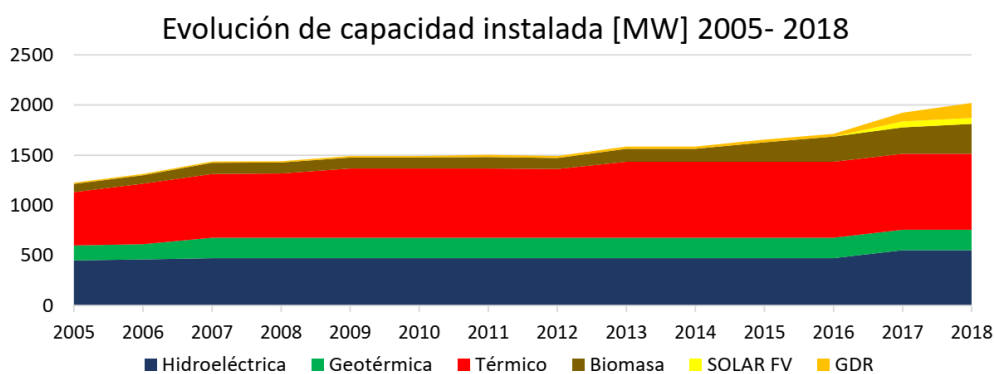


Figura 37: Evolución de la capacidad instalada [MW] 2005 – 2018 [33].

A partir de los datos de la figura 37 se observa que la generación térmica ha sido la tecnología dominante a nivel nacional durante la última década, sin embargo, con el advenimiento de las energías renovables se ha comenzado a diversificar el mercado con la introducción de la generación por biomasa, fotovoltaica y distribuida [33].

#### 7.4.1 Matriz energética nacional.

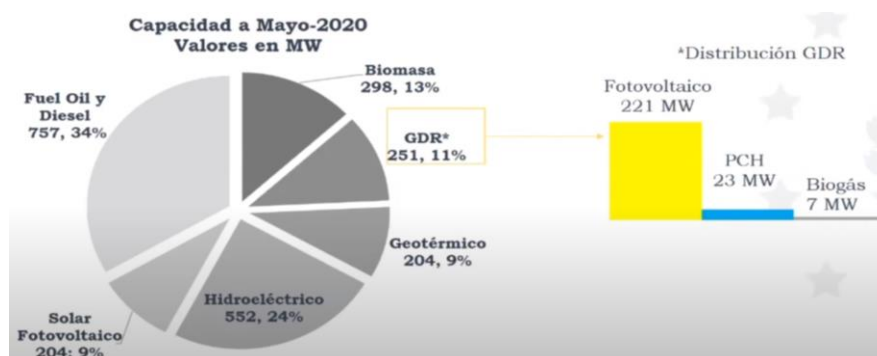


Figura 38: Capacidad instalada de generación eléctrica de El Salvador (2266 MW) [34].

La mayoría de la capacidad instalada de generación eléctrica de El Salvador es por recursos renovables (64%). Se puede observar claramente en el gráfico de la figura, la importante participación de la geotermia en la generación eléctrica del país (9%) y de la biomasa (13%) y la penetración en la capacidad instalada de generación eléctrica por la generación distribuida (11%) [34].

La generación distribuida toma cada vez un rol más importante, donde se divide en 3 tipos de generación:

- Fotovoltaica (221 MW).
- Pequeñas centrales hidroeléctricas (23 MW).
- Biogás (7 MW).

#### Proyectos a futuro:

| Tecnología                                | Capacidad a instalar (MW) | Inversión Estimada (Millones USD) |
|---|---------------------------|-----------------------------------|
| <b>Solar</b>                              | 400                       | 440                               |
| <b>Geotermia</b>                          | 137                       | 685                               |
| <b>Eólica</b>                             | 160                       | 320                               |
| <b>Biogás</b>                             | 10.4                      | 26                                |
| <b>Pequeñas centrales hidroeléctricas</b> | 52.6                      | 171                               |
| <b>Geotérmico Binario</b>                 | 60                        | 300                               |
| <b>Total</b>                              | <b>820</b>                | <b>1942</b>                       |

Figura 39: Tabla resumen de proyectos de generación de energía 2020, fuente CNE, webinar: presente y futuro de las energías renovables en El Salvador (17 de junio de 2020) [34].

Esto puede representar una oportunidad para la inversión en sistemas de almacenamiento de energía que permitan la conectividad y estabilidad de los sistemas con energías renovables.

#### 7.5 Sistemas de almacenamiento de energía con baterías para redes eléctricas (SAEB).

Los sistemas de almacenamiento de energía con baterías (SAEB) se componen de una gran cantidad de celdas o baterías (bancos de baterías) en combinaciones de serie y paralelo, para poder cumplir con las demandas de almacenamiento y entrega de energía que el sistema demande.

Estos sistemas están compuestos en general por:

Los componentes de un sistema de almacenamiento de energía (Figura 38) se agrupan según la función en componentes de batería, componentes

necesarios para un funcionamiento fiable del sistema y componentes de conexión a la red.

- El sistema de baterías consta de la batería, que conecta varias células a voltaje y capacidad; el sistema de gestión de baterías (BMS); y gestión térmica (B-TMS). El BMS protege las celdas de las operaciones dañinas, en términos de voltaje, temperatura y corriente, para lograr un funcionamiento confiable y seguro, y equilibra distintos estados de carga de celda (SOC) dentro de una conexión serie. El B-TMS controla la temperatura de las celdas de acuerdo con sus especificaciones en términos de valores absolutos y temperaturas dentro del envase [19].
- Los componentes necesarios para el funcionamiento fiable del sistema general son el control del sistema y el monitoreo, el sistema de gestión de la energía (EMS) y la gestión térmica del sistema. El control y la supervisión del sistema es un monitoreo general (IT), que se combina en parte con el control general de supervisión y adquisición de datos (SCADA), pero también puede incluir unidades de protección o alarma. El EMS es responsable del control del flujo de energía del sistema, la y distribución. La gestión térmica del sistema controla todas las funciones relacionadas con la calefacción, ventilación y aire acondicionado del sistema de contención [19].
- La electrónica de potencia se puede agrupar en la unidad de conversión, lo que convierte la entre la red y la batería, y los componentes de control y supervisión necesarios— unidades de detección de tensión y gestión térmica de componentes de electrónica de potencia (ventilador refrigeración) [19].

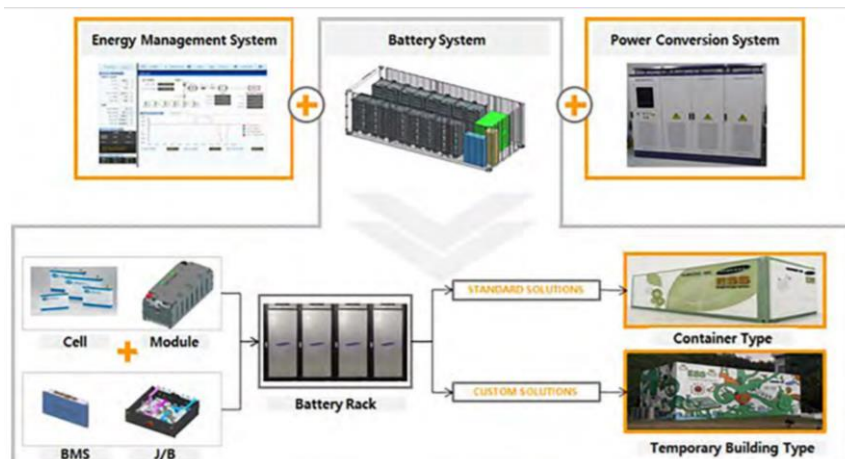


Figura 40: Componentes de un sistema de almacenamiento de energía [19].

### 7.5.1 Tecnologías de SAEB para aplicaciones en sistemas eléctricos.

El aumento en la utilización de baterías para el almacenamiento de energía eléctrica para diferentes aplicaciones muestra que las baterías de ion de litio son las más utilizadas, así como las baterías de plomo-ácido y baterías de flujo, el aumento es debido al creciente desarrollo de las tecnologías.

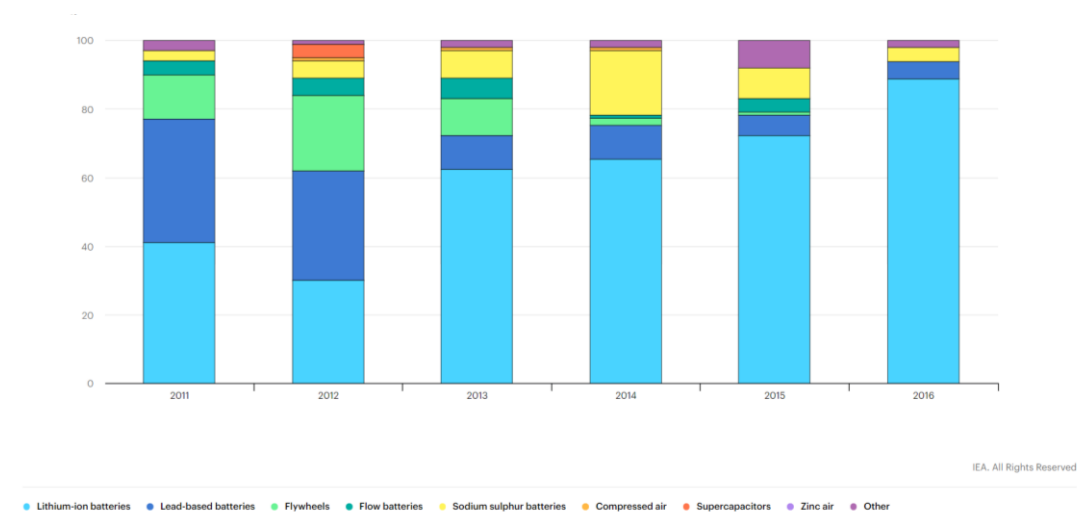


Figura 41: Mezcla tecnológica en instalaciones de almacenamiento excluyendo hidro bombeado, 2011-2016 [35].

Existe una gran variedad de baterías para el almacenamiento de energía eléctrica, se presentarán las tecnologías más utilizadas:

**Baterías de sulfuro de sodio:** La batería de sulfuro de sodio (NaS) es un sistema de baterías de alta temperatura que consiste de un electrodo positivo de sulfuro líquido y un electrodo negativo de sodio separado por un sólido de beta aluminio de cerámica electrolítica. El electrolítico permite solo el paso de los iones de sodio positivos para combinarse con el sulfuro formando polisulfuros. Estas baterías trabajan con un 89% de eficiencia y es capaz de tener 6 horas de descarga diaria. Esta tecnología fue desarrollada en los años 60s para usarse en los carros eléctricos. Esta tecnología fue perfeccionada en Japón donde existe una capacidad total instalada de 270 MW de energía almacenada usada durante 6 horas al día para la reducción de picos en el sistema. El sistema de baterías más grande es de 34 MW supliendo 245 MWh utilizado para la estabilización de la potencia suplida por aerogeneradores en el norte de Japón (Figura 42) [36].



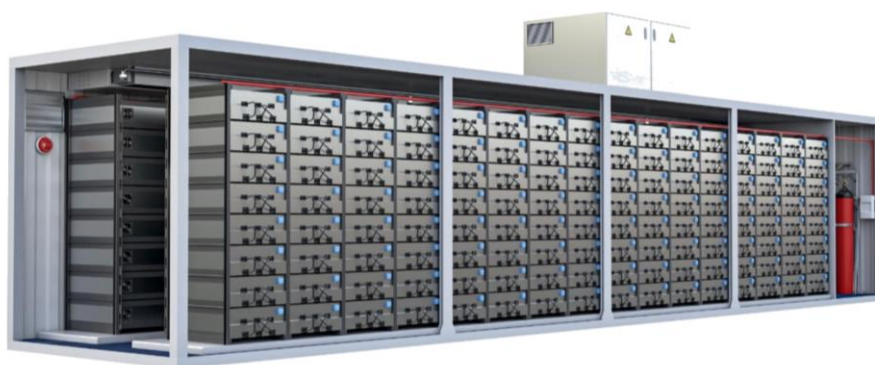
Figura 42: Instalación de baterías NaS de 34 MW, 245 MWh [37].

**Baterías de iones de litio:** Debido a la alta eficiencia de estas baterías de funcionar en aparatos electrónicos sea celulares o laptops son el tipo de batería más ampliamente usadas. Estas vienen en una gran variedad de tamaños y son relativamente de poco peso en comparación a las baterías convencionales que utilizan líquidos como las de ácido de plomo. Los dos diseños que están siendo implementados en las redes eléctricas son las baterías de titanato de litio y las baterías de fosfato de litio-hierro. Las baterías de titanato de litio



utilizan manganeso en los cátodos y ánodos de titanato resultando en baterías de carga rápida, buena operación a bajas temperaturas, se descargan hasta un 0% y relativamente son de larga duración. La figura 43 muestra un sistema de baterías de titanato de litio utilizadas en una empresa eléctrica para servicios auxiliares como la regulación de frecuencia [36].

Las baterías de fosfato de litio-hierro utilizan fosfato de hierro en los cátodos convirtiéndolas en una tecnología más segura. Debido a esta química es muy difícil que los electrodos liberen oxígeno reduciendo los chances de que las baterías se prendan fuego. Este tipo de batería es excelente candidato para usarse en las redes eléctricas debido a que son más resistentes a la sobrecarga cuando se operan en un rango de hasta 100% de carga [36].



*Figura 43: Sistemas estacionarios de almacenamiento de energía de baterías de iones de litio [38].*

**Baterías de ácido de plomo:** Debido a sus bajos costos se continúan usando como fuentes de respaldo en las plantas eléctricas [36].

**Baterías avanzadas de ácido de plomo:** Agregando carbón activado a electrodo negativo hace que la composición aumente la vida útil de la batería, estimando unas mejoras de 2000 ciclos. Esto lleva a unas mejoras de 3 a 4 veces ante las baterías convencionales de ácido de plomo. Puede ser que en un futuro todavía estas baterías se utilizaran para el almacenamiento de energía en los sistemas eléctricos [36].



Figura 44: Una batería sellada de plomo-ácido (SLA) [39].

**Baterías de flujo:** Estas baterías trabajan a temperatura ambiente. Consisten en líquidos electrolíticos que fluyen a través de un grupo de celdas e intercambian iones a través de una membrana de micro poros para generar electricidad. Las baterías de flujo de bromuro de zinc se utilizan en las redes eléctricas. Entre las ventajas que brindan están: mientras más celdas más potencia nominal, un volumen más grande de electrolíticos se traduce en más tiempo de operación y su construcción está basado en componentes plásticos resultan en baterías de poco peso y un mayor tiempo de vida. La figura 45 muestra un grupo de baterías de flujo [36].



Figura 45: SAEB con baterías de flujo [40].

## 7.5.2 Aplicaciones.

### 7.5.2.1 Smart-Grids.

Las smart grid o redes inteligentes son un conjunto de redes eléctricas cuya operación incluye el uso de medidores inteligentes, tecnologías de la información y comunicaciones (TIC) y sistemas de energía renovables.

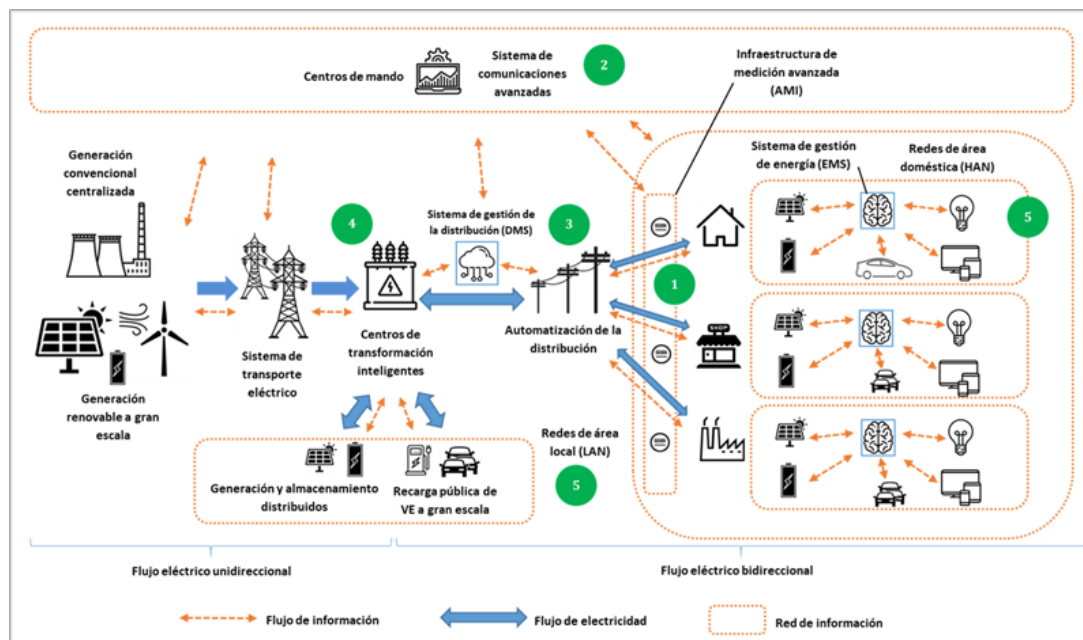


Figura 46: Esquema de una red inteligente [41].

### 7.5.2.2 Generación distribuida.

La generación distribuida consiste en la generación de energía eléctrica mediante muchas pequeñas fuentes de generación, instaladas cerca del consumidor que se conecta a la red de distribución.

Existe disparidad de criterios a la hora de establecer el límite de potencia para la GD. El Departamento de Energía (DOE) de Estados Unidos establece unos límites que van desde 1 kW hasta decenas de MW. En España, el Régimen Especial contempla un límite máximo de potencia de 50 MW. EscoVale Consultancy, una consultoría del Reino Unido, amplía el rango de potencias hasta 100 MW, limitando a 10 MW la potencia máxima para instalaciones basadas en fuentes de energía renovable [42].

Considerando diversos rangos de potencia se habla de microgeneración para instalaciones de potencia inferior a 5 kW, mini generación entre 5 kW y 5 MW y generación de media y gran escala para sistemas cuya potencia esté entre 5 y 50 MW y 50 a 100 MW respectivamente [42].

Tabla 3: Grado de madurez de las tecnologías y sistemas de almacenamiento utilizados en GD [42].

|                                   |              |  |
|-----------------------------------|--------------|--|
| <b>Tecnologías de gd</b>          | Maduras      | Motor alternativo<br>Turbina de gas<br>Minihidráulica<br>Eólica<br>Solar térmica<br>Fotovoltaica<br>Residuos |
|                                   | Semi maduras | Biomasa<br>Microturbina<br>Pila de combustible   |
|                                   | Emergentes   | Marina<br>Geotérmica   |
| <b>Sistemas de almacenamiento</b> | Maduras      | Bombeo<br>Batería  |
|                                   | Semi maduras | Térmico<br>Volante<br>Aire a presión   |
|                                   | Emergentes   | Hidrógeno<br>SMES<br>Ultracapacitores  |

Tabla 4: Comparación de diversas tecnologías de GD [42].

| Tecnologías       | Energía primaria                                | Rendimiento   |
|-------------------|---|---|
| Motor alternativo | Gas natural, biogás, propano                    | 28-4% (gas natural) 30-50% (diesel) 80-85% (cogeneración) |
| Turbina de gas    | Gas natural, diesel, biogás, propano            | 25-60% 70-90% (cogeneración)                              |
| Minihidráulica    | Agua  | 80-90%  |
| Eólica            | Viento  | 43%   |
| Solar térmica     | Sol   | 13-21%  |
| Fotovoltaica      | Sol   | 14%   |
| Biomasa           | Biomasa   | 32%   |
| Microturbina      | Gas natural, hidrógeno, diesel, biogás, propano | 25-40% 85% (cogeneración)                                 |

Tabla 5: Comparación de diversos sistemas de almacenamiento de GD [42].

| Tecnología            | Tiempo de descarga | Banda de potencia | Eficiencia     | Aplicación   |
|-----------------------|--------------------|-------------------|----------------|--|
| Térmico               |                    |                   | 65% (promedio) | Solar térmica, biomasa, geotérmica y electricidad de red con muchas renovables |
| Bombeo                | Horas-días         | 100-1000MW        | 66% (promedio) | Hidráulica y electricidad de red con muchas renovables                         |
| Volante               | Segundos-minutos   | 10-100kW          | 78% (promedio) | electricidad de red con muchas renovables                                      |
| Aire a presión        | Horas-días         | 100-1000MW        | 69% (promedio) | electricidad de red con muchas renovables                                      |
| Batería plomo ácido   | Minutos-horas      | 1 kW-40MW         | 60.7-67.7%     | Hidráulica, fotovoltaica, eólica y maremotriz                                  |
| Batería níquel cadmio | Segundos-horas     | 1 kW-40MW         |                |  |
| Batería sodio azufre  | Horas-días         | 50 kW-10MW        | 56.7-72.2%     |  |
| Hidrógeno             |                    |                   | 24-58%         | Hidráulica, fotovoltaica, eólica y maremotriz                                  |
| SMES                  | Segundos           | 1-100 MW          |                | Fotovoltaica y electricidad de red con muchas renovables                       |
| Ultra capacidad       | Segundos           | 10 kW-1MW         | 90% (promedio) | Fotovoltaica y electricidad de red con muchas renovables                       |

### 7.5.2.3 Micro-Grids.

La micro-grids es un sistema de energía discreto que consiste en fuentes de energía distribuidas (incluida la gestión de la demanda, el almacenamiento y la generación) y cargas capaces de operar en paralelo o independientemente de la red eléctrica principal. El propósito principal es garantizar la seguridad energética local, confiable y asequible para las comunidades urbanas y rurales, al mismo tiempo que proporciona soluciones para los consumidores comerciales, industriales y del gobierno federal. Los beneficios que se extienden a los servicios públicos y a la comunidad en general incluyen la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y la reducción de la tensión en el sistema de transmisión y distribución [43].

Ventajas de una microgrid:

- Proporciona calidad de energía, confiabilidad y seguridad para los usuarios finales y operadores de la red.

- Mejora la integración de las fuentes de energía distribuidas y renovables.
- Costo competitivo y eficiente.
- Permite la integración de la tecnología de red inteligente.
- Calidad de potencia controlada localmente.
- Minimice la huella de carbono y las emisiones de gases de efecto invernadero maximizando la generación de energía local limpia.
- Aumento de la participación de los clientes (uso final).

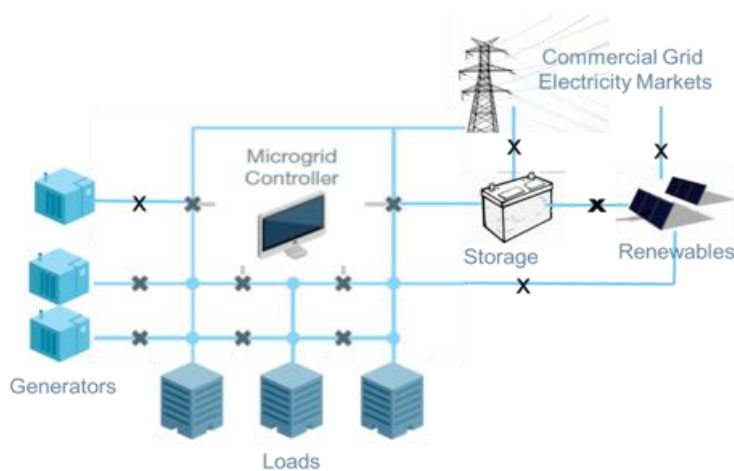


Figura 47: Esquema de microgrid [44].

Los SAEB pueden ser la respuesta en diversas aplicaciones:

- Estabilidad de frecuencia.

Al sustituirse la generación convencional por sistemas basados en fuentes renovables, éstas deben contribuir necesariamente a la regulación de frecuencia. Esto se puede lograr de diversas maneras, siendo las más utilizadas las siguientes:

1. Trabajando en un punto subóptimo, es decir no entregando toda la potencia disponible de la fuente de energía. De esta manera se tiene la posibilidad de aumentar la potencia en caso de que baje la frecuencia [45].
2. Utilizando almacenamiento, para poder realizar incrementos de potencia y al mismo tiempo permitir que siempre se genere el máximo



disponible. La opción 2. es cada vez más interesante en la medida que disminuyen los costes de las baterías y aumenta la fiabilidad de las mismas [45].

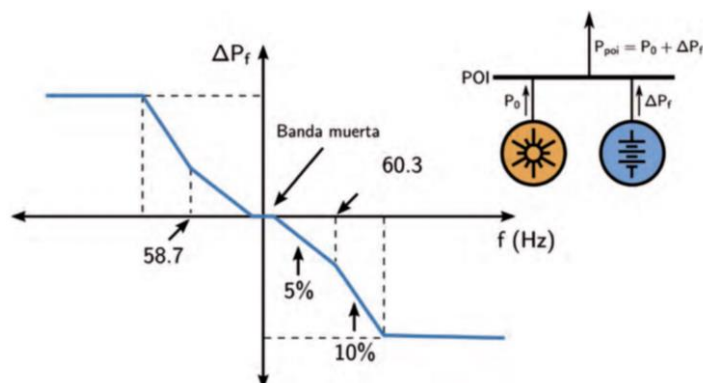


Figura 39. Curva de incremento de potencia en función de la frecuencia requerida en el código de red de Puerto Rico (PREPA).

Figura 48: Curva de incremento de potencia en función de la frecuencia requerida [45].

- Estabilidad de voltaje.

Dentro de los servicios complementarios o auxiliares para la operación del transporte y la distribución, los sistemas de almacenamiento pueden tener un papel relevante en el control de tensiones, especialmente en las redes de distribución con fuerte presencia de generación distribuida. Particularmente ventajoso es el caso en el que el almacenamiento se encuentra distribuido a lo largo de la red, asociado a las instalaciones de generación distribuida o cerca de zonas de gran consumo, ya que significa que los dispositivos de almacenamiento están cercanos a los puntos que requieren un mayor aporte de potencia reactiva.

Entre los problemas de voltaje que pueden presentarse están aumento de voltaje, reducción de voltaje, desbalance de voltaje, fluctuaciones de voltaje, inestabilidad de voltaje y colapso de voltaje [46].



Figura 49: Algunos de los problemas de estabilidad de voltaje [46].

- Integración de energía renovable.

**Integración de energías renovables en localizaciones áreas remotas:** la disponibilidad de sistemas de almacenamiento de energía eléctrica permite aprovechar fuentes remotas de energías renovables para las que, o bien es demasiado costoso construir la infraestructura de transporte necesaria, o bien el tiempo necesario para construir dichas instalaciones es excesivo [45].

**Reducción de los cortes impuestos a la generación renovable:** la propia localización de las fuentes de energía renovable, normalmente alejada de los centros de consumo, puede provocar la saturación de las redes de transporte y distribución, obligando al operador del sistema a imponer límites o cortes a la generación renovable. La disponibilidad de recursos de almacenamiento permite modular la generación neta, almacenando el excedente para su uso posterior, evitando con ello los cortes impuestos a la energía renovable y su despilfarro frente a otras fuentes de energía convencionales [45].

**Modulación de la generación renovable:** los sistemas de almacenamiento permiten modular la generación de origen renovable no gestionable, como es el caso de la eólica o la fotovoltaica. Así, el sistema de almacenamiento permite evitar cambios bruscos en el nivel de generación, haciendo el recurso menos impredecible y aportándole incluso cierta capacidad de programación (Figura 50). Por otro lado, al disminuir la necesidad de suplir los cambios bruscos en la generación renovable con las distintas reservas del sistema, compensados con los recursos de almacenamiento, se aumenta la fiabilidad del sistema en su conjunto [45].

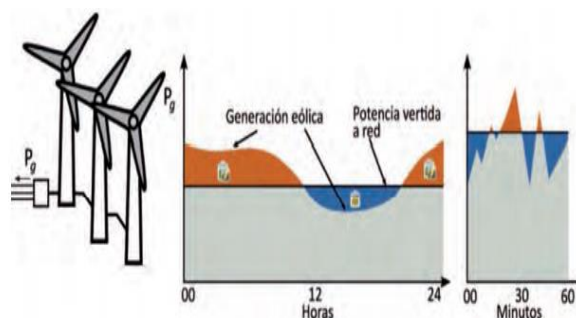


Figura 50: Gestión de la generación renovable a través de sistemas de almacenamiento. En la gráfica de la izquierda la generación diaria se nivela evitando posibles saturaciones y haciendo virtualmente gestionable la producción del parque fotovoltaico. Otra aplicación consiste en utilizar los sistemas de almacenamiento para evitar fluctuaciones intra-horarias en la generación renovable (gráfica derecha) [45].



- Recorte de la demanda pico.

Los sistemas de almacenamiento de energía en baterías (SAEB) son comúnmente utilizados para realizar “Peak Shaving” operación que se conoce en el idioma español como como recorte de la demanda pico, recorte de puntas de consumo, control de cargas máximas etc. El recorte de la demanda pico puede brindar los siguientes beneficios:

- Clientes comerciales e industriales pueden reducir el monto de su factura mensual por medio del recorte de su demanda pico.
- Las empresas de suministro de electricidad pueden reducir sus costos de operación durante las horas pico, por medio de la disminución de la demanda, reduciendo la necesidad de despachar plantas generadoras de alto costo de operación.
- Nuevas inversiones en infraestructura pueden ser aplazadas debido a demandas más planas y con menores picos [46].

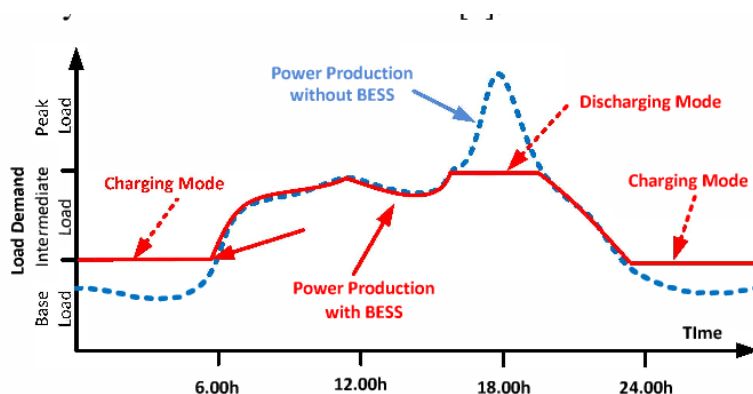


Figura 51: Carga y descargas óptimas de SAEB para el recorte de picos y la nivelación de la carga [47].

- Aplazamiento de inversiones en infraestructura.

Durante unos días cada año con la mayor carga, la provisión de energía de un ESS.

a un segmento de red que se acerca a su capacidad de carga podría resultar en el aplazamiento o la evitación de la necesidad de aumentar la potencia transformadores o líneas. Además, la reducción de la carga de componentes de la red, como transformadores con muchos años de servicio, facilita la

extensión de la vida útil del equipo. Algunas utilidades optan por aplazar la actualización de las líneas de transmisión, añadiendo generación distribuida a la proximidad de cargas. Sin embargo, en presencia de almacenamiento de energía, las unidades de generación distribuida no son el almacenamiento suministrará la cantidad de energía que amenaza sobrecargar el equipo de rejilla. El modo de descarga del almacenamiento debe coincidir con horas, mientras que el modo de carga debe ocurrir en condiciones de baja carga, por ejemplo, durante la noche. El principio es ilustrativamente presentado en la figura 51. Los datos del perfil de carga utilizados corresponden a un día pico de verano.

Para el funcionamiento efectivo del ESS, se requiere atención para su en la red eléctrica, ya que debe ser aguas abajo de la se espera que alcancen sus limitaciones de carga (figura 52).

Además, una característica deseable del ESS es su potencial portabilidad, ya que permite a los operadores responder a las condiciones de carga cambiantes en la red debido a una serie de factores. En cuanto al factor de actualización del equipo de red, establece que una tercera parte de la capacidad de carga existente del equipo será añadida en la próxima actualización programada del equipo [48].

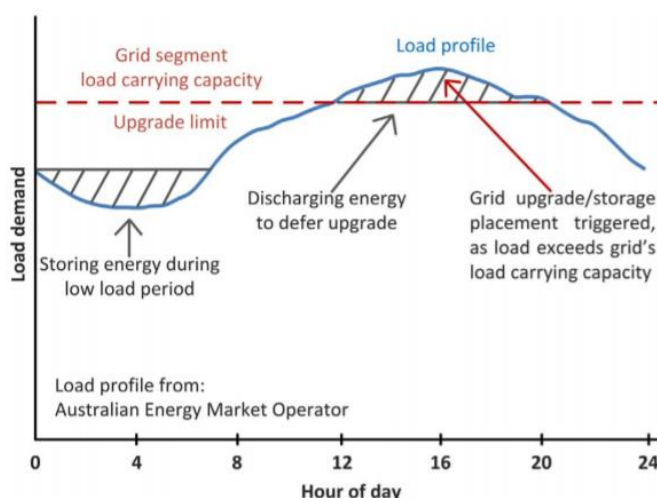


Figura 52: Grafica de demanda de carga vs tiempo (en horas) [48].

- Suministro ininterrumpido de energía.

Para viajar a través de un corte de energía en el rango de minutos a horas que se produce en la red eléctrica, una fuente de alimentación ininterrumpida (UPS) generalmente se emplea; su compromiso mejorará la fiabilidad del servicio, mitigar la pérdida de productividad social, facilitar paradas ordenadas y minimizar los riesgos para cargas críticas como hospitales, telecomunicaciones, instalaciones de agua, hornos de aluminio, para nombrar algunos. Se centra en los centros de datos, sugiriendo que los UPS existentes en los locales pueden utilizarse para reducir las tarifas de electricidad limitando los picos de demanda de energía de la instalación; por lo tanto, la reducción de la. Además, en el caso de que los servidores del centro de datos se suministran continuamente con energía a través de la PCU de la UPS (como filtro a la potencia absorbida por la red eléctrica), esta provisión de energía puede ser descontinuada durante períodos donde la energía de la red es de mejor calidad, con el fin de evitar la eficiencia de conversión de la PCU. Una alternativa para lograr una mayor eficiencia de conversión, es emplear una modular y dependiendo del requisito de energía actual, el número correspondiente de módulos, por lo que el funcionamiento de la UPS modular es lo más cercano posible a las calificaciones de los módulos, por lo tanto, funciona con alta eficiencia de conversión [48].

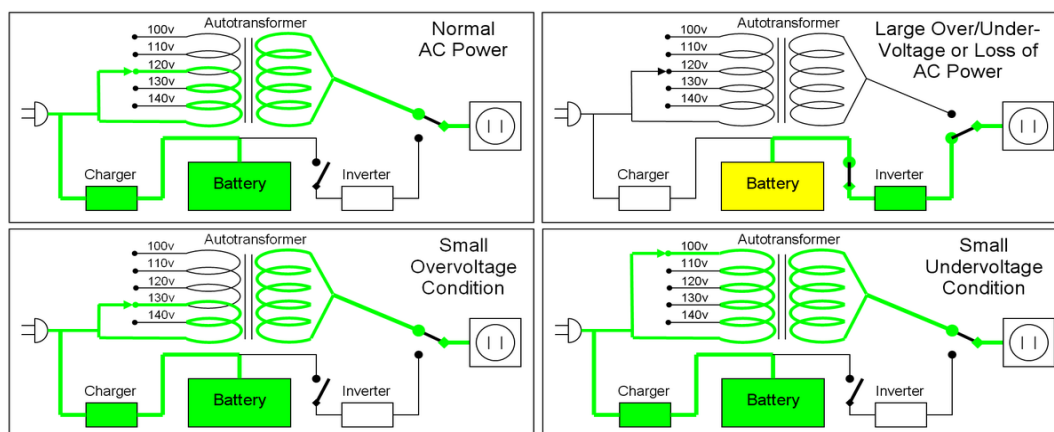


Figura 53: Diagrama de diferentes tipos de sistemas UPS [49].

- Restablecimiento de la red.

**Arranque en negro:** Se denomina “arranque en negro” al proceso de restaurar el funcionamiento de una planta generadora o a la puesta en marcha de una parte de la red sin contar con el apoyo de la red de transmisión. Normalmente la energía utilizada en una planta generadora es proveída por sus mismos generadores. Si todos los generadores de la planta están apagados, la energía utilizada en la planta es extraída de la red a través de la línea de transmisión. Sin embargo, en el evento de un corte generalizado de gran escala, no se tiene energía de la red. En ausencia de energía de la red, El procedimiento de “arranque en negro” debe ser realizado para poner las plantas generadoras en funcionamiento [46].

## **7.6 Viabilidad de sistemas de almacenamiento de energía con baterías y tendencias a futuro.**

### **Viabilidad**

Algunos factores que afectan la viabilidad de un sistema SAEB se presentan:

- Costo de almacenamiento

El costo de las baterías, aunque disminuyen a medida que avanza la tecnología, siguen siendo el factor más importante para determinar si un proyecto con SAEB es viable. Los costos dependen de los rangos de MW/MWh con los que la batería cuente. El desarrollo de un análisis financiero y económico es indispensable para la determinación de la viabilidad del proyecto.

El análisis de viabilidad puede ser extremadamente sensible a los supuestos del valor terminal de las celdas usadas y el costo futuro de las células de reemplazo [19].

- Costo de refuerzo de la red

Mayores costos de refuerzo de red convencionales aumentan el valor de la implementación como alternativa, mejorando la economía de los proyectos (y viceversa) para los operadores de la red de distribución directamente y para

proyectos de terceros con un contrato de recorte de picos con un operador de la red [19].

- Servicios comerciales

Mayor acceso y mayor valor de la prestación de servicios comerciales (por ejemplo, los mercados de servicios auxiliares, el mercado mayorista, el mercado de capacidades) aumentar las fuentes de ingresos de los proyectos, mejorando la economía de los proyectos (y viceversa). Generalmente se acepta que las corrientes de valor tendrán que ser apiladas para viabilidad económica de los proyectos SAEB [19].

- Desarrollo de normas y regulaciones

Eliminar las barreras al almacenamiento o crear un entorno más favorable para la inversión mejora el valor realizable de un proyecto, mejorando la economía de los proyectos (y viceversa) [19].

- Análisis económico y financiero

La evaluación financiera evalúa la capacidad del proyecto para generar efectivo incremental adecuado para la recuperación de los costes financieros (capital y costes recurrentes) sin apoyo externo.

El análisis económico del proyecto evalúa si un proyecto es económicamente viable para el país, o empresa que planea llevarlo a cabo [19].

### **Tendencias a futuro:**

Dos aspectos importantes: **reducción de costos y desarrollo de tecnologías.**

- **Reducción de costos:**

Los costos de la batería de iones de litio, por ejemplo, han ido disminuyendo significativamente en los últimos años de €1.000 por kWh en 2008 a alrededor de €350 por kWh en la actualidad, con los líderes de costos como Tesla/Panasonic incluso baja a €250 por kWh. Esa tendencia muestra una

relación de costos a €125kWh para 2020, con los principales factores de reducción de costos provenientes de mejoras tecnológicas en las químicas de ánodo y cátodo y los efectos de escala en el montaje de la batería y el paquete. Y a medida que estos costos bajan, un número cada vez mayor de solicitudes para las baterías de iones de litio y, en particular, el mercado de vehículos eléctricos se abrirá.

Esto a su vez tendrá implicaciones significativas para los supuestos utilizados al modelar la energía y el transporte futuros y permite una perspectiva optimista para los vehículos eléctricos que contribuyen a un transporte con bajas emisiones de carbono [50].

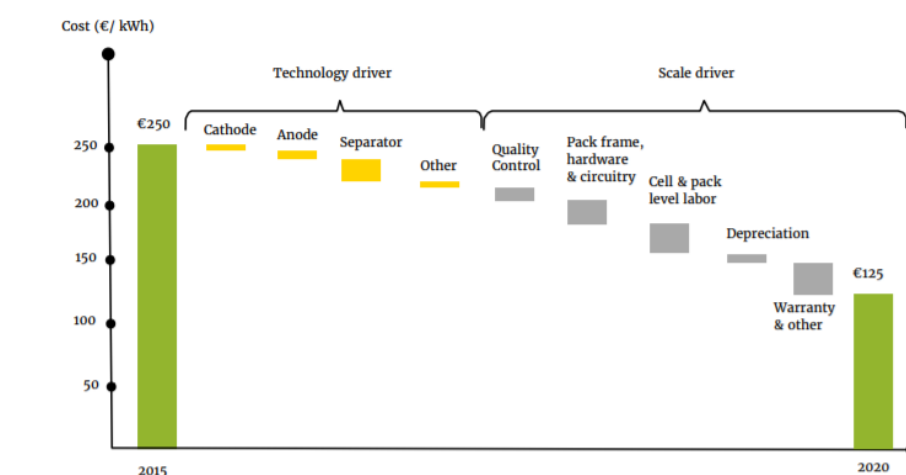


Figura 54: Caída de costos de batería 2015-2020 [50].

### • Desarrollo de tecnologías

La industria es consciente de que el rendimiento en el caso de las baterías de iones de litio se estancó alrededor de 250-350 Wh/kg. Por lo tanto, se necesitarán nuevas químicas para tener una mejora disruptiva en el rendimiento y el costo de las baterías. Hemos visto una evolución similar con los módulos fotovoltaicos de silicio, que promediaron un 15% de eficiencia hace 10 años y hoy en día los líderes del mercado están en el 23%. Diferentes químicas ofrecen el potencial teórico para interrumpir en 10 años el en términos de densidad de energía en más del 100%. La tecnología más prometedora

para en los próximos 10 años y convertirse en líder del mercado es el litio-azufre (LiS) [50].

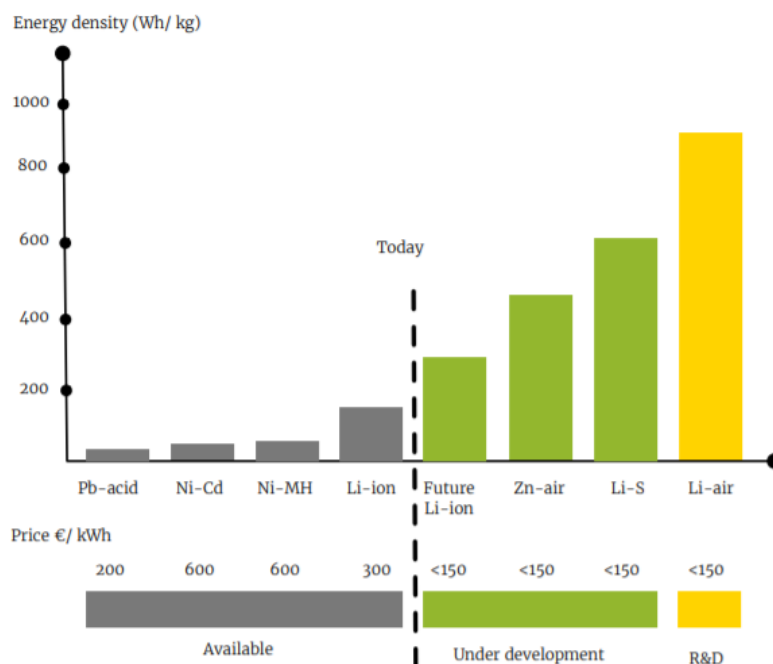


Figura 55: Desarrollo de las diferentes tecnologías en baterías, año 2016 [50].

Se puede apreciar que actualmente las mejores baterías Li-S ofrecen energías específicas del orden de 500 Wh/kg, significativamente mejor que la mayoría de las baterías de iones de litio, que están en el rango de 150 a 200 Wh/ kg. Otras características de rendimiento de primera clase son sus costos reducidos y es relativamente ligero, sobre la densidad del agua.

### 7.7 Retos y obstáculos de los sistemas de almacenamiento de energía con baterías (SAEB).

Los sistemas de almacenamiento de energía con baterías comienzan a tomar un papel importante dentro de los sistemas de energía eléctrica y en el futuro serán cada vez más utilizados para reducir problemas de conexión a red de sistemas de generación de energía renovable que son variables.

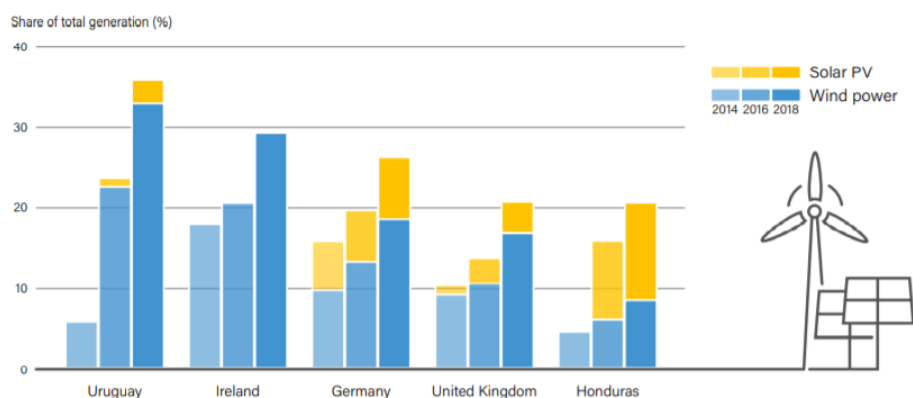


Figura 56: Producción de electricidad a partir de energía renovable variable, países seleccionados (años 2014,2016,2018) [51].

La figura muestra la tendencia en tres años diferentes en el aumento de las energías renovables con variabilidad, esto indica una búsqueda de soluciones que permitan integrar estos sistemas a la red sin problemas. Al ser el uso de los sistemas de almacenamiento con baterías una tecnología relativamente nueva esto plantea algunos problemas u obstáculos, entre ellos se pueden mencionar:

- Falta de conocimiento y experiencia.
- El alto costo de implementar sistemas de almacenamiento de energía.
- Rendimiento y la seguridad de los equipos.
- Limitaciones legales y falta de definición en marcos regulatorios.



## VIII. NORMAS Y ESTÁNDARES NACIONALES E INTERNACIONALES

### 8.1 Regulación de sistemas con baterías.

#### 8.1.1 Regulación nacional.

*8.1.1.1 Norma técnica de diseño de instalaciones fotovoltaicas de hasta 100 kW SIGET 2019.*

En El Salvador la entidad encargada de regular temas correspondientes al sector eléctrico es la SIGET (Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones), sin embargo, no existe ninguna normativa que aborde el manejo de baterías como tema principal; las baterías son abordadas como subtemas en normativas de energía fotovoltaica.

Al momento de realizar esta investigación solo se encontró una norma que trata (como un subtema o capítulo) el tema de baterías, dicha norma es titulada *“Norma técnica de diseño, seguridad y operación de instalaciones de generación de energía fotovoltaica de hasta 100 kW”*.

Además, se toma como norma las prácticas del Código Eléctrico Nacional (NEC) o NFPA 70, que establece las bases para la seguridad eléctrica en edificios residenciales, comerciales, industriales y otras ocupaciones. Para instalaciones con baterías existe el artículo 480.

#### 8.1.2 Regulación internacional.

A nivel internacional los principales entes reguladores de baterías son la IEEE en Estados Unidos y el CENELEC en Europa (basándose principalmente en documentos del IEC).

**IEEE:** El Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (conocido por sus siglas IEEE, en inglés Institute of Electrical and Electronics Engineers) es una asociación mundial de ingenieros dedicada a la normalización y el desarrollo en áreas técnicas [56].

Poseen tres niveles de aplicabilidad y validez.

1. Guide (Guía), da ejemplo de diseño típico y práctica operativa.
2. Recommended Practice (Práctica recomendada), reconoce la existencia de varias soluciones, pero aconseja una como mejor que las otras posibles. En caso de que se indiquen límites, estos deben ser usados como objetivos de diseño.
3. Standard (Norma), que son códigos consensuados y aceptados por la industria, el gobierno y los usuarios. En algunos estados de Norteamérica tienen fuerza de ley. Los tres niveles citados, son ascendentes, pasando de guía a práctica recomendada y posteriormente a norma.

**NFPA:** La Asociación Nacional de Protección contra Incendios (NFPA, por sus naturalidades) es una organización mundial autofinanciada sin fines de lucro, establecida en 1896, dedicada a eliminar la muerte, lesiones, bienes y pérdidas económicas debidas a incendios, electricidad y peligros relacionados.

La NFPA proporciona información y conocimiento a través de más de 300 códigos y estándares de consenso, investigación, capacitación, educación, divulgación y promoción [59].

**CENELEC:** Es el Comité Europeo de Normalización Electrotécnica. CENELEC es responsable de la estandarización europea en las áreas de ingeniería eléctrica. Los trabajos del CENELEC están basados fundamentalmente en publicaciones IEC (Comisión Electrotécnica Internacional), aunque también se elaboran normas por los propios canales técnicos del CENELEC.

Cuando se logra un acuerdo total entre los países europeos sobre las normas elaboradas por el CENELEC, se denominan "Norma Europea" (EN) [57].

**IEC:** La Comisión Electrotécnica Internacional (CEI), más conocida por sus siglas en inglés: IEC (International Electrotechnical Commission), es una organización de normalización en los campos: eléctrico, electrónico y tecnologías relacionadas [58].

Algunos ejemplos de normas IEC aplicadas a la regulación de baterías son los siguientes:

- IEC 62133-Acumuladores alcalinos y otros acumuladores con electrolito no ácido. Requisitos de seguridad para acumuladores portátiles y para baterías construidas a partir de ellos, para uso en aplicaciones portátiles. Parte 2: Sistemas de litio.
- IEC 60095- Baterías de plomo-ácido Parte 1: requisitos generales y métodos de prueba.

Además, IEC cuenta con el comité **TC 120 Electrical Energy Storage (EES) Systems**, el cual desarrolla la estandarización en el campo de los sistemas EES integrados en red [58]:

- TC 120 se centra en los aspectos del sistema en los sistemas EES en lugar de los dispositivos de almacenamiento de energía.
- TC 120 investiga los aspectos del sistema y la necesidad de nuevas normas para los sistemas EES.
- TC 120 también se centra en la interacción entre los sistemas EES y los sistemas de energía eléctrica (EPS).

2. A los efectos de TC120, la "red" incluye y no se limita a las solicitudes en:

- a) Redes de transmisión.
- b) Redes de distribución.
- c) Redes comerciales.
- d) Redes industriales.
- e) Redes residenciales.
- f) Redes isleñas.
- g) Redes MUSH (Municipal/Militar, Servicios Públicos/Universidades, Escuelas, Hospitales).
- h) Redes ICI (Institucionales, Comerciales e Industriales).

El TC120 también incluye "redes inteligentes\*". El almacenamiento en los sistemas ferroviarios se considera si contribuye como sistema EES a la red como se hace referencia en el apartado 2 a-f.

\*De acuerdo con el estándar (ISO/IEC 15067-3) red inteligente: sistema de energía eléctrica que utiliza tecnologías de intercambio y control de información, computación distribuida y sensores y actuadores asociados, para fines tales como:

- integrar el comportamiento y las acciones de los usuarios de la red y otras partes interesadas.
- suministrar de manera eficiente suministros de electricidad sostenibles, económicos y seguros (IEV 617-04-13).

3. Los sistemas EES incluyen cualquier tipo de sistema EES conectado a la red que puede almacenar energía eléctrica de una red o de cualquier otra fuente y proporcionar energía eléctrica a una red. Por esa característica mantiene el equilibrio entre la demanda de energía eléctrica y la oferta durante un período de tiempo.

TC 120 considera todas las tecnologías de almacenamiento siempre y cuando sean capaces de almacenar y descargar energía eléctrica. (El almacenamiento de energía en sí no está en el ámbito de la obra) [58].

Nota: Los sistemas de almacenamiento térmico se incluyen en el ámbito, sólo desde el punto de vista del intercambio de electricidad. Los sistemas unidireccionales de almacenamiento de energía, como el UPS, no están incluidos en el ámbito de la TC 120.

4. El ámbito de aplicación de la TC 120 consiste en preparar documentos normativos que se ocupe de los aspectos del sistema de los sistemas EES [59].

## **ICC**

El ICC se fundó en Estados Unidos en el año 1994 como una asociación con derecho a membresía dedicada al desarrollo de códigos y estándares orientados al diseño, construcción y cumplimiento de procesos para construir estructuras seguras, sostenibles, asequibles y resilientes. Los códigos del ICC se utilizan para diseñar edificaciones residenciales y comerciales y asegurar que permanezcan seguras durante toda su vida útil [60].

## **UL**

Underwriters Laboratories (laboratorio de aseguradores) es una organización sin fines de lucro dedicada a avanzar en la misión UL a través del descubrimiento y la aplicación del conocimiento científico.

Lleva a cabo rigurosas investigaciones independientes y analiza datos de seguridad, convoca a expertos de todo el mundo para abordar riesgos, comparte conocimientos a través de iniciativas de educación en seguridad y divulgación pública, y desarrolla estándares para guiar la comercialización segura y sostenible de las tecnologías en evolución [61].

### **UL y los sistemas SAEB**

El estándar UL 9540A, método de prueba para evaluar la propagación térmica de incendios en sistemas de almacenamiento de energía de batería, para ayudar a los fabricantes a tener un medio para demostrar el cumplimiento de las nuevas regulaciones. Aprovechando la larga práctica de desarrollar estándares con amplia experiencia en industrias similares, trabaja con los reguladores para comprender las preocupaciones y ofrecer un método de prueba viable para acelerar la adopción de tecnología innovadora.

UL 9540A fue desarrollado para abordar los problemas de seguridad identificados por los códigos de construcción y el servicio de bomberos en los Estados Unidos [62].

Los resultados del método de prueba UL 9540A abordan los siguientes problemas clave identificados por los códigos de construcción y el servicio de bomberos:

- Instrucciones de instalación de BESS.
- Requisitos de ventilación de instalación.
- Eficacia de la protección contra incendios (integral o externa)

Estrategia y tácticas del servicio de bomberos.

## **Departamento de Energía de U.S, Oficina de Información Científica y Técnica.**

El programa de sistemas de almacenamiento de energía, está en desarrollo e investigación constante de programas para estos sistemas y trabaja manejando tres laboratorios que son:

- **Sandia National Lab.**
- **Pacific Northwest National Laboratory.**
- **Oak Ridge National Laboratory.**

Este programa está desarrollando un libro llamado **DOE Almacenamiento de Energía** que está dividido en tres partes con 25 capítulos y busca proporcionar discusiones técnicas de alto nivel sobre tecnologías actuales, estándares de la industria, procesos, mejores prácticas, orientación, desafíos, lecciones aprendidas y proyecciones sobre el almacenamiento de energía como una tecnología emergente y facilitadora [62].

Los capítulos se van mostrando a medida que son publicados en la página oficial del departamento de energía.

El DOE (Departamento de Energía) cuenta con el **programa colaborativo para seguridad de almacenamiento de energía**, el cual es actualizado todos los años.

Este grupo de trabajo de seguridad de (ES colaboración en seguridad). tiene tres enfoques principales: investigación y desarrollo (I+D), códigos y estándares, y educación y divulgación.

Para mantener el ritmo en el abordaje de las brechas de investigación, la colaboración en seguridad se enfoca en:

- Informa actualizaciones y mejoras a códigos y estándares.
- Facilita el uso de las disposiciones de los códigos y normas adoptados.

- Ayuda a educar al público y a las partes interesadas relevantes en la aplicación de los ESS y en la mejor manera de responder a cualquier incidente de ESS relacionado con la seguridad.

Incluso con todas estas actividades, siempre habrá la probabilidad de un incidente relacionado con la seguridad. Sin embargo, a través de esta iniciativa, los riesgos asociados con estos incidentes pueden ser identificados, evaluados con probabilidad, evaluados para el impacto, y las acciones atenuantes se pueden tomar de una manera medida y considerada.

El departamento de energía de Estados Unidos presentó en 2020 el reporte técnico:

### **Códigos y estándares para la seguridad en sistemas de almacenamiento (actualización invierno 2019/2020).**

Este documento fue desarrollado por Sandia National Lab [63].

Este documento es una hoja de ruta de seguridad de sistemas de almacenamiento de energía, con esto DOE busca fomentar la confianza en la seguridad y fiabilidad de sistemas de almacenamiento de energía.

El propósito de esta Actualización de Códigos y Normas es apoyar las actividades anteriores proporcionando información sobre los esfuerzos

que están llevando a cabo los estándares estadounidenses que desarrollan organizaciones (ODS) y otras entidades que se centran en la seguridad de ESS.

La información se organiza en relación con el alcance de cada documento en relación con el ESS desde la más grande a lo más pequeños.

desde la investigación que cubre un alcance considerable, hasta la instalación específica, hasta los componentes ESS y, a continuación, ESS. También debemos tener en cuenta que es probable que los documentos macro adopten por referencia más micro documentos.

Lista de códigos y estándares divididos en 4 partes citados por **ES colaboración en seguridad**:

Tabla 6: Códigos y estándares de seguridad publicados por Sandia National Lab [63].

| 1.        | Organización que desarrolló el documento                  | Códigos y estándares generales.   |
|-----------|---|---|
|           | <i>Det Norske Veritas Germanischer Lloyd</i> (DNV GL)     | DNVGL-RP-0043, Seguridad, operación y rendimiento del almacenamiento de energía conectado a la red, sistemas (GRIDSTOR).                      |
|           | Consejo internacional de códigos (ICC)                    | Código internacional contra incendios (IFC) ediciones 2018 y 2021.  |
|           | Consejo internacional de códigos (ICC)                    | 2021 código residencial internacional (IRC).  |
|           | Consejo internacional de códigos (ICC)                    | Código Internacional de Construcción (IBC) y Código Residencial Internacional (IRC) Capítulos de fontanería y mecánica ediciones 2018 y 2021. |
|           | Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE)  | C2-17, Código Nacional de Seguridad Eléctrica (NESC).   |
|           | Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE)  | Comité de Almacenamiento de Energía Energy y Baterías Estacionarias (ESSB).   |
|           | Asociación nacional de protección contra incendios (NFPA) | NFPA 1-21, Código contra incendios.   |
|           | Asociación nacional de protección contra incendios (NFPA) | NFPA 70-20, Código Nacional Eléctrico (NEC).  |
|           | Asociación nacional de protección contra incendios (NFPA) | NFPA 5000-18, Código de construcción.   |
| <b>2.</b> | <b>Organización que desarrolló el documento</b>           | <b>Codigos y estandares para la instalación de sistemas de almacenamiento de energía.</b>   |
|           | FM- global  | Fm Global Prevención de perdidas DataSheet # 5-33, Sistemas de almacenamiento de energía eléctrica.   |



|           |   |   |
|-----------|---|---|
|           | Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE)  | IEEE 1635-18/ASHRAE Línea guía 21-18, Guía para la Ventilación y Administración Térmica de Baterías para Sistemas Estacionario.   |
|           | Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE)  | IEEE 1578-18, Práctica Recomendada para Derrames Electrolitos, Contención y Administración.   |
|           | Asociación Nacional de Contratistas Eléctricos (NECA)     | NECA 416-16, Práctica Recomendada para la Instalación de Sistemas de Almacenamiento de Energía.   |
|           | Asociación Nacional de Contratistas Eléctricos (NECA)     | NECA 417, Práctica Recomendada para Diseño, Mantenimiento y operación de Micro-Redes.   |
|           | Asociación nacional de protección contra incendios (NFPA) | NFPA 855-20, Estándar para la Instalación de Sistemas de Almacenamiento de Energía Estacionarios.   |
|           | Asociación nacional de protección contra incendios (NFPA) | NFPA 1078-2020, Estándar para Cualificaciones profesionales del Inspector Eléctrico.  |
|           | Asociación nacional de protección contra incendios (NFPA) | NFPA 78-2021, Guía sobre inspecciones eléctricas (edición propuesta).   |
| <b>3.</b> | <b>Organización que desarrolló el documento</b>           | <b>Códigos y estándares para un sistema de almacenamiento de energía completo.</b>  |
|           | Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME)         | TES-1-2020, Estándar de seguridad para sistemas de almacenamiento de energía térmica.   |
|           | Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME)         | TES-2 (nuevo estándar) Estándar de seguridad para sistemas de almacenamiento de energía térmica, requisitos para el cambio de fase, sistemas de almacenamiento de energía sólida y otros sistemas de almacenamiento de energía térmica. |
|           | Asociación Nacional de Fabricantes de Electricidad (NEMA) | Norma ESS-1-2019 para medir y expresar uniformemente el rendimiento de la Sistemas de almacenamiento de energía.  |
|           | Asociación Nacional de Protección contra Incendios (NFPA) | NFPA 791-2018, Práctica y procedimientos recomendados para equipos eléctricos sin etiquetar.  |

|           |  |  |
|-----------|--|--|
|           | Laboratorios de Aseguradores (UL)                        | ANSI/CAN/UL 9540, Sistemas y equipos de almacenamiento de energía.   |
|           | Laboratorios de Aseguradores (UL)                        | UL 9540A, Método de prueba para evaluar la propagación térmica de incendios en Sistemas de almacenamiento de energía con baterías. (SAEB).       |
| <b>4.</b> | <b>Organización que desarrolló el documento</b>          | <b>Codigos y estandares para los componentes de un sistema de almacenamiento de energía</b>  |
|           | Asociación de Estándares Canadienses (CSA Group).        | CSA C22.2 No. 107.1-2016, Equipo de conversión de potencia.  |
|           | Asociación de Estándares Canadienses (CSA Group).        | CSA C22.2 No. 340-20XX (nuevo estándar), Sistemas de gestión de baterías   |
|           | Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) | IEEE 1679.1-17, Guía para la caracterización y evaluación de baterías a base de litio en Aplicaciones estacionarias.                             |
|           | Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) | IEEE P1679.2-18, Guía para la caracterización y evaluación de baterías sódica-beta en Aplicaciones estacionarias.                                |
|           | Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) | IEEE P1679.3 (nueva norma en desarrollo), Guía para la Caracterización y Evaluación de las baterías de flujo en aplicaciones estacionarias.      |
|           | Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) | IEEE P2686 (nueva norma en desarrollo) Práctica recomendada para la batería sistemas de gestión en aplicaciones de almacenamiento de energía.    |
|           | Laboratorios de Aseguradores (UL)                        | ANSI/UL 810A-2017, Condensadores electroquímicos.  |
|           | Laboratorios de Aseguradores (UL)                        | UL 1642, Baterías de litio.  |
|           | Laboratorios de Aseguradores (UL)                        | UL 1741, inversores, convertidores, controladores y equipos del sistema de interconexión para su uso con recursos energéticos distribuidos.      |
|           | Laboratorios de Aseguradores (UL)                        | ANSI/CAN/UL 1973, Estándar para baterías para uso en energía auxiliar estacionaria y de vehículos y aplicaciones de riel eléctrico ligero (LER). |

|  |                                   |  |
|--|-----------------------------------|--|
|  | Laboratorios de Aseguradores (UL) | ANSI/CAN/UL 1974-18, Evaluación de baterías de repropósito.  |
|  | Laboratorios de Aseguradores (UL) | UL 2580, baterías para su uso en vehículos eléctricos.   |
|  | Laboratorios de Aseguradores (UL) | Propuesta 62133-1 de UL CSDS, Celdas secundarias y baterías que contengan alcalino u otros,electrolitos no ácidos - Requisitos de seguridad para las células secundarias selladas portátiles, y para baterías hechas de ellas, para su uso en aplicaciones portátiles - Parte 1: Sistemas de níquel. |
|  | Laboratorios de Aseguradores (UL) | Propuesta ul CSDS 62133-2, células secundarias y baterías que contienen alcalino u otros electrolitos no ácidos - Requisitos de seguridad para las células secundarias selladas portátiles, y para baterías hechas de ellas, para su uso en aplicaciones portátiles - Parte 2: Sistemas de litio.    |

### **Ministerio de minas y energía de Colombia, Resolución número 098 de 2019.**

Aprobada el 30 de agosto de 2019 por la “Comisión de Regulación de Energía y Gas”, la resolución 98 tiene por objetivo definir los mecanismos para incorporar sistemas de almacenamiento de energía con el propósito de mitigar inconvenientes presentados por la falta o insuficiencia de redes de transporte de energía en el sistema interconectado de Colombia. A su vez la resolución 98 forma parte del “Plan de Expansión de Referencia Generación-Transmisión 2015-2029” [64].

Se encuentra estructurada en ocho capítulos:

- Generalidades.
- Ejecución del proyecto.
- Procesos de selección.
- Remuneración.
- Energía utilizada.
- Garantías.
- Interventoría.

- Otras disposiciones.

Este proyecto de ley hace énfasis principalmente en consideraciones económicas y legales.

*Tabla 7: Algunas consideraciones legales y económicas en Colombia para el uso de SAEB [64].*

| Consideraciones legales     | Consideraciones económicas |
|-----------------------------|----------------------------|
| Contratos de conexión       | Ingresos anuales           |
| Procesos de selección       | Tasas de descuento         |
| Documentos de selección     | Perfil de pagos            |
| Adjudicación y obligaciones | Períodos de pago           |

La parte técnica de la instalación de un SAEB se encuentra abordada por los artículos de energía utilizada e interventoría; algunas de las consideraciones del documento son las siguientes:

- Eficiencia exigida, esta debe ser definida acorde a lo propuesto por UPME (Unidad de Planeación Minero energética).
- Procesos de carga y descarga, cuya automatización es requerida y la publicación de una bitácora durante los dos primeros meses de operación es obligatoria.
- El agente generador se verá obligado a cumplir los requisitos de calidad de energía establecidos en la regulación nacional.

## **IEEE 1547 – Estándar para la interconexión e interoperabilidad de sistemas de generación distribuida con interfaces de sistemas de energía eléctrica asociados.**

El estándar 1547 es uno de los documentos fundamentales para la interconexión de sistemas de generación distribuida (llamados recursos distribuidos de energía, DER en el documento) con los sistemas de energía eléctrica convencionales en la red [65].

### **Uso del Estándar IEEE 1547 en Estados Unidos.**

La compañía distribuidora *Southern California Edison* diseñó en el 2017 la regla 21 titulada “Interconexión de instalaciones generadoras” basándose en los principios establecidos del estándar 1547 en conjunto con el estándar 2030.

El estándar fue citado en el acta federal de política energética del 2005 bajo la sección 1254 *Interconexión de servicios* declarando “La interconexión de servicios debe ser ofrecida en base a los estándares desarrollados por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos IEEE; específicamente el Estándar IEEE 1547 para la interconexión de recursos distribuidos con sistemas de energía eléctrica, ya que pueden ser modificados de vez en cuando.” A su vez la Comisión Federal para la Regulación de Energía ha implementado el estándar en combinación con UL 1741 y el NEC.

*Tabla 8: Estándares para la interconexión de sistemas de generación distribuida en Estados Unidos [65].*

| <b>IEEE 1547</b>                                  | <b>IEEE 1547.1</b>                          | <b>UL 1741</b>                  | <b>NEC</b>                             |
|---|---|---------------------------------|--|
| <b>Interconexión de sistemas y requerimientos</b> | <b>Pruebas de interconexión de sistemas</b> | <b>Interconexión de equipos</b> |  |
| Regulación de voltaje                             | Tensión entrada / salida                    | Pruebas 1547.1                  | Artículo 690 sistemas FV               |
| Aterrizaje  | Frecuencia                                  | Construcción                    | Artículo 705 Interconexión de sistemas |
| Desconexiones                                     | Sincronización                              | Protección de personal          | Artículo 480 Baterías                  |
| Monitoreo   | Transitorios                                | Etiquetado                      | Artículo 692 Celdas de combustible     |
| Aislamiento                                       | Armónicos                                   | Métodos de prueba de equipos    | Artículo 694 Sistemas eólicos          |

## Contenido

El estándar aborda ocho temas:

- Especificaciones técnicas para interconexión general.
- Requisitos de control de tensión y potencia reactiva.
- Respuesta ante condiciones anormales.
- Calidad de energía.
- Aislamiento.
- Generación distribuida en redes de distribución secundaria.
- Protocolos, modelos de información, intercambio de información e interoperabilidad.
- Requisitos de prueba y verificación.

Algunos de los requisitos de conexión para sistemas de generación son los siguientes:

*Tabla 9: Tensione aplicable cuando el punto de acople común, se encuentra a media tensión [65].*

| Sistema de potencia en el PCC     | Tensión Aplicable           |
|-----------------------------------|-----------------------------|
| Trifásico, 4 hilos                | Fase a fase y fase a neutro |
| Trifásico, 3 hilos, no aterrizado | Fase a fase y fase a tierra |
| Trifásico, 3 hilos, aterrizado    | Fase a fase                 |
| Monofásico, 2 hilos               | Fase a neutro               |

*Tabla 10: Tensiones aplicables cuando el punto de acople común, se encuentra a baja tensión [65].*

| Configuración del embobinado de baja tensión en el sistema de potencia | Tensión aplicable   |
|--|---|
| Estrella aterrizada o zigzag   | Fase a fase y fase a neutro o fase a fase y fase a tierra |
| Estrella no aterrizada o zigzag  | Fase a fase o fase a neutro                               |
| Delta  | Fase a fase   |
| Monofásico 120/240   | Line a neutro (120 V DER)<br>Línea a Línea (240 V DER)    |

Tabla 11: Criterios de entrada de servicio para sistemas de generación distribuida [65].

| Criterio para entrar en servicio |              | Por defecto      | Rango permisible           |
|----------------------------------|--------------|------------------|----------------------------|
| Permiso de servicio              |              | Habilitado       | Habilitado / Deshabilitado |
| Tensión aplicable                | Valor máximo | $\geq 0.917$ p.u | 0.88 p.u a 0.95 p.u        |
|                                  | Valor mínimo | $\leq 1.05$ p.u  | 1.05 p.u a 1.06 p.u        |
| Frecuencia aplicable             | Valor máximo | $\geq 59.5$ Hz   | 59.0 Hz a 59.9 Hz          |
|                                  | Valor mínimo | $\leq 60.1$ Hz   | 60.1 Hz a 61.0 Hz          |

## 8.2 Códigos, guías y estándares de estudio.

### 8.2.1 NFPA 885-2020 Estándar para la instalación de sistemas de almacenamiento de energía estacionarios.

#### 8.2.1.1 Acerca de NFPA 885:

El proyecto sobre sistemas de almacenamiento de energía que condujo a esta primera edición de NFPA 885, estándar para la instalación de sistemas de almacenamiento de energía estacionario, fue aprobado por el Consejo de estándares de la NFPA en abril de 2016, tras lo cual se registró una convocatoria para miembros. La solicitud original fue presentada por un individuo en nombre de la alianza de almacenamiento de energía de California con el fin de abordar las lagunas en la regulación identificadas en los talleres realizados por el Departamento de Energía de los Estados Unidos y la fundación de investigación de protección contra incendios. En agosto de ese mismo año. El consejo de códigos de estándares nombró el primer comité técnico de la NFPA sobre sistemas de almacenamiento de energía. El proyecto inicial se elaboró en 2017, en los últimos 2 años, el comité técnico se ha reunido varias veces para revisar los comentarios del público y realizar mejoras en la norma [59].

#### 8.2.1.2 Contenido:

El estándar cuenta con quince capítulos, de los cuales dos capítulos en la primera edición, solo se dan por reservados y son el de almacenamiento de energía por imanes superconductores y volantes de inercia [2].

Los demás capítulos consisten en:

- Administración.
- Referencias.
- Definiciones.
- Generalidades.
- Interconexión de sistemas.
- Puesta en marcha del sistema.
- Operación y mantenimiento.
- Plan de desmantelamiento.
- Sistemas de almacenamiento de energía electroquímica.
- Sistemas de almacenamiento de energía con condensadores.
- Sistemas de almacenamiento de energía de pilas de combustible.
- Almacenamiento de baterías usadas o fuera de especificación.
- Viviendas unifamiliares y unidades adosadas.

Además, cuenta con 7 anexos que contienen:

- Material explicativo.
- Peligros de sistemas de almacenamiento de energía de baterías.
- Consideraciones de lucha contra incendios (operaciones).
- Descripción general de las tecnologías de los sistemas de almacenamiento de energía.
- Permisos, Inspecciones, Aprobaciones y Conexiones.
- Códigos de incendio y construcción y una breve historia sobre los sistemas de baterías de almacenamiento estacionarios.
- Referencias

El estándar tiene una estructura simple en el cual el capítulo de generalidades (capítulo 4) es de gran importancia ya que delimita criterios de diseño, construcción e instalación, especificaciones de equipo, etc., para los sistemas



de almacenamiento de energía, normas y códigos que deben utilizarse para los sistemas en general en los capítulos con las diferentes tecnologías (capítulos del 9 al 13).

El capítulo 9 sobre sistemas de almacenamiento de energía electroquímica, debe cumplir con las especificaciones presentadas desde el capítulo 4 hasta el 9, con las generalidades de diseño, construcción e instalación de un sistema de almacenamiento de energía, cumpliendo con interconexión de sistemas estos además tienen que ir en congruencia con el NFPA 70 o la IEEE C2, puesta en marcha del sistema, operación y mantenimiento y plan de desmantelamiento.

Los sistemas de almacenamiento de energía con baterías que abarca el estándar son:

- Baterías de plomo-ácido.
- Baterías de níquel, las cuales incluyen las baterías de níquel-cadmio (Ni-Cad), hidruro metálico de níquel (Ni-MH) y las de níquel-zinc (Ni-Zn).
- Baterías de iones de litio.
- Baterías de flujo.
- Baterías de cloruro de níquel.

Si bien el estándar se centra en estas tecnologías se deja la pauta a otras tecnologías de baterías, en las partes de anexos.

Los anexos no son parte de los requerimientos por parte del estándar, son incluidos dentro del documento solamente a manera de propósitos informativos.

## **8.2.2 IEEE Std 2030.2.1 <sup>TM</sup> -2019 Guía para diseño, operación y mantenimiento de sistemas de almacenamiento de energía con baterías, tanto estacionarios como móviles y aplicaciones integradas con sistemas de energía eléctrica.**

### *8.2.2.1 Acerca del estándar 2030.2.1*

Es parte de los estándares de la serie IEEE 2030. La serie de estándares IEEE 2030 se ha realizado para proporcionar directrices para comprender y definir la interoperabilidad de Smart Grid de la energía eléctrica con aplicaciones y cargas de uso final. Para lograrlo, la integración de las tecnologías de almacenamiento de energía es medida eficaz y de apoyo para la generación, transmisión, distribución y beneficios de uso final para permitir el flujo de energía bidireccional en el funcionamiento de los sistemas de energía eléctrica [66].

IEEE Std 2030.2 tiene la intención de abordar la interoperabilidad de los sistemas de almacenamiento de energía con infraestructura de energía eléctrica principalmente desde la perspectiva de la interoperabilidad del sistema de energía (PS-IAP), la interoperabilidad de la tecnología de la comunicación (CT-IAP) e interoperabilidad de las tecnologías de la información (IT-IAP).

IEEE Std 2030.2.1 fue desarrollado específicamente para abordar el diseño, operación y mantenimiento de la batería y energía relativa a su aplicación en un sistema eléctrico de potencia.

### *8.2.2.2 Contenido*

Se centra en las baterías con tecnología de: plomo-ácido, flujo, sodio-azufre, iones de litio, pero el estándar no se limita a estos tipos de baterías puede ser utilizado como referencia en conjunto con otras [3].

Con esto se estructura el estándar en:

**Definiciones:** donde también se incluyen acrónimos y abreviaciones que se van citando a lo largo del documento.

**Generalidades:** que consisten en consideraciones generales para un sistema de almacenamiento de energía con baterías, donde se incluye la conexión dependiendo de los diferentes dominios o posiciones que pueda ocupar en un sistema de potencia, los tipos de configuraciones del sistema y funciones que debe tener el sistema.

**Diseño:** se tienen consideraciones básicas de diseño del sistema, configuraciones, evaluación, que pueden por medio de diferentes estudios definidos por normas y códigos de referencia, los equipos de protección que son necesarios en estas aplicaciones, el tipo de instalación, requerimientos técnicos donde está incluida la etapa de conversión, requerimientos de adaptabilidad de la topología, voltaje.

Se incluyen algunas reglas y requerimientos para frecuencia, armónicos, componentes de DC, monitoreo, sincronización, etc. Así también criterios y requerimientos para el sistema de control de conversión (PCS), el sistema de gestión de las baterías (BMS) y para el sistema de monitoreo, intercambio de información y control (MIC).

**Operación:** proporciona información acerca de la operación de un sistema de almacenamiento de energía con baterías (SAEB) bajo diferentes funciones como lo son: regulación de frecuencia, respaldo de energía y arranque en frío, regulación de voltaje, optimización de la capacidad eléctrica, etc.

También incluye la gestión de diferentes tipos de baterías, como debe manejarse el sistema bajo condiciones anormales.

**Mantenimiento:** dentro de este apartado se incluye reglas generales de mantenimiento rutinario, la recolección y análisis de los datos monitoreados, inspecciones, del sistema de conversión y según el tipo de baterías utilizadas.

**Anexos:** se comparte la bibliografía y un anexo el cual consiste en una lista de proyectos basados en sistemas SAEB a lo largo del mundo.

### 8.2.3 International Fire Code-2018.

El código internacional contra incendios (IFC por sus siglas en inglés) forma parte de los 15 códigos publicados por el Consejo Internacional de Códigos (*International Code Council*, ICC por sus siglas en inglés) [67].

#### 8.2.3.1 Acerca del IFC-2018

El IFC 2018 fue publicado el 31 de agosto de 2017, como una revisión de los temas cubiertos entre el período comprendido entre 2003 y 2015, la próxima edición del IFC está programada para el 2021.

Para el diseño del código se formó un comité elegido por miembros de 4 instituciones:

- Instituto Americano de Arquitectos (*American Institute of Architects, AIA*)
- Asociación internacional de jefes de Bomberos (*International Association of Fire Chiefs, IAFC*)
- Asociación Nacional de Constructores de Viviendas (*National Association of Home Builders, NAHB*)
- Asociación Nacional de Mariscales de Bombero Estatales (*National Association of State Fire Marshals, NASFM*).

#### 8.2.3.2 Contenido

El IFC está organizado en 7 partes y estas a su vez se dividen en 80 capítulos [5]; las partes que conforman el código son las siguientes:

- PARTE I - Administrativo.

En esta parte se encuentran los capítulos 1 y 2 que abordan aspectos generales sobre la organización del departamento de prevención ante incendios en Estados Unidos y el marco jurídico, además se presentan las definiciones que se utilizan en el resto de capítulos.

- PARTE II - Disposiciones generales de seguridad.

Se cubren los capítulos 3 y 4 en los que mencionan los dispositivos y medidas básicas de seguridad como extintores y simulacros, y los diversos tipos de incendios, desde los provocados por hogueras hasta los que provienen de fallos en líneas de alto voltaje.

- PARTE III - Características de diseño de equipo y edificios.

Abarca desde el capítulo 5 al 19, se muestran los elementos presentes en instalaciones que pueden causar incendios (cableado, maquinaria) y los dispositivos de seguridad como detectores de humo. El capítulo 12 aborda instalaciones que lidian con la producción de energía, principalmente la fotovoltaica.

El capítulo 12 se divide en seis secciones (de la 1201 a 1206) y en él se plantean recomendaciones para sistemas de almacenamiento de energía con baterías, como son las distancias entre equipos, la instalación de dispositivos de seguridad, los límites de capacidad de baterías sistemas de protección térmico, anti impacto y condiciones de falla.

Otros incidentes como el derrame de electrolitos son referidos al capítulo 60 que trata sobre materiales tóxicos.

- PARTE IV - Ocupaciones y operaciones especiales.

Contiene los capítulos 20 al 49, aborda instalaciones que requieren medidas de seguridad especiales debido a los procesos que en ellas se dan (instalaciones de aviación, marinas) o porque trabajan con materiales sumamente inflamables (aserraderos, plantaciones, productores de pesticidas).

- PARTE V - Materiales peligrosos.

Aborda los capítulos 50 al 79, en esta parte se estudian todos los materiales que presentan un riesgo ante incendios, algunos de ellos son fuegos artificiales, combustibles, fluidos corrosivos, criogénicos, petróleo y compuestos tóxicos.

- PARTE VI - Estándares referenciados.

En ella se encuentra el capítulo 80 que presenta todos los estándares estudiados y citados para la elaboración del código.

- PARTE VII - Anexos.

Se divide en 14 literales que muestran información técnica resumida sobre los contenidos abordados previamente.

#### **8.2.4 DNVGL-RP-0043 Seguridad, operación y desempeño de sistemas de almacenamiento de energía conectados a la red, diciembre 2015.**

DNVGL es un organismo de certificación acreditado fundado en 1864 en la ciudad de Oslo, Noruega. originalmente con el nombre de *Det Norske Veritas (DNV)*, en 2013 adquirió su nombre y estatus actual al fusionarse con la compañía alemana *Germanischer Lloyd (GL)* [68].

DNVGL se divide en cinco áreas de operación: Industria marítima, gas y combustibles, energía, garantías comerciales y soluciones digitales. RP-0043 es una práctica recomendada diseñada por el departamento de energía [69].

##### *8.2.4.1 Alcance*

La RP-0043 se enfoca en aspectos de seguridad, operación y desempeño de sistemas de almacenamiento de energía conectados a la red, con un fuerte énfasis en sistemas de batería plomo ácido, ion de litio, flujo redox y capacitores de ion de litio. Otras tecnologías como volantes de inercia, almacenamiento hidroeléctrico por bombas, aire comprimido y super capacitores son abordados de manera breve [69].

##### *8.2.4.2 Contenido*

El documento cuenta con 10 secciones; las secciones 1 y 2 abordan las generalidades del documento y las definiciones manejadas y la sección 10

contiene las normas citadas, el resto de secciones consiste en recomendaciones sobre los siguientes temas:

**Aplicaciones de sistemas de almacenamiento estacionario de energía eléctrica:** Se cubren las aplicaciones básicas de los SAE, su uso como sistemas de respaldo y las implicaciones en la respuesta en frecuencia, la reserva energética y el arranque en negro. También se cubre su uso como componentes en la mejora de la calidad de energía y la confiabilidad del sistema. Como último punto se encuentra la integración de los SAE con las energías renovables.

**Fases del ciclo de vida de un sistema de almacenamiento de energía:** Engloba los pasos a seguir en el diseño de un SAE.

- Diseño y planeación.
- Licitaciones y adquisiciones.
- Manufactura.
- Transporte y almacenamiento.
- Instalación y puesta en marcha.
- Operación.
- Mantenimiento y reparaciones.
- Reutilización y fin de la vida útil.
- Documentos requeridos por etapa.

**Indicadores de desempeño:** El desempeño de un SAE se puede medir desde dos puntos de vista, uno relacionada a sus características tecnológicas y otro relacionado a la economía y costos.

- **Propiedades tecnológicas:** Potencia, tiempo de respuesta, capacidad instalada, confiabilidad.
- **Propiedades económicas:** Costo por kWh, pérdidas en convertidores, ciclo de vida, eficiencia de carga.

**Reparación, mantenimiento y operación:** Se cubren en primera instancia aspectos de la calidad de energía del sistema como son fluctuaciones, factor de potencia, corrientes simétricas y asimétricas y distorsión; posteriormente se

analizan los dispositivos de monitoreo y control: sensores, switchgear y protocolos de comunicación.

**Diseño de seguridad:** Se presentan los daños que pueden ocurrir en un SAE y sus consecuencias como son los derrames químicos, explosiones, descargas, shock térmico y aplastamiento, a su vez se clasifican los riesgos en 3 categorías.

- Según el tipo de tecnología, ya sean baterías de plomo ácido, ion de litio, flujo redox o capacitores.
- Según la etapa del ciclo de vida, cubriendo las etapas vistas anteriormente.
- Según el tipo de instalación, sea residencial o comercial.

Como último punto se abordan los requisitos de seguridad; el equipo a utilizarse, el criterio de redundancia, interacciones del personal y los riesgos presentes en áreas cerradas.

**Análisis ambiental:** El análisis se debe hacer respecto al ambiente en el que se encuentra el SAE y respecto al impacto que este ejerce en el medioambiente.

- **Ambiente en el SAE:** análisis de calor, presión, humedad, temperatura, vibraciones y protecciones ante terremotos.
- **Impacto ambiental:** análisis sobre la flora y fauna, emisiones tóxicas, campos electromagnéticos y compatibilidad electromagnética.

**Consideraciones para dimensionamiento:** El tamaño de las instalaciones debe estudiarse haciendo un análisis económico del ciclo de vida, estudiando la potencia requerida del sistema y tomando en cuenta la localización geográfica, factores como climas extremos, riesgos de inundaciones, incendios forestales o terremotos, tormentas eléctricas y elevada velocidad del viento deben considerarse.

Al mismo tiempo deben considerarse las características de las baterías como temperatura, ciclos de carga y descarga, voltaje por celda, profundidad de descarga y eficiencia.



### **8.2.5 NECA 416-2016 Práctica recomendada para instalación de sistemas de almacenamiento de energía.**

La Asociación Nacional de Contratistas Eléctricos (*National Electrical Contractors Association, NECA*) es una organización estadounidense fundada en la ciudad de Buffalo, Nueva York en 1901 enfocada al apoyo de contratistas eléctricos a través de abogacía, educación, investigación y desarrollo de estándares [70].

#### *8.2.5.1 Acerca del NECA 416*

NECA 416 es una práctica recomendada enfocada en sistemas de almacenamiento de energía con baterías, volantes de inercia, ultra capacitores, vehículos eléctricos y su integración a la red, su implementación está ligada directamente a las recomendaciones del NEC, fue publicada en mayo del 2017[71].

#### *8.2.5.2 Contenido*

La práctica recomendada está dividida en 11 capítulos, de los cuales los primeros 3 se destinan al alcance, definiciones a utilizar y las generalidades de los SAE; el resto de capítulos se enfocan en los tipos de tecnología mencionados anteriormente y los procesos de instalación, inspección y preparación del sitio.

El capítulo 8 está dedicado al estudio de sistemas con batería y en él se discuten las generalidades de una instalación, las medidas de protección en conexiones de CD, las medidas de seguridad y la contaminación por derrame de electrolito tomando como referencia los parámetros establecidos en la norma IEEE 1578, los tipos de batería cubiertos son: plomo ácido, níquel cadmio, ion de litio, flujo redox de vanadio, hierro cromo y bromuro de zinc [9].

El contenido completo se desglosa en los siguientes temas:

- Generalidades
- Sistemas de seguridad.

- Requisitos generales de instalación.
- Instalación de baterías.
- Elementos conductores.
- Control de carga.
- Limpieza y ajustes.
- Puesta en marcha.

### **8.2.6 IEEE 1375 - Guía para la protección de sistemas de baterías estacionarias.**

Es una guía para la protección de sistemas de baterías estacionarias, del año 1998, la guía no establece requisitos para instalación o diseño; más bien presenta una serie de opciones para el diseñador del sistema de DC de los diferentes tipos de protección del sistema de baterías estacionarias que puede estar disponible.

La guía solo abarca la parte interna del sistema de baterías, que corresponde a la conexión al bus DC, cable y controlador de carga, no trata temas de coordinación de protección que sugiere deben ser tratados para los cuales debe utilizarse los códigos y normas correspondientes [72].

#### *8.2.6.1 Contenido:*

**Consideraciones para sistemas en DC:** se resalta dos objetivos que deberían cumplirse al momento del diseño del sistema de baterías que consisten en tratar de minimizar los riesgos ante una falla de que el equipo pueda sufrir daño y limitar la cantidad y frecuencia con que ocurren fallas para mantener el sistema en servicio continuo.

Brinda factores a considerar para la selección de un dispositivo de protección, incluyendo conceptos como los de puesta a tierra en un sistema, el efecto de la temperatura, tipos de protección contra diferentes problemas como sobre voltajes, etc., y daños que podrían ocasionar las baterías.

**Baterías:** se hace referencia a baterías de plomo ácido y níquel cadmio, donde se examinan las baterías bajo condiciones de cortocircuito bajo diferentes características como voltaje, corriente, temperatura, efecto que se pueden producir bajo voltajes de carga.

Se estudia el comportamiento de estas características en el tiempo en el que ocurre un cortocircuito, esto para entender los requerimientos de respuesta que puede necesitar en una protección para que sea capaz de interrumpir la falla con éxito.

Como parte final del segmento baterías se extiende una etapa para daños y fallos que pueden existir en una batería, consideraciones técnicas que podrían ayudar a detectar estos problemas y una lista de daños que pueden ocurrir entre ellos, internos, externos.

**Componentes complementarios para sistemas en DC:** los componentes presentados son fusibles, controlador de carga, interruptores, circuit breaker, se hace una descripción técnica de funcionamiento de estos equipos bajo operación normal y en caso de corto circuito, rangos de trabajo y referencia a normas de calidad que los componentes del sistema deben cumplir.

**Esquemas de protección:** abarca las conexiones típicas de las baterías con el bus principal en DC que puede ser, conexiones entre baterías, fusibles entre batería y panel principal, circuit breakers entre batería y panel principal, un switch o las combinaciones de estos elementos para lograr una mejor confiabilidad del sistema.

La guía contiene dos anexos de propósito informativo el anexo B sobre componentes de tiempo en sistemas DC y anexo C la determinación de constantes del tiempo del sistema de batería.

### **8.2.7 Código nacional de seguridad eléctrica (NESC) C2, 2017.**

El código nacional de seguridad eléctrica (NESC), se introdujo en 1914.

A lo largo de décadas, el Código ha surgido como un elemento fundamental en la cultura de seguridad que ha crecido en torno al negocio de la instalación, operación y mantenimiento de electricidad subterránea y aérea líneas de suministro y comunicación, así como conductores y equipos en estaciones de suministro eléctrico.

Se busca en el NESC directrices prácticas de salvaguardar la vida de las personas. Es un estándar de consenso que ha sido preparado por el Comité del Código de Seguridad Eléctrica bajo procedimientos aprobados por el Instituto Nacional de Estándares (ANSI).

De utilidad para reguladores en los Estados Unidos y más de 100 naciones utilizan el código al menos en parte. Publicado exclusivamente por IEEE, el NESC se revisa cada 5 años para mantener el Código actualizado y viable.

Como secretaría del Código Nacional de Seguridad Eléctrica, el IEEE también proporciona una integral de recursos para ayudar a obtener y comprender el Código [73].

#### *8.2.7.1 Acerca de:*

Relevancia en los sistemas de almacenamiento de energía con baterías:

Si bien este código abarca las disposiciones básicas para la salvaguardia de las personas de los peligros derivados de la instalación, operación o mantenimiento de conductores y equipos en estaciones de suministro eléctricos, y líneas de suministro y comunicación eléctricas aéreas y subterráneas [72].

También incluye reglas de trabajo para la construcción, mantenimiento y operación de líneas y equipos de suministro y comunicación eléctricos.

El código es aplicable a los sistemas y equipos operados por servicios públicos, o sistemas y equipos similares, de un establecimiento industrial o complejo bajo el control de personas calificadas. Este Código consiste en la

introducción, definiciones, reglas de base, lista de documentos referenciados y bibliográficos.

La sección catorce acerca de baterías de almacenamiento presenta una limitada cantidad de normas o consideraciones sobre baterías.

### **8.2.8 IEEE Std 1578-2007 - Práctica recomendada para la contención y gestión de derrames de electrolitos de baterías estacionarias.**

#### *8.2.8.1 Acerca del estándar:*

Desarrollado por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE por sus siglas en inglés), en el año 2007 desarrollada con el fin de satisfacer necesidades de respuesta ante problemas con baterías y también hace referencia y se proponen prácticas recomendadas de seguridad y extinción de incendios que puedan servir de apoyo o complemento de otros códigos eléctricos en este tipo de aplicaciones.

**Se centra en:** el análisis de los factores relacionados con la contención y el manejo de derrames de electrolitos para plomo-ácido ventilado (VLA), ácido de plomo regulado por válvula (VRLA), níquel-cadmio ventilado (Ni-Cd) y válvula baterías estacionarias Ni-Cd reguladas [74].

#### *8.2.8.2 Contenido:*

La IEEE 1578 se divide en:

- Normativas de referencia.
- Definiciones técnicas.
- Criterios de seguridad.
- Descripción de baterías.
- Mecanismos de derrame del electrolito.

- Una introducción a la contención y administración de derrames.
- Consideraciones sobre incendios.

Si bien el estándar define gran cantidad de prácticas recomendadas resaltamos algunas básicas y más comunes.

Esta práctica recomienda el uso de:

- Gafas químicas y protector facial.
- Delantal químicamente resistente.
- Guantes y mangas químicamente resistentes.
- Botas o zapatos resistentes químicamente.
- Instalaciones de agua portátiles o estacionarias para el enjuague de los ojos y la piel en caso de contacto con electrolitos (se recomienda el uso de una solución de lavado de ojos neutralizante con pH).
- Respiradores purificadores de aire para vapores de electrolitos y niebla.
- Material de absorción, material de neutralización o una combinación de los dos.
- Pala "cabeza plana" o "nariz plana".
- Pincel.
- Contenedor químicamente resistente para almacenar materiales de forma segura hasta su eliminación adecuada.

Este equipo deberá tenerse a la mano y ser utilizado por personal capacitado.

Esto debido a lo peligroso del contacto del electrolito con el cuerpo, de igual manera los vapores electrolitos son perjudiciales para la salud.

Los derrames son peligrosos no solo por los electrolitos, también pueden ocurrir derrame de materiales pesados y vapores tóxicos. Se hace una descripción a las baterías, las de plomo-ácido y las níquel-cadmio:

- Plomo-ácido:

- Plomo-ácido ventilado (VLA).
- Plomo-ácido reguladas por válvula (VRLA).
- Níquel-cadmio:
  - Ventilación Ni-Cd.
  - Ni-Cd parcialmente recombinante.

Las baterías plomo-ácido y las níquel-cadmio deben tener procesos diferentes de tratamiento de derrames.

### **Mecanismos de derrame de electrolitos**

Estos mecanismos de derrame se basan bajo las condiciones en las que podrían ocurrir que son: **Transporte y almacenamiento, Instalación/eliminación, mantenimiento, cuestiones operativas.**

Un aporte importante por parte del estándar es la implementación de 4 tablas planteadas en la sección 6.5:

- Actividades comunes de transporte y almacenamiento que pueden resultar en un derrame.
- Actividades comunes de instalación/eliminación que pueden resultar en un derrame.
- Actividades de mantenimiento comunes que pueden dar lugar a un derrame.
- Eventos que pueden dar como resultado un derrame.

Estas tablas se dividen en: **actividad, probabilidad de derrame, mecanismo de derrame, severidad del derrame, condiciones de mitigación.**

Se hace mención a que la contención y gestión de derrames deben ser realizados por personas calificadas y autorizadas de acuerdo con todas las leyes, regulaciones y políticas internas de la empresa aplicables.

Se lista en: de transporte, instalación/eliminación, operación/mantenimiento.

### **Métodos de contención**

Normalmente se utilizan varias formas de contención durante las prácticas de operaciones/mantenimiento. La contención puede incluir un rack de batería, varios bastidores de baterías, salas enteras e incluso contención remota. El usuario debe tomar la decisión de qué tipo de sistema de contención utilizar en función de la seguridad, accesibilidad, volumen de electrolitos, capacidad para supervisar el sistema y costo [74].

- Contención individual.
- Contención de toda la habitación o zona.
- Contención remota.

Se Incluyen anexos de manera informativa que contienen: código del modelo y cálculo de materiales peligrosos.



## IX. PROPUESTA DE NORMATIVA NACIONAL

### 9.1 Capítulo I - Disposiciones generales

#### 9.1.1 Objetivo

##### **Artículo 1: Objetivo.**

La presente norma tiene por objetivo regular el uso de sistemas de almacenamiento de energía con baterías (SAEB) por parte de instalaciones generadoras; se toman como parámetros el diseño, las medidas de seguridad y protección, la operación, el mantenimiento y el fin de la vida útil en un SAEB.

#### 9.1.2 Alcance

##### **Artículo 2: Alcance.**

Esta norma es de aplicación para todas aquellas empresas o entidades interesadas en el uso de sistemas de baterías en generación eléctrica, con un enfoque en el diseño, protecciones, operación, mantenimiento y desecho de los componentes en un sistema de almacenamiento de energía con baterías. El diseño de la norma se ha realizado de tal manera que cumpla los requisitos de IEEE std 2030, IEEE std 1547, y otras series relacionadas al tema; a su vez se cumplen criterios de NFPA, UL, ICC y SIGET.

#### 9.1.3 Definiciones

##### **Artículo 3: Definiciones.**

Para los propósitos del documento se aplican los siguientes términos y definiciones. Cualquier término no definido en el apartado se deben consultar en las referencias contenidas en el documento.

**Batería:** Una batería es un dispositivo que consiste en una o más celdas electroquímicas con conexiones externas, y cuya función es convertir energía química almacenada en corriente eléctrica.

**Celda:** La unidad electroquímica básica, caracterizada por un ánodo y un cátodo utilizado para recibir, almacenar y energía eléctrica.

**Estado de carga:** indica el nivel de carga de una batería eléctrica en relación con su capacidad, especificada en términos de porcentaje.

**Profundidad de descarga:** El grado en que se descarga una batería, en relación con la cantidad de energía que puede ser descargada por el sistema, típicamente expresada como un porcentaje.

**Ciclo de una batería:** proceso de descarga o carga, desde el estado de carga inicial (SOC) al mismo estado, una sola descarga y carga.

**Ciclos de vida de una batería:** es un indicador del número de ciclos de carga y descarga que puede realizar una batería antes de que su capacidad se vea reducida en al menos un 20%.

**Eficiencia:** medida como un porcentaje, es la relación entre la energía cargada a la batería y la energía descargada de la batería.

**Tasa de descarga:** La corriente de descarga de la batería permitida en comparación con su corriente nominal, también conocida como tasa de descarga C.

**Energía almacenada:** capacidad de un sistema de baterías o una batería, se mide en Watts-hora (Wh), el kilowatt-hora (kWh), o amperios-hora (Ah).

**Potencia almacenada:** potencia disponible para transferir desde el sistema de almacenamiento de energía de la batería a la red o viceversa, generalmente expresada en kW o MW.

**Banco de baterías:** arreglos de baterías con capacidad almacenar energía y posteriormente suministrar en forma de corriente directa a todos los elementos de la instalación a través de centros de carga.

**Inversor:** Una máquina, dispositivo o sistema que cambia la potencia de corriente directa a la potencia de corriente alterna.

**Sistema conectado a la red:** se conectan al sistema de distribución (red eléctrica) por lo que requieren de la instalación de un medidor en el punto de acople.

**Sistema aislado:** sistemas de generación de corriente sin conexión a la red eléctrica.

**Calidad de la energía:** se refiere a una amplia variedad de fenómenos electromagnéticos que caracterizan el voltaje y la corriente en un momento dado y en un lugar dado en el sistema de energía.

**Punto de conexión:** punto común donde el sistema de almacenamiento de energía con baterías está conectado al sistema eléctrico.

#### **9.1.4 Acrónimos y abreviaturas**

##### **Artículo 4: Acrónimos y abreviaturas.**

Para los propósitos del documento se aplican los siguientes acrónimos y abreviaturas.

**SOC:** Estado de carga.

**DOD:** Profundidad de descarga.

**SAE:** Sistema de Almacenamiento de Energía.

**SAEB:** Sistema de Almacenamiento de Energía con Baterías.

**EMS:** Sistema de gestión de la energía.

**BMS:** Sistema de gestión de la batería.

**SCADA:** Supervisión, Control y Adquisición de Datos.

**THD:** Total de distorsión armónica.

**DC:** Corriente Directa.

**AC:** Corriente Alterna.

**ANSI:** Instituto Nacional Estadounidense de Estándares.

**IEEE:** Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.

**IEC:** Comisión Electrotécnica Internacional.

**NFPA:** Asociación Nacional de Protección contra el Fuego.

**NESC:** Código Nacional de Seguridad Eléctrica.

**IFC:** Código Internacional contra Incendios.

**UL:** Laboratorio de aseguradores.

**NEC:** Código Nacional Eléctrico.

**SIGET:** Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones.

## **9.2 Capítulo II - Diseño de un SAEB**

### **Artículo 5: Clasificación de los sistemas de generación**

De acuerdo al total de la capacidad instalada los sistemas de generación se clasifican en:

- a) **Micro generación:** Hasta 5 kW.
- b) **Mini generación:** Entre 5 kW a 5MW.
- c) **Generación a media escala:** Entre 5 y 50 MW.
- d) **Generación a gran escala:** Potencias mayores a 50 MW.

Todos los SAEB deben cumplir con los requerimientos técnicos y eléctricos de acuerdo a reglamentos de SIGET y normas vigentes en el país.

### **Artículo 6: Ubicación**

1. En etapa de desarrollo del proyecto.

- a) Debe contar con un sitio adecuado o terreno en caso de ser un sistema de almacenamiento de energía de gran capacidad, que cumpla con:
  - Permitir la respuesta rápida frente a una emergencia.
  - Acceso para mantenimiento y recolección de desechos.
- b) Ubicación y construcción:
  - Habitaciones y áreas que contengan un sistema de almacenamiento de energía con baterías no deben ubicarse en áreas donde el piso esté a más de 75 pies (22.86m), por encima del nivel más bajo de acceso de vehículos del departamento de bomberos.
  - Habitación y áreas que contengan un sistema de almacenamiento de energía con baterías no deben ubicarse en áreas donde el piso esté a más de 30 pies (9.144m), por debajo del nivel más bajo de acceso a vehículos.
  - Sistemas en recintos exteriores o contenedores deben ser definidos como salas de almacenamiento de baterías.

- Sistemas de almacenamiento de energía con baterías situados al aire libre deben situarse a no menos de 10 pies (3.048m) de cualquier medio de salida para garantizar una salida segura en caso de incendio.
- Las áreas al aire libre en las que se encuentran los sistemas de baterías de almacenamiento deberán estar protegidas contra la entrada no autorizada.
- Los sistemas situados al aire libre deberán estar separados por un mínimo de 5 pies (1.524m) de los siguientes:
  - Líneas de terreno.
  - Vías públicas.
  - Edificios.
  - Materiales combustibles almacenados.
  - Materiales peligrosos.
  - Almacenamiento de materiales en pilas elevadas.
  - Otros peligros de exposición.

c) Procesos de autorización: se debe contar con un permiso en similitud con los que pueden ser requeridos en una instalación eólica o fotovoltaica, estos deben ser proporcionados por las entidades competentes.

**Nota:** Hoja de solicitud de permisos en anexos.

2. En cuanto a la sala o habitación donde se ubicarán las baterías.

- a) Las baterías deberán estar en un recinto adecuado, ya sea un armario o habitación dependiendo de la capacidad del banco.
- b) El espacio o habitación seleccionado debe tener en cuenta necesidades presentes y futuras.
- c) El área de las baterías debe tener el espacio suficiente para que se lleven a cabo procesos de inspección, mantenimiento, prueba y reemplazo.
- d) El recinto debe ser limpio, seco, ventilado adecuadamente y debe brindar protección ante condiciones ambientales adversas.

e) La superficie de soporte del recinto debe ser capaz de soportar el peso de la batería y el peso de la estructura de soporte de la batería.

f) El recinto debe ser resistente a los efectos del electrolito alcalino, ya sea a través de los materiales apropiados o de cubiertas.

g) No deben existir tuberías de gas en la habitación de baterías y en caso de requerir de ventilación forzada (sistema de aire acondicionado, por ejemplo), debe de ser una salida de aire independiente del resto del sistema de ventilación.

h) Se contará una entrada/salida o varias dependiendo del lugar, señalizadas, que limiten el acceso al área solo a personal calificado.

i) El área o habitación debe de ser construida o seleccionada en base a criterios de contención ante la posibilidad de que ocurra un derrame o exposición de agente tóxico por parte de las baterías.

j) El sistema de iluminación para el área de trabajo debe situarse de tal forma que no exista contacto con las baterías y, en caso de falla de las luminarias estas no pongan en riesgo al banco de baterías.

k) Los bancos de baterías deben contar con espacio adecuado entre ellos que permita al personal de mantenimiento realizar las acciones necesarias con comodidad.

l) Se dispondrá de sistemas de extinción y detección de incendios.

### 3. Criterios de ubicación para baterías colocadas en estantes, gabinetes o armarios:

a) Deben proporcionar un soporte estructural adecuado.

b) Para maniobras de revisión o mantenimiento donde se necesite llegar con una mano o un brazo en un gabinete o armario para tomar medidas o terminales de acceso situados más profundamente dentro del espacio, se recomiendan las siguientes distancias verticales:

- Terminales situados a menos de 250 mm (0.25 m) de profundidad: 200 mm (0.2 m).

- Terminales situados de 250 mm a 500 mm (0.2 m - 0.5 m) profundidad: 250 mm (0.25m).
  - Terminales situados a más de 500 mm de profundidad: 300 mm (0.3 m).
- d) En el caso de los bastidores de baterías, deberá haber un espacio libre mínimo de 25 mm (0.0025 m) entre la batería y la pared al lado que no requiere acceso a mantenimiento, (en concordancia con el artículo 480 del NFPA 70). También se permitirá que los soportes de batería entren en contacto con paredes o estructuras adyacentes, siempre que el estante de la batería tenga un espacio de aire libre para no menos del 90 por ciento de su longitud.
- e) Los bancos de baterías deben contar con una distancia mínima de 3 pies (0.914m) de puertas y ventanas.

### Artículo 7: Convertidores de potencia

El patrón de conexión en el banco de baterías de un SAEB y su topología deben coincidir con la topología de los convertidores de energía a utilizar. ejemplos comunes de topología son los convertidores una o dos etapas.

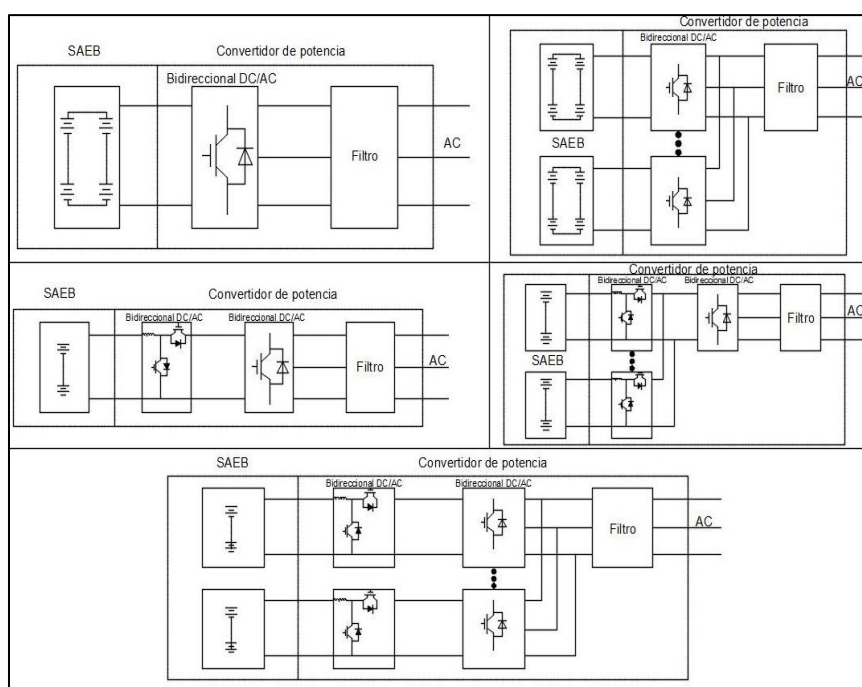


Figura 57: Diversos tipos de convertidor. Fila 1: Convertidores de una etapa DC/AC y DC/AC con conexión paralela en el lado de AC, Fila 2: convertidores de dos etapas DC/AC y DC/AC con conexión paralela en el lado de DC, Fila 3: Convertidor de dos etapas DC/AC con conexión paralela en el lado de AC.

### Artículo 8: Límites de tensión

El rango de tensión en el lado de DC de los convertidores se utiliza para determinar el voltaje mínimo de descarga y el máximo voltaje de carga del banco de baterías.

La tensión máxima en DC del convertidor no debe ser menor al valor determinado en la ecuación (1)

$$U_{r\ max} = n_s * K_{u\ max} * U_{c\ max} \quad (1)$$

La tensión mínima en DC del convertidor no debe ser mayor al valor determinado en la ecuación (2)

$$U_{r\ min} = n_s * K_{u\ min} * U_{c\ min} \quad (2)$$

#### Donde:

|              |   |
|--------------|---|
| $n_s$        | Número de celdas en el banco de baterías  |
| $K_{u\ max}$ | Coefficiente máximo del convertidor, varía entre 1.0 y 1.15                             |
| $K_{u\ min}$ | Coefficiente mínimo del convertidor, varía entre 0.85 y 0.9                             |
| $U_{c\ max}$ | Máximo voltaje de carga de las celdas en la batería, especificado por el fabricante.    |
| $U_{c\ min}$ | Mínimo voltaje de descarga de las celdas en la batería, especificado por el fabricante. |

### Artículo 9: Conexión de las baterías, cableado, conductores.

- El diseño y dimensionamiento debe seleccionarse cumpliendo los criterios del NEC-2020.
- Los cables deben dimensionarse de acuerdo a temperatura, tensión y condiciones de servicio, en concordancia con NEC-2020.
- Se deben medir los cables de conexión antes de la instalación para reducir las tensiones entre terminales, esto evitando longitudes de cable demasiado grandes.



- d) Cuando se requiera más de un conector por terminal, monte los conectores en lados opuestos de cada terminal para un contacto de superficie máximo.
- e) Se debe verificar la polaridad de cada batería en el banco midiendo el voltaje total de la cadena. Esto para verificar que la tensión entre terminales es la de diseño.
- f) Utilizar cables y equipo de conexión de aplicaciones específicas para baterías.
- g) Las conexiones de cables a la batería no deben ejercer ningún tipo de tensión mecánica hacia los bornes o terminales.
- h) Las partes vivas de una batería deben protegerse mediante aislamiento.
- i) Se debe asegurar una caída de tensión menor al 3% en los conductores seleccionados, entre la fuente de energía y el SAEB.
- j) Debe evitarse el aterrizaje accidental de partes de la batería, para soportes metálicos se recomienda colocar un protector aislante entre la batería y el soporte.
- k) Las tensiones de salida del banco de baterías, se deben especificar para que el cargador de baterías pueda operar de manera correcta.
- l) En una instalación fotovoltaica los sistemas de baterías mayores a 48 V nominales pueden conectarse con conductores no puestos a tierra siempre que se tomen en cuenta las siguientes consideraciones:
  - La puesta a tierra del sistema fotovoltaico debe ser de baja impedancia (lo más cercana a cero Ohm) y equipotencial.
  - Los circuitos de carga de AC y DC deben estar sólidamente aterrizados.
  - Todos los conductores principales no puestos a tierra del circuito de entrada/ salida de las baterías deben tener desconectado el interruptor y protección contra sobre corrientes.
  - Se debe instalar un detector y un indicador de fallas a tierra para monitorear las fallas del banco de baterías.

- m) Sistemas SAEB con nivel de tensión en lado de alta mayores a 600V, aplicaciones a nivel de subtransmisión y transmisión deben cumplir con lineamientos y requerimientos de SIGET.

#### **Artículo 10: Etiquetado.**

Se debe etiquetar:

- a) Todos los equipos de desconexión y aislamiento.
- b) Tuberías y cableado de fuentes de energía, indicando de qué fuente provienen a intervalos no mayores de 2m.
- c) Características técnicas del SAEB y los equipos conectados a la red.
- d) Se debe contar con un diagrama unifilar o trifilar de la instalación.
- e) Puertos del inversor y cargador.
- f) Las instalaciones deben contar con datos sobre qué hacer en caso de emergencia, incluyendo protocolos en casos de incendio, derrames y/o terremotos y números telefónicos para solicitar ayuda en acontecimientos de fuerza mayor.

#### **Artículo 11: Requisitos de interconexión.**

- a) Los SAEB que se usen para aplicaciones específicas de conexión a la red deben cumplir con todos los requerimientos técnicos y operativos que SIGET (Norma técnica de conexiones y reconexiones eléctricas) presente, con el fin de mantener la confiabilidad de la red eléctrica en:
  - Redes de transmisión.
  - Redes de distribución.
  - Redes comerciales.
  - Redes industriales.
  - Redes residenciales.
- b) Deben realizarse estudios de interconexión que garanticen los requerimientos para la conexión en el punto de carga y descarga del SAEB antes de que se conecte a la red.
- c) Los SAEB con aplicaciones de interacción con la red no deben afectar la estabilidad del sistema y deben operar dentro de rangos seguros.
- d) Se debe asegurar de cumplir con requerimientos de calidad de energía.

**Nota:** Para mayor información sobre las características de tensión, potencia activa, reactiva y calidad de la energía de un sistema de generación distribuida consultar el anexo 4 del presente documento.

#### **Artículo 12: Equipo y materiales.**

- a) Los equipos utilizados en un SAEB deben tener las certificaciones de calidad UL 1741 (inversores, convertidores, controladores y equipo para sistemas interconectados para uso con recursos de energía distribuida) y UL 9540 (estándar para almacenamiento de energía eléctrica y equipamiento).
- b) Los contenedores deben tener en su ficha técnica las normas bajo las cuales han sido certificados.
- c) En caso de utilizar equipo certificado bajo normas europeas deben cumplir de igual manera con los criterios técnicos de calidad en sistemas de almacenamiento de energía con baterías, valores de tensión, frecuencia, etc.

**Nota:** Es importante consultar la información técnica provista por el fabricante de baterías para conocer si se cumple con los requerimientos de actividad sísmica.

#### **Artículo 13: Ventilación en instalaciones interiores.**

- a) Deberán situarse en área con la ventilación necesaria para evitar que una concentración de hidrógeno en el aire es mayor al 2% del volumen de la habitación, para disminuir riesgo de generar una mezcla explosiva.

**Nota:** Para mayor información sobre el diseño de sistemas de ventilación consultar el anexo 5 del presente documento.

- b) Para evitar daños en la batería, la carcasa debe estar diseñada para ayudar a mantener la temperatura del electrolito por encima de su punto de congelación.

- c) La temperatura ambiente óptima para el trabajo de una batería es de 25°C se debe diseñar la habitación para que alcance esta temperatura estándar y así prolongar la vida útil de las baterías.
- d) Se recomienda diseñar el lugar con el objetivo de obtener una variación de temperatura no mayor a  $\pm 5^{\circ}\text{C}$ .
- e) Deben evitarse las fuentes de calor localizadas, como la luz solar directa, los radiadores, las tuberías de vapor y los calentadores de espacio.
- f) Se debe asegurar que no se puedan producir llamas o arcos dentro del recinto, para lo cual se deben instalar supresores de llamas.
- g) Los SAEB en contenedores deben tener un sistema de ventilación que mantenga las condiciones de trabajo estables.

### **9.3 Capítulo III - Medidas de protección y seguridad de un SAEB**

#### **Artículo 14: Protección anti isla.**

Se llama protección anti isla a toda aquella función encargada de evitar que una instalación permanece energizada cuando la red se encuentra desenergizada (ya sea por un evento programado o no programado).

Los equipos conectados a la red deben disponer de un sistema de protección anti isla; entre las medidas se encuentra el uso de dispositivos detectores de tensión y detección de flujos de potencia inversa.

#### **Artículo 15: Requisitos del BMS.**

- a) La configuración del BMS debe tomar en cuenta factores como el tipo, características y desempeño de la batería.
- b) El BMS debe monitorear el estado de operación de la batería (voltaje, corriente, temperatura, estado de carga y salud de las celdas y la batería, etc.) y debe enviar señales de advertencia en caso de un accidente.
- c) El BMS debe proveer protección al banco de baterías con funciones como protección contra sobrevoltajes / caídas de tensión,

sobrecorrientes, bajas y altas temperaturas, monitoreo del aislamiento en el lado de DC, etc.

- d) El ecualizador del BMS debe configurarse en base a las características de la batería.
- e) El BMS debe coordinarse con el convertidor y el sistema MIC para lograr el monitoreo y protección del SAEB. Para la comunicación puede utilizarse el protocolo Modbus TCP/IP.
- f) El BMS debe ser sujeto a análisis de funcionalidad y seguridad de acuerdo a las normas IEC 61508 e IEC 60730-1 o un estándar equivalente de seguridad.
- g) En caso de aplicaciones de generación distribuida, micro redes, etc. Es recomendable el uso de EMS para mantener el control del sistema eléctrico y que permita la comunicación de estar con la red eléctrica y transferir datos, por ejemplo, a un SCADA.

#### **Artículo 16: Protección ante sobrecorrientes.**

- a) Las baterías presentes en la instalación deben contar con protección de sobrecorriente directa en todos sus terminales; se debe utilizar un fusible de interrupción rápida dimensionado al 125% de la corriente nominal; a su vez debe etiquetarse correctamente la protección utilizando el diagrama unifilar del sistema.
- b) La conexión de los inversores al tablero general se debe hacer de forma paralela en caso de más de un inversor y cumplir con:
  - Si el dispositivo de protección no se encuentra en el extremo opuesto del terminal del alimentador en el tablero, la capacidad de la barra colectora no debe ser menor a la suma de la capacidad del dispositivo de protección principal más 125% de la salida AC del inversor.
  - Si el dispositivo de protección se encuentra en el extremo opuesto del terminal del alimentador del tablero, la capacidad de la barra colectora al 120% no debe ser menor a la suma de la capacidad del dispositivo de protección principal más 125% de la salida AC del inversor.

- En un tablero es permitido tener cualquier número de dispositivos de protección siempre y cuando las clasificaciones de amperios totales de todos los dispositivos, excluyendo la protección de sobre corriente principal no exceda la capacidad nominal de la barra colectora.

Los equipos conectados a la red deben contar con protección de sobrecorriente alterna en cada uno de sus puertos.

### Artículo 17: Señalización.

- Se recomienda etiquetar la entrada a la zona del SAEB.
- Etiquetar una ruta de salida del recinto en caso de emergencia.
- El etiquetado de baterías y equipos, con características técnicas.
- Señalización de zonas de trabajo segura con líneas punteadas en suelo.

Algunas señalizaciones con las que debe contar el recinto:



Figura 58: Señalizaciones de seguridad en un SAEB.

### Artículo 18: Contingencia ante derrames.

Previamente a la instalación de un SAEB se debe construir un área de contención en caso de derrames masivos de electrolitos, los requisitos de construcción de dicha área son los siguientes

- Colocar canaletas con rejillas en el perímetro del área de almacenamiento para que el electrolito fluya; las canaletas deben reforzarse con pintura epóxica.
- La canaleta se conectará por medio de una tubería a una cisterna de contención.

- c) Dicha cisterna debe construirse con materiales resistentes a la corrosión se recomienda cemento de poliuretano con una capa protectora de pintura epóxica.
- d) Para bombear el electrolito de la cisterna se debe utilizar una bomba de diafragma con membrana de teflón.
- e) Si el derrame es pequeño y no se filtra a la canaleta, o si filtra a la canaleta, pero no puede bombearse se recomienda el uso de agentes neutralizadores, dichos agentes se encuentran en la sección de mantenimiento, bajo el artículo de equipo y herramientas.

#### **Artículo 19: Protección del sistema de ventilación.**

Los sistemas de ventilación deben operar continuamente para evitar la acumulación excesiva de gases, por ello deben contar con un sistema de alarma, particularmente cuando cuentan múltiples modos de operación o si las instalaciones no cuentan con la presencia permanente de personal de mantenimiento.

En general se deben cumplir las siguientes medidas:

- a) Usar extractores de aire de velocidad variable.
- b) La instalación de sistemas de monitoreo para prevenir el exceso de gas, dichos sistemas incluyen limitadores de corriente y reguladores de tensión con compensación de temperatura.
- c) Utilizar el criterio de redundancia, para ello debe haber como mínimo dos extractores de aire funcionando al mismo tiempo.
- d) Como medida auxiliar de seguridad se pueden utilizar sensores de hidrógeno.

**Nota:** Para mayor información sobre el uso, operación y mantenimiento de sensores de hidrógeno consultar el anexo 8 del presente documento.

#### **Artículo 20: Protección mecánica.**

Los armarios, estantes o gabinetes a utilizarse para colocar las baterías deben ser resistentes a efectos corrosivos por electrolito y ser construidos con alta resistencia sísmica.

**Artículo 21: Medidas de protección ante incendios.**

- a) Se debe contar con un sistema de alarmas contra incendio.
- b) En conformidad con NFPA 855 y NFPA 13 las habitaciones que cuenten con sistemas de almacenamiento con baterías deben poseer un sistema de rociadores automáticos.
- c) Toda habitación con un SAEB debe contar con detectores de humo.
- d) Se debe contar con sistemas de detección de gases, estos deben activarse si el nivel del gas inflamable supera el 25% del límite inferior inflamable (LFL) o si el nivel de un gas tóxico excede la mitad del indicador IDLH (inmediatamente peligroso para la salud).

**9.4 Capítulo IV - Mantenimiento y operación de un SAEB****Artículo 22: Equipo y herramientas.**

Para el mantenimiento de los SAEB deben considerarse tanto la seguridad del equipo técnico encargado como la correcta operación de las baterías.

Además, es recomendable que el personal a cargo de las operaciones de mantenimiento debe ser personal técnico capacitado.

El nivel técnico del personal y su capacitación debe ir acorde con el tipo de SAEB que se maneja debido a la complejidad que implican los diferentes tipos de tecnologías.

***Nota:** Para mayor información sobre los tipos de capacitación del personal a cargo del mantenimiento e instalación consultar el anexo 6 del presente documento.*

**22.1 Equipo a utilizar**

Cuando se realiza un mantenimiento los siguientes objetos deben ser utilizados por el técnico encargado de la operación.

- a) Protección facial, como caretas o lentes.
- b) Ropa manga larga, guantes aislantes, delantales y cubre zapatos.



- c) Ducha portátil o estacionaria, estación para el lavado facial.
- d) Herramientas con mango o agarradero aislado.
- e) Extintor clase C.
- f) Agente neutralizador de electrolito (ácido bórico para níquel cadmio, bicarbonato de sodio para plomo ácido).

**Artículo 23: Medidas de seguridad.**

Las siguientes medidas de seguridad deben tomarse en cuenta antes y durante la realización de un mantenimiento.

- a) Retirar anillos, relojes de pulsera, objetos metálicos y otros artículos de ropa con partes metálicas que pueden causar contacto con los terminales de la batería u otras partes vivas.
- b) Desconectar la fuente y la carga previamente al cierre o apertura de otras conexiones.
- c) Determinar si la batería está aterrizada de forma accidental y si es así, remover la fuente de tierra (por ejemplo, un derrame del electrolito). El contacto con cualquier conductor de electricidad o batería aterrizada puede resultar en una descarga.
- d) Previamente a trabajar con la batería, descargar cualquier posible electricidad estática en el cuerpo o ropa tocando una parte aterrizada.
- e) No fumar en el área.
- f) Despejar el área, se debe retirar cualquier tipo de objeto que obstaculice la entrada/ salida del recinto.
- g) No ajustar conexiones o terminales mientras se está cargando.
- h) Si el electrolito entra en contacto con los ojos, enjuagar inmediatamente con agua durante 15 minutos y buscar atención médica.
- i) Si el electrolito salpica la piel o la ropa, enjuagar inmediatamente con agua durante 10 a 15 minutos.

## **Artículo 24: Mantenimiento e inspecciones.**

Un mantenimiento adecuado prolongará la vida útil de la batería y ayudará a asegurar que sea capaz de satisfacer sus requerimientos de diseño. Un buen programa de mantenimiento de baterías será de vital importancia para determinar si se necesita reemplazar una batería.

Solamente personal familiar con la instalación, carga y métodos de mantenimiento debe tener acceso sin supervisión al área de baterías.

El mantenimiento e inspecciones debe adaptarse específicamente al tipo de tecnología utilizado en el SAEB.

### **24.1 Lecturas iniciales**

Las lecturas iniciales deben tomarse cuando la batería es puesta en servicio, debe encontrarse cargada al 100% y sin ninguna carga conectada a ella.

- a) Voltaje en las terminales y en las celdas.
- b) Nivel de electrolito.
- c) Temperatura interna del 10% de las celdas de la batería (escogidas al azar).
- d) Monitorear el consumo de agua durante las primeras semanas de operación para determinar la frecuencia con la que debe añadirse agua.
- e) El equipo debe cumplir con las especificaciones técnicas del fabricante.
- f) Chequeo de que las bombas en caso de baterías de flujo que las bombas y el equipo estén debidamente calibrados.

### **24.2 Inspecciones cuatrimestrales o bianuales.**

Los siguientes datos deben tomarse con una frecuencia de cuatro meses (para baterías de plomo ácido) o cada seis meses (para baterías de níquel cadmio).

Para otras tecnologías de baterías pueden ser necesarios tiempos e inspecciones similares por lo que se recomienda consultar datos técnicos con proveedores de baterías.

**En general:**

- a) Apariencia general y limpieza de la batería.
- b) Voltaje en los terminales y corriente de carga.
- c) Nivel de electrolito, apariencia de la cubierta y nivel de sedimento si aplica.
- d) Grietas en la batería y fugas de electrolito.
- e) Corrosión en las conexiones.
- f) Evidencia de abultamiento en la batería.
- g) Evidencia de corrientes de fuga a tierra.

**24.3 Inspecciones especiales**

Si la batería ha experimentado una condición anormal según lo definido por la documentación del fabricante (como una descarga severa, sobrecarga o una excursión de temperatura imprevista), se debe realizar una inspección para determinar si la batería ha sido dañada.

**24.4 Inspecciones del contenedor**

Realizar inspecciones de seguridad en los contenedores del SAEB que involucren: aislamiento, puesta a tierra, accesorios, corrosión, alarmas, etc.

**Artículo 25: Recolección de datos e historial.**

- a) Realizar inspecciones y registrar los datos de operación, incluyendo voltaje del sistema, capacidad de energía, SOC, DOD, etc.
- b) Se recomienda recopilar, ordenar y analizar los datos de funcionamiento del sistema.

Estos datos pueden ayudar a solucionar problemas de calibración y corrección de valores en el sistema y mantener el SAEB en valores óptimos de operación.

**Artículo 26: Inversor y equipo eléctrico.**

Se recomienda hacer referencia a NESC-2017, ya que se debe prestar atención a los terminales del sistema durante su inspección y manipulación.

- a) Limpiar o remover los materiales que se filtran en todos los filtros de ventilación del armario.
- b) Limpiar el radiador de los componentes de potencia dentro del contenedor o armario.
- c) Inspeccionar el interior del armario en busca de polvo, suciedad, humedad o filtración de agua.
- d) Limpiar desde la parte externa de las piezas y realizar medidas de mantenimiento que se consideren necesarias.
- e) Inspeccionar conectores y conductores en busca de señales de deterioro o contaminación.
- f) Inspeccionar todos los fusibles, desconectores, equipos de protección eléctrica en general y asegurar su correcto funcionamiento.
- g) Inspeccionar señales de advertencia y cambiarlas en caso de ser necesario.

### **9.5 Capítulo V - Desecho y fin de la vida útil en un SAEB**

#### **Artículo 27: consideraciones.**

El desecho de una batería viene dado desde los criterios de una inspección previa de que la batería ya no cumple con las especificaciones técnicas, ocurre una falla o cumple su útil, ante esta situación se establecen algunas consideraciones:

- a) Se debe estructurar un programa para el desecho o reemplazo de baterías.
- b) No debe dejarse a la intemperie ante un reemplazo de una batería o equipo que pueda ser dañino para el medio ambiente.
- c) En primera instancia debido a los materiales que contiene la batería, debe consultarse al fabricante la forma de proceder con la disposición o reciclaje.
- d) Debe comunicarse con la institución de gestión de residuos peligrosos para conocer las pautas de cómo proceder con el desecho o reciclaje de las baterías.

- e) Se recomienda reciclar y no desechar las baterías de níquel-cadmio.
- f) Se debe contar con un sitio adecuado para las baterías de respaldo y baterías que sean reemplazadas que garanticen evitar exposiciones de elementos peligrosos de las baterías con el medio ambiente.

**Nota:** *Para mayor información sobre contención y gestión de derrames de electrolito consultar el anexo 7 del presente documento.*

## X. CONCLUSIONES

- La investigación demuestra que el desarrollo tecnológico de las baterías y la disminución de los precios hace que estos sistemas sean cada vez más rentables y que permita obtener oportunidades y beneficios no solo para plantas de generación de energía renovable de gran escala, sino también por compañías de energía eléctrica, el sector industrial, comercial, residencial.
- La falta de regulación específica representa una barrera para la implementación de proyectos de sistemas de almacenamiento de energía con baterías, generando incertidumbre a posibles usuarios, inversionistas, empresas distribuidoras o generadoras, por lo que la presente propuesta de norma puede ser un primer paso para establecer definiciones, especificaciones técnicas y de seguridad que faciliten el proceso de investigación y puesta en marcha de estos proyectos a diseñadores, técnicos e inspectores.
- El etiquetado y señalización de equipo y zona de trabajo suele ser un tema olvidado a la hora de diseñar o poner en marcha un proyecto eléctrico en general, esto se puede ver reflejado en gran parte de los sistemas eléctricos en el país, un correcto uso de los criterios citados en el documento puede evitar accidentes eléctricos por parte de instaladores u operarios, en sistemas de almacenamiento de energía con baterías.
- En todos los casos de desarrollo de un proyecto de sistemas de almacenamiento de energía con baterías se debe corroborar el uso de equipo y material certificado por organizaciones internacionales y listado por el NEC.
- El nivel de complejidad de un SAEB y los criterios técnicos necesarios, dependen de la aplicación y la condición que se desea suplir, por lo tanto, no existe una guía que con su aplicación lleve a la solución de todos los diseños, se debe tomar en cuenta la norma con juicio y abordar el documento tratando de cumplir con los criterios establecidos para cada caso en concreto.
- La investigación y recopilación de normas deja en evidencia la inexistencia de una normativa que regule las aplicaciones con baterías en el país, lo que puede resultar perjudicial al no existir un reglamento base para imponer sanciones o multas ante malas prácticas.

## **XI. RECOMENDACIONES**

- El trabajo de investigación se encuentra enfocado al uso de baterías, una forma de ampliarlo a futuro sería incorporar el estudio de otras tecnologías de almacenamiento que fueron brevemente mencionadas en el documento como lo son el uso de super capacitores o volantes de inercia.
- Debido a que se utilizó como base un compendio de normas internacionales sería de interés contrastar la aplicación de la norma con el resto de países de la región y analizar los resultados de dicha comparación.
- Como punto de partida para futuras investigaciones se recomienda la lectura del anexo 3 del presente documento donde se clasifican los estándares a tomar como referencia para el estudio de SAEB en generación y la lectura de las listas publicadas por Sandia National Lab que abordan todas las tecnologías pertinentes a Sistemas de Almacenamiento de Energía.

## XII. ANEXOS

### Anexo 1. Solicitud de permiso para sistemas de almacenamiento de energía con baterías.

La hoja modelo de solicitud de permiso está destinada a ayudar a establecer los requisitos mínimos de presentación para la revisión del plan eléctrico y estructural que son necesarios cuando se permite sistemas de almacenamiento de energía en baterías.

#### SOLICITUD DE PERMISO

Numero de formulario:

Fecha:

Vigencia:

#### INSTRUCCIONES DE ENVIÓ

Esta aplicación y los archivos adjuntos constituirán el paquete de permisos del sistema de almacenamiento de energía de la batería.

Este formulario de solicitud debe ser enviado, con todos los campos completados y con las firmas pertinentes.

Se debe adjuntar documentos de construcción requeridos para el sistema de almacenamiento de energía de la batería que se está instalando, incluidos los archivos adjuntos requeridos.

#### CRONOGRAMA DE REVISIÓN DE LA APLICACIÓN

La determinación de permisos será emitida dentro de los días calendario (20 días), después de recibir las solicitudes completas y precisas. La institución encargada proporcionará comentarios dentro de los días calendario correspondientes de recibir solicitudes incompletas o inexactas.

#### PARA MÁS INFORMACIÓN

Las preguntas sobre este proceso de permisos pueden dirigirse a [INFORMACIÓN DE CONTACTO].

#### DATOS DE PROPIETARIO

Nombre:

Dirección:

Ciudad:  Departamento:

Teléfono:  Fax:  Correo:



**APLICACIÓN**

Residencial       Comercial       Industrial       Otro

Especificar:

**PROPORCIONAR LA CLASIFICACIÓN DE CAPACIDAD TOTAL DEL SISTEMA**

Potencia nominal del sistema [kW]:

Energía nominal del sistema [kWh]:

**SELECCIONAR CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA**

Conectado a red       Sistema aislado

**SELECCIONAR EL TIPO DE BATERIA**

Plomo-Acido     Iones de Litio     Níquel-Cadmio     Baterías de Flujo  
 Otras

Especificar:

**SELECCIONAR LUGAR DE INSTALACION**

Interior     Exterior (contenedor).     Edificio Adjunto

**INFORMACIÓN DEL INSTALADOR**

Nombre de la empresa:

Teléfono:       Fax:       Correo:

Dirección:

Ciudad:       Departamento:

Nombre del encargado del proyecto:

Número de teléfono:       Correo:

Firme a continuación para afirmar que todas las respuestas son correctas y que ha cumplido con todas las condiciones y requisitos del formulario.

Firma del propietario:

Firma de responsable del proyecto por parte de la empresa:

\_\_\_\_\_

## REQUERIMIENTOS

Documento anexo a solicitud de permiso:

- Plano de planta del sistema de almacenamiento de energía.
- Ubicación:
  - ✓ La ubicación de la estructura y la ubicación donde se va a instalar el sistema.
  - ✓ Mostrar el enrutamiento de conductos / cables del sistema de almacenamiento de energía de la batería.
  - ✓ Mostrar el método y la ubicación del equipo de ventilación requerido (si es necesario) en aplicaciones interiores.
  - ✓ Mostrar los medios de acceso al sistema de almacenamiento de energía de la batería.
- Especificar el número total de baterías.
- Diagrama eléctrico unifilar o trifilar.
  - ✓ Con las conexiones de baterías, controladores de carga, inversor, punto de conexión, protecciones, fuente de generación.
- Incluir información detallada de cableado, incluyendo:
  - ✓ Tamaño/tipo del conductor.
  - ✓ Número de conductores.
  - ✓ Tamaño del conducto.
  - ✓ Tipo de conducto.
- Mostrar todos los medios de desconexión.
- Mostrar clasificaciones (voltaje, ampacidad, ambientales, etc.) para equipos que se van a poner en servicio.
- Proporcionar hojas de especificación para los siguientes equipos.
  - ✓ Baterías.
  - ✓ Inversor.
  - ✓ Transformador o autotransformador (si es necesario).
  - ✓ Soporte o estanterías.
  - ✓ Controlador de carga.
  - ✓ Sistema de ventilación (si es necesario).
  - ✓ Contenedor.
  - ✓ Sistema de protección contra incendios.
- Plan de contingencia contra incendios, en colaboración con departamento de bomberos.
- Plan de contingencia ante derrames químicos.

## ENVIOS PARA REVISIÓN

Las solicitudes de permiso se pueden presentar en persona en [DIRECCIÓN] y electrónicamente a través de: [SITIO WEB / CORREO ELECTRÓNICO / INFORMACIÓN DE CONTACTO DE FAX, SI CORRESPONDE] en horarios laborales.

## **Anexo 2. Normas y formularios de SIGET aplicables a sistemas de generación distribuida [75].**

### **Normas aplicables:**

- Ley general de electricidad (LGE).
- Reglamento de la ley de electricidad (RLGE).

### **Diseño y construcción:**

- NEC 2008 (Versión en español).
- “Norma Técnica de Diseño, Seguridad y Operación de Instalaciones de Generación de Energía con Tecnología solar Fotovoltaica de hasta 100 kW”. SIGET.
- **Procesos de aceptación e interconexión de la red eléctrica:**

Formulario para caracterizar y certificar proyectos con fuentes renovables de energía en la generación de energía eléctrica mediante el aprovechamiento del recurso:

- Solar.
  - Eólico.
  - De la fuente utilizada en la generación de energía eléctrica.
- I. Norma para Usuarios finales Productores de Energía Eléctrica con recursos Renovables Anexo 1 del Acuerdo No.367-E-2017.
  - II. Normas Sobre Procesos de Libre Concurrencia para Contratos de Largo plazo Respaldados con Generación Distribuida del Acuerdo No.120-E-2013.
  - III. Modificaciones a la Norma Técnica de Conexiones y Reconexiones Eléctricas en Redes y Distribución de Baja y Media tensión, acuerdo No.93-E-2013.
  - IV. Norma Técnica de Interconexión Eléctrica y Acceso de Usuarios Finales a la Red de Transmisión, emitida mediante el Acuerdo No. 30-E-201.

### Anexo 3. Tabla con estándares, guías y prácticas relacionadas con el almacenamiento de energía con baterías.

Tabla 12: Algunos estándares, guías y prácticas relacionadas con baterías y sistemas de almacenamiento de energía con baterías.

| IEEE<br>(Instituto de Ingenieros<br>Eléctricos y Electrónicos) | Nombre  |
|--|---|
| IEEE Std 2030-2019   | Guía para diseño, operación y gestión de sistemas de almacenamiento de energía con baterías, estacionarias y móviles y aplicaciones integradas con sistemas de energía eléctrica. |
| IEEE Std 1657-2018   | Práctica recomendada para cualificado de personal para instalación y mantenimiento de baterías estacionarias.   |
| IEEE Std 1547-2018   | Estándar para conexión e interoperabilidad de fuentes de energía distribuida con asociación de interfaces de sistemas de energía eléctrica.                                       |
| IEEE Std 1145-1999   | Práctica recomendada para instalación y mantenimiento de baterías de níquel-cadmio para sistemas fotovoltaicos.   |
| IEEE Std 485-2010  | Práctica recomendada para el dimensionamiento de baterías de plomo-ácido para aplicaciones estacionarias.   |
| IEEE Std 450-2002  | Práctica recomendada para mantenimiento, pruebas y reemplazo de baterías de plomo-ácido ventiladas para aplicaciones estacionarias.   |
| IEEE Std 1184-1994   | Guía para selección y dimensionamiento de baterías para sistemas de alimentación ininterrumpida.  |
| IEEE Std 1106-2005   | Práctica recomendada para instalación, mantenimiento, pruebas y reemplazo de baterías de níquel-cadmio ventiladas para aplicaciones estacionarias.                                |
| IEEE Std 1578-2007   | Práctica recomendada para la contención y gestión de derrames de electrolitos de baterías estacionarias.  |
| IEEE Std 1187-2013   | Práctica recomendada para diseño de instalaciones e instalación de baterías de plomo-ácido de válvula regulada para aplicaciones estacionarias.                                   |

|   |  |
|---|--|
| IEEE Std 1635-2012  | Guía para ventilación y gestión térmica de baterías para aplicaciones estacionarias.   |
| IEEE Std 1375-1998  | Guía para la protección de sistemas de baterías estacionarias.   |
| C2-2017   | Código nacional de seguridad eléctrica (NESC).   |
| <b>IEC</b><br><b>(Comisión internacional Electrotécnica)</b>                    |  |
| IEC 62933-1:2018  | Sistemas de almacenamiento de energía eléctrica (EES)-Parte 1: Terminología.   |
| IEC 62933-2-1:2018  | Sistemas de almacenamiento de energía eléctrica (EES) - Parte 2-1: Parámetros de unidades y métodos de ensayo - Especificación general.  |
| IEC TS 62933-5-1:2017   | Sistemas de almacenamiento de energía eléctrica (EES) - Parte 5-1: Consideraciones de seguridad para sistemas EES integrados en la red - Especificación general.                               |
| IEC TS 62933-3-1:2018   | Sistemas de almacenamiento de energía eléctrica (EES) - Parte 3-1: Planificación y evaluación del rendimiento de los sistemas de almacenamiento de energía eléctrica - Especificación general. |
| IEC 62485-2:2019  | Requisitos de seguridad para las baterías secundarias y las instalaciones de baterías - parte 2: baterías estacionarias.   |
| <b>NPFA</b><br><b>(Asociación Nacional para la Protección contra Incendios)</b> |  |
| NPFA 70 (NEC-2017)  | Código eléctrico nacional.   |
| NPFA 855-2020   | Estándar para la instalación de sistemas estacionarios de almacenamiento de energía.   |
| <b>DNV.GL</b><br><b>(Det Norske Veritas)</b>                                    |  |
| DNVGL-RP-0043-2015  | Seguridad, operación y rendimiento de sistemas de almacenamiento de energía conectados a la red.   |
|   |  |

|   |  |
|---|--|
| <b>NECA</b><br><b>(Asociación Eléctrica Nacional de Contratistas)</b> |  |
| NECA 416-2016   | Práctica recomendada para instalación de sistemas de almacenamiento de energía (ESS).  |
| NECA 417-2018   | Práctica recomendada para diseño, instalación, operación, y mantenimiento de micro redes.  |
| <b>ICC</b><br><b>(Consejo de Códigos Internacionales)</b>             |  |
| IFC-2018  | Código internacional contra incendios.   |
| <b>UL</b><br><b>(Laboratorio de aseguradores)</b>                     |  |
| UL 1973-2018  | Estándar para baterías de seguridad para uso en aplicaciones estacionarias, de energía auxiliar de vehículos y de riel eléctrico ligero (LER). |
| UL 9540-2020  | Estándar UL para sistemas y equipos de almacenamiento de energía de seguridad.   |
| UL 1741-2010  | Inversores, convertidores, controladores y equipos de sistemas de interconexión para su uso con fuentes de energía distribuida.                |

#### Anexo 4. Requisitos de control de tensión, potencia y calidad de energía para la interconexión de sistemas de Generación Distribuida (GD) [65].

Para efectos de control en sistemas de generación distribuida estos pueden clasificarse en 2 categorías: **A y B**.

**Categoría A:** La categoría A cubre los requisitos de rendimiento mínimos necesarios para la regulación de voltaje del sistema de potencia y son razonablemente alcanzables por todas las tecnologías de generación distribuida de última generación. Este nivel de rendimiento se considera adecuado para aplicaciones donde la penetración de sistemas de GD en el sistema de distribución es menor y donde la salida de potencia del sistema de GD no está sujeta a variaciones largas y frecuentes.

**Categoría B:** La categoría B cubre todos los requisitos dentro de la categoría A y especifica valores complementarios requeridos para integrar de forma adecuada sistemas de generación distribuida en áreas donde la penetración del sistema de generación distribuida es mayor o cuando su salida de potencia está sujeta a variaciones largas y frecuentes.

Tabla 13: Requisitos de funciones de control de potencia activa/reactiva y tensión para sistemas de GD por categoría [65].

| Categoría de sistema GD                                       | Categoría A  | Categoría B |
|---|--------------|-------------|
| <b>Regulación de tensión por control de potencia reactiva</b> |              |             |
| Modo factor de potencia constante                             | Obligatorio  | Obligatorio |
| Modo de tensión - potencia reactiva <sup>a</sup>              | Obligatorio  | Obligatorio |
| Modo de potencia activa / reactiva <sup>b</sup>               | No requerido | Obligatorio |
| Modo de potencia reactiva constante                           | Obligatorio  | Obligatorio |
| <b>Control de potencia activa y tensión</b>                   |              |             |
| Modo de potencia activa - tensión (Volt-Watt)                 | No requerido | Obligatorio |

<sup>a</sup> También conocido como modo "Volt-Var".

<sup>b</sup> También conocido como modo "Watt-Var".

Tabla 14: Valores mínimos de potencia reactiva inyectada y capacidad de absorción [65].

| Categoría   | Capacidad de inyección en % de la potencia aparente en placa (kVA) | Capacidad de absorción en % de la potencia aparente en placa (kVA) |
|---|--|--|
| A<br>(En la tensión nominal del sistema GD)             | 44   | 25   |
| B<br>(Abarca el alcance completo de ANSI C84.1 rango A) | 44   | 44   |

El sistema de GD produce potencia activa en el rango de los kVA siempre y cuando sea capaz de absorber o inyectar potencia reactiva en cualquier momento, haciendo uso completo del rango de potencia reactiva provisto en la tabla anterior, como lo es demandado por el modo de control de potencia reactiva y la configuración establecida por el operador del sistema de potencia.

Tabla 15: Parámetros de potencia reactiva – tensión para operación normal en sistemas de GD categoría A y B [65].

| 10  | Valores por defecto                          |  | Rango de valores permisibles   |   |
|---|--|--|--|---|
|   | Categoría A                                  | Categoría B                                  | Mínimo   | Máximo  |
| $V_{ref}$                                     | $V_N$  | $V_N$  | $0.95 V_N$   | $1.05 V_N$  |
| $V_2$   | $V_N$  | $V_{ref}-0.02 V_N$                           | <b>Categoría A:</b> $V_{ref}$<br><b>Categoría B:</b><br>$V_{ref}-0.03 V_N$ | $V_{ref}^c$   |
| $Q_2$   | 0  | 0  | 100% de capacidad de potencia reactiva en placa, absorción                 | 100% de capacidad de potencia reactiva en placa, inyección              |
| $V_3$   | $V_N$  | $V_{ref}+0.02 V_N$                           | $V_{ref}^c$  | <b>Categoría A:</b> $V_{ref}$ <b>Categoría B:</b><br>$V_{ref}+0.03 V_N$ |
| $Q_3$   | 0  | 0  | 100% de capacidad de potencia reactiva en placa, absorción                 | 100% de capacidad de potencia reactiva en placa, inyección              |
| $V_1$   | $0.9 V_N$                                    | $V_{ref}-0.08 V_N$                           | $V_{ref}-0.18 V_N$   | $V_2-0.02 V_N^c$  |
| $Q_1^a$                                       | 25% de potencia aparente en placa, inyección | 44% de potencia aparente en placa, inyección | 0  | 100% de capacidad de potencia reactiva en placa, inyección <sup>b</sup> |
| $V_4$   | $1.1 V_N$                                    | $V_{ref}+0.08 V_N$                           | $V_3+0.02 V_N^c$   | $V_{ref}+0.18 V_N$  |
| $Q_4$   | 25% de potencia aparente en placa, absorción | 44% de potencia aparente en placa, Absorción | 100% de capacidad de potencia reactiva en placa, absorción                 | 0   |
| <b>Respuesta en el tiempo en lazo abierto</b> | 10s  | 3s   | 1s   | 90s   |



- a La potencia reactiva del sistema de GD puede verse reducida en tensiones bajas.
- b De ser necesario el sistema de GD puede reducir la potencia activa para cumplir este requisito
- c Selección errónea de estos valores puede causar inestabilidad.

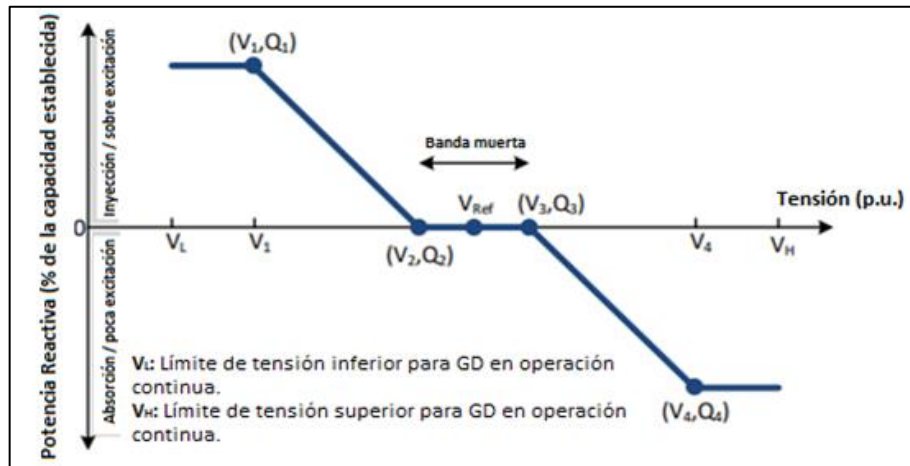


Figura 59: Ejemplo de características de potencia reactiva – tensión [65].

Tabla 16: Parámetros de potencia reactiva y reactiva para operación normal en sistemas de GD categoría A y B [65].

| Parámetros de potencia activa y reactiva | Valores por defecto                          |  | Rango de valores permisibles                               |  |
|--|--|--|--|--|
|  | Categoría A                                  | Categoría B                                  | Mínimo   | Máximo   |
| $P_3$                                    | $P_{nom}$                                    |  | $P_2+0.1 P_{nom}$  | $P_{nom}$  |
| $P_2$                                    | $0.5 P_{nom}$                                |  | $0.4 P_{nom}$  | $0.8 P_{nom}$  |
| $P_1$                                    | El mayor entre $0.2 P_{nom}$ y $P_{min}$     |  | $P_{min}$  | $P_2-0.1P_{min}$   |
| $P'_1$                                   | El menor entre $0.2 P'_{nom}$ y $P'_{min}$   |  | $P'_2-0.1P'_{nom}$   | $P'_{min}$   |
| $P'_2$                                   | $0.5 P'_{nom}$                               |  | $0.8 P'_{nom}$   | $0.4 P'_{nom}$   |
| $P'_3$                                   | $P'_{nom}$                                   |  | $P'_{nom}$   | $P'_2+0.1P'_{nom}$   |
| $Q_3$                                    | 25% de potencia aparente en placa, absorción | 44% de potencia aparente en placa, Absorción | 100% de capacidad de potencia reactiva en placa, absorción | 100% de capacidad de potencia reactiva en placa, inyección |
| $Q_2$                                    | 0  |  |  |  |
| $Q_1$                                    | 0  |  |  |  |
| $Q'_1$                                   | 0  |  |  |  |
| $Q'_2$                                   | 0  |  |  |  |
| $Q'_3$                                   | 44% de potencia aparente en placa, inyección |  |  |  |

$P_{nom}$  es la potencia activa de placa del sistema de GD.

$P'_{nom}$  es la máxima potencia activa que el sistema de GD puede absorber.

$P_{min}$  es el valor mínimo de potencia activa que puede otorgar el sistema de GD.

$P'_{min}$  es el mínimo, en amplitud, de potencia activa que el sistema de GD puede absorber.

Todos los parámetros  $P'$  son de valor negativo.

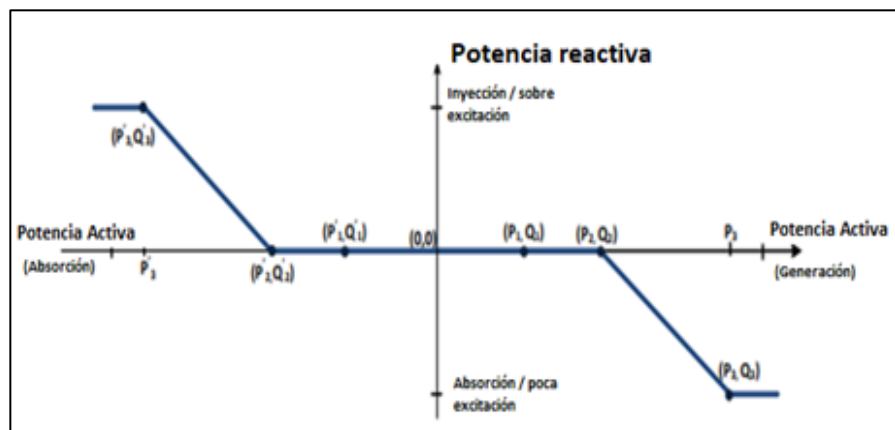


Figura 60: Ejemplo de características de potencia activa y reactiva [65].

Tabla 17: Parámetros de potencia activa - tensión para operación normal en sistemas de GD categoría A y B [65].

| Parámetros de potencia activa – tensión                               | Valores por defecto                       | Rango de valores permisibles |                  |
|---|---|------------------------------|------------------|
|   |   | Mínimo                       | Máximo           |
| $V_1$   | $1.06V_N$                                 | $1.05V_N$                    | $1.09V_N$        |
| $P_1$   | $P_{nom}$                                 | N/A                          | N/A              |
| $V_2$   | $1.1V_N$                                  | $P_{min}$                    | $P_2-0.1P_{min}$ |
| $P_2$ (En sistemas GD que solo generan potencia activa)               | El menor entre $0.2P_{nom}$ y $P_{min}^a$ | $P_{min}$                    | $P_{nom}$        |
| $P'_2$ (En sistemas GD que pueden generar y absorber potencia activa) | $0^b$                                     | 0                            | $P'_{nom}$       |
| Respuesta en el tiempo en lazo abierto                                | $10s^c$                                   | 0.5s                         | 60s              |

<sup>a</sup>  $P_{min}$  es el valor mínimo de salida de potencia activa en p.u del sistema de GD (es decir 1.0 p.u.).

<sup>b</sup>  $P'_{nom}$  es el valor máximo de potencia activa que puede absorber el sistema de GD. Un SAE operando en el semiplano negativo de potencia real, a través de carga, debe seguir esta curva mientras la energía almacenada le permita continuar dicha operación.

<sup>c</sup> Cualquier configuración para respuesta en el tiempo en lazo abierto menor a 3 s deberá ser aprobada por el operador del sistema de potencia en el área con la debida consideración del comportamiento oscilatorio del sistema.

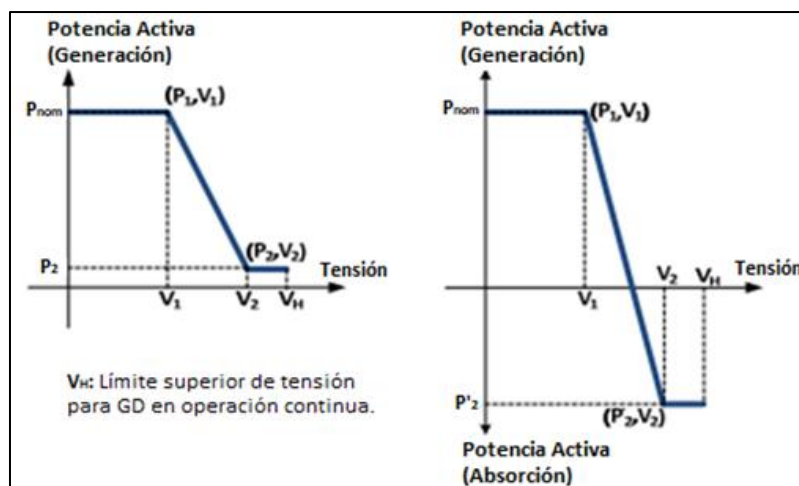


Figura 61: Ejemplo de características de potencia activa – tensión [65].

## Calidad de la energía

### Limitaciones de inyección DC.

El sistema de GD no inyectará corriente continua superior al 0,5 % de la corriente de salida nominal completa en el punto de referencia de aplicabilidad (RPA).

### Cambios rápidos de voltaje (RVC)

Cuando el PCC (punto común de conexión), esté en media tensión, en la fuente de generación distribuida no causará cambios de escalón o rampa en la tensión RMS en el PCC que superen el 3 % del nominal y excedan el 3 % por segundo promediado durante un período de un segundo.

Cuando el PCC esté a baja tensión, en la fuente de generación distribuida no causará cambios de escalón o rampa en la tensión RMS superiores al 5 % de la tensión nominal y superiores al 5 % por segundo promediado durante un período de un segundo.

## Flicker

Tabla 18: Límites mínimos de emisión de flicker en fuentes de energía distribuida [65].

| Epst | Eplt |
|------|------|
| 0.35 | 0.25 |

\*El 95% de los valores no debe exceder los límites basados en un periodo de emisión de una semana.

-Epst: límite de gravedad de emisión de flicker a corto plazo. Si no se especifica de manera diferente, el tiempo de evaluación es de 600s.

-Eplt: límite de gravedad de emisión de flicker a largo plazo. Si no se especifica de manera diferente, el tiempo de evaluación es de 2h.

## Armónicos

Tabla 19: Distorsión máxima de corriente armónica impar en porcentaje de corriente nominal [65].

| Orden de armónico impar individual h | h<11 | 11≤h<17 | 17≤h<23 | 23≤h<35 | 35≤h<50 | Total, de distorsión de la corriente nominal (TRD) |
|--------------------------------------|------|---------|---------|---------|---------|--|
| Porcentaje (%)                       | 4.0  | 2.0     | 1.5     | 0.6     | 0.3     | 5.0  |

Tabla 20: Distorsión máxima par de corriente armónica uniforme en porcentaje de corriente nominal [65].

| Orden de armónico par individual h | h=2 | h=4 | h=6 | 8≤h<50  |
|------------------------------------|-----|-----|-----|---|
| Porcentaje (%)                     | 1.0 | 2.0 | 3.0 | Rango asociado al especificado en tabla anterior. |

## Protección anti-isla

**General:** Para una isla no intencional en la que la fuente de generación distribuida energiza una porción del área eléctrica local a través del PCC, se detectará la isla, dejará de energizar el área eléctrica local y se tropezará dentro de los 2s posteriores a la formación de una isla [65].

**Anexo 5. Requisitos de diseño para sistemas de aire acondicionado, ventilación y calefacción (HVAC) de acuerdo a los criterios establecidos por el estándar IEEE 1635 [76].**

Para un rendimiento óptimo de la batería, un sistema de aire acondicionado, ventilación y calefacción (HVAC) correctamente diseñado debe mantener un entorno térmico aceptable y ser capaz de gestionar gases potencialmente peligrosos, que a veces se liberan de las baterías.

Las siguientes son consideraciones para prevenir o mitigar las consecuencias térmicas:

- a) **Espaciado entre unidades:** Mantenga un espaciado mínimo entre las unidades/celdas de la batería de al menos 1 cm (0.4 pulg.) o de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.
- b) **Soluciones mecánicas:** No dirija el flujo de aire de calefacción o refrigeración directamente sobre la batería para controlar los gradientes de temperatura.
- c) **Bloqueo del flujo de aire:** Compruebe el flujo libre de aire. En una instalación sísmica, los soportes o el acolchado sísmico instalado entre las celdas de la batería están diseñados para interferir lo menos posible con el flujo de aire, pero a veces pueden restringir el flujo de aire necesario para eliminar el calor si no están instalados correctamente.
- d) **Gradientes de temperatura:** Controla el patrón de flujo de aire en la habitación para limitar el gradiente de temperatura en las temperaturas del electrolito de la batería.
- e) **Fuentes de temperatura externas:** No colocar baterías sobre o de forma adyacente a fuentes generadoras de calor. Cuando comparta gabinetes con equipos electrónicos, coloque las baterías debajo de la electrónica. Proteja el compartimiento de la batería de fuentes de calor radiadas (como el sol, las tuberías de alta temperatura, etc.).

## **Sistemas de calefacción y refrigeración**

Las baterías generan calor tanto durante la carga como durante la descarga. Proporcionar una refrigeración adecuada es importante para mantener una temperatura aceptable del electrolito de la batería. Los requisitos de refrigeración para diferentes instalaciones de baterías son los siguientes:

- a) **Sala integrada de baterías y equipos eléctricos.** Si las baterías comparten el mismo espacio con el cargador de baterías, el calor liberado de las baterías será pequeño en comparación con el del cargador de baterías. Durante el funcionamiento normal, la liberación de calor pico de las baterías se produce durante el modo de descarga, pero durante este modo el cargador se desenergiza y, por lo tanto, no produce calor. Para estos espacios, la generación de calor por las baterías generalmente puede ser ignorada si se considera la generación de calor del cargador de batería.
- b) **Sala de baterías dedicada o recintos de baterías al aire libre.** Cuando las baterías están aisladas en una habitación o recinto separado, es importante proporcionar una refrigeración adecuada. La degradación por calor ocurre durante un largo período de tiempo (normalmente meses o años basados en la temperatura de funcionamiento real). Aunque la máxima generación de calor ocurre en ciclos de descarga, es típicamente de duración corta y el enfriamiento mecánico usualmente no se encuentra disponible durante estos eventos. Temperaturas elevadas que puedan ocurrir durante una descarga no representan un problema. La refrigeración debe ser restablecida cuando comience un ciclo de carga.

## **Sistemas activos de calefacción y refrigeración**

Las salas de baterías y los gabinetes pueden estar provistos de sistemas activos de refrigeración y calefacción. Los sistemas activos incluyen una amplia gama de tipos de equipos de sistemas de aire acondicionado, incluidas las unidades con bobinas de refrigeración y calefacción. La bobina de enfriamiento puede ser del tipo de expansión directa (refrigerante) o una servida por un sistema de agua fría. La bobina de calentamiento puede ser de tipo expansión

directa por fuentes tales como un sistema de agua caliente o vapor o una bobina de calentamiento eléctrico de baja densidad de potencia (preferiblemente alrededor de  $9 \text{ W/in}^2$ ).

**Refrigeración pasiva:** Los sistemas de refrigeración pasiva se recomiendan para recintos ubicados al aire libre y en lugares remotos donde el mantenimiento rutinario de sistemas accionados mecánicamente se considera poco práctico.

Tres métodos primarios para la refrigeración pasiva son (1) la circulación de aire natural, (2) la transferencia de calor radiante y (3) el viento. Los sistemas de refrigeración natural emplean flotabilidad térmica para inducir el movimiento del aire a través del gabinete. Los sistemas de refrigeración radiante utilizan bucles cerrados con circulación natural de su refrigerante o conducción directa de calor fuera de la carcasa. Los sistemas eólicos se basan en la prevalencia de vientos naturales para conducir aire exterior a través de los gabinetes.

**Refrigeración radiante:** Radiación térmica es la transferencia de energía en forma de calor en el espectro electromagnético a través del espacio. Ocurre cuando existe una diferencia de temperatura entre dos superficies. El método de enfriamiento radiante es un método ineficiente de refrigeración utilizado sólo para enfriar las baterías y no el ambiente.

El medio conductor puede ser en forma de un material fluido o conductor. Se puede utilizar un panel con líquido o refrigerado por aire adyacente a los componentes del sistema de baterías para transferir el calor de las baterías. La eliminación del calor del espacio podría ser por circulación natural del medio de enfriamiento a un disipador de calor. Además, la refrigeración mecánica podría emplearse mediante el uso de un sistema de agua fría.

### **Diseño del sistema HVAC para ventilación**

El objetivo primario de la ventilación en baterías es el de diluir el gas hidrogeno que las baterías liberan durante su operación normal, El hidrógeno se dispersa de manera rápida en una habitación, pero para acelerar dicho proceso es necesario el uso de sistemas de ventilación o un flujo natural de aire.

## Ventilación natural

El flujo de aire en un sistema de ventilación natural se basa en (1) flujo inducido térmicamente o boyante basado en gradientes de temperatura dentro de la carcasa o (2) ventilación inducida por el viento. Los sistemas de ventilación de la batería que se basan únicamente en la energía eólica natural no se recomiendan debido a la naturaleza inconsistente del viento para estar presente.

En los sistemas de ventilación inducidos térmicamente es esencial que una fuente de calor esté presente en la habitación. Cuando las baterías comparten un recinto común con el equipo que sirven, es la liberación de calor del equipo la que proporciona la fuerza motriz para el movimiento del aire.

El diseño del sistema de ventilación natural requiere una abertura de entrada de aire baja y una abertura de escape alto para permitir que el aire frío entre en la parte inferior de un gabinete y que el aire caliente salga cerca de la parte superior del gabinete. La generación de calor dentro del recinto se atribuye a la generación de las fuerzas boyantes para inducir el flujo de aire dentro del recinto. El flujo de aire inducido ayuda en la eliminación de hidrógeno que podría generarse si alguna batería se encuentra en el gabinete. Para mantener el recinto libre de plagas, rejillas contra insectos generalmente se instalan en las aberturas.

Dimensionamiento de aberturas de escape altas y bajas, ecuación (3):

$$Q = \frac{q}{((t_i - t_o) * Cp * \rho_s * 60)}$$

### Donde:

Q es la velocidad del flujo de aire inducido en m<sup>3</sup>/min

q es el calor generado en los gabinetes en W

t<sub>i</sub> es la temperatura de entrada (°C)

t<sub>o</sub> es la temperatura de salida (°C)

ρ<sub>s</sub> es la densidad del aire en kg/m<sup>3</sup>



$C_p$  es el calor específico del aire, aproximadamente 1000 J/ kg\*°C

El tamaño de apertura de aire se puede obtener de la ecuación (4):

$$A = \frac{Q}{60 * C_d * \sqrt{2 * g * h_{NPL} * (T_i - T_o)/T_i}}$$

**Donde:**

A es el área en m<sup>2</sup>

Q es la velocidad de flujo de aire inducido en m<sup>3</sup>/min

g es la aceleración de la gravedad m/s<sup>2</sup>

$h_{NPL}$  es asumida como 0.5 veces la distancia vertical entre las aberturas de entrada y salida en m

$T_i$  es la temperatura de entrada absoluta en K

$T_o$  es la temperatura de salida absoluta en K

$C_d$  es el coeficiente de descarga que varía entre 0.42 para una abertura y 0.65 para múltiples aberturas de entrada.

### **Sistema de ventilación activa o forzada**

Los sistemas de ventilación forzada utilizan ventiladores para mover mecánicamente el aire dentro o fuera de la sala de baterías o el gabinete. Los sistemas de ventilación forzada utilizan ventiladores para mover mecánicamente el aire hacia adentro o hacia afuera de la sala de baterías o del recinto.

El sistema de ventilación forzada generalmente emplea un ventilador de suministro o de extracción o una combinación de los dos a lo largo con conductos de distribución según sea necesario. El ventilador de alimentación se puede utilizar para llevar aire acondicionado o templado a la sala de baterías o al gabinete.

El ventilador de extracción elimina el aire de la habitación o del armario hacia el exterior para mantener un nivel aceptable de concentración de hidrógeno.

Una sala de baterías a menudo se mantiene a una presión ligeramente negativa en relación con los espacios circundantes con el fin de minimizar la infiltración de aire desde el área de la batería a las áreas adyacentes. La ligera presión negativa en la habitación extraerá aire del entorno, y esto junto con cualquier aire de suministro a la habitación proporcionará dilución de contaminantes dentro de la habitación.

## **Anexo 6. Calificación técnica para personal de instalación y mantenimiento de sistemas SAEB establecidos por la IEEE-1657-2018 [77].**

### **Niveles de habilidad del técnico**

#### **Obrero**

En algunos casos, los trabajadores son llamados para ayudar con el trabajo de la batería. Deben tener al menos un entrenamiento rudimentario de seguridad de la batería antes de comenzar a trabajar en o cerca de las baterías. Los trabajadores siempre requieren la supervisión de un técnico de Nivel 2 o superior.

#### **Nivel 1**

Los técnicos de baterías de nivel 1 deben conocer la seguridad básica y las habilidades básicas adicionales. Necesitan ser personas entrenadas en todos los artículos de trabajo. Los técnicos de nivel 1 a menudo requieren supervisión de nivel superior para tareas específicas.

#### **Nivel 2**

Los técnicos de baterías de nivel 2 deben conocer los conceptos básicos de la batería, incluidos los conceptos básicos de mantenimiento e instalación. Los técnicos de nivel 2 deben tener capacitación en el trabajo (OJT) como Nivel 1 (generalmente al menos seis meses) o experiencia previa (verificado por observación por un técnico de Nivel 3 o un instructor calificado) antes de convertirse en un Nivel 2. Los técnicos de nivel 2 a veces requieren supervisión de nivel superior para tareas específicas

#### **Nivel 3**

Los técnicos de baterías de nivel 3 deben poder realizar el trabajo de forma independiente, excepto en áreas que requieren conocimientos especializados. Los técnicos de Nivel 3 generalmente deben tener al menos un año de OJT (capacitación en el trabajo) como Nivel 2 o experiencia equivalente previa (verificada por observación por un técnico experimentado de Nivel 3 o instructor calificado) antes de convertirse en un Nivel 3.

## **Capacitación de personal**

La capacitación descrita por la práctica recomendada es integral, y pocos instructores tendrán una buena comprensión de todo el tema o las calificaciones necesarias para ciertas materias. Es probable que haya varios escritores e instructores de cursos. Al menos algunos de los módulos (por ejemplo, reanimación cardiopulmonar [RCP], desfibrilación, termografía infrarroja [IR]) deben subcontratar a expertos en la materia. organizaciones calificadas. Los instructores deben tener habilidades de enseñanza apropiadas. Se prefieren los desarrolladores de cursos e instructores con experiencia de campo.

## **Acreditación**

Es recomendable que el proveedor de capacitación esté acreditado por una organización externa a través de organizaciones como la IEEE u organizaciones reconocidas que estén acreditadas de manera similar. Un proceso de acreditación valida el logro del aprendizaje y el programa objetivos y asegura que un programa cumple con ciertos estándares.

## Anexo 7. Situaciones de derrame de electrolitos en actividades de instalación y retiro de baterías estacionarias acorde con IEEE-1578-2007 [74].

La Tabla 21 Proporciona actividades comunes de instalación/retiro de baterías que pueden provocar un derrame, la tabla también proporciona la probabilidad de un derrame y su gravedad.

Tabla 21: Actividades comunes de instalación y retiro de baterías que pueden resultar en un derrame [74].

| Actividad   | Probabilidad de derrame | Mecanismo de derrame   | Gravedad del derrame | Equipo de mitigación   |
|---|-------------------------|--|----------------------|--|
| Desbordamientos durante las adiciones de agua               | Moderado                | Error humano   | Bajo                 | Kits de limpieza de electrolitos.<br>Sistema de control permanente de derrame instalado.   |
| Celda o pale caído  | Bajo a moderado         | Rotura de las celdas   | Alto                 | cajas de envío diseñadas para contener liberaciones de electrolitos.<br>Kits de limpieza de electrolitos.  |
| Pinchazos   | Moderado                | Agrietamiento de la celda<br>Rotura de la celda  | Bajo<br>Alto         | Kit de limpieza de electrolitos.<br>Sistema de control permanente de derrame instalado. (sólo si el evento se produce con la celda dentro del límite de la sistema de control de derrames).<br>Barreras temporales alrededor actividades de instalación y desecho. |
| Desbordamientos durante la etapa de refrescamiento de carga | Bajo                    | Fuga fuera del respiradero del apagallamas   | Bajo                 | Kits de limpieza de electrolitos.<br>Sistema de control permanente de derrame instalado.   |
| Lubricante inadecuado para rieles de rack                   | Moderado                | Deterioro del contenedor   | Alto                 | Sistemas de contención;<br>Kits de limpieza de electrolitos.   |
| Volcado   | Bajo                    | fugas más allá del enchufe de envío<br>Agrietamiento de la celda<br>Rotura de la celda | Bajo<br>Alto<br>Alto | Kit de limpieza de electrolitos<br>Barreras temporales alrededor actividades de instalación  |

## **Anexo 8. Uso, operación y mantenimiento de sensores de hidrógeno.**

### **Consideraciones [78].**

- Los sensores de hidrógeno son una medida auxiliar de protección, en ninguna forma constituyen un sustituto de medidas de seguridad cuando se tiene presencia de gas hidrógeno.
- Para áreas extensas o de alta sensibilidad se deben instalar varios sensores.
- Los sensores de hidrógeno no proveen protección ante incendios o explosiones por acumulación de hidrógeno. Están diseñados para proveer sistemas de alarma audibles, desconexión del sistema y ventilación.
- Se debe asegurar que la instalación cumpla con todas las regulaciones de seguridad relevantes a nivel local, estatal o federal.
- Si un sensor entra en modo de alarma o advertencia existe riesgo de combustión o explosión. Para evitar accidentes el personal debe abandonar las instalaciones inmediatamente.
- Los sensores están calibrados para operación en el aire. Manipular el modo de operación de sensores en ambientes expuestos a otros tipos de gases puede llevar a lecturas imprecisas, falsas alarmas o daño permanente.
- Se debe tener en cuenta la lista de gases y compuestos que pueden dañar o alterar el desempeño de los sensores.

### **Funcionamiento**

- Los sensores de hidrógeno consisten en un elemento eléctrico cuya conductividad se incrementa cuando el hidrógeno es detectado en su superficie. La conductividad del elemento es proporcional a la concentración del gas, que es monitoreado de forma continua por circuitos electrónicos con alarmas.

- Los sensores solo monitorean gas hidrógeno ( $H_2$ ) y no notifican la presencia de ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ) el cual posee un hedor característico a huevos podridos inclusive en concentraciones bajas.
- Si se alcanzan concentraciones del 1% de hidrogeno una alarma LED de color amarillo se activará, adicionalmente existen sensores con un relé interno que puede utilizarse para energizar de forma remota ventiladores de extracción.
- Si se alcanza una concentración del 2% el LED cambiará a color rojo y se activará una alarma audible.

### **Instalación**

- El hidrógeno es un gas incoloro e inodoro, el más ligero de todos los gases y por lo tanto se eleva con facilidad. Los sensores deben instalarse en la parte más elevada y libre de corrientes de aire en una habitación, gabinete o compartimiento de baterías donde el gas de hidrógeno tiende a acumularse.
- El sensor detecta la concentración del hidrógeno en el aire que lo rodea. El área que el sensor monitorea depende de las propiedades de la habitación por lo que se debe considerar la instalación de múltiples sensores.
- La unidad de control puede ser instalada donde el usuario considere conveniente siempre y cuando la longitud del cableado permita la conexión con los sensores.

### **Falsas alarmas**

Aunque los sensores se calibran para la detección de hidrógeno cualquier gas combustible que entra en contacto con un sensor tiene el potencial de activar el sistema de alarma. Contacto de forma individual o combinada con los siguientes gases puede disparar las alarmas o contaminar el sensor:

- Acetona
- Acetileno
- Amoniac
- Benceno
- Butano
- Acetato de n-butilo
- Dióxido de carbono
- Monóxido de carbono
- Etano
- Etanol
- Acetato de etilo
- Éter etílico
- Oxido de etilo
- Gasolina
- Heptano
- Hexano
- Hidrogeno
- Cianuro de hidrogeno
- Sulfuro de hidrogeno
- Alcohol isopropílico
- Metano
- Metanol
- Metiletilcetona
- Oxido nítrico
- Dióxido de nitrógeno
- Propano
- Oxido de propileno
- Estireno
- Dióxido de azufre
- Tolueno
- Trementina
- Acetato de vinilo
- Xileno

## Mantenimiento

Para realizar el mantenimiento se debe:

- Realizar pruebas de funcionamiento una vez al mes, los sensores deben contar con un botón de “Test”, adicionalmente se puede utilizar latas con hidrógeno (*canister*) en concentraciones del 1% y 2%.
- Aspirar la cubierta del sistema de alarmas una vez al mes para remover el polvo acumulado.
- Nunca utilizar detergentes o solventes para limpiar el sensor. Los químicos pueden dañar o contaminar temporalmente un sensor.
- No utilizar aire comprimido.
- Nunca pintar el sensor.
- Solo debe remover la cubierta y revisar las conexiones con personal técnico calificado.
- Los sensores de hidrógeno presentan una vida útil de 3 años al cabo de los cuales deben ser sustituidos.



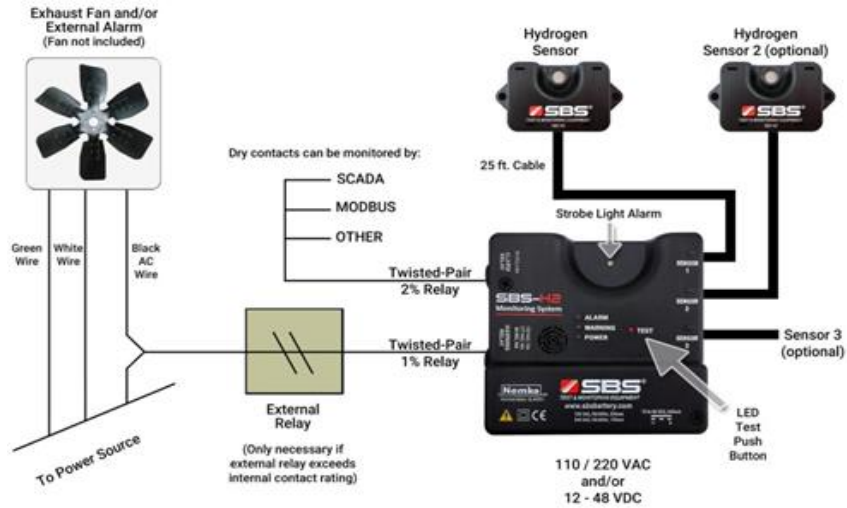


Figura 62: Esquema de conexión en sensores de hidrogeno SBS-H2.

Tabla 22: Operación del sistema de alarma en sensores SBS-H2.

| Condición                             | Indicadores de la unidad de control |             |        | Indicador individual de sensor          | Cierre de relé                        | Alarma audible   | Luz estroboscópica |
|---------------------------------------|-------------------------------------|-------------|--------|---|---------------------------------------|------------------|--------------------|
|                                       | Encendido                           | Advertencia | Alarma |   |                                       |                  |                    |
| Operación normal                      |                                     |             |        | <br>Sensor instalado                    | No                                    | No               | No                 |
| 1% H <sub>2</sub>                     |                                     |             |        | <br>Verde parpadeante                   | Advertencia, relé energizado          | No               | No                 |
| 2% H <sub>2</sub>                     |                                     |             |        | <br>Igual parpadeo a luz estroboscópica | Advertencia y alarma, relé energizado | <b>Encendido</b> | <b>Encendido</b>   |
| Falla del sensor/cable                |                                     |             |        |   | No                                    | No               | No                 |
| Perdida de comunicación con el sensor |                                     |             |        | <br>Conectado, pero no ilumina          | No                                    | No               | No                 |

### XIII. BIBLIOGRAFÍA

- [1] “How Batteries Work”: <https://electronics.howstuffworks.com/everyday-tech/battery1.htm>.
- [2] “¿Cómo funciona una pila voltaica? ¿Cuáles son las reacciones redox que tienen lugar dentro de él?”: <https://www.quora.com/How-does-a-voltaic-pile-work-What-are-the-redox-reactions-that-take-place-within-it>.
- [3] “John Frederic Daniell “: <https://www.britannica.com/biography/John-Frederic-Daniell>.
- [4] “History and Timeline of the Battery”: <https://www.thoughtco.com/battery-timeline-1991340>.
- [5] “Revista electrónica”: [https://issuu.com/antoniogonzalez72/docs/revista\\_electronica\\_de\\_daganzo\\_19/6](https://issuu.com/antoniogonzalez72/docs/revista_electronica_de_daganzo_19/6)
- [6] “Como cargar baterías solares” <https://deltavolt.pe/energia-renovable/baterias/mantener-baterias>.
- [6] “Auto solar: Efecto De La Temperatura En Las Baterías”: <https://autosolar.es/blog/energia-solar-fotovoltaica/efecto-de-la-temperatura-en-las-baterias>.
- [7] “Battery Charging and Discharging Parameters”: <https://www.pveducation.org/pvcdrom/battery-characteristics/battery-charging-and-discharging-parameters>
- [8] “The memory effect of rechargeable batteries”: <https://www.science.org.au/curious/technology-future/memory-effect-rechargeable-batteries>
- [9] “Vida útil de la batería”: [http://seslab.org/fotovoltaico/2447\\_vida\\_util\\_de\\_la\\_batera.html](http://seslab.org/fotovoltaico/2447_vida_util_de_la_batera.html).
- [10] “Método de Carga”: <https://www.csb-battery.com.tw/upfiles/gen01478079036.pdf>
- [11] “Auto solar: Efecto De La Temperatura En Las Baterías”: <https://autosolar.es/blog/energia-solar-fotovoltaica/efecto-de-la-temperatura-en-las-baterias>
- [12] “Causes-and-effects-of-battery-cell-temperature-on-safety-and-performance”: [https://www.researchgate.net/figure/Causes-and-effects-of-battery-cell-temperature-on-safety-and-performance\\_fig1\\_327686932](https://www.researchgate.net/figure/Causes-and-effects-of-battery-cell-temperature-on-safety-and-performance_fig1_327686932).
- [13] “pveducation: Battery Capacity”: <https://www.pveducation.org/pvcdrom/battery-characteristics/battery-capacity#>
- [14] “Que es una batería automotriz”: <https://www.slideshare.net/edisonsilva26/que-es-una-bateria-automotriz>.
- [15] “Tipos de batería de coche”: <https://www.gruposadeco.com/blog/tipos-bateria-coche/>.
- [16] “Stationary battery”: [https://www.engineersedge.com/battery/stationary\\_battery.htm](https://www.engineersedge.com/battery/stationary_battery.htm).
- [17] “Solar electric: Deep Cycle Batteries”: <https://www.solar-electric.com/learning-center/deep-cycle-battery-faq.html/>
- [18] IEEE/ASHRAE Guide for the Ventilation and Thermal Management of Batteries for Stationary Applications.
- [19] HANDBOOK ON BATTERY ENERGY STORAGE SYSTEM DECEMBER 2018 ASIAN DEVELOPMENT BANK.
- [20] “nickel-cadmium-battery”: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/nickel-cadmium-battery>.
- [21] “Educación Medioambiental pp165”: [https://books.google.com/sv/books?id=JDhoUfDmsvEC&pg=PA165&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com/sv/books?id=JDhoUfDmsvEC&pg=PA165&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)

[22] “Energías renovables: características, tipos y nuevos retos”: <https://www.factorenergia.com/es/blog/noticias/energias-renovables-caracteristicas-tipos-nuevos-retos/>

[23] “Solartik: ¿Que es un sistema solar ON GRID?”: <https://solartik.com.ar/que-es-un-sistema-solar-on-grid>

[24] “Energía fotovoltaica aislada”: <https://es.krannich-solar.com/es/autoconsumo/fotovoltaica-aislada.html>.

[25] “Sunpower: what is a power converter”: <https://www.sunpower-uk.com/glossary/what-is-a-power-converter/>

[26] Lucas Xavier, William Amorim, Allan Cupertino, Victor Mendes, Wallace do Boaventura y Heverton Pereira “Power converters for battery energy storage systems connected to medium voltage systems: a comprehensive review”: <https://bmccenergy.biomedcentral.com/articles/10.1186/s42500-019-0006-5>.

[27] “Controlador de carga”: <https://cumbrepuebloscop20.org/energias/solar/controlador-carga/>.

[28] “Autosolar: ¿Qué es un regulador MPPT?”: <https://autosolar.es/blog/aspectos-tecnicos/que-es-un-regulador-mppt>

[29] “Bancos de baterías”: <https://subestacionesdedistribucion.blogspot.com/2012/10/bancos-de-baterias.html>

[30] “Baterías en serie y paralelo”: <https://www.mpptsolar.com/es/baterias-serie-paralelo.html>

[31] Zetino, Jorge: Notas de clases sistemas fotovoltaicos “protección de baterías, 2019”

[32] “Li-ion tamer: Property Loss Prevention Data Sheets”: <Property-loss-prevention-data-sheet-5-33-ESS.pdf>

[33] “Consejo nacional de energía: plan indicativo de la expansión

De la generación eléctrica de El Salvador 2019-2028”: <http://estadisticas.cne.gob.sv/wp-content/uploads/2019/03/Plan-indicativo-de-la-generaci%C3%B3n-de-la-expansi%C3%B3n-2019-2028.pdf>

[34] “Webinar: Presente y futuro de las energías renovables en El Salvador”: <https://www.youtube.com/watch?v=2cqQ-HTNt5k>

[35] “Technology mix in storage installations excluding pumped hydro, 2011-2016”: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/technology-mix-in-storage-installations-excluding-pumped-hydro-2011-2016>

[36] R. A. Vicini Hernández, O. M. Micheloud Vernackt “Smart Grids: Un nuevo concepto en Sistemas Eléctricos de Potencia”: <http://b-dig.iie.org.mx/BibDig2/P11-0498/p676.pdf>

[37] “ngk insulators”: <https://www.ngk-insulators.com/en/resource/img/product/nas/nas-top-pic07.jpg>

[38] “Siemens: Fire protection for Li-ion battery energy storage systems”: <https://new.siemens.com/global/en/products/buildings/fire-safety/applications/li-ion-battery-storage-system.html>

[39] “How To Safely Store Lead-Acid Batteries”: <https://www.upsbatterycenter.com/blog/safely-store-lead-acid-batteries/>

[40] “Flow batteries to spur energy storage market”: <https://www.power-grid.com/2014/12/09/flow-batteries-to-spur-energy-storage-market/#gref>

[41] Jaime Menéndez Sánchez y Jorge Fernández Gómez, “La Red Eléctrica Inteligente como columna vertebral de la transición energética: nuevos agentes y servicios, elementos, inversiones y regulación”: <https://www.smartgridsinfo.es/comunicaciones/comunicacion-red-electrica-inteligente-columna-vertebral-transicion-energetica-nuevos-agentes-servicios-elementos-inversiones-regulacion/csg6-figura-2-esquema-simplificado-red-inteligente-tipo>

[42] “Guía básica de la generación distribuida”: [http://esenserviciosenergeticos.com/uploads/descargas/archivo/guia-basica-de-la-generacion-distribuida\\_fenercom.pdf](http://esenserviciosenergeticos.com/uploads/descargas/archivo/guia-basica-de-la-generacion-distribuida_fenercom.pdf)

[43] “What is a Microgrid?”: <https://www.generalmicrogrids.com/about-microgrids>

[44] “Strategic Environmental Research and Development Program (SERDP) y Environmental Security Technology Certification Program (ESTCP): Microgrids”: <https://www.serdp-estcp.org/Featured-Initiatives/Energy-Assurance-and-Resilience/Microgrids>

[45] “El almacenamiento de energía en la distribución eléctrica del futuro”: [http://www.raing.es/sites/default/files/ALMACENAMIENTO\\_ENERGIA%20FINAL%20B.pdf](http://www.raing.es/sites/default/files/ALMACENAMIENTO_ENERGIA%20FINAL%20B.pdf)

[46] baterias galileo curso edx.

[47] <https://www.semanticscholar.org/paper/Grid-connected-Lithium-ion-battery-energy-storage-Mehr-Masoum/339361b561aef21bb3f30d4b327dc853645ab3a6/figure/7>

[48] Tahoura Hosseini Mehr, M. A. Masoum, y Nasim Jabalameli “Grid-connected Lithium-ion battery energy storage system for load leveling and peak shaving”: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032116308516>

[49] “Wikimedia”: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Line-Interactive\\_UPS\\_Diagram.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Line-Interactive_UPS_Diagram.png)

[50] Gerard Reid y Javier Julve “Second Life-Batteries As Flexible Storage For Renewables Energies”: [https://www.bee-ev.de/fileadmin/Publikationen/Studien/201604\\_Second\\_Life-Batterien\\_als\\_flexible\\_Speicher.pdf](https://www.bee-ev.de/fileadmin/Publikationen/Studien/201604_Second_Life-Batterien_als_flexible_Speicher.pdf)

[51] “Renewables 2019 global status report”: [https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr\\_2019\\_full\\_report\\_en.pdf](https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2019_full_report_en.pdf)

[52]” Como calcular la capacidad de las baterías”: <https://solareo.es/como-calcular-la-capacidad-de-las-baterias/>.

[53]” Fotovoltaica aislada”:<https://es.krannich-solar.com/es/autoconsumo/fotovoltaica-aislada.html>.

[54]” Bancos de baterías”: <https://subestacionesdedistribucion.blogspot.com/2012/10/bancos-de-baterias.html>.

[55]” Baterías serie paralelo”: <https://www.mpptsolar.com/es/baterias-serie-paralelo.html>.

[56] “IEEE - The world's largest technical professional organization”: <https://www.ieee.org/>

[57] “CEN-CENELEC - CEN-CENELEC”: <https://www.cencenelec.eu>

[58] “TC 120”: [https://www.iec.ch/dyn/www/f?p=103:7:15533579237839:::FSP\\_ORG\\_ID,FSP\\_LANG\\_ID:9463,25](https://www.iec.ch/dyn/www/f?p=103:7:15533579237839:::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:9463,25).

[59] NFPA 885-2020 Estándar para la instalación de sistemas de almacenamiento de energía estacionarios.

[60] “About the International Code Council”: <https://www.iccsafe.org/about/who-we-are/>

[61] “UL Battery and Energy Storage Testing and Certification | UL”: <https://www.ul.com>

[62] “UL940A”: UL 9540A Test Method | UL.

[62] “Departamento de Energía de U.S, Oficina de Información Científica y Técnica”: <https://www.osti.gov>

[63] “DOE almacenamiento de energía”: <https://www.sandia.gov/ess-ssl/global-energy-storage-database-home/>.

[64] “Ministerio de minas y energía de Colombia, Resolución número 098 de 2019”: <https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/23517/22074-2284.pdf>

[65] “IEE-1547-2018-Estandar para la interconexión e interoperabilidad de las fuentes de generación distribuida asociadas con sistemas eléctricos de potencia”.

[66] “IEEE Std 2030.2.1™ -2019 Guía para diseño, operación y mantenimiento de sistemas de almacenamiento de energía con baterías, tanto estacionarios como móviles y aplicaciones integradas con sistemas de energía eléctrica”.

[67] International Fire Code-2018.

[68] “DNVGL-RP-0043 Seguridad, operación y desempeño de sistemas de almacenamiento de energía conectados a la red, diciembre 2015”.

[69] “Our History”: <https://www.dnvgl.com/about/in-brief/our-history.html>

[70] “Mission & History”: <https://www.necanet.org/about-us/overview/mission-history>

[71] NECA 416-2016 Práctica recomendada para instalación de sistemas de almacenamiento de energía.

[72] “IEEE 1375 - Guía para la protección de sistemas de baterías estacionarias”.

[73] “Código nacional de seguridad eléctrica (NESC) C2, 2017”.

[74] “IEEE 1578 - Práctica recomendada para la contención y gestión de derrames de electrolitos de baterías estacionarias”.

[75] “Superintendencia General de Electricidad y telecomunicaciones (SIGET)”: <https://www.siget.gob.sv>.

[76] “IEEE 1635 Guía para la Ventilación y Gestión Térmica de Baterías para Aplicaciones estacionarias”.

[77] “Práctica recomendada por IEEE para cualificaciones del personal para la instalación y mantenimiento de baterías estacionarias”.

[78] “Uso, operación y mantenimiento de sensores de hidrogeno”: <https://www.sbsbattery.com/PDFs/SBS-H2-Instruction-Manual.pdf>.

[79] “Almacenamiento, uso de las tecnologías” GIA – Grupo Interplataformas de Almacenamiento.

[80] “Battery cell comparison – EPEC Engineered Technologies”:  
<https://www.epectec.com/batteries/cell-comparison.html>

[81] Jason Svarc “What is a hybrid inverter”: <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/what-is-a-hybrid-inverter>