

**ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA  
JULIO GARAVITO**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRICA**



**MERCADO DEL ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA EN EL MUNDO**

**TRABAJO DIRIGIDO CON OPCIÓN A GRADO**

**PRESENTADO POR :  
ARED GIOVANNI LÓPEZ SIERRA**

**DIRECTOR:  
AGUSTÍN RAFAEL MARULANDA GUERRA**

**BOGOTÁ, DICIEMBRE DE 2020**

## RESUMEN

**TITULO:** MERCADO DEL ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA EN EL MUNDO.\*

**AUTOR:** ARED GIOVANNI LÓPEZ SIERRA.\*\*

**PALABRAS CLAVE:** ENERGÍA ELÉCTRICA, ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA, SISTEMA ELÉCTRICO, MERCADO DE ENERGÍA, SMART GRID.

**DESCRIPCIÓN:** En el siguiente documento se realizará un estudio de los mercados de almacenamiento de energía en el mundo, con el fin de indagar en cómo es el mercado, producción, procesos, costos y beneficios del almacenamiento de la energía eléctrica y su importancia en el sistema eléctrico. Se comienza estudiando los principales sistemas de almacenamiento de energía, donde se comparan los principales métodos de almacenamiento de energía, profundizando en las baterías de almacenamiento químico, después se hará un estudio de como el almacenamiento de energía en baterías contribuye al sistema eléctrico, se finalizara con el análisis de como este funciona el mercado de baterías y sistemas de almacenamiento para los diferentes tipos de sistemas para el suministro de la energía eléctrica. Este documento es elaborado por el estudiante Ared Giovanni López Sierra, de la facultad de ingeniería Eléctrica de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, cumplimiento con el reglamento de trabajos dirigidos. Este trabajo es supervisado por el Profesor, Agustín Marulanda, con tutor y mentor durante el proceso de elaboración del documento.

---

\* Trabajo Dirigido con Opción de Grado.

\*\* Programa de Ingeniería Eléctrica. Correo: ared.lopez@mail.escuelaing.edu.co.  
Director: Agustín Rafael Marulanda Guerra.

## ABSTRACT

**TITLE:** ENERGY STORAGE MARKET IN THE WORLD.\*

**AUTHOR:** ARED GIOVANNI LÓPEZ SIERRA.\*\*

**KEYWORDS:** ELECTRICAL ENERGY, ENERGY STORAGE, ELECTRICAL SYSTEM, ENERGY MARKET, SMART GRID.

**DESCRIPTION:** In the following document, a study of the energy storage markets in the world will be carried out, in order to investigate what the market, production, processes, costs and benefits of electric energy storage is like and its importance in the electrical system . It begins by studying the main energy storage systems, where the main energy storage methods are compared, delving into chemical storage batteries, then a study will be made of how energy storage in batteries contributes to the electrical system, it will be completed with the analysis of how the market for batteries and storage systems works for the different types of systems for supplying electrical energy. This document is prepared by the student Ared Giovanni López Sierra, from the Electrical Engineering Faculty of the Julio Garavito Colombian School of Engineering, in compliance with the directed work regulations. This work is supervised by the Professor, Agustín Marulanda, with a tutor and mentor during the process of preparing the document.

---

\* Directed Work with Degree Option.

\*\* Electrical Engineering Program. Email: [ared.lopez@mail.escuelaing.edu.co](mailto:ared.lopez@mail.escuelaing.edu.co).  
Director: Agustín Rafael Marulanda Guerra.

## **AGRADECIMIENTO**

Aprovecho la oportunidad de agradecerle a las personas que han sido un apoyo fundamental para la culminación de mi carrera, doy gracias infinitas a mi señora madre quien con su ayuda, esfuerzo y colaboración lograron lo dejarme caer en todo este largo proceso en la vida, así mismo a mi padre que con sus consejos, lograron animarme en los peores momentos, de igual forma a mi abuelita Fanny que con su cuidado, ayuda y atención lograron hacer de esta etapa algo especial. En general agradezco a mi demás familia y amigos que me han apoyado y han estado conmigo en las buenas y en las malas, por ultimo agradezco a la universidad por su disciplina y excelencia en su educación, ya que esto nos ha ayudado como estudiantes a destacar en el área profesional.

## INDICE DE CONTENIDO

RESUMEN .....	ii
ABSTRACT .....	iii
INDICE DE CONTENIDO .....	v
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABLAS .....	x
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I. EL PROBLEMA .....	2
1.1 Planteamiento del Problema .....	2
1.2 Objetivos.....	3
1.2.1 Objetivo General.....	3
1.2.2 Objetivos Específicos .....	3
1.3 Justificación de la Investigación .....	4
1.4 Alcance .....	4
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 Conceptos de Energía.....	5
2.2 Conceptos de almacenamiento de Energía .....	6
2.3 Clasificación de los sistemas de almacenamiento de energía ...	6
2.3.1 Energía Cinética.....	7
2.3.1.1 Almacenamiento mecánico .....	8
2.3.1.2 Almacenamiento eléctrico.....	8
2.3.1.3 Almacenamiento sonoro .....	8
2.3.1.4 Almacenamiento térmico.....	8

2.3.2 Energía Potencial .....	9
2.3.2.1 Almacenamiento gravitacional .....	9
2.3.2.2 Almacenamiento químico .....	9
2.4 Almacenamiento de energía en baterías .....	10
2.4.1 Batería de Ión-Litio .....	11
2.4.2 Batería de Plomo-Ácido.....	14
2.4.3 Batería de Sodio-Sulfuro .....	16
2.4.4 Batería de Redox de Vanadio .....	18
2.4.5 Batería de Redox de Zinc-Bromo.....	20
2.5 Comparación entre las Baterías .....	23
2.6 Mercado de Baterías en Sistemas de Energía Renovables.....	24
2.6.1 Almacenadores Usados En Energías Renovables.....	26
2.6.1.1 Elementos 2v Serie PVSM.....	26
2.6.1.2 Elementos 2v Serie PVS .....	28
2.6.1.3 Monoblock Serie PVS .....	29
2.6.1.4 Elemento Serie PVV GEL .....	30
2.6.2 Proveedores .....	32
2.6.2.1 Trojan Battery Company .....	32
2.6.2.2 Varta .....	33
2.6.2.3 Optima Batteries .....	33
2.6.2.4 Solar Formula Star .....	34
2.6.2.5 Fulldriver Batteries .....	35
2.7.1 Control y operación de potencia .....	38
2.7.2 Pequeños Puntos de Generación .....	38
2.7.3 Smart Grid .....	39

2.8 Almacenamiento de Energía en Sistemas Eléctricos de Potencia .....	40
2.8.1 Aplicaciones .....	40
2.8.2 Reserva en Giro .....	42
2.9 Requerimientos del Sistema de Almacenamiento .....	45
CAPITULO III. MARCO METODOLÓGICO .....	48
CONCLUSIONES.....	50
BIBLIOGRAFÍA.....	51

## LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Tipos de Energía.....	7
<i>Figura 2.</i> Baterías de Ión-Litio. ....	12
<i>Figura 3.</i> Esquema de la batería de un vehículo eléctrico. ....	13
<i>Figura 4.</i> Batería de Plomo-Ácido. ....	14
<i>Figura 5.</i> Batería de Sodio-Sulfuro.....	16
<i>Figura 6.</i> Batería Redox de Vanadio.....	19
<i>Figura 7.</i> Batería de Redox Zinc-Bromo.....	21
<i>Figura 8.</i> Modelo del control de frecuencia.....	25
<i>Figura 9.</i> Gráfica del estatismo. ....	26
<i>Figura 10.</i> Elementos 2v Serie PVSM. ....	27
<i>Figura 11.</i> Vida útil por ciclos con respecto a su descarga máxima %. .....	27
<i>Figura 12.</i> Tabla de datos establecida por BAE (distribuidora de almacenadores). ....	28
<i>Figura 13.</i> Elementos 2v Serie PVS.....	28
<i>Figura 14.</i> Vida útil por ciclos con respecto a su descarga máxima %. .....	28
<i>Figura 15.</i> Tabla de datos establecida por BAE (distribuidora de almacenadores). ....	29
<i>Figura 16.</i> Monoblock Serie PVS.....	29
<i>Figura 17.</i> Vida útil por ciclos con respecto a su descarga máxima %. .....	30
<i>Figura 18.</i> Tabla de datos establecida por BAE (distribuidora de almacenadores). ....	30
<i>Figura 19.</i> Elemento Serie PVV GEL. ....	30
<i>Figura 20.</i> Vida útil por ciclos con respecto a su descarga máxima %. .....	31

<i>Figura 21.</i> Tabla de datos establecida por BAE (distribuidora de almacenadores).....	31
<i>Figura 22.</i> Catálogo de baterías de la Compañía Trojan.....	32
<i>Figura 23.</i> Catálogo de baterías Varta.....	33
<i>Figura 24.</i> Catálogo de Baterías Optima. ....	34
<i>Figura 25.</i> Número de Ciclos en Función de la Profundidad de Descarga. ....	35
<i>Figura 26.</i> Catálogo de Baterías Solar Formula Star.....	35
<i>Figura 27.</i> Catálogo de Baterías Fulldriver. ....	36
<i>Figura 28.</i> Red Eléctrica Tradicional. ....	37
<i>Figura 29.</i> Supervisión y control de una hidroeléctrica. ....	37
<i>Figura 30.</i> Operación del Sistema de Potencia.....	38
<i>Figura 31.</i> Diagrama de una red eléctrica del futuro. ....	39
<i>Figura 32.</i> Fuentes de Energía. ....	40
<i>Figura 33.</i> Aplicaciones de Almacenamiento de Energía.....	41
<i>Figura 34.</i> Reserva en giro cuando la frecuencia es 50 Hz sólo si Generación es igual a la demanda. ....	42
<i>Figura 35.</i> Disminución de frecuencia por pérdidas importantes de generación. ....	42
<i>Figura 36.</i> Proceso cuando la frecuencia se recupera reduciendo generación ERAG. ....	43
<i>Figura 37.</i> Ajustes del EDAC al 2016.....	43
<i>Figura 38.</i> Aumento de la frecuencia por pérdidas importantes de carga.....	44
<i>Figura 39.</i> Ajuste de frecuencia se hace reduciendo la generación. ..	44
<i>Figura 40.</i> El AE puede participar en la recuperación de la frecuencia aportando o absorbiendo potencia activa. ....	44
<i>Figura 41.</i> Requerimiento de Desempeño. ....	45
<i>Figura 42.</i> Stakeholders y servicios que prestan los almacenadores de energía eléctrica. ....	47

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Características de una batería de Ión Litio .....	13
<b>Tabla 2.</b> Características de una Batería Plomo-Ácido.....	15
<b>Tabla 3.</b> Características de una batería de Sodio-Sulfuro.....	17
<b>Tabla 4.</b> Características de una batería Redox de Vanadio .....	19
<b>Tabla 5.</b> Características de una batería de Zinc-Bromo .....	23
<b>Tabla 6.</b> Comparación de Baterías Químicas .....	24

## **INTRODUCCIÓN**

Unos de los grandes retos científicos y de ingeniería es la construcción de dispositivos que nos permitan almacenar grandes cantidades de energía en poco espacio, permitiéndonos tener aplicación de gran importancia para la sociedad y el desarrollo de la humanidad. Por lo que esto se ha convertido en una carrera entre diferentes países y empresas, generando comercio del almacenamiento de energía.

En este documento veremos desde los conceptos y principios físicos del almacenamiento de energía, sus distintos tipos de sistemas de almacenamiento, y después analizar el funcionamiento del mercado del almacenamiento de energía, y el futuro de este nuevo novedoso intercambio comercial. De igual forma se le dará un énfasis en el almacenamiento de energía en baterías, viendo sus diferentes características (tipos, clasificación, precios, costos, evolución, etc.). En el capítulo siguiente se mostrará los servicios del almacenamiento de energía en los sistemas eléctricos, mirando sus funciones y características.

## **CAPÍTULO I. EL PROBLEMA**

### **1.1 Planteamiento del Problema**

En el sistema eléctrico global existen factores fundamentales que, a través de su desarrollo tecnológico, han hecho de dicho sistema una parte vital de la economía. La estructura ingenieril del sistema de energía eléctrica juega un papel importante, puesto que, se encarga de ver la relación precio-beneficio y planeación de cada uno de los elementos a instalar que componen la generación, distribución, transmisión, etc. Teniendo en cuenta las normas vigentes para cada región. En todas las etapas se resalta el uso de baterías como elemento de control y operación. Para la transmisión son importantes porque sirven para el control de potencia y funcionan como fuente de energía cuando existen daños en la fuente principal.

No obstante, en los últimos años se ha optado por instalar otra forma de obtener energía eléctrica, mediante las energías renovables e implementándolas en Smart Grids, un ejemplo de Smart Grid es un automóvil eléctrico el cual se compone esencialmente por un motor y una batería, los principales inconvenientes se producen en la batería, por su corta autonomía y vida útil. La vida útil se acorta si existe sobrecalentamiento en la batería, para lo cual se diseñan elementos de protección para evitar que ciertos parámetros dañen la batería. A esto se le suma la poca competencia en la relación costo beneficio con respecto a los combustibles fósiles.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo General**

- Analizar el mercado de almacenamiento de energía para aprovechamiento en sistemas eléctricos y Smart Grid a nivel mundial.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Consultar sistemas de almacenamiento de energía y sus diferentes tipos enfocadas en baterías de almacenamiento químicas.
- Comparar los distintos tipos de baterías químicas más usadas en el mercado.
- Evaluar el uso de baterías químicas en el mercado en sistemas eléctricos y Smart Grid.
- Realizar un análisis en el mercado de almacenamiento de energía para su uso en sistemas eléctricos y Smart Grid.

### **1.3 Justificación de la Investigación**

Para poder entender el mercado de las baterías a nivel mundial y su aprovechamiento en sistemas eléctricos y en Smart Grids, existe una etapa preliminar, que consiste en tener claros conceptos de su funcionamiento, las aplicaciones que tiene, sus ventajas y desventajas según las características que ofrece el elemento almacenador de energía. Mediante esta investigación se busca que el intérprete sea capaz, mediante cuadros comparativos, de seleccionar la clase de baterías que se ajusten a las necesidades del sistema eléctrico teniendo en cuenta las cualidades ambientales del entorno y posición donde se debe colocar dicho banco de baterías. Además, tenga conocimientos sobre el mercado mundial de los almacenadores de energía, conociendo las fichas técnicas de importantes proveedores y sea capaz de hacer la mejor selección de baterías relacionando el costo-beneficio.

### **1.4 Alcance**

Este proyecto tiene como propósito mediante una investigación detallada de los diversos aspectos de las baterías a nivel mundial, informar al intérprete en la selección de los elementos almacenadores de energía que ayude al aprovechamiento en sistemas eléctricos y Smart Grids y se ajuste a sus necesidades.

## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Conceptos de Energía**

Existen diferentes formas de almacenar la energía, pues podemos ver que nuestro universo está compuesto por energía, la cual se puede capturar, procesar, transformar y almacenar en forma de energía eléctrica. En este documento prestaremos mayor atención al almacenamiento de energía en forma de corriente continua, pero de igual forma se explicarán brevemente los diferentes tipos de almacenamiento de energía.

Comenzaremos con el hecho del concepto de energía, siendo esta la capacidad que tiene un cuerpo de realizar un trabajo y producir cambios en ellos mismos, otro de los conceptos revolucionarios es el hecho de saber que la masa tiene energía, gracias a su núcleo, ya que mediante reacciones físicas genera energía, por lo que podemos darnos cuenta que la energía viene de muchas formas, de la misma manera en que podemos obtener energía de los fotones de luz, como vemos en la producción de energía con paneles solares, para resumir se puede decir que todo lo que tenga masa, tiene energía. Esto se puede confirmar gracias a la ecuación de Albert Einstein de ( $E=mc^2$ ) y el principio de la universal de la conservación de la energía.

Después de esta breve introducción a lo que podría ser la energía, se continúa con el hecho de poder almacenar la energía y utilizarla a nuestro antojo.

## **2.2 Conceptos de almacenamiento de Energía**

El poder almacenar la energía es un proceso complejo y costoso para la naturaleza, siendo fundamental el hecho de poder guardar la energía y utilizarla poco a poco, un ejemplo se puede dar en el sol, ya que este sería una forma de almacenamiento de energía, que tiene determinada cantidad de energía almacenada.

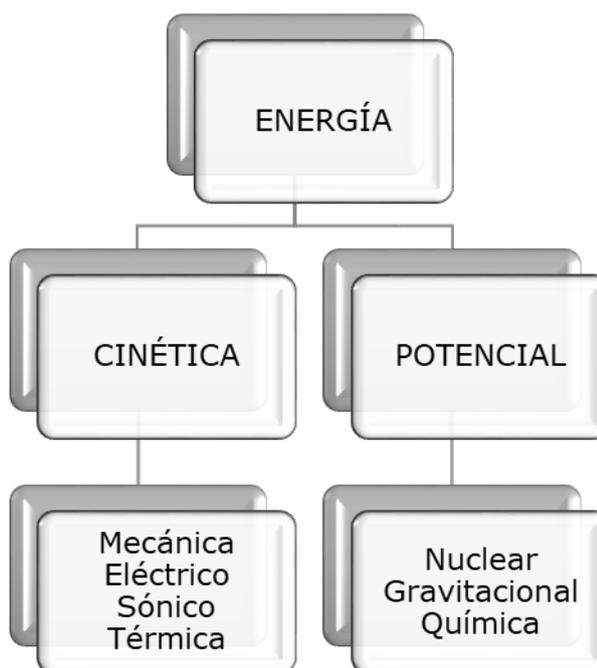
Actualmente contamos con sofisticados sistemas de almacenamiento de energía creados por nosotros de forma mecánica, eléctrica, química, biológica, nucleares y térmicas, estos sistemas se llevan mejorando y perfeccionando a lo largo de los años, haciendo de este proceso algo importante para el desarrollo de la ciencia y la mejora de la vida, permitiendo llevar a cabo posibles inventos y desarrollos tecnológicos los cuales solo son historia de ciencia ficción. El almacenamiento de energía se ha vuelto un factor importante en el desarrollo económico de un país, mejorando procesos y sistemas de tecnología de diferentes cosas que utilizamos a diario como los vehículos, aparatos electrónicos, etc.

Un sistema de almacenamiento de energía es todo aquel donde podamos guardar energía que pueda ser utilizada de forma arbitraria y controlada, de esta forma disponer de esta cuando se requiera.

## **2.3 Clasificación de los sistemas de almacenamiento de energía**

Estos son los diferentes tipos de almacenamiento, basándonos en dos grandes grupos de forma de energía (potencial y cinética), donde en la energía cinética tenemos (mecánica, eléctrica, sónica y térmica), en la parte potencial tenemos (nuclear, gravitacional y química).

En el siguiente diagrama en la *Figura 1* se mostrará de forma más clara esta clasificación.



*Figura 1.* Tipos de Energía.

Ahora después de tener claro el hecho de que existen dos tipos de energía y de estos se desprender los demás, se para una pequeña presentación de estos tipos de almacenamiento de energía.

### **2.3.1 Energía Cinética**

Este tipo de energía es la que posee un cuerpo a causa de su movimiento, siendo el trabajo que permite que un objeto pase de un estado de reposo a moverse, y a medida que el cuerpo adquiera más velocidad, aumentara su coeficiente de energía cinética, sucede lo mismo en el caso que quedamos aplicar una fuerza para detener ese objeto. Esta energía depende de la masa y la velocidad del cuerpo y su unidad de medida es el Julios ( $J$ ), y la masa en kilogramos ( $kg$ ) y su velocidad en metros por segundo ( $m/s$ ). Este tipo de energía se puede

almacenar de forma mecánica, eléctrica, sónica y térmica, como se mencionó en el diagrama anterior.

#### **2.3.1.1 Almacenamiento mecánico**

Hoy en día los sistemas de almacenamiento mecánico han ido mejorando, siendo una de las formas más eficientes y limpias para el almacenamiento de energía, ya que no afecta de forma considerable en medio ambiente, utilizándose en aplicaciones como hidroeléctricas de bombeo, almacenadores de aire comprimido y el volante de inercia, siendo estas de las formas más conocidas y usadas en la actualidad.

#### **2.3.1.2 Almacenamiento eléctrico**

El almacenamiento de energía eléctrica en un proceso rápido pero costoso, ya que se requiere más energía de la almacenada para lograr este proceso, una aplicación conocida es el uso de los condensadores y el poder almacenar energía en ellos, donde por medio de una diferencia de potencial entre dos placas y un dieléctrico, se puede almacenar determinada cantidad de energía.

#### **2.3.1.3 Almacenamiento sonoro**

Este tipo de almacenamiento no es de uso frecuente, solo se han desarrollado prototipos de láminas que pueden absorber el pulso de las ondas sonoras, permitiendo el uso y transformación de este tipo de energía.

#### **2.3.1.4 Almacenamiento térmico**

Esta forma de guardar de energía aprovecha el calor, esto se puede lograr subiendo o bajando la temperatura de la sustancia

almacenadora, acá podemos encontrar dos tipos de mecanismos los cuales son el calor latente, el cual es la energía necesaria para producir el cambio de estado de una sustancia, el otro mecanismo es el de calor sensible que representa la energía necesaria para producir un cambio en su temperatura. La cantidad de energía térmica está en función de: la masa, calor específico de la sustancia y la diferencia entre la temperatura inicial y final.

### **2.3.2 Energía Potencial**

Este tipo de energía está relacionado con la ubicación de un cuerpo dentro de un campo de fuerza o la existencia de un campo de fuerza en el interior del cuerpo. Su valor de cantidad de energía está construido por su posición y/o configuración, de igual forma su unidad de medida es el Julios ( $J$ ). El almacenamiento de este tipo de energía es de los más usados en la actualidad, viendo aplicaciones en las centrales más grandes de generación eléctrica y en el uso de dispositivos electrónicos como los celulares, ya que el almacenamiento de esta energía se ve en las pilas químicas usadas comúnmente.

#### **2.3.2.1 Almacenamiento gravitacional**

Esta forma de almacenar energía se puede apreciar con gran claridad en una central hidroeléctrica, donde se almacena energía de forma potencial, logrando que un chorro de agua sea impulsado por la gravedad y golpee las astas de un generador eléctrico, esta forma de almacenar energía es una de más usadas y que más genera energía eléctrica en el mundo, acá se puede tener un control eficiente del uso y transformación de la energía almacenada.

#### **2.3.2.2 Almacenamiento químico**

Este tipo de almacenamiento funciona mediante un proceso reversible llamado reducción-oxidación, el nombre se da ya que unos

de los componentes de oxida (pierdes electrones) y el otro reduce (gana electrones), estos componentes cambian su estado de oxidación.

## **2.4 Almacenamiento de energía en baterías**

Este tipo de almacenamiento de energía es del tipo químico, siendo uno de los usados actualmente en el mercado, estos procesos electroquímicos como de menciono anteriormente tienen la capacidad de regresar la energía almacenada casi en su totalidad y después poder repetir el proceso un número determinado de veces.

Este tipo de elemento tiene dos celdas que según como estén conectadas crean la capacidad de almacenamiento y nivel de tensión deseados, estas celdas están formadas por un par de electrodos (cátodo (+) y ánodo (-)), y un electrolito que es la sustancia (soluciones líquidas, polímeros conductores sólidos, gel) que contiene iones, que cumplen la función de conductor eléctrico. Este tipo de energía almacenada es liberada mediante reacciones electroquímicas.

Los componentes de reducción-oxidación pueden regresar a su estado original en las circunstancias en las que el cierre del circuito externo durante el proceso de descarga y la aplicación de una corriente externa durante el proceso de carga.

Como unidad de medida se utiliza el amperio-hora (*Ah*) para definir la capacidad de carga de la batería, donde el valor de intensidad de descarga está en (*A*) y su duración de descarga está en (*horas*).

Para calcular la capacidad de una batería se descarga la celda a un voltaje determinado hasta lograr un valor específico de tensión en bornes, denominada tensión de corte.

La vida útil de la batería se define según los ciclos de carga/descarga, estos tienen determinados ciclos según el compuesto químico, después de cumplir la cantidad de ciclos de carga/descarga, esta pierde calidad y va perdiendo la capacidad de carga.

Un suceso común en estas baterías es la "auto descarga", esto pasa cuando no se usa la batería, ya que la energía va disminuyendo conforme pasa el tiempo.

El efecto memoria consiste en la reducción de la capacidad de la batería con cargas incompletas, cuando se realiza la carga de una batería sin ser cargados del todo, esto generando una especie de cristales en el interior que va debilitando los electrodos y hace que la batería pierda capacidad de carga.

#### **2.4.1 Batería de Ión-Litio**

Este tipo de baterías están compuestas por un cátodo construido por óxido metálico de litio ( $Li_x$ ,  $CoO_2$ ,  $LiNiO_2$ ,  $LiMnO_4$ ) y por un ánodo construido por material de carbono ( $Li_xC_6$ ), donde el electrolito está formado por sustancias que contienen también litio tal y como  $LiPF_6$ ,  $LiAsF_6$  [1].

Durante el proceso de carga, los átomos de litio existentes en el cátodo se transforman en iones que son conducidos hasta el ánodo de carbono a través del electrolito, donde se combinan con los electrones externos hasta quedar depositados con átomo de litio en el interior de las capas del ánodo del carbono. Durante la descarga, el proceso que ocurre es inverso, en la siguiente figura se muestra el esquema del funcionamiento de este tipo de tecnología [1]. Ver *Figura 2*.

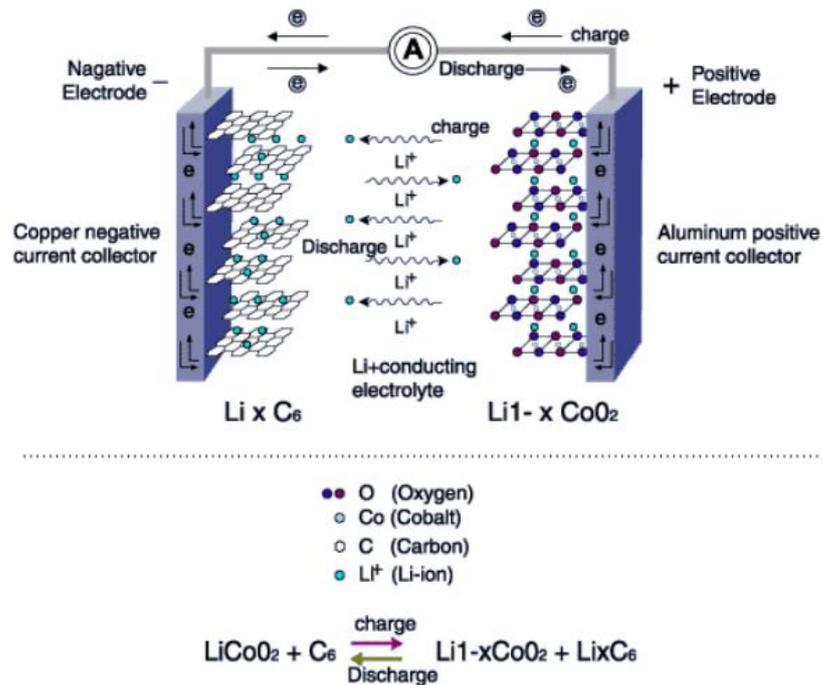


Figura 2. Baterías de Ión-Litio. Fuente [1]

De este tipo de baterías tenemos dos grandes fabricantes “*J&A Electronics*” (China) y “*Shenzhen Napel Power Tech*”, estas empresas tienen experiencia en el sector con la fabricación de batería de polímero de litio, baterías de  $\text{LiFePO}_4$  baterías VRLA y SLA (Plomo-Ácido), baterías de Plomo-Acido común y baterías GEL [1].

Dentro de algunas de sus aplicaciones más comunes su uso se ha popularizado en aparatos como teléfonos móviles, agendas electrónicas, ordenadores portátiles y lectores de música. Las baterías de Ión - Litio al ser baterías más compactas permiten manejar más carga, lo que hay que tener en cuenta para lograr automóviles eléctricos prácticos como lo muestra la *Figura 3* [2].

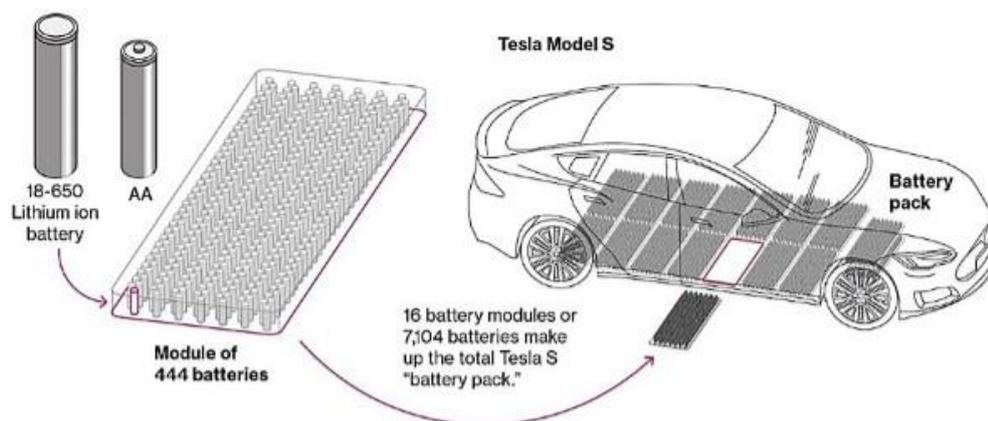


Figura 3. Esquema de la batería de un vehículo eléctrico. Fuente [2]

Como ya se ha indicado, una de las principales fuentes de crecimiento para este mercado son las baterías destinadas a los vehículos eléctricos. En esta aplicación, las celdas-pilas se agrupan entre sí con múltiples unidades para proporcionar la energía necesaria que permite el funcionamiento de un vehículo de gran autonomía. En la **Tabla 1** se observan características de este tipo de baterías [3].

**Tabla 1.** Características de una batería de Ión Litio.

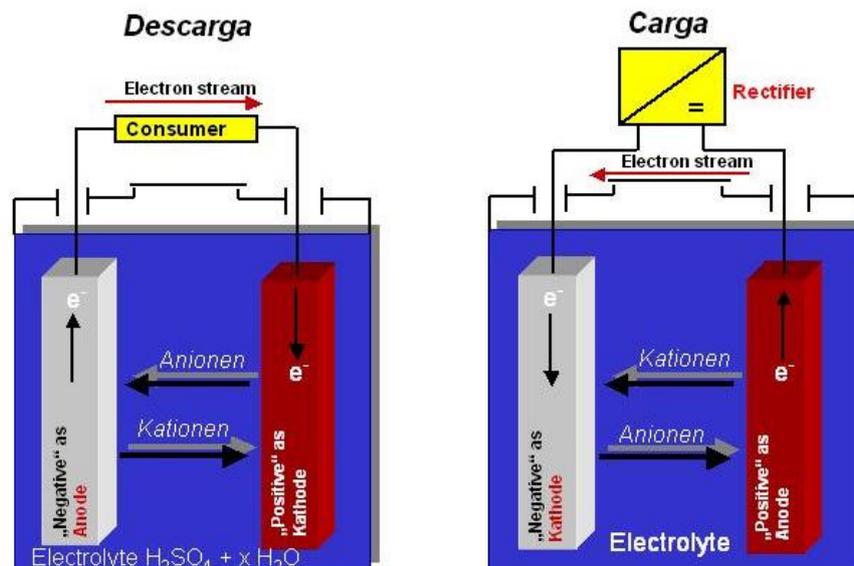
<b>Densidad de Energía</b>	10,8 – 14,40 MJ/m <sup>3</sup>
<b>Rango de Energía</b>	36•10 <sup>3</sup> MJ
<b>Rango de Potencia</b>	0,1 – 10 MW
<b>Tiempo de Carga y Descarga</b>	Horas – Minutos
<b>Ciclos de Carga/Descarga</b>	4500 ciclos
<b>Rendimiento</b>	94%
<b>Mínimo Estado de Carga</b>	10%
<b>Coste de Instalación</b>	530 €/kWh
<b>Coste de Mantenimiento al Año</b>	3 €/kWh

Fuente [1]

## 2.4.2 Batería de Plomo-Ácido

Estas baterías están compuestas por dos tipos de electrodos de plomo que se encuentran en forma de sulfato de plomo II ( $PbSO_4$ ) si el sistema esta descargada, los cuales se encuentran incrustados en una matriz de plomo metálico ( $Pb$ ). El electrolito es una disolución de ácido sulfúrico en agua. En la siguiente figura de muestra el funcionamiento de esta batería [1].

En la descarga de la batería, la corriente generada causa un cambio de condición a través de la reacción que hace que el bióxido de plomo ( $PbO_2$ ) de la placa positiva, al combinarse con el ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), forme sulfato de plomo ( $PbSO_4$ ) y hace que el oxígeno liberado del bióxido de plomo, al combinarse con el hidrogeno liberado del ácido sulfúrico formando sulfato de plomo ( $PbSO_4$ ). En consecuencia, la densidad del electrolito disminuye como lo hace la tensión, hasta agotarse la reserva energética [1]. Ver *Figura 4*.



*Figura 4.* Batería de Plomo-Ácido. Fuente [4]

De los fabricantes de estas baterías se tienen dos muy importantes "Yuasa Battery" y "Exide Technologies", que se especializan en uso industrial, telecomunicaciones, UPS y otras aplicaciones de gran potencia con capacidades de entre 50 y 6000 Ah y con vida útil de 25 años [1].

Esta batería cuenta con varias versiones. La versión *shallow-cycle* o de ciclo corto es usada en automóviles, en los cuales se necesita una corta explosión de energía que es forzada desde la batería para encender el motor. La versión *deep-cycle* o de ciclo profundo, diseñada para repetidos ciclos de carga y descarga. La mayoría de las aplicaciones requiere este tipo de baterías, ej., vehículos industriales embarcaciones, energía fotovoltaica. La versión *sellada "gel-cell" con aditivos*, los cuales vuelven el electrolito en un gel antiderrames, está pensada para ser montada de lado o de invertido pero su alto costo la limita aplicaciones en aviones militares [3]. En la **Tabla 2** se observan características de este tipo de baterías.

**Tabla 2.** Características de una Batería Plomo-Ácido.

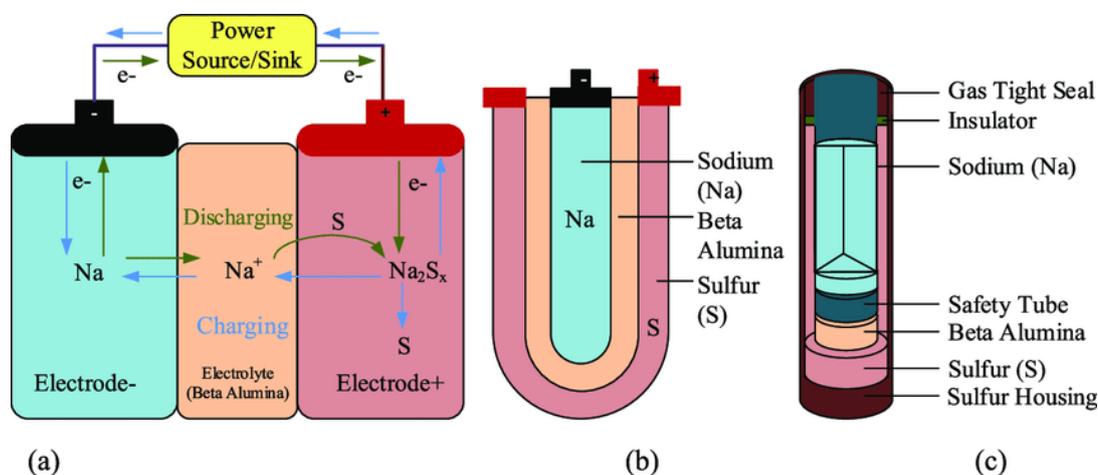
<b>Densidad de Energía</b>	60 – 180 MJ/m <sup>3</sup>
<b>Rango de Energía</b>	144•10 <sup>3</sup> MJ
<b>Rango de Potencia</b>	0,1 – 10 MW
<b>Tiempo de Carga y Descarga</b>	Horas – Minutos
<b>Ciclos de Carga/Descarga</b>	2500 ciclos
<b>Rendimiento</b>	90%
<b>Mínimo Estado de Carga</b>	20%
<b>Coste de Instalación</b>	360 €/kWh
<b>Coste de Mantenimiento al Año</b>	2 €/kWh

Fuente [1]

### 2.4.3 Batería de Sodio-Sulfuro

Estas baterías están compuestas con azufre fundido como cátodo y el sodio fundido como ánodo, separados por material cerámico en estado sólido funcionando como electrolito, a través de este pasan únicamente los iones de sodio con carga positiva [1].

En la descarga los electrones salen del sodio metal, dando lugar a la formación de iones de sodio con carga positiva que pasan a través del cerámico al electrodo positivo. Los electrones que salen del sodio metal se mueven a través del circuito y vuelven de nuevo a la batería a través del electrodo positivo, donde son absorbidos por el azufre fundido para formar polisulfuro. Los iones de sodio con carga positiva desplazados al electrodo positivo equilibran el flujo de carga de los electrones. Durante la carga el proceso es el inverso [1]. El funcionamiento de este proceso se puede apreciar en la *Figura 5*.



*Figura 5.* Batería de Sodio-Sulfuro. Fuente [5]

Existen dos empresas japonesas líderes en el mercado de este tipo de baterías, las cuales son: "*TEPCO*" y "*NGK Insulators*", las cuales tienen más de 20 años desarrollando este tipo de tecnologías, pero no dejan de estar en desarrollo por lo que no existen muchas instalaciones

que cuenten con esa batería. La mayor instalación de baterías de sodio sulfura se encuentra en un parque eólico de 51MW en Japón [1]. En la **Tabla 3** se observan características de este tipo de baterías.

**Tabla 3.** Características de una batería de Sodio-Sulfuro.

<b>Densidad de Energía</b>	540 MJ/m <sup>3</sup>
<b>Rango de Energía</b>	172,8·10 <sup>3</sup> MJ
<b>Rango de Potencia</b>	0,1 – 10 MW
<b>Tiempo de Carga y Descarga</b>	Horas
<b>Ciclos de Carga/Descarga</b>	4500 – 5000 ciclos
<b>Rendimiento</b>	80%
<b>Mínimo Estado de Carga</b>	10%
<b>Coste de Instalación</b>	285 €/kWh
<b>Coste de Mantenimiento al Año</b>	3 €/kWh

Fuente [1]

Abu Dhabi cuenta con la batería de almacenamiento más grande del mundo, destinada a reducir el precio de las energías renovables. Tiene una novedad importante pues usa un modelo de sodio-azufre. Abu Dhabi es la capital de los Emiratos Árabes Unidos y es uno de los principales productores de petróleo. A pesar de comercializar con fósiles, también está invirtiendo decididamente en el uso de energías renovables. Abu Dhabi ahora cuenta con la batería de almacenamiento más grande del mundo. Se trata de un gigante de 108 MW / 648 MWh que es cinco veces más grande que la batería Hornsdale, instalada en Australia por Tesla hace un año [6].

Hay una diferencia importante entre la batería en Australia y la de Abu Dhabi. La unidad de Tesla usaba celdas de baterías de ión litio. El complejo de Abu Dhabi usa celdas de batería de sodio-azufre. Es un modelo de alta temperatura que funciona a 300 °C y utiliza un

electrolito sólido. El electrodo es sodio fundido y el otro azufre fundido. La reacción entre ellos es la base para la reacción celular. Las unidades típicas tienen una potencia nominal de 50 kWh y 400 kWh. La vida útil es de 15 años o 4500 ciclos. Su eficiencia ronda el 85% y tienen un tiempo de respuesta de 1 milisegundo. Otras ventajas son que no utilizan litio ni cobalto, dos elementos que son relativamente escasos. En su lugar, utilizan sodio y azufre, que son abundantes en la naturaleza y de bajo coste [6].

#### **2.4.4 Batería de Redox de Vanadio**

La batería de Redox de Vanadio es categorizada como batería de flujo en donde el electrolito contiene una o más especies electroactivas y fluye a través de la celda electroquímica que convierte de energía química en electricidad. Estos son el tipo de baterías con mayor desarrollo tecnológico dentro de las baterías de flujo [1].

La energía se almacena mediante iones cargados que se encuentran en dos tanques de electrolito separados, de forma que uno de ellos contiene electrolitos para las reacciones de electrodo positivo y el otro para las reacciones de electrodo negativo. Este tipo de baterías permiten una rápida recarga ya que se sustituye el electrolito o también revirtiendo la reacción redox. Por lo cual la capacidad de almacenamiento del sistema está determinada por el tamaño de los tanques, siendo un parámetro independiente y escalable [1]. En la *Figura 6* podemos ver el proceso de carga y descarga.

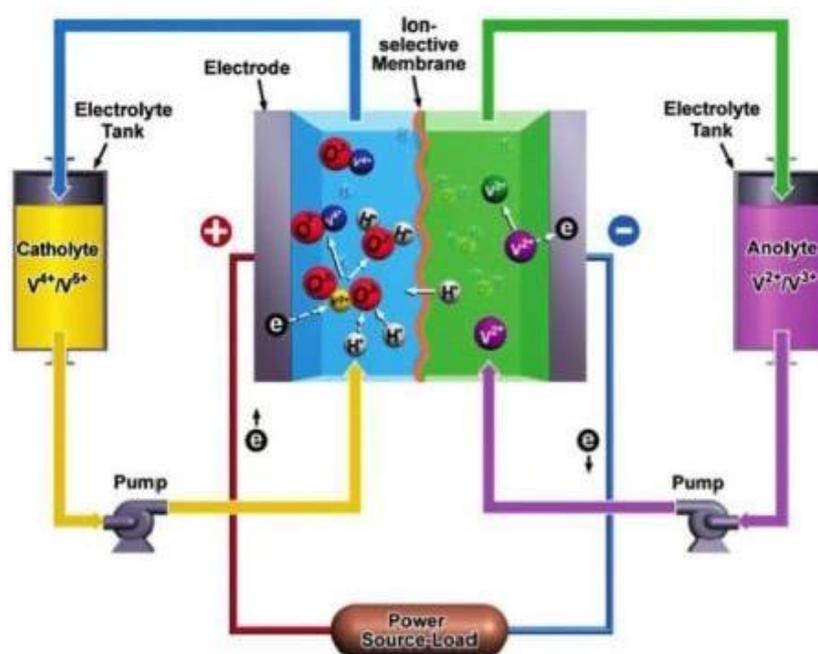


Figura 6. Batería Redox de Vanadio. Fuente [7]

Este tipo de tecnología está en desarrollo y solo se ha utilizado en instalaciones fotovoltaicas de gran capacidad, con el fin de no requerir conexión con la red eléctrica. En la **Tabla 4** se observan características de este tipo de baterías.

**Tabla 4.** Características de una batería Redox de Vanadio.

<b>Densidad de Energía</b>	54 – 65 MJ/m <sup>3</sup>
<b>Rango de Energía</b>	36·10 <sup>3</sup> MJ
<b>Rango de Potencia</b>	0,1 – 10 MW
<b>Tiempo de Carga y Descarga</b>	Horas
<b>Ciclos de Carga/Descarga</b>	20.000 ciclos
<b>Rendimiento</b>	90%
<b>Mínimo Estado de Carga</b>	5%
<b>Coste de Instalación</b>	700 €/kWh
<b>Coste de Mantenimiento al Año</b>	10 €/kWh

Fuente [1]

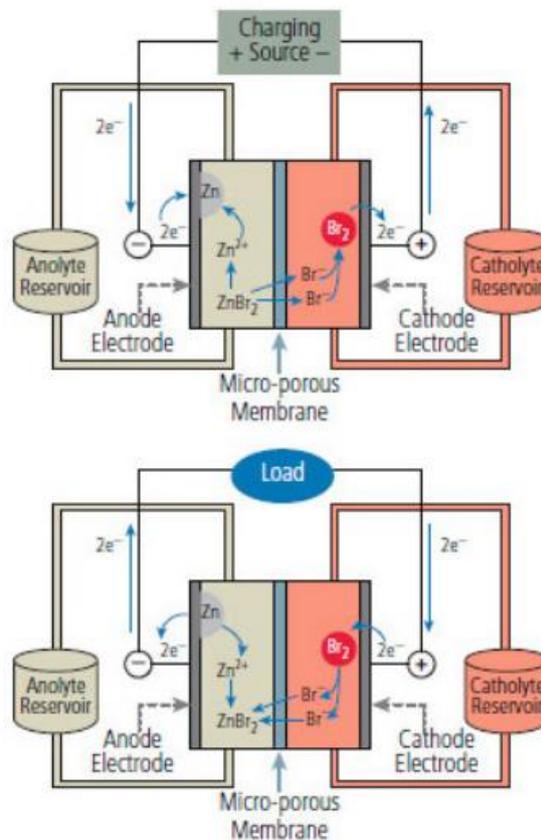
En los últimos años se están realizando proyectos de demostración en todo el mundo que demuestran sus óptimas propiedades para su uso en todas las aplicaciones estacionarias.

- Alta capacidad de respuesta en carga/descarga: son capaces de dar incluso el doble de su potencia nominal durante cortos periodos de tiempo. De esta manera pueden complementar a energías renovables o actuar como generadores en sistemas de alimentación ininterrumpida y sirven como ayuda para la calidad de suministro [7].
- Diseño de capacidad energética y potencia independiente: se pueden ajustar caso a caso a las particularidades del proyecto. Al almacenar el electrolito en tanques, se puede incrementar la capacidad de almacenamiento para descargas durante largos periodos de tiempo [7].
- Bajas pérdidas por autodescarga: al mantener los electrolitos almacenados en tanques independientes, se producen pocas pérdidas por autodescarga cuando la batería no está en carga o descarga. Por tanto, se pueden diseñar sistemas para almacenamiento por largos periodos de tiempo [7].

#### **2.4.5 Batería de Redox de Zinc-Bromo**

Este tipo de baterías también son de flujo, por lo que su funcionamiento es semejante a la batería de Redox de Vanadio. En donde cada celda de una batería de zinc-bromo fluyen dos electrolitos diferentes a través de electrodos en dos comportamientos separados por una membrana porosa, en la descarga el zinc se carga positivamente y el bromo pasa a ser bromuro, del cual se obtiene el

bromuro de zinc, en la carga el zinc se deposita en una fina capa de lado del electrodo, mientras que el bromo se desprende como una solución diluida al otro lado de la membrana, reaccionando con los otros compuestos en solución para formar un compuesto denso y viscoso que precipita al fondo del tanque [1]. A continuación, un esquema del funcionamiento de la batería mostrado en la *Figura 7*.



*Figura 7.* Batería de Redox Zinc-Bromo. Fuente [1]

Uno de los principales fabricantes de este tipo de baterías es "RedFlow", el cual se centra en la fabricación de estas baterías de zinc-bromuro cuyas características son las capacidad de carga/descarga profundas diariamente, siendo una batería ideal para el almacenamiento y traslado de las energías renovables intermitentes, para gestionar picos de carga en la red y para el apoyo fuera de la red sistemas de energía tipo "isla" [1].

En el mes de febrero de 2016, "*Jofemar Energy*", la división de la Corporación Jofemar especializada en eficiencia y almacenamiento energético, ha concluido el proyecto "*Flow Grid*", que comenzó en 2012, con la presentación de la primera versión de sus baterías de flujo Zn-Br de 10 y 60 kWh. Se trata de un proyecto de investigación y desarrollo cuyo objetivo era desarrollar las baterías de flujo redox Zn-Br para almacenamiento energético y su posterior integración en Smart-Grids y aplicaciones estacionarias [1].

Jofemar Smart Energy ha trabajado y continúa optimizando el desarrollo de electrodos específicos para este tipo de baterías. En el desarrollo de estos electrodos han participado centros y universidades nacionales como son el Centro Tecnológico L'Urederra, el Instituto del Carbón (INCAR, CSIC), la Universidad de Córdoba y Cemitec, así como empresas del ámbito nacional e internacional. Para ello se han estudiado diferentes materiales y aditivos, incorporando la nanotecnología, así como diferentes procesos productivos y su integración en la batería. Se ha trabajado con el objetivo de conseguir electrodos que tengan alta conductividad eléctrica y térmica, que sean resistentes química y mecánicamente, que permitan una deposición homogénea de Zinc, que tengan una alta superficie activa y alta mojabilidad superficial, una baja permeabilidad, que sean fácilmente adaptables a la batería, con un bajo peso y por supuesto de bajo coste. Todos los electrodos sintetizados se caracterizan completamente, analizando su estructura, distribución de materiales, propiedades químicas y comportamiento electroquímico en celda y stack [8].

Otro de los componentes principales de este tipo de baterías son las membranas que separan las dos semiceldas (positiva y negativa) de una celda. Desde el inicio, Jofemar Smart Energy ha trabajado con un centro tecnológico nacional y con varias empresas internacionales

en la búsqueda de una membrana idónea para las baterías de flujo redox Zn-Br. Los objetivos que deben cumplir estas membranas son:

- Reducción/eliminación del proceso de autodescarga.
- Protección frente a la formación de dendritas de Zn.
- Métodos de fabricación viables de membranas a gran escala.
- Estabilidad química y mecánica de los separadores.
- Incremento del rendimiento electroquímico a altas corrientes

[8].

En la **Tabla 5** se observan características de este tipo de baterías.

**Tabla 5.** Características de una batería de Zinc-Bromo.

<b>Densidad de Energía</b>	72 – 108 MJ/m <sup>3</sup>
<b>Rango de Energía</b>	36·10 <sup>3</sup> MJ
<b>Rango de Potencia</b>	0,1 – 10 MW
<b>Tiempo de Carga y Descarga</b>	Horas
<b>Ciclos de Carga/Descarga</b>	12.000 ciclos
<b>Rendimiento</b>	75%
<b>Mínimo Estado de Carga</b>	10%
<b>Coste de Instalación</b>	385 €/kWh
<b>Coste de Mantenimiento al Año</b>	13 €/kWh

Fuente [1]

## 2.5 Comparación entre las Baterías

Se presenta una tabla comparativa entre los 5 tipos de baterías presentadas anteriormente en las que se observará descripciones de usos en sistemas eléctricos, ventajas y desventajas de estas. Se puede observar en la **Tabla 6**.

**Tabla 6.** Comparación de Baterías Químicas.

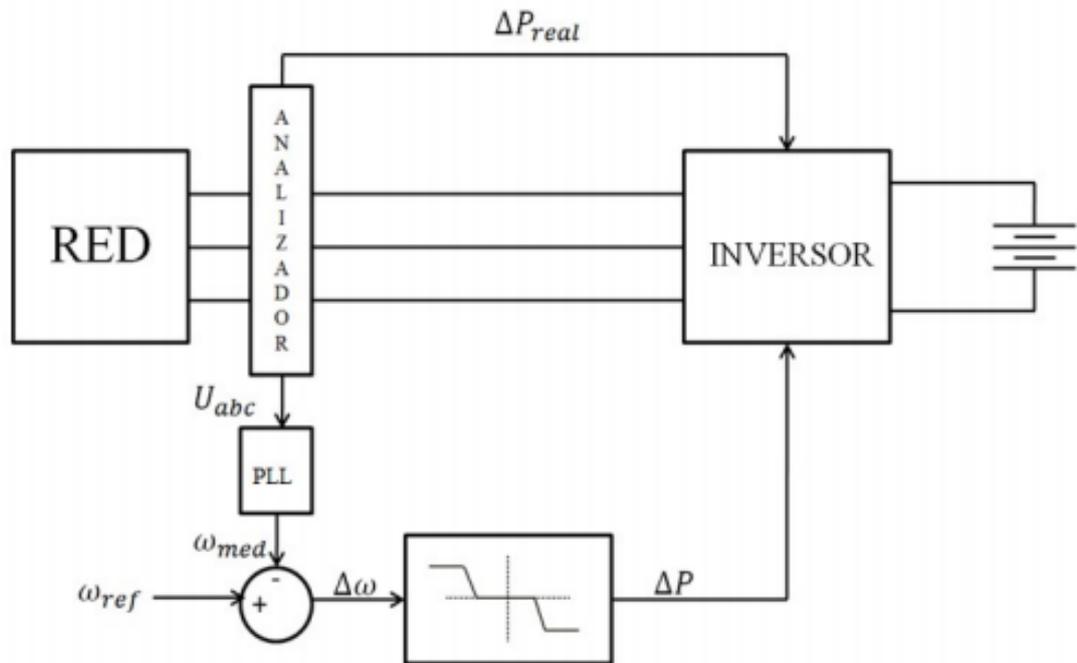
BATERIAS	Ión de Litio	Plomo-Ácido	Sodio-Sulfuro	Redox de Vanadio	Redox Zinc-Bromo
<b>Uso en el sistema eléctrico</b>	Actualmente se desarrollan proyectos con capacidades de 3MW, para ser integrados al sistema eléctrico como fuente principal de almacenamiento de energía con el fin de mejorar la eficiencia de la operación del sistema. (uso principal en las subestaciones) Su uso se ha centrado en los vehículos eléctricos gracias a su gran autonomía.	Trabajo tipo flotante: Tensión constante en bordes (usada como fuente de respaldo, sistemas de alarmas, sistemas de alimentación de emergencia). Trabajo por ciclos: efectuar varios ciclos de descarga y carga de manera continua. (Sistemas solares).	No son de uso comercial, solo se conoce un aplicación en un parque eólico en Japón.	Tecnología actualmente usada en sistemas eléctricos tipo isla.	Gracias a su fácil portabilidad se utiliza para energía renovables intermitentes. Gestionar picos de carga en la red. Apoyo a sistemas tipo isla.
<b>Ventajas</b>	Alta densidad energética (Wh/kg). La relación entre su capacidad de almacenamiento, y su peso y volumen, la hacen ideales para aplicaciones portátiles. Factor de descarga muy reducido.	Bajo coste y alta duración. Distintos tipos de usos (flotante y de ciclos). Son estudiadas e investigadas desde hace varios años por lo que su precio es bajo. Alto desarrollo tecnológico.	Bajo costo y alta capacidad de almacenamiento, además de competir en eficiencia y funcionalidad con demás baterías en el mercado. De igual forma son tecnologías muy nuevas en comparación con varias en el mercado.	Alto rendimiento. Profundidad de descarga casi del 100%.	Baterías fáciles de trasladar.
<b>Desventajas</b>	Requieren ventilación. Alcanzan altas temperaturas. Tecnologías portátiles. Después de una descarga profunda es difícil recuperar la batería.	Complejos requisitos de mantenimiento. La de descarga mínima de energía no es fija, varía según su tiempo y uso.	Requiere fuente de calor externa, con el fin de mantener altas temperaturas, para su correcto funcionamiento. Tecnología en desarrollo y no presentan uso comercial común.	Alto costo de adquisición.	Bajo rendimiento

Fuente [1]

## 2.6 Mercado de Baterías en Sistemas de Energía Renovables

El poder acumular energía en un sistema eléctrico vital importancia, se usan como fuente alternativa para abastecer lo necesario en el diseño de la misma, muchas veces para que cuando existan picos energeticos, sufra la bateria y no los dispositivos

energizados, también se usan en instalaciones energéticas renovables ON GRID para regular la frecuencia en un sistema [9], como se muestra a continuación en la *Figura 8*.



*Figura 8.* Modelo del control de frecuencia. Fuente [9]

El analizador de red toma datos del valor de la tensión, el PLL recibe las medidas de la tensión en el marco de referencia abc y obtiene la frecuencia del sistema. Antes de entrar en el control se compara la frecuencia de referencia con la frecuencia medida y se obtiene el error. Al entrar en la gráfica del estatismo, esta devolverá la potencia necesaria a inyectar en el sistema para estabilizar la frecuencia. Con esta potencia se entra en el inversor. El régimen permanente se alcanzará cuando el error de frecuencia sea cero. Ante la caída de un generador del sistema, según la ley de Kirchhoff,  $P_{demandada} > P_{generada} = P_{otgenerador} + P_{bateria} + \Delta P$ , los generadores se acelerarán para compensar ese aumento de demanda y la velocidad del generador caerá, y por consiguiente la frecuencia del sistema. Al entrar a la gráfica del modelo

de control, esta definirá la cantidad de potencia a inyectar por la batería para que la frecuencia se estabilice. Después habrá que inyectar más potencia para que se vuelva a acelerar, aumente  $\omega$ , y la frecuencia vuelva a ser estable a 50 Hz [9].

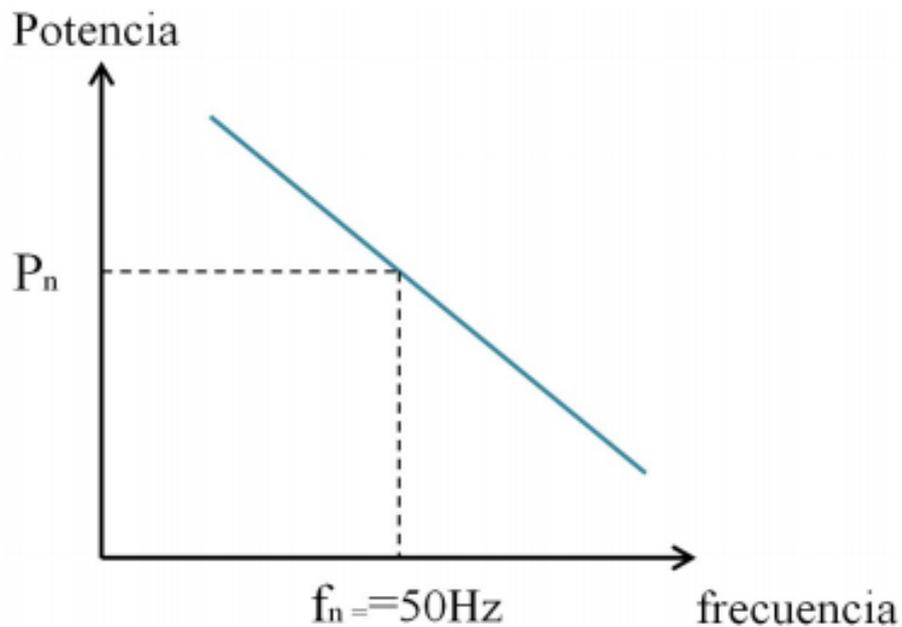


Figura 9. Gráfica del estatismo. Fuente [9]

## 2.6.1 Almacenadores Usados En Energías Renovables

### 2.6.1.1 Elementos 2v Serie PVSM

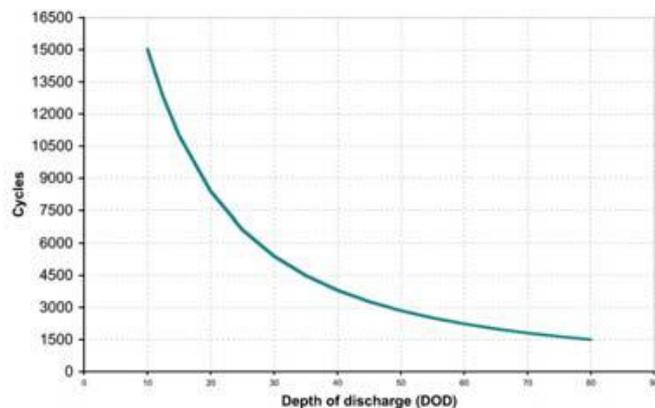
Recipiente de alta densidad a impacto construido con una aleación de electrolito, ácido sulfúrico de densidad 1.24 kg/l a 20 °C con protección a humedad IP25, tiene indicador de Nivel máximo y

mínimo con placa positiva tubular, vida útil de 3150 ciclos y aleación baja en Antimonio [10].



*Figura 10.* Elementos 2v Serie PVSM. Fuente [11]

Dentro de sus características se encuentran Alta capacidad, larga durabilidad y estabilidad. Buena carga con baja intensidad. Baja auto-descarga. Alto rendimiento. Aleación de la placa de alta durabilidad. Placa tubular. Además, tiene sus aplicaciones en sistemas de energías renovables SAI's (Bancos, Hospitales, Centros de Datos, etc) Instalaciones de generación de Energía Telecomunicaciones Dispositivos de información y centralización de trafico Estaciones de medición [11].



*Figura 11.* Vida útil por ciclos con respecto a su descarga máxima %. Fuente [10]

Tipo Ue V por elemento	C <sub>10h</sub> 20°C Ah 1,8	C <sub>100h</sub> 20°C Ah 1,8	C <sub>240h</sub> 20°C Ah 1,8	R <sub>1</sub> ) mΩ	I <sub>k</sub> 2) kA	Dimensiones (mm)			Peso con electrolito kg
						Largo	Ancho	Alto	
2 PVSM 220	136	178	187	1,19	1,74	47	198	486	11,2
3 PVSM 330	204	268	283	0,83	2,5	65	198	486	15,7
4 PVSM 440	273	359	379	0,65	3,2	83	198	486	20,1
5 PVSM 550	342	450	475	0,54	3,85	101	198	486	24,6
6 PVSM 660	410	540	571	0,47	4,43	119	198	486	29,1
7 PVSM 770	479	631	667	0,41	5,09	137	198	486	33,6
8 PVSM 880	548	722	763	0,37	5,6	155	198	486	38,1
9 PVSM 990	616	812	859	0,34	6,07	173	198	486	42,5
10 PVSM 1100	684	902	955	0,32	6,5	192	198	486	47

Figura 12. Tabla de datos establecida por BAE (distribuidora de almacenadores). Fuente [10]

### 2.6.1.2 Elementos 2v Serie PVS

Recipiente transparente de alta intensidad, están compuestos por una aleación baja en Antimonio, protección IP25 contra humedad, placa tubular positiva, terminales PanzerPol la cual tiene patente mundial al tener cojinete hermético deslizante, operan entre -20° C y 55° C (temperatura en el elemento) y vida útil de 2700 ciclos [10].



Figura 13. Elementos 2v Serie PVS. Fuente [10]

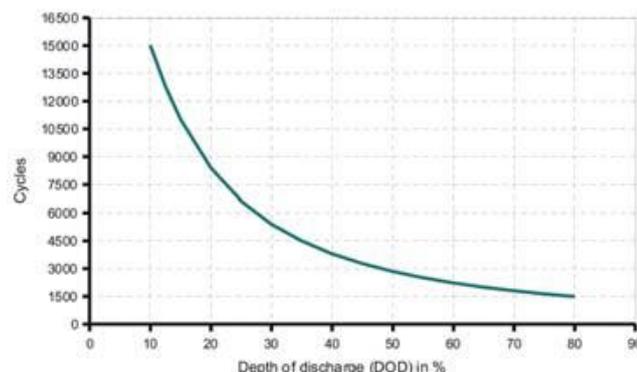


Figura 14. Vida útil por ciclos con respecto a su descarga máxima %. Fuente [10]

Tipo Ue V por elemento	C10h 20°C Ah 1,8	C100h 20°C Ah 1,8	C24h 20°C Ah 1,8	R <sub>f</sub> (mΩ)	I <sub>2</sub> (kA)	Dimensiones (mm)			Peso con electrolito kg
						Largo	Ancho	Alt	
2 PVS 140	111	143	148	1,52	1,37	105	208	420	14,5
3 PVS 210	167	215	222	1,06	1,96	105	208	420	16,4
4 PVS 280	223	287	295	0,84	2,46	105	208	420	18
5 PVS 350	279	359	369	0,7	2,98	126	208	420	21,7
6 PVS 420	334	431	444	0,6	3,47	147	208	420	25,7
5 PVS 550	389	496	513	0,57	3,61	126	208	535	28,8
6 PVS 660	467	595	616	0,49	4,18	147	208	535	34
7 PVS 770	544	694	720	0,44	4,69	168	208	535	39,1
6 PVS 900	665	877	916	0,47	4,41	147	208	710	47,4
7 PVS 1050	777	1020	1065	0,36	5,66	215	193	710	61,5
8 PVS 1200	886	1160	1216	0,32	6,36	215	193	710	65,4
9 PVS 1350	992	1300	1365	0,33	6,2	215	235	710	75,4
10 PVS 1500	1100	1450	1516	0,28	7,25	215	235	710	79,4
11 PVS 1650	1210	1590	1665	0,28	7,36	215	277	710	89,6
12 PVS 1800	1320	1740	1816	0,24	8,41	215	277	710	93,4
11 PVS 2090	1470	1870	1941	0,24	8,38	215	277	855	105,9
12 PVS 2280	1600	2040	2116	0,22	9,48	215	277	855	110,4
13 PVS 2470	1740	2210	2292	0,16	13,03	215	400	815	137,8
14 PVS 2660	1880	2380	2448	0,15	13,82	215	400	815	142,4
15 PVS 2850	2010	2550	2640	0,14	14,43	215	400	815	146,9
16 PVS 3040	2140	2710	2808	0,13	15,2	215	400	815	151,6
17 PVS 3230	2290	2910	3000	0,12	16,91	215	490	815	175,1
18 PVS 3420	2420	3080	3192	0,11	17,55	215	490	815	179,1
19 PVS 3610	2560	3250	3360	0,11	18,36	215	490	815	183,6
20 PVS 3800	2690	3420	3528	0,11	18,92	215	490	815	188,3
22 PVS 4180	2950	3750	3888	0,1	19,92	215	580	815	213,9
24 PVS 4560	3220	4090	4224	0,09	21,26	215	580	815	223
26 PVS 4940	3480	4420	4584	0,09	22,49	215	580	815	232

Figura 15. Tabla de datos establecida por BAE (distribuidora de almacenadores). Fuente [10]

### 2.6.1.3 Monoblock Serie PVS

Recipiente transparente y resistente a impactos, con protección contra humedad IP25, construido con aleación baja en antimonio, placa positiva en tubular, terminales PanzerPol y con temperatura de operatividad entre -20° C y 55° C [10].



Figura 16. Monoblock Serie PVS. Fuente [12]

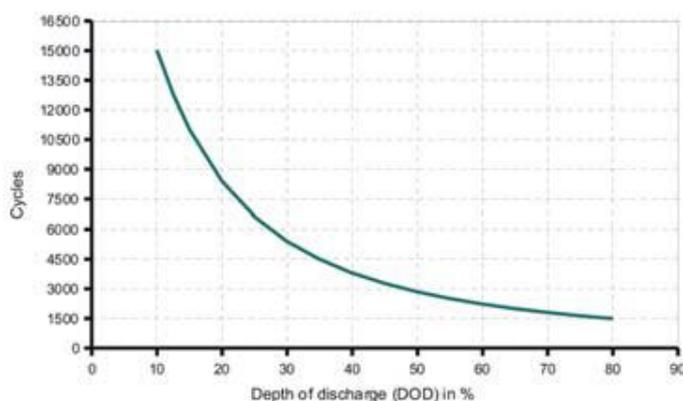


Figura 17. Vida útil por ciclos con respecto a su descarga máxima %. Fuente [10]

Tipo Ue V por elemento	C <sub>10h</sub> 20°C Ah 1,8	C <sub>100h</sub> 20°C Ah 1,8	C <sub>240h</sub> 20°C Ah 1,8	R <sub>i</sub> (1) mΩ	I <sub>c</sub> (2) kA	Dimensiones (mm)			Peso con electrolito kg
						Largo	Ancho	Alto	
12V 1 PVS 70	56	71	74	16,62	0,75	272	205	385	41
12V 2 PVS 140	109	140	144	8,91	1,4	272	205	385	47,6
12V 3 PVS 210	167	215	222	6,27	1,99	380	205	385	69,4
6V 4 PVS 280	223	287	295	2,47	2,52	272	205	385	46,5
6V 5 PVS 350	279	359	369	2,09	2,98	380	205	385	60,4
6V 6 PVS 420	334	431	444	1,82	3,42	380	205	385	66,5

Figura 18. Tabla de datos establecida por BAE (distribuidora de almacenadores). Fuente [10]

#### 2.6.1.4 Elemento Serie PVV GEL

Recipiente en alta resistencia a impactos, con protección contra humedad IP25, terminales PanzerPol, placa positiva tubular, temperatura de operatividad entre -20 °C y 45°C y vida util de más de 3000 ciclos [10].



Figura 19. Elemento Serie PVV GEL. Fuente [13]

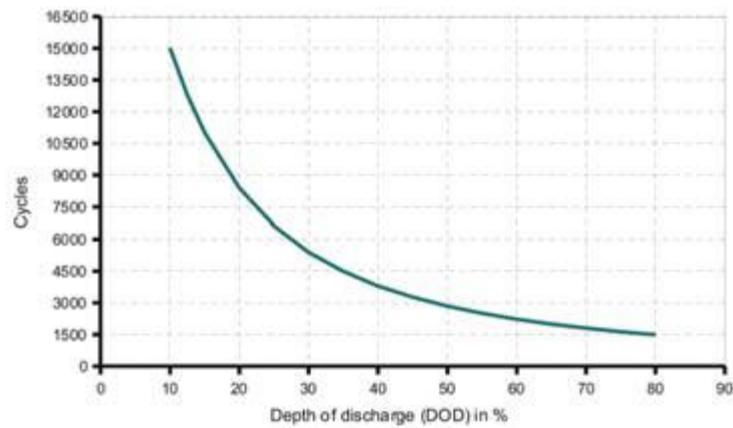


Figura 20. Vida útil por ciclos con respecto a su descarga máxima %. Fuente [10]

Tipo Ue V por elemento	C <sub>10h</sub> 20°C Ah 1,8	C <sub>100h</sub> 20°C Ah 1,8	C <sub>240h</sub> 20°C Ah 1,8	R <sub>i</sub> 1) mΩ	I <sub>c</sub> 2) kA	Dimensiones (mm)			Peso con electrolito kg
						Largo	Ancho	Alto	
2 PVV 140	121	157	165	1,65	1,3	105	208	420	12,4
3 PVV 210	182	236	247	1,15	1,86	105	208	420	17,1
4 PVV 280	243	314	331	0,89	2,4	105	208	420	19,4
5 PVV 350	304	393	412	0,73	2,91	126	208	420	23,3
6 PVV 420	364	472	496	0,63	3,39	147	208	420	27,4
5 PVV 550	447	583	609	0,68	3,14	126	208	535	31,4
6 PVV 660	529	686	715	0,58	3,64	147	208	535	36,9
7 PVV 770	610	788	820	0,52	4,12	168	208	535	42,4
6 PVV 900	729	968	1012	0,46	4,63	147	208	710	51
7 PVV 1050	858	1140	1195	0,36	5,81	215	193	710	61,9
8 PVV 1200	970	1280	1344	0,32	6,54	215	193	710	68,8
9 PVV 1350	1090	1450	1524	0,34	6,29	215	235	710	77
10 PVV 1500	1200	1600	1675	0,28	7,5	215	235	710	83,9
11 PVV 1650	1320	1750	1836	0,28	7,56	215	277	710	92,2
12 PVV 1800	1440	1900	1989	0,24	8,63	215	277	710	99,2
11 PVV 2090	1570	2070	2169	0,27	7,86	215	277	855	108,2
12 PVV 2280	1710	2230	2337	0,23	9,18	215	277	855	116,5
13 PVV 2470	1890	2490	2592	0,18	11,91	215	400	815	131,4
14 PVV 2660	2070	2740	2880	0,17	12,63	215	400	815	141,2
15 PVV 2850	2170	2840	2976	0,16	13,25	215	400	815	147,9
16 PVV 3040	2300	3000	3144	0,15	13,94	215	400	815	156,2
17 PVV 3230	2480	3260	3408	0,14	15,32	215	490	815	173,6
18 PVV 3420	2610	3420	3576	0,13	16,03	215	490	815	181,4
19 PVV 3610	2740	3590	3744	0,12	16,7	215	490	815	189,6
20 PVV 3800	2870	3750	3912	0,12	17,37	215	490	815	197,8
22 PVV 4180	3210	4220	4416	0,11	18,43	215	580	815	205,7
24 PVV 4560	3470	4550	4752	0,1	19,76	215	580	815	222
26 PVV 4940	3650	4710	4920	0,1	21,02	215	580	815	235,1

Figura 21. Tabla de datos establecida por BAE (distribuidora de almacenadores). Fuente [10]

## 2.6.2 Proveedores

### 2.6.2.1 Trojan Battery Company

Es pionera de una tecnología denominada DuraGrid aplicada en energías renovables, creada para requisitos de vida útil cercana a los 10 años, presenta una estructura con una rejilla más gruesa la cual es más resistente a la corrosión y contienen un separador que permite una carga más rápida a lo largo de toda la vida de la batería. No obstante, tienen aplicaciones en: Electrificación rural, instalaciones fotovoltaicas On Grid u Off Grid, iluminación urbana, mini redes, Back-up de energía, instalaciones de bombeo y purificación de agua, telecomunicaciones y energía de respaldo para inestabilidad de la red [10].

TIPO	V	MIN. CAP. RESERV.		CCA-18°C (SAE)	CAPACIDAD AH.			MEDIDAS MAX (mm)			PESO KGS
		25 A	75 A		5 H	20 H	100 H	L	A	H	
24-TMX	12	140	36	440	70	85	94	286	171	248	21
27-TMX	12	175	45	530	85	105	117	324	171	248	25
27-TMH	12	200	51	620	95	115	128	324	171	248	28
J-150	12	280	70	-	120	150	166	351	181	283	38
T-1275	12	280	102*	-	120	150	166	327	181	276	38
30-XHS	12	225	57	665	105	130	144	355	171	256	30
J-185E-AC	12	312	82	-	144	175	194	394	178	371	46
J-185G-AC	12	324	93	-	152	185	205	394	178	371	48
J-185P-AC	12	380	104	-	168	205	226	381	178	371	52
J-185H-AC	12	440	121	-	185	225	249	381	178	371	58
L-16E-AC	6	789	200	320	390	433	411	311	178	417	49
L-16G-AC	6	789	200	320	390	433	411	311	178	417	49
L-16P-AC	6	850	220	344	420	467	411	295	178	424	52
L-16H-AC	6	935	245	357	435	483	411	295	178	424	57
VA T 8 V	8	277	110	135	160	176	176	259	178	283	28
T-875	8	295	117*	145	170	189	189	264	181	276	29
T-890	8	340	132*	155	190	211	211	264	181	276	31
TIPO	V	MIN. CAP. RESERV. 25 A	CCA-18°C (SAE)	CAPACIDAD AH.			MEDIDAS MAX (mm)			PESO KGS	
24 - GEL	12	147	330	5 H	20 H	100 H	L	A	H		
27 - GEL	12	179	395	66	77	85	276	171	236	24	
31 - GEL	12	200	445	76	91	100	324	171	234	29	
55HP-GEL	12	-	535	85	102	112	329	171	245	31	
8D - GEL	12	500	-	110	125	137	345	171	283	39	
6V - GEL	6	394	575	188	225	265	534	279	233	71	
TE35-GEL	6	-	630	154	189	198	260	181	276	31	
U1 - AGM	12	42	240	180	210	220	244	190	276	31	
22 - AGM	12	79	280	29	33	34	207	132	174	12	
24 - AGM	12	137	500	43,3	50	52	229	139	205	18	
27 - AGM	12	158	550	67	76	84	274	174	220	24	
31 - AGM	12	177	600	77	89	99	318	174	221	29	
OverDrive TM	12	180	730	82	100	111	341	174	233	31	
VA 12 - AGM	12	-	-	84	102	112	341	174	234	31	
8D - AGM	12	460	1450	112	140	144	345	173	278	45	
6V - AGM	6	385	1100	179	230	254	521	269	233	76	
				154	200	221	260	181	274	29	

Figura 22. Catálogo de baterías de la Compañía Trojan. Fuente [10]

### 2.6.2.2 Varta

Empresa líder en el mercado de baterías plomo-ácido, ofrece respaldo técnica e innovación para su aplicación en energías renovables con dos modelos VARTA Professional Deep Cycle y VARTA Professional Deep Cycle AGM con ausencia absoluta de mantenimiento [10].

SAP	ETN	REF	Volios	Capacidad			Capacidad en 20 h	CCA (EN)	Dimensiones (mm)			Terminal	Esquema	Sujeción	Peso Kg
				20 h	10 h	5 h			Largo	Ancho	Alto				
<b>VARTA PROFESSIONAL STARTER</b>															
593700	930 052 047*	LFS52	12 V	52 Ah	-	-	-	470 A	207	175	190	1	0	B13	12,70
593701	930 060 054*	LFS60	12 V	60 Ah	-	-	-	540 A	242	175	190	1	0	B13	14,80
593702	930 074 068*	LFS74	12 V	74 Ah	-	-	-	680 A	278	175	190	1	0	B13	17,30
593703	930 095 080*	LFS95	12 V	95 Ah	-	-	-	800 A	353	175	190	1	0	B13	21,90
<b>VARTA PROFESSIONAL</b>															
585428	812 071 000	LFS75	12 V	75 Ah	67 Ah	60 Ah	124 Min.	600 A	260	175	225	1	1	B01	18,50
585427	811 053 057	LFS105	12 V	105 Ah	94 Ah	85 Ah	190 Min.	750 A	330	175	240	1	9	B00	26,90
<b>VARTA PROFESSIONAL DEEP CYCLE</b>															
585549	930 060 056	LFD60	12 V	60 Ah	55 Ah	51 Ah	109 Min.	560 A	242	175	190	1	0	B13	16,50
585561	930 075 065	LFD75	12 V	75 Ah	69 Ah	64 Ah	141 Min.	650 A	278	175	190	1	0	B13	18,90
585564	930 090 080	LFD90	12 V	90 Ah	83 Ah	77 Ah	174 Min.	800 A	353	175	190	1	0	B13	23,73
585430	930 140 080	LFD140	12 V	140 Ah	129 Ah	119 Ah	284 Min.	800 A	513	189	223	1	3	B00	36,62
585431	930 180 100	LFD180	12 V	180 Ah	166 Ah	153 Ah	377 Min.	1000 A	513	223	223	1	3	B00	45,10
585429	930 230 115	LFD230	12 V	230 Ah	212 Ah	196 Ah	499 Min.	1050 A	518	276	242	1	3	B00	56,75
<b>VARTA PROFESSIONAL AGM</b>															
590712	840 060 068*	LA60	12 V	60 Ah	57 Ah	55 Ah	125 Min.	680 A	242	175	190	1	0	B13	17,50
590713	840 070 076*	LA70	12 V	70 Ah	65 Ah	60 Ah	133 Min.	760 A	278	175	190	1	0	B13	20,40
590714	840 080 080*	LA80	12 V	80 Ah	77 Ah	75 Ah	176 Min.	800 A	315	175	190	1	0	B13	22,76
590715	840 095 085*	LA95	12 V	95 Ah	90 Ah	85 Ah	198 Min.	850 A	353	175	190	1	0	B13	26,40
590716	840 105 095*	LA105	12 V	105 Ah	100 Ah	95 Ah	224 Min.	950 A	394	175	190	1	0	B13	29,40
<b>VARTA PROFESSIONAL DEEP CYCLE AGM</b>															
585396	830 024 016	LAD24	12 V	24 Ah	22 Ah	20 Ah	27 Min.	160 A	165	176	125	M5	0	B00	8,90
585397	830 060 037	LAD60	12 V	60 Ah	54 Ah	49 Ah	100 Min.	370 A	265	166	188	1	0	B00	20,70
585398	830 070 045	LAD70	12 V	70 Ah	63 Ah	58 Ah	115 Min.	450 A	260	169	230,5	1	0	B00	23,80
585399	830 085 051	LAD85	12 V	85 Ah	77 Ah	70 Ah	145 Min.	510 A	260	169	230,5	1	0	B00	25,10
585400	830 115 060	LAD115	12 V	115 Ah	104 Ah	91 Ah	200 Min.	600 A	328	172	233,5	1	0	B00	32,80
585401	830 150 090	LAD150	12 V	150 Ah	135 Ah	123 Ah	285 Min.	900 A	484	171	241	1	0	B00	45,50
585402	830 260 152	LAD260	12 V	260 Ah	234 Ah	214 Ah	578 Min.	1525 A	521	269	239,5	1	0	B00	78,20

Figura 23. Catálogo de baterías Varta. Fuente [10]

### 2.6.2.3 Optima Batteries

Son la opción favorita de los entusiastas del rendimiento que desean darle más potencia a sus aventuras. Gracias a su TECNOLOGÍA SPIRALCELL, estas baterías de gel son 15 veces más resistentes a la vibración, lo que significa que pueden aguantar más abusos tanto dentro como fuera de la carretera, y aun así durar más del doble que una batería inundada tradicional. Las rejillas de la batería OPTIMA están fabricadas con plomo 99.99% puro. La pureza del plomo genera

menos resistencia interna para lograr potencia adicional y menores tiempos de recarga, resistencia a la corrosión para una vida útil más larga y menores recargas cuando se encuentra almacenada [14].

TIPO	JCI SAP	BCI	ESQUEMA (EN)	TERMINAL (EN)	LISTÓN	ESPECIFICACIONES CCA (EN) A	CA (0°C) SAE A	CAP. C20 Ah	RESERV. CAP. MIN. A 25 A	CAP. C5 Ah	RESISTEN. INTERNA m Ohm	MEDIDAS (mms)			PESO KG
												L	A	H	
RTC 4.2	985821	34C	8	1	-	815	1000	50	100	-	3.0	254	172	184	17,2
RTS 4.2	982922	34	1	1	-	815	1000	50	100	-	3.0	254	172	173	17,2
RTR 4.2	984604	34R	0	1	B11	815	1000	50	100	-	3.0	254	172	173	17,2
RTU 4.2	982923	34/78	1	1 & 21	-	815	1000	50	100	-	3.0	254	172	173	17,2
RTF 4.2	549424	78	1	1	B11	815	1000	50	100	-	3.1	254	172	184	17,2
RTS 3.7	982921	25	1	1	B1	730	910	44	90	-	3.0	237	172	168	14,4
RTR 3.7	988144	35	0	1	B1	730	910	44	90	-	3.0	237	172	168	14,4
RTU 3.7	984610	75/25	1	1 & 21	B1	730	910	44	90	-	3.0	237	172	168	15,0
RTS 2.1	984606	6 Voltios	8	1	B11	815	1000	50	100	-	1.9	252	90	185	8,4

TIPO	JCI SAP	BCI	ESQUEMA (EN)	TERMINAL (EN)	LISTÓN	ESPECIFICACIONES CCA (EN) A	CA (0°C) SAE A	CAP. C20 Ah	RESERV. CAP. MINUTOS A 25 A	CAP. C5 Ah	RESISTEN. INTERNA m Ohm	MEDIDAS (mms)			PESO KG
												L	A	H	
YT S 5.5	985823	D31A	8	1	-	975	1125	75	155	68	2.5	325	158	218	26,5
YTR 5.0*	583695	D27	0	1	-	843	1000	66	140	61	2.5	304	172	200	22,7
YT S 4.2	982924	D34	1	1	-	765	870	55	120	52	2.8	254	172	173	19,5
YT U 4.2	982925	D34 / 78	1	1 & 21	-	765	870	55	120	52	2.8	254	172	173	19,9
YTR 3.7	998673	D35	0	1	B1	660	870	48	98	44	3.2	237	172	168	16,6
YT S 2.7	988146	D51	1	1	-	460	575	38	66	33	4.6	237	129	201	11,8
YTR 2.7	988148	D51R	0	1	-	460	575	38	66	33	4.6	237	129	201	11,8
YT S 2.1	984608	6 Voltios	8	1	-	765	870	55	120	52	4.0	252	90	185	9,0
TIPO	JCI SAP	BCI	ESQUEMA (EN)	TERMINAL (EN)	LISTÓN	ESPECIFICACIONES CCA (EN) A	CA (0°C) SAE A	CAP. C20 Ah	RESERV. CAP. MINUTOS A 25 A	CAP. C5 Ah	RESISTEN. INTERNA m Ohm	MEDIDAS (mms)			PESO KG
BT DC 5.5	985822	D31M	8	1 & 21	-	975	1125	75	155	68	2.5	325	158	218	26,5
BT DC 5.0	551939	D27M	1	1 & 21	-	845	1000	66	140	61	2.5	309	172	200	22,7
BT DC 4.2	984607	D34M	1	1 & 21	-	765	870	55	120	52	2.8	254	172	173	19,7
BT SLI 4.2	984605	34M	1	1 & 21	-	815	1000	50	100	-	3.0	254	172	173	17,4

Figura 24. Catálogo de Baterías Optima. Fuente [10]

#### 2.6.2.4 Solar Formula Star

Baterías de plomo ácido construida con placas y separadores especiales con larga vida de carga y descarga con reduciod consumo de agua, menor sensibilidad a las sobrecargas imprevistas, mayor tension de descarga mediante conexiones interiores mas cortas, resistente a impactos y diseñadas para instalaciones fotovoltaicas. Con aplicaciones en: Casas, campers, barcos, estaciones de montaña, iluminacion de parques y calles, semadores y señales de traficos y estaciones de medida , estaciones de bombeo, etc [10].



Figura 25. Número de Ciclos en Función de la Profundidad de Descarga. Fuente [10]

Recomendaciones. No descargar por encima del 80%, debe ser cargada al 100% al menos cada 1 – 4 semanas y el trabajo en flotación a tensiones muy altas puede suponer un consumo excesivo de agua.

MODELO	V	Capacidad C100 (Ah)	Dimensiones (mm)		
			Largo	Ancho	Alto
FORMULA STAR FS 70 SOLAR	12	66	242	175	190
FORMULA STAR FS 80 SOLAR	12	80	274	175	190
FORMULA STAR FS 110 SOLAR	12	105	350	175	190
FORMULA STAR FS 155 SOLAR	12	155	513	189	223
FORMULA STAR FS 200 SOLAR	12	195	513	223	223
FORMULA STAR FS 240 SOLAR	12	240	513	274	239
FORMULA STAR FS 260 SOLAR	12	260	518	276	242

Figura 26. Catálogo de Baterías Solar Formula Star. Fuente [10]

### 2.6.2.5 Fullriver Batteries

Ofrecen baterías AGM de ciclo profundo, hermeticas y sin mantenimiento, construida con placas gruesas para ciclos profundos, materia activa con mayor capacidad y ciclos de vida útil, separador de fibra de vidrio altamente poroso, baja resistencia interna para carga mas rapida y baja autodescarga. Tiene aplicaciones en: Energías

renovables, carros de golf, vehículos de recreo, nautica, bac-up de energia e iluminacion de emergencia [10].

GAMA	CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES	
<b>HGXL</b>	<p>Alta Capacidad y Potencia, Larga Vida. 2V desde 50Ah hasta 3000Ah. Aleación especial de Plomo y Calcio con mejor resistencia a la corrosión. Diseño de vida de 15 años.</p>	
<b>FAT</b>	<p>Alto rango de descarga. 12V desde 55Ah hasta 175Ah. Terminal Frontal para una instalación mas rápida y sencilla. Contenedor V0 disponible bajo demanda Diseño de vida de 10 años.</p>	
<b>FSG</b>	<p>Baterías en GEL. 2V, 4V y 6V desde 280Ah hasta 2290Ah. Disponibles en 12V con Terminales Frontales (FTG).</p>	
<b>DCG</b>	<p>6V, 8V y 12V desde 50 Ah hasta 270 Ah. Baterías de GEL para aplicaciones de ciclo profundo de alta exigencia.</p>	
<b>DC</b>	<p>6V, 8V, 12V desde 7Ah hasta 415Ah. Para aplicaciones de ciclo profundo de alta exigencia. Alta densidad de potencia. Placas gruesas y materia activa de alta densidad.</p>	
<b>HC</b>	<p>12V, 14V y 16V desde 8 Ah hasta 120 Ah. Baterías de AGM con elevada capacidad de arranque y alta reserva de capacidad.</p>	
<b>HGHL</b>	<p>Alto rango de descarga en servicio en flotación. 6V y 12V desde 35W hasta 910W. Diseño de vida de 10 años.</p>	
<b>HGL</b>	<p>6V y 12V desde 1,2Ah hasta 260Ah Para aplicaciones de ciclo profundo de alta exigencia. Aleación patentada con el mínimo contenido en calcio. Diseño de vida: &lt;24h 4-6 años &gt;24h 6-8 años</p>	

Figura 27. Catálogo de Baterías Fulldriver. Fuente [10]

## 2.7 Sistemas Elécticos

Se define a sistema electrico como el conjunto de instrumentos necesarios para que la energia electrica llegue a donde el diseño lo propone. En la actualidad el manejo de la energia electrica tiene la caracteristica de que no se puede almacenar en grandes cantidades. Por lo tanto, la produccion de energia debe ajustarse a la demanda para que se mantenga un equilibrio constante entre producción y consumo [15].

Dicha demanda se debe prever, dirigiendo en tiempo real las instalaciones de generación y transmisión. Hasta hace unos años, el sistema eléctrico sólo estaba compuesto por grandes productores tales como centrales nuclear, térmicas, hidroeléctricas, etc. Pasando por subestaciones y centros de transformación para llegar a las casas en baja tensión [15]. Ver ejemplos de Figuras 28 y 29.

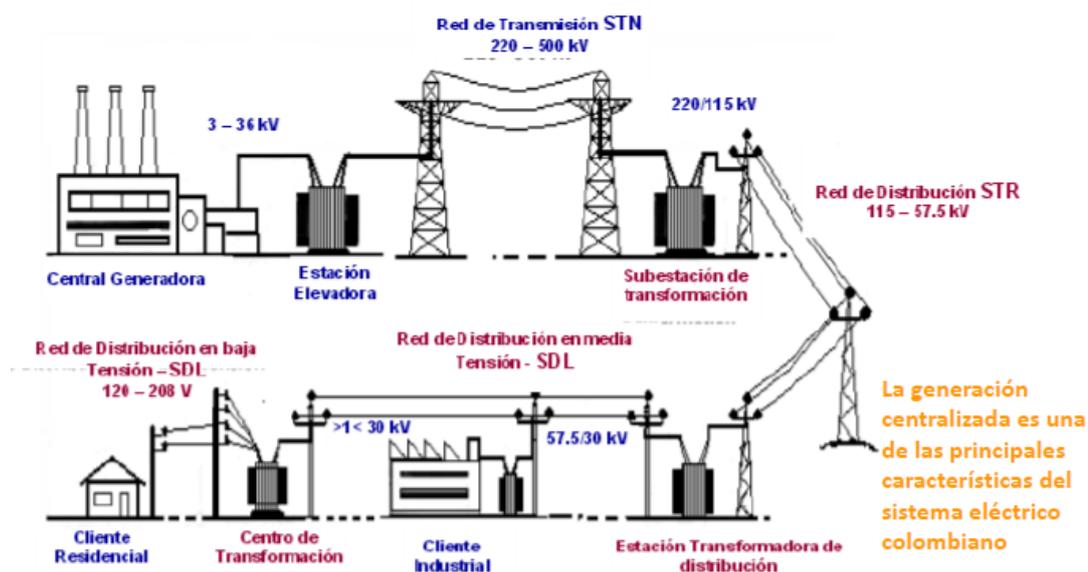


Figura 28. Red Eléctrica Tradicional. Fuente [16]

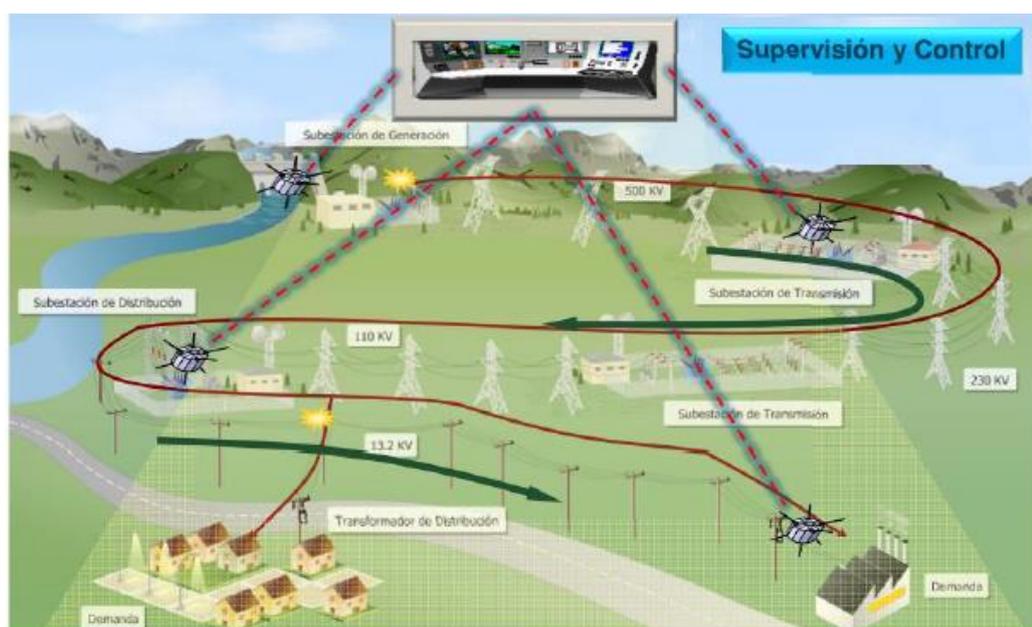


Figura 29. Supervisión y control de una hidroeléctrica. Fuente [16]

### 2.7.1 Control y operación de potencia

Diferentes entes gubernamentales se encargan de Planear, supervisar y controlar la operación de los recursos de generación, transmisión e interconexión para garantizar una operación segura, confiable y económica [16]. Ver la *Figura 30*.



*Figura 30.* Operación del Sistema de Potencia. Fuente [16]

### 2.7.2 Pequeños Puntos de Generación

En los últimos años los pequeños puntos de menor potencia instalada, como lo son las granjas solares, eólicas, mini-hidráulicas entre otras, ha generado inconvenientes en las compañías distribuidoras porque es difícil controlar la generación y la inyección a la red. Algunos puntos son bidireccionales, los cuales no solamente son puntos de consumo sino también de producción. Así pues, surge la necesidad de información sobre la red eléctrica y su gestión inteligente, es decir la implementación de las redes inteligentes o Smart Grids. Una smart Grid sirve para dar solución a un escenario más complejo que el tradicional, mejorando su efectividad y eficiencia, en estas redes surge la necesidad de implementar redes de comunicación en todos los puntos de la red y sistemas informáticos de gestión [17].

### 2.7.3 Smart Grid

Una red inteligente es aquella que puede integrar de forma eficiente el comportamiento y acciones de los usuarios conectados, de tal manera que se asegure un sistema energético sostenible y eficiente con bajas pérdidas y altos niveles de seguridad. Algunas características fundamentales que debería poseer son las siguientes [17].

- Adaptable y flexible (Bidireccional).
- Capaz de operar con seguridad y simplicidad.
- Inteligente y segura
- Eficiente
- Permita integrar de forma segura las energías renovables, creando nuevas oportunidades de negocio.
- Ser sostenible y respetuosa con el medio ambiente [17].

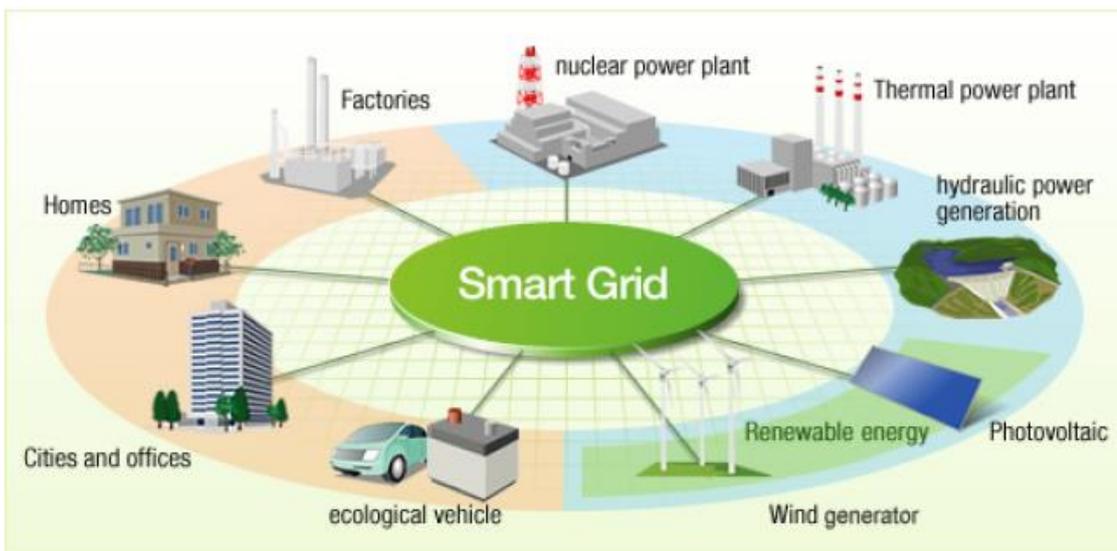


Figura 31. Diagrama de una red eléctrica del futuro. Fuente [17]

Para la introducción de una red inteligente, es necesaria la implantación de medidores inteligentes que por el lado del operador del sistema le facilitarán el control y realización de tele gestión tratando la información de los contadores de forma remota, optimizando así la eficiencia del sistema y mejorando la calidad del suministro. Al

consumidor a su vez se le podrá ofrecer una facturación detallada por franjas horarias y por tanto, discriminación horaria en coste [17].

## 2.8 Almacenamiento de Energía en Sistemas Eléctricos de Potencia

La energía eléctrica puede ser almacenada en diferentes formas tales como: energía potencial en sistemas de bombeo de agua o en sistemas basados en aire comprimido; en sistemas electroquímicos como las baterías secundarias y de flujo; como energía química a partir de celdas de combustible; como energía cinética en volantes de inercia; en un campo magnético en inductores; en un campo eléctrico en condensadores; o en forma de energía térmica en sales fundidas, etc [18].

Fuente	Proceso de obtención (H <sub>2</sub> gas)	Almacenamiento & Transporte	Conversión a electricidad
Gas natural	Reformado de metano	Gaseoductos • Dedicados a hidrógeno o de gas natural.	Celdas de combustible • Membrana polimérica. (80°C) • Alcalinas. (100-250°C alta temp.; 23-70°C baja temp.) • Carbonato fundido. (650°C) • Óxido sólido. (1000°C)
	Oxidación parcial		
Carbón	Gasificación de carbón	Almacenamiento como gas comprimido en tanques • En trailers o estacionarios, a 180bar en tanques de acero. • Opción de enfriar el gas a 150K o menor, para una mayor compresibilidad y menor volumen.	Uso como combustible Sector doméstico y terciario • Industria farmacéutica, petrolíferas, hogares... Transporte • Vehículos de combustión interna adaptados para hidrógeno.
	Secuestro de CO <sub>2</sub>		
Solar	Termoquímico	Almacenamiento líquido en tanques • A temp. menores a licuefacción, (-253°C) a presión atmosférica.	
	Fotoelectroquímico		
	Electrólisis de agua		
Biomasa	Fotobiológico	Almacenamiento en materiales • Hidruros metálicos, carbón y diversas nanoestructuras.	
	Gasificación		
	Reformado		
Eólica	Conversión microbótica		
	Electrólisis de agua		

Figura 32. Fuentes de Energía. Fuente [18]

### 2.8.1 Aplicaciones

El almacenamiento de energía en sistemas eléctricos de potencia tiene diversas aplicaciones según la etapa en la cual se empleen. Las etapas son:

Generación (Mercado Mayorista): En algunas centrales, se usan métodos de almacenamiento de energía para absorber energía fuera

de punta a bajo costo y venderla en horas pico donde es más costosa la energía, este método tiene diversos beneficios tales como, ingresos para el sistema de almacenamiento de energía por compra y venta, mejor uso de las unidades por disminución de ciclos, lo que alarga la vida de las unidades y una disminución en el uso de las unidades de base en las horas valle [19].

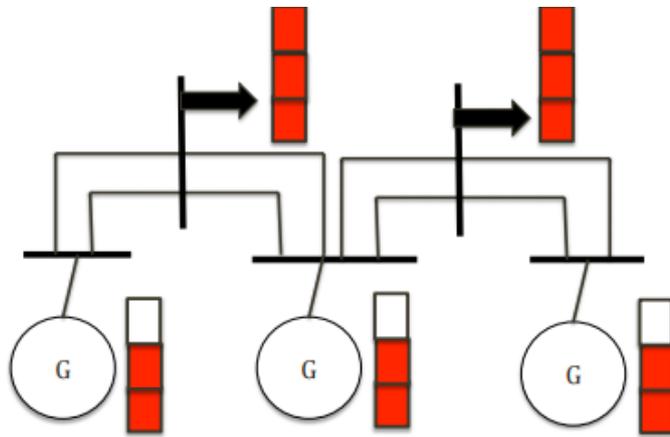
Por otro lado, se usa el almacenamiento energético para planes de contingencia como recurso adicional en la transmisión o generación de electricidad, algunos beneficios que existe al poseer una reserva son: recurso despachable para suministrar cargas imprevistas y es un recurso disponible para el operador independiente [19].

Segmento	Aplicación	Descripción	
Generación y sistema	1	Servicios al mercado mayorista	Almacenamiento masivo de energía para ofertas de capacidad y SSCC: CPF, CSF, seguridad
	2	Integración de renovables	Almacenamiento masivo para desplazamiento temporal y SSCC
Transmisión y distribución	3	Almacenamiento estacionario en la red de T&D	Mejoramiento de la utilización de activos de T&D, <b>postergación de inversiones en activos de T&amp;D</b>
	4	Almacenamiento transportable para T&D	Mejoramiento de la utilización de activos de T&D, postergación de inversiones en activos de T&D en múltiples sitios según se requiera
	5	Almacenamiento distribuido (EDR)	Almacenamiento centralizado: confiabilidad, calidad de servicios. SSCC
Segmento	Aplicación	Descripción	
Distribución	6	Sistemas agregados ESCO	Sistemas de AE distribuidos gestionados centralizadamente para beneficios en distribución
Usuarios finales	7	Calidad de la potencia y confiabilidad en industria y comercio	Sistemas para proveer calidad de potencia y confiabilidad en comercio e industria
	8	Gestión de demanda en industria y comercio	Sistemas para reducir cargos por potencia y energía en industria y comercio
	9	Gestión de demanda residencial	Sistemas para traslado de cargas a hora fuera de punta
	10	Respaldo comercial y residencial	Sistemas de respaldo para pequeños consumos de gran valor

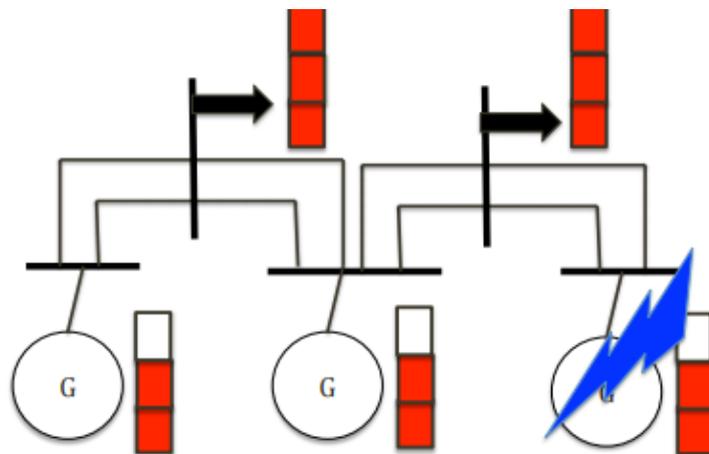
Figura 33. Aplicaciones de Almacenamiento de Energía. Fuente [19]

### 2.8.2 Reserva en Giro

Hace referencia a cierta capacidad de generación disponible y de rápido despacho en máquinas sincronizadas para lograr el balance entre oferta y demanda y controlar la frecuencia del sistema. Se hace el cálculo de la reserva en giro en base al margen entre la potencia máxima de los generadores sincrónicos en operación y la potencia de despacho, mediante esta reserva se busca sostener ante un aumento o reducción brusca de la demanda. La reserva en giro del sistema incluye el aporte que pueden hacer los equipos de compensación en Energía Activa [19].



*Figura 34.* Reserva en giro cuando la frecuencia es 50 Hz sólo si Generación es igual a la demanda. Fuente [19]



*Figura 35.* Disminución de frecuencia por pérdidas importantes de generación. Fuente [19]

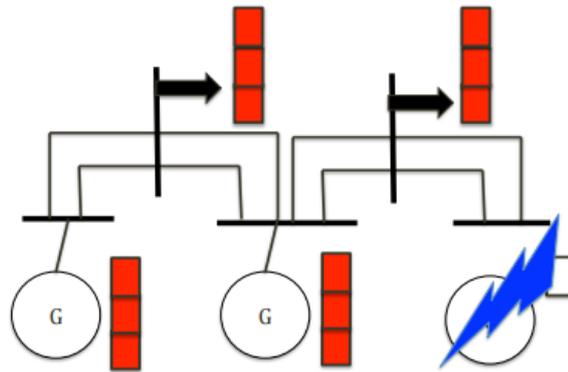


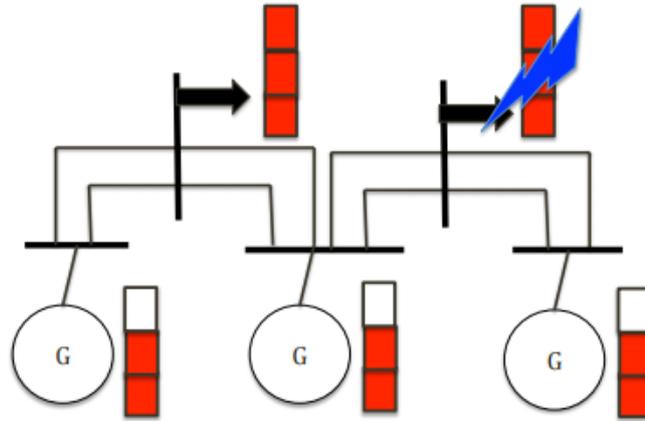
Figura 36. Proceso cuando la frecuencia se recupera reduciendo generación ERAG. Fuente [19]

También se recurre a los EDAC para recuperar la frecuencia en caso de pérdidas importantes de generación. Se distinguen EDAC del tipo:

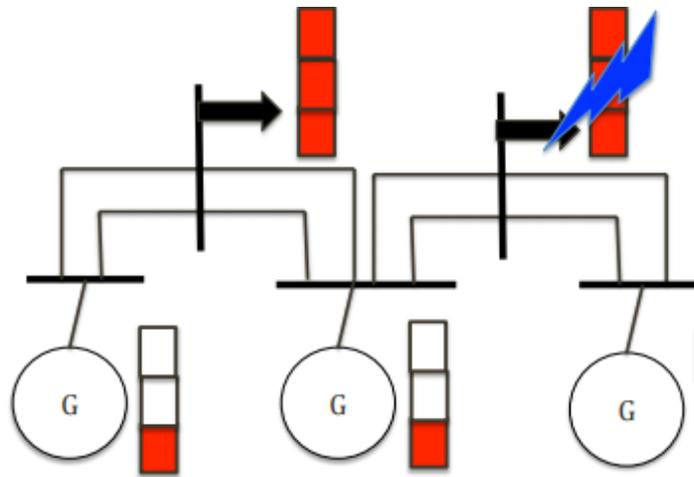
- Subfrecuencia: En los que el desenganche es habilitado por la operación previa de un relé de subfrecuencia local.
- Subtensión: En los que el desenganche es habilitado por la operación previa de un relé de subtensión local.
- Desenganche Directo: En los que el procesamiento de la decisión de desenganche se realiza en una ubicación remota, sobre la base de la detección de un cambio de estado o de variables eléctricas anormales, que pueden afectar la SyCS de un área del SI [19].

ESQUEMA DE DESCONEXIÓN AUTOMÁTICA DE CARGA POR BAJA FRECUENCIA 2016						
Etapa	Ajustes Umbral		Desconexión de Carga [%]	Ajustes df/dt		
	Frecuencia [Hz]	Retardo Intencional [ms]		Frecuencia [Hz]	df/dt [Hz/s]	Retardo Intencional [ms]
1	59.4	200	5			
2	59.2	200	5			
3	59.0	400	5			
4	58.8	400	5			
5	58.6	600	5			
6	58.6	1000	5			
7	58.4	2000	5	58	-0.3	200
8	58.4	4000	5	58	-0.2	400

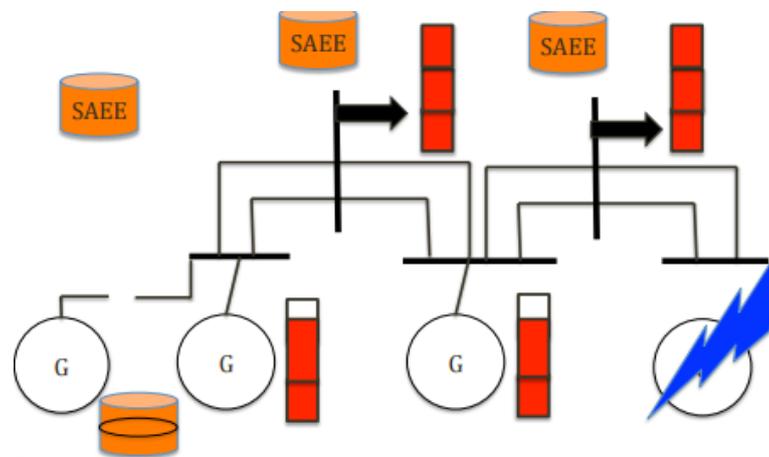
Figura 37. Ajustes del EDAC al 2016. Fuente [20]



*Figura 38.* Aumento de la frecuencia por pérdidas importantes de carga. Fuente [19]



*Figura 39.* Ajuste de frecuencia se hace reduciendo la generación. Fuente [19]



*Figura 40.* El AE puede participar en la recuperación de la frecuencia aportando o absorbiendo potencia activa. Fuente [19]

## 2.9 Requerimientos del Sistema de Almacenamiento

Segmento	Descripción	Tamaño	Duración	Ciclos	Vida - años
Mercado mayorista	Arbitraje	10-300 MW	2-10 hr	300-400/años	15-20
	SSCC	varios	varios	varios	varios
	Reg. frecuencia	1-100 MW	15 min	>8000/año	15
	R. sincronizada	10-100	1-5 hr		20
Integración de energías variables: solar fv y eólica	Eólica: soporte de voltaje y control de rampas de variación	1-10 Dx 100-400 central	15 min	5000/año 10000	20
	Eólica: AE fuera de punta	100 - 400 MW	5 - 10 hr	300 -500/año	20
	PV: desplazamiento temporal, sags, soporte rápido	1-2 MW	15 min - 4 hr	>4000	15
Apoyo estacionario T&D	Postergación de activos de T&D urbana y rural. Gestión de congestión ISO	10 -100 MW	2-6 hr	300-500/año	15-20
Soporte T&D móvil	Ídem	1 - 10 MW	2-6 hr	ídem	ídem
DESS - AE distribuido	En el lado de la Dx, mejora de la eficiencia de la Dx	25 - 75kW	2-4 hr	100-150	10 -15
Calidad de la potencia en C e Ind.	Solución a Sags e interrupciones de corta duración	25 - 1000kW	< 15 min	< 50	10
Confiabledad de cargas Ind y C.	Respaldo rápido a cargas sensibles	50 - 1000kW	4 - 10 hr	<50 año	10
Gestión energética en C e Ind.	Reducción de costos por energía y potencia	50-1000kW	3-4 hr	400-1500 año	15
		1MW			
Gestión E domiciliaria	Eficiencia y menores costos	2-5 kW	2-4 hr	150-400 año	10-15 años
Respaldo residencial	fiabilidad	2-5kW	2-4 hr	150-400 año	10 -15 años

Figura 41. Requerimiento de Desempeño. Fuente [19]

Uno de los principales beneficiarios de la marea renovable es una industria de almacenamiento de baterías cuyo volumen de mercado mundial aumentará a 13.130 millones de dólares para 2023, impulsado por la necesidad y la caída de los precios de los sistemas [21].

Esa es la predicción hecha por la compañía de análisis de mercado Globaldata en su informe Battery Energy Storage Market, Update 2019 – Global Market Size, Competitive Landscape and Key Country Analysis to 2023 (Mercado de Almacenamiento de Energía de Baterías, Actualización 2019 – Tamaño del Mercado Global, Paisaje Competitivo y Análisis de Países Clave 2023), que establece que la región de Asia y el Pacífico (APAC), así como Europa, Oriente Medio y África (EMEA), serán los mercados de almacenamiento de baterías dominantes hasta el año 2023 [21].

Según los analistas, la región APAC representó el año pasado el 45% de la capacidad de almacenamiento de baterías instalada en el mundo. La región continuará en esa trayectoria, dijo Global data. En China, la India, Japón, Corea del Sur y Filipinas en particular, el aumento significativo de la generación renovable conectada a la red requerirá un control de frecuencia de la red para mejorar la resiliencia, según los analistas [21].

La región EMEA aumentó significativamente su cuota de mercado de almacenamiento de baterías entre 2013 y 2018, año en el que sumaron un 26% del mercado mundial por valor de 1.720 millones de dólares. El informe de Global data añade que el mercado europeo tiene una fuerte demanda de flexibilidad y será el motor de la EMEA para impulsar el almacenamiento, y África y Oriente Medio seguirán su ejemplo una vez que el despliegue de energías renovables gane impulso [21].

El mercado de almacenamiento de baterías en América fue ligeramente mayor que el de EMEA, con un valor registrado de 1.970 millones de dólares el año pasado, lo que representa alrededor del 28% del mercado mundial. Chile, Canadá, Brasil y Estados Unidos, en

particular, experimentaron una rápida aceptación del almacenamiento [21].

Bhavana Sri, analista de Global data, dijo: Estados Unidos ha sido el mayor mercado nacional de sistemas de almacenamiento de energía con baterías, tanto en términos de capacidad instalada acumulada como por valor de mercado, para proyectos instalados hasta 2018, y es probable que continúe liderando el mercado a nivel nacional". Se estima que el mercado estadounidense de almacenamiento de energía de baterías alcanzará los 2.960 millones de dólares en 2023, lo que representa el 23% del mercado mundial [21].

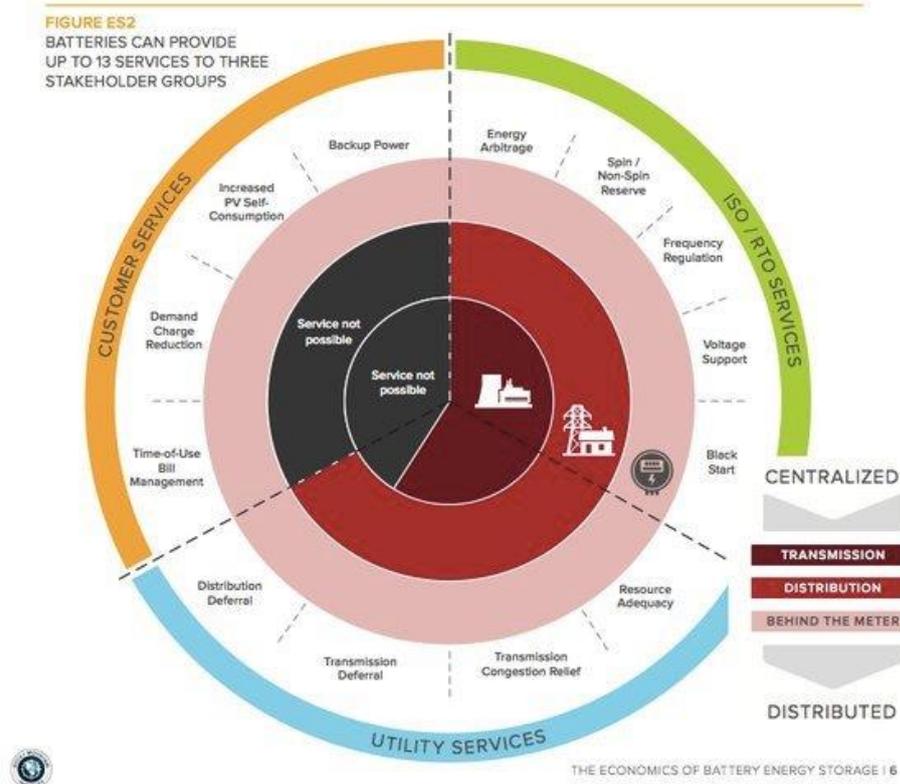


Figura 42. Stakeholders y servicios que prestan los almacenadores de energía eléctrica. Fuente [22]

### **CAPITULO III. MARCO METODOLÓGICO**

#### **Consultar sistemas de almacenamiento de energía y sus diferentes tipos enfocadas en baterías de almacenamiento químicas.**

La primera fase del proyecto estará enfocada en la consulta de los diferentes sistemas de almacenamiento como lo son las baterías y será encaminada en baterías químicas, sus aplicaciones, características y funcionamiento.

#### **Comparar los distintos tipos de baterías químicas más usadas en el mercado.**

Una vez consultado los diferentes tipos de baterías químicas conocidas se realizará una comparación entre las baterías investigadas en la fase primera del proyecto pero esta vez buscando las más usadas en el mercado.

#### **Evaluar el uso de baterías químicas en el mercado en sistemas eléctricos y Smart Grid.**

La tercera fase del proyecto se enfocará en el uso de dichas baterías en los sistemas eléctricos y Smart Grids mediante consultas bibliográficas en artículos investigativos y material disponible en la web.

**Realizar un análisis en el mercado de almacenamiento de energía para su uso en sistemas eléctricos y Smart Grid.**

Por último se realizará un análisis de la información recopilada para el aprovechamiento de las baterías químicas en el mercado para el uso en Sistemas Eléctricos y Smart Grid.

## **CONCLUSIONES**

- La gran amplitud de baterías presentes en el mercado y sus distribuidores mostraran una gran ventaja para el análisis de estas para la implementación en sistemas eléctrico y Smart Grid.
- La correcta implementación de Smart Grids garantizaría el libre desarrollo para energías renovables en sentido bidireccional.
- El uso de baterías especializadas es una solución a corto plazo para mejorar la calidad de la energía eléctrica y evitar posibles daños en instrumentos del respectivo sistema.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. Hernández Romero, Análisis económico de un sistema de almacenamiento para la disminución de desvíos de producción en un parque eólico, Sevilla: Universidad de Sevilla. Departamento de Ingeniería Eléctrica, 2016.
- [2] I. Mártil, «Qué son y para qué sirven las baterías de iones de litio,» Público, 11 Octubre 2019. [En línea]. Available: <https://blogs.publico.es/ignacio-martil/2019/10/11/que-son-y-para-que-sirven-las-baterias-de-iones-de-litio/>.
- [3] M. Vergara, «Tecnología de las baterías,» [En línea]. Available: <http://www2.elo.utfsm.cl/~elo383/apuntes/PresentacionBaterias.pdf>. [Último acceso: 05 Diciembre 2020].
- [4] Dr. Battery, «Baterías de Plomo Ácido,» [En línea]. Available: <http://www.drbattery.com.ve/drbattery/index.php/servicios-y-especificaciones/requisitos-fundamentales-para-la-regeneracion-de-baterias>. [Último acceso: 05 Diciembre 2020].
- [5] M. A. Hannan, Md Murshadul Hoque, A. Mohamed y A. Ayob, «Review of energy storage systems for electric vehicle applications: Issues and challenges.,» *ResearchGate*, pp. 771-789, 2017.
- [6] EcoInventos, «Batería de sodio y azufre en Abu Dhabi es el dispositivo de almacenamiento más grande del mundo,» 26 Febrero 2020. [En línea]. Available: [https://ecoinventos.com/bateria-sodio-azufre-abu-dhabi/#:~:text=Bater%C3%ADas%20de%20Sodio%2D%20Azufre.&text=Es%20un%20modelo%20de%20alta,y%20el%20otro%20azufre%20fundido.&text=Sin%20embargo%2C%20el%](https://ecoinventos.com/bateria-sodio-azufre-abu-dhabi/#:~:text=Bater%C3%ADas%20de%20Sodio%2D%20Azufre.&text=Es%20un%20modelo%20de%20alta,y%20el%20otro%20azufre%20fundido.&text=Sin%20embargo%2C%20el%20)

20sodio%20I%C3%ADquido,explosivo%20en%20presencia%20de%2.

- [7] R. Estévez, «Ponte al día en almacenamiento de energía (4),» ECO Intenligencia, 20 Febrero 2014. [En línea]. Available: <https://www.ecointeligencia.com/2014/02/almacenamiento-energia-4/>.
- [8] F. Lana y M. Colera, «Desarrollo del prototipo comercial de batería de flujo Zn-Br,» *Energética XXI*, pp. 50-51, 2018.
- [9] A. Gil, Regulación de Frecuencia con Batería considerando envejecimiento, Sevilla: Dep. Ingeniería Eléctrica; Escuela Técnica Superior de Ingeniería; Universidad de Sevilla, 2016.
- [10] Daisa , «Distribuidora Acumuladores Importados S.A,» [En línea]. Available: [http://calculationsolar.com/pdfs/Calculationsolar\\_battery\\_MASTERBATTERY\\_UPOWER229.pdf](http://calculationsolar.com/pdfs/Calculationsolar_battery_MASTERBATTERY_UPOWER229.pdf). [Último acceso: 2 Octubre 2020].
- [11] Insoelectric , «Serie PVSM - BAE,» [En línea]. Available: <http://www.insoelectric.com/acumulador%20pvsm.htm>. [Último acceso: 06 Diciembre 2020].
- [12] Bornay, «PVS MONOBLOC,» [En línea]. Available: <https://www.bornay.com/es/productos/baterias/pvs-monobloc>. [Último acceso: 06 Diciembre 2020].
- [13] Insoelectric, «Serie PVV Monobloc - BAE,» [En línea]. Available: <http://www.insoelectric.com/acumulador%20pvv%20monoblock.htm>. [Último acceso: 06 Diciembre 2020].
- [14] Optima Batteries , «¿Por qué escoger baterías OPTIMA,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.optimabatteries.com.mx/es-mx/soporte/datos-basicos/por-que-escoger-baterias-optima>. [Último acceso: 5 Octubre 2020].

- [15] M. Altim, «Energy Storage Systems and Power System Stability,» *ResearchGate*, pp. 1-8, 2018.
- [16] O. Quiroga, «GENERALIDADES DE LOS SISTEMAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.coursehero.com/file/65613311/oquiroya-1-GENERALIDADES-DE-LOS-SISTEMAS-DE-ENERG%C3%8DA-EL%C3%89CTRICApdf/>. [Último acceso: 6 Octubre 2020].
- [17] S. Bertolín, *Gestión de Demanda de una Smart Grid con Vehículos Eléctricos*, Leganés : UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID; Departamento de Ingeniería Eléctrica, 2014.
- [18] Real Academia de Ingeniería, *Almacenamiento de Energía en la Distribución Eléctrica del Futuro*, Madrid: Endesa, 2017.
- [19] G. Olguín, «Almacenamiento de Energía Parte 5. Aplicaciones,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.cigre.cl/wp-content/uploads/2017/02/Parte5-aplicaciones.pdf>.
- [20] XM, «Revisión y actualización del EDAC por baja frecuencia del SIN - SAPE,» Marzo 2017. [En línea]. Available: [https://www.xm.com.co/estudiosedac/2017/XM\\_CND\\_2017\\_012\\_EDAC\\_2017.pdf](https://www.xm.com.co/estudiosedac/2017/XM_CND_2017_012_EDAC_2017.pdf).
- [21] M. Willuhn, «El mercado de almacenamiento de baterías tendrá un valor de 13.000 millones de dólares en 2023,» *PV Magazine*, 06 Mayo 2019. [En línea]. Available: <https://www.pv-magazine-latam.com/2019/05/06/el-mercado-de-almacenamiento-de-baterias-tendra-un-valor-de-13-000-millones-de-dolares-en-2023/>.
- [22] J. A. Roca, «Los 13 servicios que las baterías de almacenamiento pueden prestar al sistema eléctrico,» *El periódico de la Energía*, 13 Octubre 2015. [En línea]. Available: <https://elperiodicodelaenergia.com/los-13-servicios-que-las->

baterias-de-almacenamiento-pueden-prestar-al-sistema-electrico/.